

ა. ა. მოროზოვი

წყლის ენერგიის გამოყენება

ნაწილი I

დაშეგებულია სსრ კავშირის უმაღლესი ტანათ-
ლების სამინისტროს მიერ როგორც დამხმარე
სახელმძღვანელო პოლიტექნიკური და
სამშენებლო უმაღლესი სასწავლებლებისათვის

სასწავლო-პედაგოგიური ლიტერატურის
სახელმწიფო გამომცემლობა „ცოდნა“
თბილისი — 1960

წიგნში განხილულია წყლის ენერჯის გამოყენებასთან დაკავშირებული საკითხების კომპლექსი და მოცემულია ჰესის სიმძლავრისა და ჰიდროტურბინების შერჩევის საფუძვლები. მოკლედ არის განხილული აგრეთვე ჰიდროელსადგურების ელექტრომოწყობილობა.

წიგნი განკუთვნილია უმაღლესი ტექნიკური სასწავლებლების ენერჯეტიკული და ჰიდროტექნიკური სპეციალობების სტუდენტებისათვის როგორც საბელმძღვანელო, იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე როგორც დამხმარე მასალა ჰიდროელსადგურების დაპროექტებისათვის.

შმსავალი

კულტურის იმ განთიადზე, როდესაც ადამიანმა ჩაატარა პირველი ცდები ბუნების ძალების დასამორჩილებლად და აიძულა ისინი მომსახურებოდნენ მას, მისი ერთ-ერთი მიღწევა იყო ადამიანის ხელის სუსტი ძალის შეცვლა პირველად შინაური ცხოველების ძალით და შემდეგ მექანიკური ძრავათი. პირველი მექანიკური ძრავა იყო წყლის თვალი. 3000 და მეტი წლის წინათ, უძველესი ხანის კულტურულ ქვეყნებში—ჩინეთში, ეგვიპტეში, ინდოეთში, სირიასა და პალესტინაში—წყლის თვალი გამოყენებული იყო წყლის ასაყვანად სარწყავ არხებში და პრიმიტიული წისქვილის ქვების დასაბრუნებლად. დღესაც, ამ ქვეყნებში და ზოგიერთ სხვა ქვეყნებშიც შეიძლება შევხვდეთ ისეთ ნაგებობებს, რომლებიც დიდად არ განსხვავდებიან თავიანთი შორეული წინაპრებისაგან.

სირიასა და ეგვიპტიდან წყლის წისქვილები სწრაფად გავრცელდნენ საბერძნეთსა და რომში. წყლის წისქვილები ნახსენებია ძველი რუსეთის წერილობით ძეგლებში, ხოლო XIV—XV საუკუნეების დოკუმენტებში კი ისინი უფრო ხშირად იხსენიება.

ცნობილია, რომ საფრანგეთში წისქვილების აშენება VI საუკუნეში დაიწყო, ხოლო VII საუკუნის კანონებში მოყვანილია დადგენილება წისქვილების დაცვის შესახებ. ტიროლში დღემდე შემორჩენილია 1097 წელს კლდეში გამოკვეთილი არხის კვალი. არხით წყალი მიყვანილი იყო წისქვილამდე, რომელიც მუშაობდა 40 მ დაწნევით.

აღორძინების ეპოქაში, როდესაც ფეხი მოიკიდა სავაქრო კაპიტალმა და განვითარდა წვრილი ამქრული წარმოება, წარმოიშვა მექანიკური ძალის მოთხოვნილება. მიმდინარე წყლის ენერჯის ძალა აქაც დარჩა ენერჯის ძირითად წყაროდ და მისი გამოყენება სამკედლო, ხე-ტყის სახერხ, საპენტავ და სხვა სახელოსნოებში საქმოდ ხშირი იყო. XV—XVI საუკუნეების ნაწერებში შეიძლება მოიძებნოს შრავალი აღწერილობა წყლის ძრავების მოწყობილობაზე, სადაც მოთავსებულია მათი მარტივი სურათები და „ნახაზები (მაგალითისათვის მოგვყავს 1-ლ ნახაზზე ნაჩვენები სურათი). საინტერესო ჰიდროდინადგარს წარმოადგენს დოკუმენტი ტუმბური დანადგარი, რომელიც მოძრაობაში მოდიოდა წყლის თვლით.

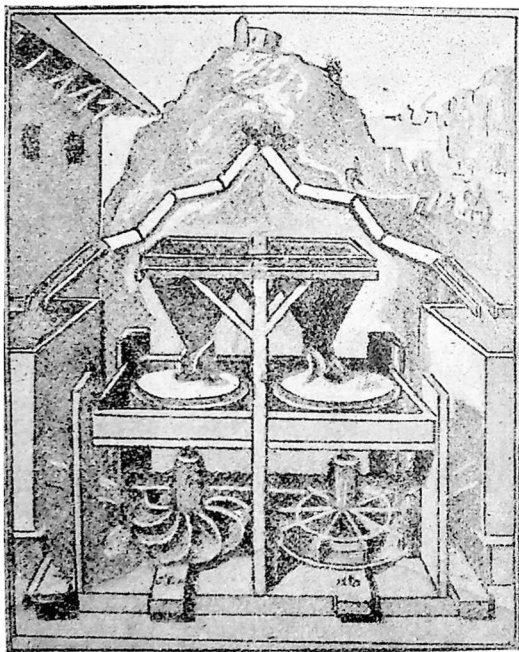
მთელი რიგი წყლის წისქვილებისა არსებობდა მოსკოვში XVI საუკუნეში მდინარე ნეგლინაისა და იაუზზე. დაახლოებით ამ დროს გაჩნდა რუსეთში ფაბრიკები, რომლებიც წყლის ენერჯიას იყენებდნენ.

მექანიკური ძალის შესახებ ნზარდი მოთხოვნილების შედეგად უმჯობეს-

დებოდა წყლის ძრავები; წყლის ტურბინების აგებულებაზე ა პირველად. წარმოიშვა 1750 წელს, როდესაც სეგნერმა ააგო რეაქტიული ინციპზე მომუშავე თვალი, მაგრამ იგი დარჩა მხოლოდ როგორც საინჟინერო ფიზიკური ხელსაწყო და გავრცელება ვერ ჰპოვა. სეგნერის თვლის თეორიული საფუძვლები მოცემული იყო ჯერ კიდევ 1730 წელს დ. ბერნულის მიერ.

წყლის თვლის თეორიული საფუძვლები მოცემულია რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის წევრის ეილერის სამ შრომაში 1750, 1751 და 1754 წლების პერიოდში.

რუსეთში XVIII საუკუნე იყო რუსული ჰიდროტექნიკის განვითარების ეპოქა, როდესაც წყლის ძრავებს ფართოდ იყენებდნენ მეტალურგიაში, მინის,



ნახ. 1. წყლის წისქვილი 1629 წელს გამოყენებული წიგნის მიხედვით.

დენტის, საფეიქრო მრეწველობებში და ხე-ტყის სახერხ საქმეში. 1752 წელს მ. ვ. ლომონოსოვმა დაიწყო უსტ-რუდიცკის მინის ქარხნის მშენებლობა, სადაც წყლის თვალი გამოყენებული იყო ორხერხიანი ჩარჩოებისათვის, საფქვავე წისქვილისა და „მანქანებისათვის, რომლებითაც ამტვრევენ, ფქვავენ და ურევენ მინისათვის საჭირო მასალას და ხეხავენ მოზაიკას“. XVIII საუკუნის შუა წლებში მართო ურალში იყო 150-ზე მეტი ქარხანა და ყველა მათგანს ჰქონდა ჰიდროძალური დანადგარი.

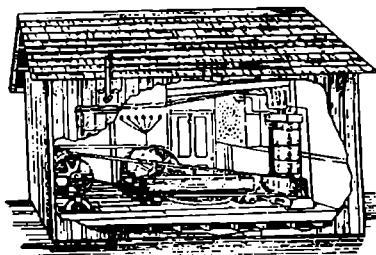
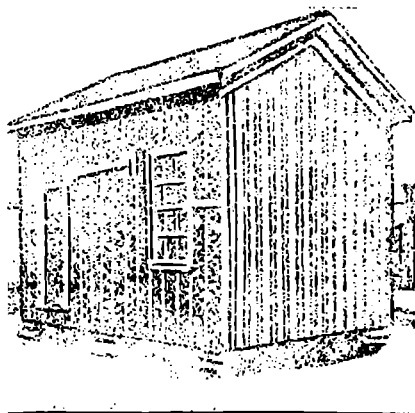
ამ დროს დამუშაებული იყო მიწისა და ხის კაშხლების რუსული ტიპები და შექმნილი იყო ერთადერთი თავისებური ჰიდროძალური დანადგარი; ასე, მაგალითად, თავისი დროის ნიქიერმა ჰიდროტექნიკოსმა კ. დ. ფროლოვმა ააშენა მიწისქვეშა ჰიდროდანადგარი.

რი ზმეინოგორსკის მალაროდან წყლისა და მადნის ასატანად და აგრეთვე ხე-ტყის დასახერხად (ალტაი, 1787 წ.); ამ დანადგარის რთული კომპლექსი განლაგებულია სამ იარუსად მიწის ზედაპირზე და მიწის ქვეშ 60 მ სიღრმეზე, და ალბათ ტექნიკის ისტორიაში წარმოადგენს მაწისქვეშა ნაგებობის პირველ მაგალითს.

¹ დაწერილებით იხ. წიგნში: В. В. Д а н и л о в с к и й, История гидростроителства в России до XIX века. ГИЭ-негроздат, 1940.

მიუხედავად სეგნერის, ბერნულისა და ეილერის ზემოთ მოხსენებული შრომებისა, XIX საუკუნემდე წყლის ტურბინის კონსტრუირების ცდებმა არ მოგვცა რეალური შედეგი და მხოლოდ 1827 წელს ფურნეირონის მიერ აგებულ იქნა პირველი ტურბინა, რომელსაც პრაქტიკული მნიშვნელობა ჰქონდა. ეს ტურბინა სწრაფად გავრცელდა. შემონახულია ფურნეირონის ტურბინის ეგზემპლარი, აგებული 1834 წელს, რომლის სიმაღლეც იყო 40 ცმ, მუშაობდა 108 მ დაწნევაზე და ჰქონდა 2300 ბრუნთა რიცხვი მინუტში.

უფრო ხელსაყრელი აღმოჩნდა ფრენსისის ტურბინა, რომელიც პირველად გამოჩნდა 1847 წელს. ასი წლის განმავლობაში ამ ტურბინამ განიცადა მთელი რიგი კონსტრუქციული ცვლილებანი, დამატა მბრუნავფრთებიანი მიმპართველი აპარატი და 30-დან 300 მ-მდე დაწნევის საზღვრებში იგი ამჟამადც შეუცვლელ ტურბინად დარჩა.



ნახ. 2. 1882 წელს აშენებული ჰიდროელსადგური.

მაღალი წნევის გამოყენების მოთხოვნილებამ გამოიწვია ახალი ტიპის ტურბინის შექმნა. 1880 წელს პელტონის მიერ გამოგონებულ იქნა ტურბინის ახალი მუშა თვალი, რომელიც დღემდე არსებობს და წარმოადგენს ერთადერთ ტიპს 300 მ-ზე მეტი დაწნევის შემთხვევაში.

უნდა აღენიშნოთ, რომ XIX საუკუნის ბოლომდე ჰიდროენერგია მიჯაჭვული იყო მისი მიღების ადგილზე, ამიტომ, ცხადია, მისი გამოყენება შეზღუდული იყო წვრილი წარმოებით; ჰიდროძალური დანადგარები თან ახლდა სამრეწველო წარმოებას და ასრულებდა მექანიკურ მუშაობას. ამასთან ერთად XIX საუკუნის მზარდი მრეწველობა მოითხოვდა დიდი რაოდენობის ენერჯიას ისე, რომ იგი დაკავშირებული არ ყოფილიყო ენერჯიის წყაროს ადგილმდებარეობასთან. ამიტომ იმ დროს გამოგონილმა ორთქლის ტურბინამ დროებით გამოადგინა წყლის ტურბინა და XIX საუკუნის მსხვილ მრეწველობაში პირველი ადგილი დაიკავა.

რამდენიმე წლის შემდეგ, რაც გამოჩენილმა რუსმა ელექტროტექნიკოსმა დ. ა. ლაჩინოვმა პირველმა მსოფლიოში დამტკიცა ელექტროენერგიის შორ მანძილზე გადაცემის შესაძლებლობა, დებრემ მოაწყო ელექტროენერგიის გადაცემა ამ დროისათვის ღიდკმანძილზე—22 კილომეტრზე 300 ვოლტი ძაბვით. ამ დროიდან ჰიდროენერგია, გარდაქმნილი ელექტროენერგიად, უკვე აღარ არის მიჯაჭვული მისი წარმოების ადგილზე და უკვე ორთქლს უწევს მეტოქეობას.

მარქსმა და ენგელსმა, ყურადღებით იღვწებდნენ რა თვალყურს დებრეს ცდებს, იწინასწარმეტყველეს ჰიდროენერგიის დიდი მომავალი.

ენერგიის პირველი გადაცემა ხაზი ქ. კრიელიდან პარიზამდე 7500 ვოლტი ძაბვით, 40 კმ სიგრძეზე გაშენებულ იქნა დებრეს მიერ 1886 წელს. ამავე წელში განხორციელდა ერთფაზიანი ცვლადი დენის პირველი ხაზის მშენებლობა. სამფაზიანი დენის პირველი ხაზი გაყვანილ იქნა 1891 წელს 225 კვტ სიმძლავრის გადასაცემად 180 კმ მანძილზე, 12 000 ვოლტი ძაბვით, 3 მ დაწნევის ჰიდროელსადგურიდან.

ამ მომენტიდან იწყება ჰიდროელსადგურების სწრაფი განვითარების ეპოქა.

გასული საუკუნის უკანასკნელ ათ წელიწადში ევროპასა და ამერიკაში მთელი რიგი სადგურები იქნა აშენებული. ელექტროგადაცემის ხაზების ძაბვის გადიდებასთან ერთად უფრო და უფრო ვითარდება ჰიდროელსადგურების გამოყენების სფერო, რის გამოც იზრდება ამ სადგურების სიმძლავრეც.

პირველ ცხრილში მოცემულია ელექტროგადაცემის ხაზების მაქსიმალური ძაბვები წლების მიხედვით.

ცხრილი 1

წლები	მაქსიმალური ძაბვა კილოვოლტებში	წლები	მაქსიმალური ძაბვა კილოვოლტებში
1894	12	1909	110
1896	25	1912	140
1897	40	1913	150
1900	55	1922	165
1902	67	1923	220
1905	75	1936	287
1908	105		

მაღალძაბვიანი ქსელით გაერთიანებული მსხვილი ენერგეტიკული სისტემის შექმნამ გამოიწვია ახალი მოთხოვნილება ტურბინებზე. თუკი არსებული ტიპები კარგად ემსახურებოდნენ მაღალი და საშუალო დაწნევის სადგურებს, შვირე დაწნევის შემთხვევაში საჭირო გახდა უფრო მძლავრი და სწრაფმავალი მანქანების შექმნა.

1918 წელს შეიქმნა პროპელერიანი ტურბინების ახალი ტიპი. პირველად ამ ტიპის ტურბინებს ჰქონდათ მუშა თვლის უძრავი ფრთები, შემდეგ კი ისინი შეიცვალა მოძრავით (კაპლანის ტურბინა). კაპლანის ტურბინა (შექმნილია პროფ. ვ. კაპლანის მიერ, ჩეხოსლოვაკია) საფუძვლიანად დაშველდრდა, დაბალი დაწნევის (30 მ-ზე ნაკლები), უმთავრესად მსხვილ სამრეწველო ელსადგურებში.

მსოფლიო ენერგეტიკული კონფერენციის მიერ დადგენილია, რომ მთელი მსოფლიოს მდინარეების სიმძლავრე, გამოთვლილი წყლის მინიმალური ხარჯის მიხედვით, შეადგენს 500·10⁶ კვტ; მსოფლიო ჰიდროელსადგურების

დადგენილი სიმძლავრე შეადგენს $47,4 \cdot 10^6$ კვტ, ე. ი. მდინარეების მინიმალური სიმძლავრის $9,5\%$ -ს. მდინარეების სიმძლავრის განაწილება კონტინენტების მიხედვით და დადგენილი სიმძლავრეები მოცემულია მე-2 ცხრილში (1938 წლის მონაცემებით).

ცხრილი 2

კონტინენტი	მდინარეების სიმძლავრე მინიმალურ ხარჯზე 10^6 კვტ	ქესების დადგენილი სიმძლავრე 10^6 კვტ
ევროპა	55	20,90
აზია	110	4,60
ჩრდილო ამერიკა	58	20,15
სამხრეთი ამერიკა	55	1,15
აფრიკა	204	0,14
ავსტრალია	18	0,60
სულ მსოფლიოში	500	47,4

ჰიდროენერჯის წყაროების სიმძლავრე საბჭოთა კავშირში ძალიან დიდი და აქარბებს ყველა სხვა ქვეყნის ჰიდრორესურსებს. საბჭოთა კავშირში მდინარეების საერთო სიმძლავრე წყლის საშუალო წლიურ ხარჯზე შეადგენს 280 მილიონ კვტ, მინიმალურ ხარჯზე კი — 58 მილიონ კვტ.

უცხოეთის უმთავრესი ქვეყნების წყალდენების სიმძლავრე და მათი გამოყენების ხარისხი მოცემულია მე-3 ცხრილში.

ცხრილი 3

სახელმწიფოები	მდინარეების სიმძლავრე 10^6 კვტ		ქესების დადგენილი სიმძლავრე	
	წყლის საშ. წლიურ ხარჯზე	წყლის მინიმალურ ხარჯზე	10^6 კვტ	მდინარის საშ. წლიურ სიმძლავრიდან $\%, \%$ -ში
აშშ	42,8	32,0	14,1	33,0
კანადა	25,1	15,85	6,2	24,8
იაპონია	13,2	5,6	3,58	27,1
ნორვეგია	20,0	12,0	2,24	11,2
შვეიცია	8,9	2,9	1,64	18,4
საფრანგეთი	5,8	3,4	4,0	69,0
იტალია	5,2	2,8	4,48	86,0
შვეიცარია	3,8	2,4	2,1	53,2
ესპანეთი	5,0	2,9	1,06	21,2
გერმანია	3,7	1,5	3,00	81,0

რევოლუციამდელ რუსეთში ჰიდროენერჯის გამოყენება საკმაოდ დაბალ დონეზე იდგა. კერძო საკუთრების უფლება მიწაზე წარმოადგენდა მთავერ მიზეზს ამ საქმეში, ვინაიდან მიწების დატბორვა ეწინააღმდეგებოდა მიწათმფლობელთა ინტერესებს. ცნობილია აგრეთვე, რომ მაშინდელი რუსეთის მმართველი წრეები ყოველნაირად ცდილობდნენ ჩაეხშოთ რუსული სამეცნიერო-ტექნიკური აზროვნების მიღწევები და წინააღმდეგობას უწევდნენ მათ განხორციელებას პრაქტიკაში. ამას არ შეიძლება გავლენა არ მოეხდინა ქვეყნის ჰიდროენერჯეტიკის დონეზე. 1913 წელს მთელი ელექტროსადგურების სიმძლავრე რუსეთში შეადგენდა $1,1 \cdot 10^6$ კვტ წლიური გამომუშავებით

1,9·10⁹ კილოვატ-საათამდე, ხოლო ჰიდროელსადგურების სიმძლავრე აღწევდა სულ 10 000 კვტ. ე. ი. მთელი სიმძლავრის 0,9⁰/₁₀₀-ს. მაშინდელი ყველაზე უფრო მსხვილი ჰიდროელსადგურის სიმძლავრე აღწევდა 1250 კვტ.

1920 წელს ე. ი. ლენინის ინიციატივით შეიქმნა რუსეთის ელექტროფიკაციის სახელმწიფო კომისია (ГОЭЛРО). ელექტროფიკაციის გეგმა შედგენილ იქნა 1921 წელს; მისი განხორციელება განზრახული იყო 10—15 წელიწადში. ამ გეგმით შენდებოდა 30 ელექტროსადგური 1,75·10⁶ კვტ საერთო სიმძლავრით და 8,8·10⁹ კვტ-სთ ენერჯის. წლიური გამომუშავებით. ამ რიცხვში შედიოდა არა მარტო ელექტროსადგურების მშენებლობის პროგრამას, ამ გეგმით გათვალისწინებული იყო ქვეყნის ყველა მრეწველობის ყოველმხრივი და რაციონალური განვითარება და წარმოადგენდა სახალხო მეურნეობის განვითარების ხუთწლიანი გეგმების წინამორბედს. პირველი დიდი საბჭოთა ჰიდროელსადგური მდინარე ვოლხოვზე ამუშავებულ იქნა 1926 წელს.

უკვე 10 წლის შემდეგ, გოელროს გეგმა გადაქარბებით იქნა შესრულებული, ვინაიდან 1931 წელს ენერჯის გამომუშავებამ მიიღწია 10,7·10⁹ კვტ-სთ, ე. ი. გეგმის 120⁰/₁₀₀-ს, ხოლო 15 წლის შემდეგ იგი გაიზარდა 32,7·10⁹ კილოვატ-საათამდე, ე. ი. გეგმის 370⁰/₁₀₀-მდე (ცხრილი 4).

ც ხ რ ი ლ ი 4

წლები	ენერჯის გამო- მუშავება 10 ⁹ კვტ-სთ	1913 წელთან შედარებით	წლები	ენერჯის გამო- მუშავება 10 ⁹ კვტ-სთ	1913 წელთან შედარებით
1913	1,945	1,00	1935	25,900	13,3
1921	0,520	0,27	1936	32,800	16,9
1928	5,007	2,57	1937	36,400	18,7
1930	8,368	4,3	1938	40,500	20,8
1931	10,700	5,5	1942	75,000	38,6
1934	20,520	10,6			

მეორე ხუთწლედის უკანასკნელ წელიწადში (1937 წ.) ელექტროენერჯის გამომუშავება შეადგენდა 36,4·10⁹ კვტ-სთ, ხოლო სადგურების სიმძლავრემ მიიღწია 8,1·10⁶ კვტ; აქედან ჰიდროელსადგურებზე მოდიოდა 5,7·10⁹ კვტ-სთ, ე. ი. 15,6⁰/₁₀₀, ხოლო მათი სიმძლავრე იყო თითქმის 1,4·10⁶, ე. ი. 17,3⁰/₁₀₀.

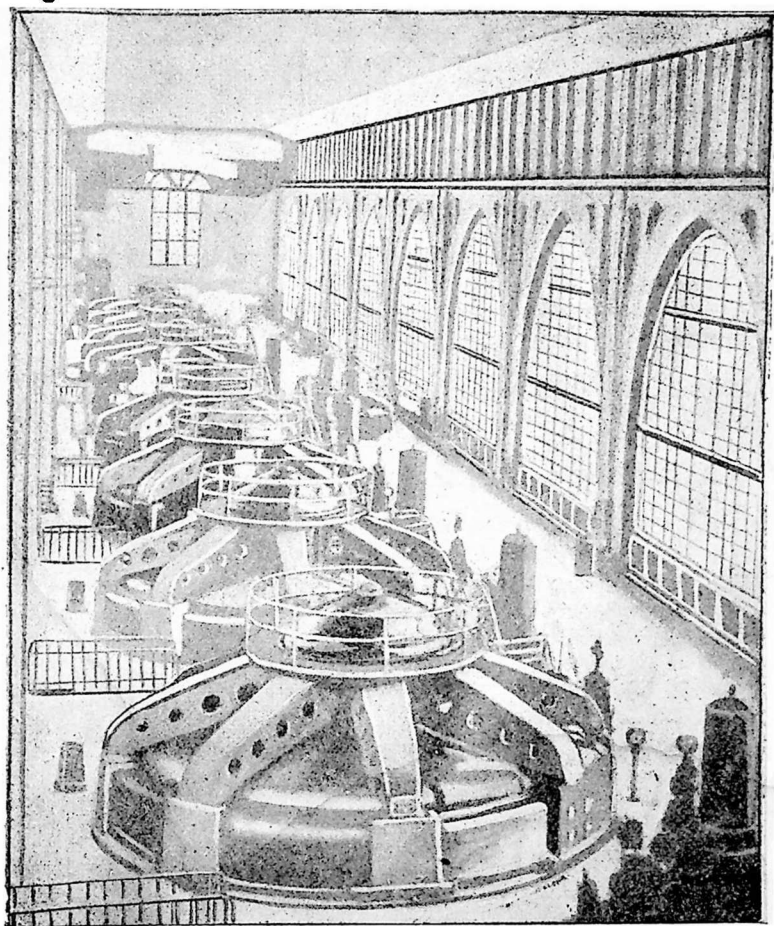
მესამე ხუთწლიანი გეგმა 1942 წლისათვის ითვალისწინებდა ელექტროსადგურების სიმძლავრეების გაზრდას 17,2·10⁶ კვტ-მდე, გამომუშავებას კი 75·10⁹ კილოვატ-საათამდე.

სახალხო მეურნეობის აღდგენისა და განვითარების 1946—1950 წლების ხუთწლიანი გეგმა ითვალისწინებდა ელექტროენერჯის გამომუშავებას ხუთწლედის ბოლოს 82·10⁹ კილოვატ-საათამდე.

ჰიდროელსადგურების სიმძლავრე ამ ხუთწლედში გაიზარდა 2 300 000 კვტ-ით. გარდა ამისა, აშენდა საშუალო და მცირე სიმძლავრის სადგურები 1 000 000 კვტ საერთო სიმძლავრით.

მეთხუთხუთწლიანი გეგმის პირველი რიგის ამოცანას შეადგენდა ექვსი ჰიდროელსადგურის აღდგენა, რომლებიც დაზიანდნენ სამამულო ომის დროს, მათ შორის დნებარის ჰიდროელსადგურის აღდგენა. ამავე გეგმით გათვალისწინებული იყო 30 ჰიდროელსადგურის დამთავრება, 8 ჰიდროელსადგურის დაწყება და დამთავრება და 5 მსხვილი ჰიდროელსადგურის დაწყება.

სსრ კავშირში ფართო მასშტაბით მიმდინარეობს ჰიდროელსადგურების მშენებლობა. სულ უფრო დიდდება ჰიდროენერჯის გამოყენება მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობაში.



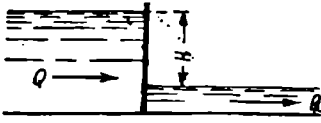
ნახ. 3. პირველი დიდი ჰიდროელსადგური საბჭოთა კავშირში. ვოლხოვის ჰესის სამანქანო დარბაზი, 1926 წ.

ჩვენს ქვეყანაში, რომელიც თავისუფალია კაპიტალიზმის უღლისაგან, არსებობს ყველა პირობა სახალხო მეურნეობის სწორი და ჰარმონიული განვითარებისათვის. ჰიდროენერჯია უნდა გახდეს სახალხო დოვლათის ერთ-ერთი საფუძველი და მნიშვნელოვანი იარაღი კომუნისმის მშენებლობისათვის ბრძოლაში.

წყლის ენერგიის გამოყენების სქემები

§ 1. დანადგარის დაწევა, ხარჯი და სიმძლავრე

მდინარის ნაკადის გამოყენებისათვის ჰიდროელსადგურის მოწყობილობის გარდა აუცილებლად საჭიროა შექმნათ წყლის თავმოყრილი ვარდნა, ე. ი. წყლის დონეთა სხვაობა სადგურის ზემოთ და ქვემოთ. ზედა დონიდან დაშვებული წყალი გაივლის წყლის ძრავას და შეასრულებს მექანიკურ მუშაობას. დანადგარის ზედა და ქვედა დონეთა სიმაღლის ნიშნულებს შორის სხვაობას და წნევა ეწოდება.



ნახ. 4. დაწევის თავმოყრის სქემა.

თუ დანადგარის დაწევა არის H მ, ხოლო ტურბინაში გამავალი წყლის ხარჯი — Q მ³/სეკ (ნახ. 4), მაშინ H სიმაღლიდან ვარდნილი წყლის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლი იქნება

$\gamma Q H$ კგმ/სეკ, სადა γ არის 1 მ³ წყლის წონა კილოგრამებში.

სიმძლავრის, ე. ი. დროის ერთეულში შესრულებული მუშაობის ტექნიკურ ერთეულებს წარმოადგენენ:

$$1 \text{ ცძ} = 75 \text{ კგმ/სეკ,}$$

$$1 \text{ კვტ} = 102 \text{ კგმ/სეკ.}$$

ელექტროენერგიის საზომ ერთეულებად მიღებულია:

$$1 \text{ ცძ-სთ} = 75 \times 3600 = 270 \text{ 000 კგმ,}$$

$$1 \text{ კვტ-სთ} = 102 \times 3600 = 367 \text{ 000 კგმ.}$$

ამრიგად, Q მ³/სეკ წყლის ხარჯის მიერ H სიმაღლიდან ვარდნიას განვითარებული სიმძლავრე იქნება:

$$P_0 = \frac{\gamma Q H}{75} \text{ ცძ} = \frac{\gamma Q H}{102} \text{ კვტ}$$

ანდა, რადგანაც $\gamma = 1 \text{ 000 კგ/მ}^3$,

$$P_0 = 13,33 Q H \text{ ცძ} = 9,81 Q H \text{ კვტ.}$$

წყლის V მ³ მოცულობა H სიმაღლიდან ვარდნიას ავითარებს ენერგიის რაოდენობას:

$$W = \frac{\gamma V H}{270 \text{ 000}} \text{ ცძ-სთ} = \frac{\gamma V H}{367 \text{ 000}} \text{ კვტ-სთ.}$$



$\gamma = 1000 \text{ კგ/მ}^3$ -სათვის

$$W = \frac{VH}{367} \text{ კვტ-სთ.}$$

თუ ვიგულისხმებთ, რომ V არის მდინარის წლიური ჩანადენის მოცულობა, მაშინ W , H დაწნევის დროს გამოსაყენებელი ჩანადენის წლიური ენერჯიის სიდიდეს გამოსახავს.

ანალოგიურად, თუ V არის H დაწნევის დროს გამოსაყენებელი წყლის მოცულობა, მაშინ W გამოსახავს წყალსაცავის პოტენციალური ენერჯიის მარაგს.

ტურბინის მიერ მის ლილვზე განვითარებულ სიმძლავრე იქნება ნაკლები, ტურბინაში ჰიდრავლიკური და მექანიკური დანაკარგების არსებობის გამო. თუ გავითვალისწინებთ ენერჯიის დანაკარგს მარჯი კმედების კოეფიციენტის (მქკ) საშუალებით, მაშინ ტურბინის ლილვზე მივიღებთ სიმძლავრეს:

$$P = 13,33QH\eta \text{ კვტ} = 9,81 QH\eta \text{ კვტ.}$$

მარჯი კმედების კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია ტურბინის კონსტრუქციასა და ზომებზე. თანამედროვე ჰიდრავლიკურ ძრავებში იგი შეადგენს 0,85-დან 0,95-მდე.

მცირე ტურბინებს აქვთ უფრო მცირე მქკ, ვიდრე დიდი ზომის ტურბინებს. პელტონის ტურბინის მქკ უფრო მცირეა, ვიდრე ფრენსისისა ტურბინის მაღალი მქკ აქვთ კაპლანის ტურბინებს.

ტურბინის მქკ იცვლება აგრეგატის დატვირთვის ცვალებადობასთან ერთად. ეს საკითხი დაწვრილებით არის გადმოცემული XI თავში, სადაც განხილულია ტურბინების მახასიათებლები.

თვალსაჩინოებისათვის მე-5 ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთი, უკვე დადგმული, ტურბინის მქკ-ბის მაქსიმალური მნიშვნელობები.

ცხრილი 5

დანადგარის დასახელება	დაწნევა მ	ტურბინის სიმძლავრე კვტ	მაქსიმალური მქკ	ტურბინის ტიპი
გოლზოვი	10,5	8 000	0,87	ფრენსისი
დნეპრი	36,0	62 000	0,93	ფრენსისი
ნივა II	36,0	15 000	0,92	ფრენსისი
ქვედა სვირი	11,5	24 000	0,93	კაპლანი
Vemork (ნორვეგია)	150,0	11 500	0,89	პელტონი
Trollhättan (შვედია)	30,0	10 000	0,958	ფრენსისი

მექანიკური ენერჯიის ელექტროენერჯიად გარდასაქმნელად ტურბინა უერთდება ელექტროგენერატორს, რომელიც ტურბინასთან ერთად ერთ ლილვზეა მოთავსებული (დიდი სიმძლავრეების დროს) ანდა მას უერთდება შუალედური კბილანური, ან ლევდური გადაცემით (მცირე სიმძლავრეების დროს).

გადაცემასა და გენერატორში წარმოიშვება სიმძლავრის დამატებითი დანაკარგები, რომლებიც გათვალისწინებულია მათი მქკ-ში; არ შეეხებით რა ტურბინისა და გენერატორის ერთმანეთზე მიერთების მოწყობილობის კერძო შემთხვევებს (რომლებიც გამოყენებულია ძალიან მცირე სიმძლავრის დანადგარებში), შემდგომში დავუშვებთ, რომ ტურბინა და გენერატორი უშუალოდ ერთ ლილვზე არიან მიერთებული.

გენერატორის მქკ დამოკიდებულია მის სიმძლავრეზე და იცვლება მცირე სიმძლავრეებისათვის 0,92—0,93-ის ფარგლებში, ხოლო დიდი სიმძლავრეებისათვის (5 000-დან 100 000 კვტ) კი 0,95-დან 0,97-მდე და მეტიც. მოცემული გენერატორისათვის მქკ იცვლება აგრეთვე დატვირთვის ცვალებადობის მიხედვითაც.

თანამედროვე დიდ დანადგარებში, 5 000 და მეტი კილოვატამდე სიმძლავრის აგრეგატებით, ტურბინის მქკ იცვლება 0,86-დან 0,93-მდე, გენერატორებისა კი 0,95-დან 0,97-მდე. ამ დროს მთელი აგრეგატის (ტურბინა და გენერატორი) მქკ შეადგენს $\eta = 0,82—0,90$.

შემდგომში, შემოვიღებთ რა აღნიშვნას $\alpha = 9,81\eta$, დანადგარის სიმძლავრის გამოსათვლელად გენერატორის მომჭერებზე განვიყენებთ ფორმულას:

$$P = \alpha Q H. \quad (2)$$

აგრეგატის ზემოთ მოყვანილი მქკ-ის შემთხვევაში α კოეფიციენტის მნიშვნელობა მოთავსებულ იქნება 8-დან 8,8-მდე სახეობებში.

V მ³ მოცულობის წყალი H დაწნევისა და აგრეგატის η კოეფიციენტის დროს იძლევა ენერჯის გამომუშავებას:

$$W = \frac{\eta V H}{367} \text{ კვტ-სთ.}$$

η -ს ტოლი მქკ-ის მქონე ჰიდროელსადგური 1 კვტ-სთ გამომუშავებაზე არჯავს წყლის მოცულობას:

$$Q = \frac{V}{W} = \frac{367}{\eta H}.$$

ჰიდროელსადგურებში გამოსაყენებელი დაწნევის სიდიდე იცვლება დიდ ფარგლებში 4,3 მ-დან (დანადგარი ვარიონი, შვეიცია) 1750 მ-მდე (დანადგარი დიკსანსი, შვეიცარია).

მსოფლიოში უდიდესი სიმძლავრე დღესდღეობით განხორციელებულია ბოულდერის კაშხალზე (მდ. კოლორადო, აშშ, სიმძლავრით $P = 1\,300\,000$ კვტ) ევროპაში უდიდეს სიმძლავრეს იძლევა ლენინის სახელობის დნეპრის ჰიდროელსადგური¹.

§ 2. დანადგარების ძირითადი სქემები

ჰიდროდანადგარის თავმოყრილი დაწნევის შექმნა შესაძლებელია კაშხალის საშუალებით მდინარეში წყლის დონის აწვევით ან არხისა და გვირაბის საშუალებით, რომლებიც ნაკლებად იქნებიან დაქანებული, ვიდრე მდინარე. უკანასკნელ შემთხვევაში, ასეთი არხის ან გვირაბის ბოლოში წყლის დონე იქნება უფრო მაღლა, ვიდრე მდინარეში, ე. ი. მიიღება თავისუფალი დაწნევა, რომელიც შეიძლება ჰიდროელსადგურმა გამოიყენოს.

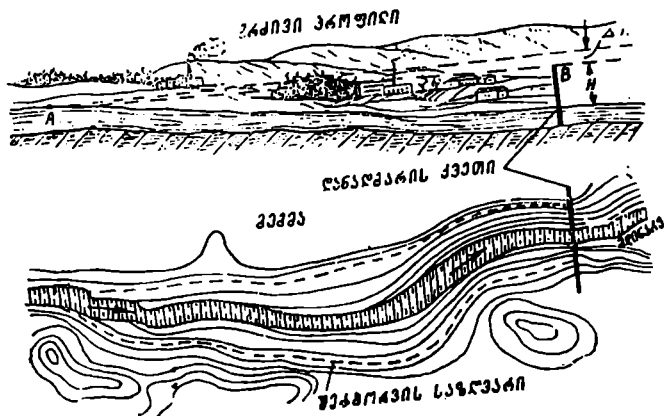
ამისდა მიხედვით შეიძლება იყოს ჰიდროდანადგარების სამი ძირითადი სქემა, სახელდობრ:

1) კაშხალში ან კაშხალთან მდებარე (ანუ უდერივაციო) სქემა, რომლის დროსაც მთელი დაწნევა იქმნება კაშხალით.

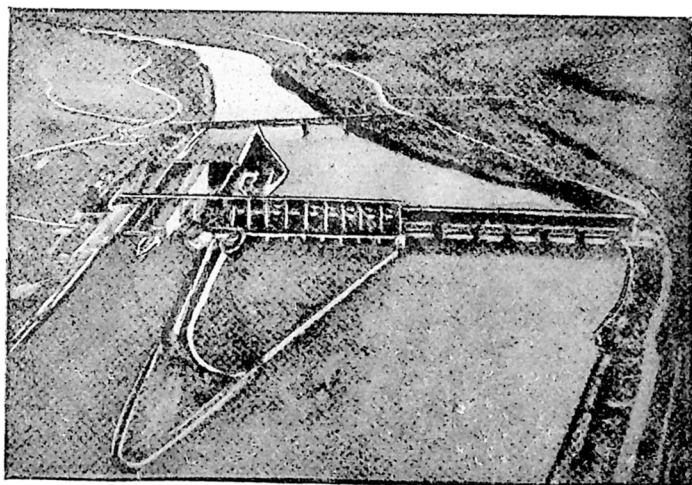
¹ 1956 წელს მწყობარში ჩადგა მსოფლიოში უდიდესი სიმძლავრის საბჭოთა ჰიდროელსადგური—კუიბიშევესკი, რომლის სიმძლავრე 2 მილიონ კილოვატს აღემატება.

2) დერევა (ციული სქემა, რომელშიაც დაწნევის კვების დერევაციული არხი ან გვირაბი.

3) შერეული. კაშხალიან-დერევაციული სქემა, თუ წყალი კაშხალით შეგუბებული ბიეფიდან გადადის ჰიდროელსადგურის დერევაციულ არხში ან გვირაბში.



ნახ. 5. ჰიდროდანადგარის კაშხალთან მდებარე სქემა.

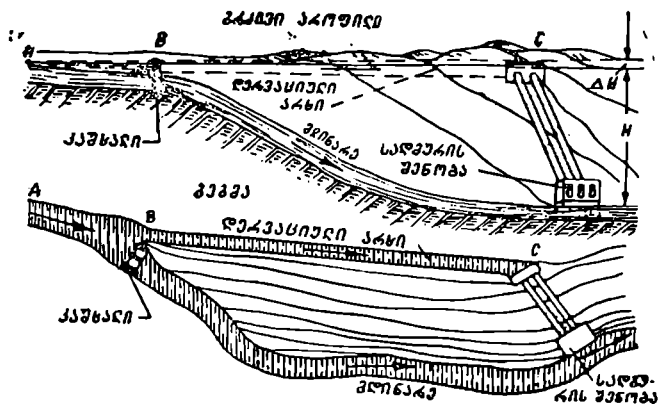


ნახ. 6. კაშხალთან მდებარე დანადგარის საერთო ხედი.

კაშხალთან მდებარე სქემა მოცემულია მე-5 ნახაზზე. მდინარის A და B პუნქტებს შორის მდინარის ვარდნის გამოსაყენებლად B პუნქტში მოეწყობა კაშხალი, რომელიც ასწევს წყლის დონეს ისე, რომ მის მიერ შექმნილი შეტ-

თუ შევადარებთ კაშხალთან მდებარე და დერივაციულ სქემებს ერთის ან მეორის უპირატესობისა და მათი გამოყენების პირობების გამორკვევის მიზნით, შეიძლება შივიდეთ შემდეგ დასკვნამდე.

დერივაციული არხი მით უფრო ხელსაყრელია, რაც მეტია მდინარის გრძივი ქანობი, ვინაიდან ამ დროს არხის ერთისა და იმავე სიგრძის შემთხვევაში დაწნევა გამოდის უფრო მეტი. მდინარის მცირე ქანობის დროს, როგორცაა მაგალითად, ბარის მდინარეები, არხის ვარდნა მცირედ განსხვავდება მდინარის ვარდნისაგან და დაწნევის დანაკარგი არხში გამოდის საკმაოდ დიდი, მთლიანად გამოყენებულ დაწნევასთან შედარებით. ისეთ მდინარეებს როგორცაა ვოლგა, აქვს თითქმის ისეთივე ქანობი როგორც ხელოვნურ არხებს. ამიტომ აქ არხით რაიზე საგრძნობი დაწნევის შექმნა შეუძ-

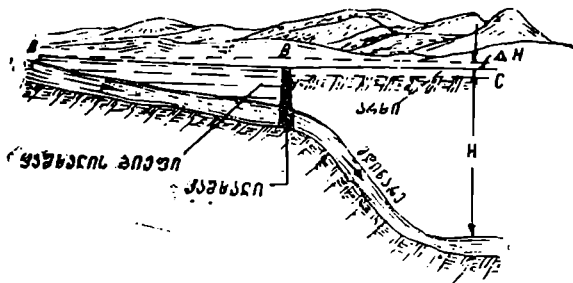


ნახ. 8. ლიარხიანი დერივაციული დანადგარის სქემა.

ლებელია. ამ შემთხვევაში ერთადერთი ხელსაყრელი, ზოგჯერ კი ერთადერთი შესაძლებელი მეთოდი დაწნევის თავმოყრისათვის არის საკმაო სიმაღლის კაშხალის მოწყობა. მაგალითად, დნებრის კაშხალთან მდებარე ტიპის დანადგარს აქვს 100 კმ-ზე მეტი სიგრძის შეტბორილი ბიეფი; მის მიერ გამოყენებული დაწნევა შეადგენს 36 მ. ამ დაწნევის მისაღებად დერივაციული სქემით საჭირო იქნებოდა თითქმის 100 კმ სიგრძის არხი; ამავე დროს არხის ზომები უნდა ყოფილიყო ისეთი დიდი, რომ მას გაეტარებია თითქმის დნებრის მთელი ხარჯი გაზაფხულის წყალშეტობის გარეშე. უმკველია, რომ კაშხალისა და მის მიერ გამოწვეული დატბორვის ღირებულება გაცილებით მცირეა, ვიდრე ასეთი არხის ღირებულება. ამ მაგალითიდან გამომდინარეობს აგრეთვე კიდევ ერთი დასკვნა, რომ დერივაციული სქემა შეიძლება არახელსაყრელი გახდეს წყლის დიდი ხარჯის დროს, ამიტომ კაშხალთან მდებარე და კაშხალში მდებარე დანადგარების სქემები გამოყენებულია მდინარეთა მცირე ქანობების შემთხვევაში. მცირე ქანობებისა და დიდი ხარჯების დროს ეს სქემები არის ერთადერთი ხელსაყრელი სქემები. პირიქით, დერივაციულ სქემას უპირატესობა აქვს დიდი ქანობებისა და შედარებით მცირე ხარჯების შემთხვევაში, ე. ი. უმთავრესად მთიან პირობებში.

დერივაციულ სქემას უპირატესობა ენიჭება იმ შემთხვევაშიც, როდესაც კაშხალის მოწყობა რთულდება ან შეუძლებელი ხდება დიდი დატბორვისა და გეოლოგიური პირობების გამო, რომლებიც მაღალი კაშხალის მოწყობის საშუალებას არ იძლევიან. გარდა ამისა, ძალიან მაღალი დაწნევები (რამოდენიმე ასეული მეტრი) შეიძლება მივიღოთ უშთაერესად დერივაციის საშუალებით.

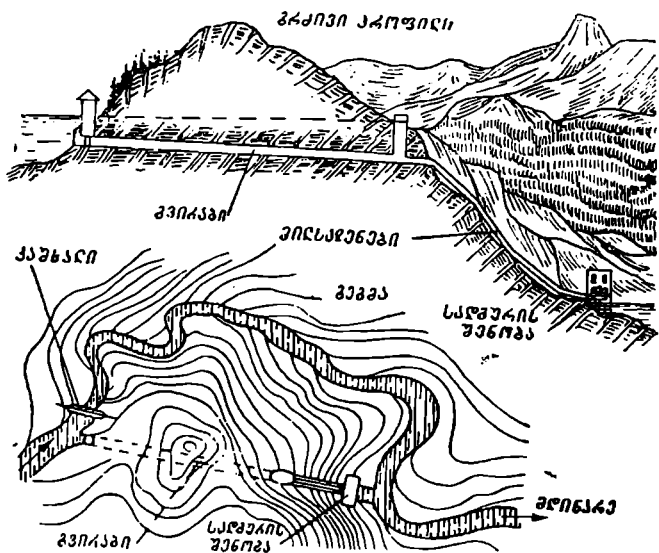
შეორე მხრივ, კაშხალთან მდებარე ან შერეული სქემა შეიძლება სასურველი აღმოჩნდეს, თუ კაშხალის აგებით იქმნება წყალსაცავი, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მდინარის ჩანადენის რეგულირებისათვის, ე. ი. გაზაფხულის წყალმეტობის ჩანადენის დასაგროვებლად და მის გამოსაყენებლად



ნახ. 9. შერეული, კაშხლიან-დერივაციული დანადგარი.

წელიწადის წყალმცირე პერიოდში. ჩანადენის რეგულირება იმდენად ხელსაყრელია, რომ მას შეუძლია გამოსიყიდოს ამ სქემის უფრო ძვირად ღირებული გადაწყვეტილებანი.

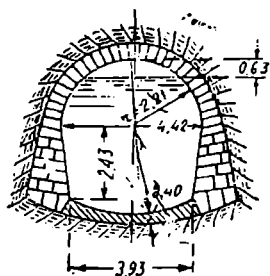
შესაბამე, ე. ი. შერეული, ანუ კაშხლიანი რეგულირებული სქემა (ნახ. 9), ზოგიერთ



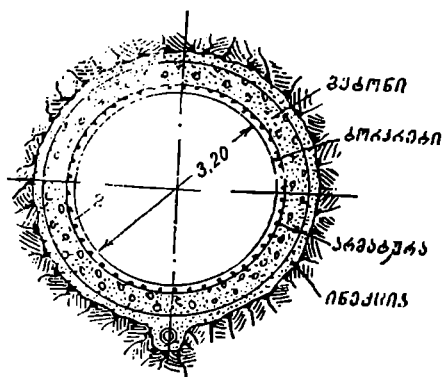
ნახ. 10. დერივაციული დანადგარის სქემა სადაწნეო გვირაბით.

კონკრეტულ პირობებში შეიძლება აგრეთვე ხელსაყრელი გამოდგეს. მას ახასიათებს უპირატესობა ორივე სქემასთან შედარებით. კაშხალის ბიფი AB

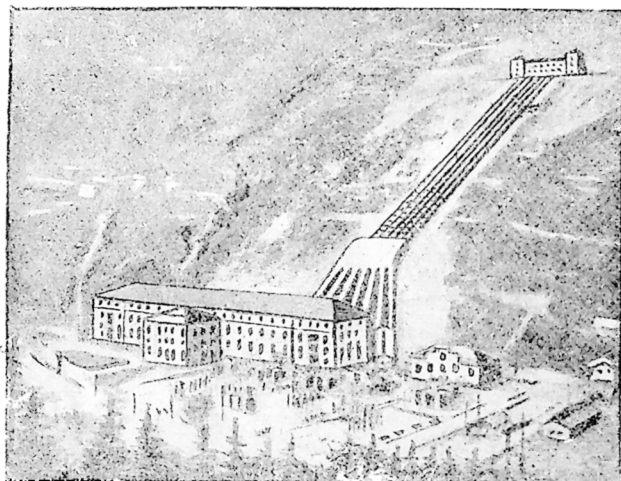
ამ სქემის დროს შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჩანადენის რეგულირებისათვის. დერივაციულ BC არხს შეუძლია მოგვეცეს ხელსაყრელი გადაწყვეტა დანადგარის დაწნევის გასადიდებლად ისე, რომ კაშხალის სიმაღლე არ გავადიდოთ. ეს სქემა შეიძლება საუკეთესო აღმოჩნდეს თუ მაგალითად, მდინარეს ზედა



ნახ. 11. უდაწნეო გვირაბის ტიპობრივი განივი კვეთი.



ნახ. 12. სადაწნეო გვირაბის ტიპობრივი განივი კვეთი.



ნახ. 13. მალაღაწევიანი ჰიდროელსადგური.

უბანზე აქვს მცირე ვარდნა, სადაც დერივაციის მოწყობა არ იქნება ხელსაყრელი, ხოლო ქვედა უბანზე — დიდი ვარდნა; მაშინ, ცხადია, ზედა უბნის ვარდნა უნდა გამოვიყენოთ კაშხალის შესატბორად, მით უმეტეს, რომ მდინარის მცირე ვარდნა ამ უბანზე უზრუნველყოფს შეტბორილი ბიეფის დიდ

სიგრძეს, ე. ი. გააღიღებს წყალსაცავის ტრეადობას. ქვედა უბნის დიდქანობიანი ვარდნა ხელსაყრელია გამოვიყენოთ დერივაციის საშუალებით.

ჩვეულებრივ, დერივაცია ხორციელდება არხით, მაგრამ იმ შემთხვევაში, როდესაც ადგილობრივი პირობების გამო არ ხერხდება არხის აგება, შეიძლება ავადგოთ სხვა, უფრო ძვირადღირებული ტიპის დერივაცია, მაგალითად: გვირაბი, დერივაციული მილსადენი და ა. შ.

გვირაბები, როგორც დერივაციული ნაგებობა გამოიყენება მაშინ, როდესაც საჭიროა წყლის გატარება ციკაბოფერლობიან მთის პირობებში, სადაც გაძნელებულია ან შეუძლებელია არხის მოწყობა (ნახ. 10).

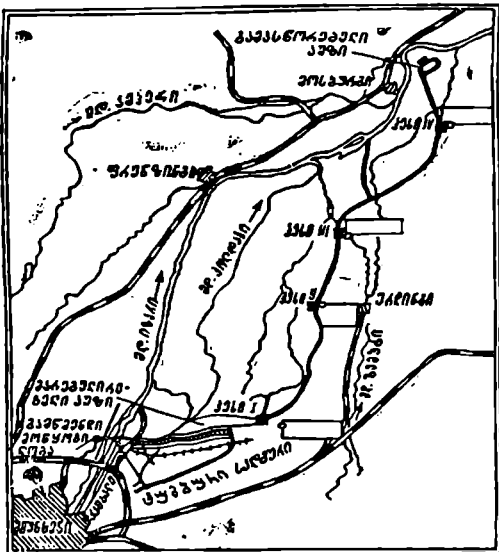
გვირაბი, რომელიც გაკრის მთის მასივს, შეიძლება გაყვანილ იქნეს უმოკლესი მიმართულებით კაშხალის შეტბორილ ბიეფსა და საგენერატორო შენობას შორის; ამაში მდგომარეობს გვირაბის ერთ-ერთი უპირატესობა ღია არხთან შედარებით, რომლის ტრასა უნდა გაჰყვეს ადგილმდებარეობის მოხვეულობებსა და ნაოქებს.

ჰიდროელსადგურების მშენებლობის პრაქტიკაში იხმარება გვირაბის ორი ტიპი—უღაწნეო გვირაბი, რომელიც მუშაობს კვეთის არასრული შეესებოთ და სწაღაწნეო გვირაბი, რომელიც მუშაობს კვეთის სრული შეესებოთ, მასში წყლის ატმოსფერულზე მეტი შინაგანი წნევით.

მე-11 და მე-12 ნახაზებზე მოცემულია უღაწნეო და საღაწნეო გვირაბების განივი კვეთები, ხოლო მე-13 ნახაზზე კი—მაღალი დაწნევის ჰიდროელსადგური გვირაბიანი დერივაციით.

ზოგიერთ შემთხვევაში დერივაციული გვირაბი იცვლება მილსადენებით.

ზოგიერთ შემთხვევაში დერივაციული გვირაბი იცვლება მილსადენებით.



ნახ. 14. ოთხი დანადგარის კასკადი მდ. შუა იხარზე კ. შიუნხენთან (ბავარია), რომლებიც მოთავსებული არიან საერთო დერივაციულ არხზე.

ლებიც კმნიან დაწნევას, მხოლოდ ეს ძირითადი ყოფებიან უფრო რთულ ურთიერთობაში.

§ 3. უფრო რთული სქემების მაგალითები

მე-2 პარაგრაფში მოცემული სქემები წარმოადგენენ უმარტივეს და ამავე დროს პრაქტიკაში ყველაზე გაერცლებულ სქემებს. მაგრამ, ერთი მხრივ, ადგილობრივი პირობები და, მეორე მხრივ, ენერჯის უფრო სრულყოფილად გამოყენება, გვაიძულებს მივმართოთ უფრო რთულ სქემებს. ამ შემთხვევებში კაშხალი და დერივაცია წარმოადგენენ დანადგარის ძირითად ელემენტებს, რომ ნაგებობანი ამ დროს იმ-

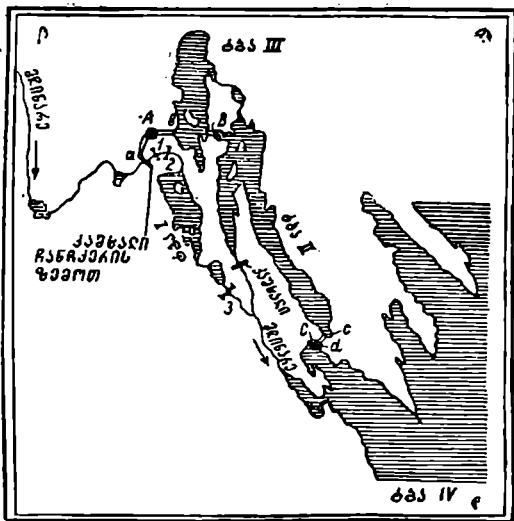
დანადგარების დერივაციული კასკადი—ასე უწოდებენ პიდროელსადგურების ჯგუფს, რომლებიც მოთავსებული არიან ერთ მდინარეზე ან ერთ საერთო დერივაციაზე და განლაგებული არიან თანმიმდევრობით ერთიმეორესთან. ამის მაგალითს წარმოადგენს დანადგარების კასკადი მდინარე შუა იზარზე ქალაქ მიუნხენის ქვემოთ (ბავარია, იხ. ნახ. 14).

მდინარის ჩანადენის სხვა აუზში გადავადების სქემა. ასეთი სქემა შეიძლება მიზანშეწონილი იყოს სხვადასხვა მიზეზების გამო.

მდინარის წყლის გადავადებით მეზობელი მდინარის აუზში ზოგჯერ შესაძლებელია უფრო მოხერხებულად და იაფად მივიღოთ თავმოყრილი დაწნევა იმ მოსაზრებით, რომ დერივაცია მოკლე გამოვიდეს.

მეორე მხრივ, თუ მოცემულ მდინარეზე არ შეიძლება განხორციელდეს ჩანადენის რეგულირება, ვინაიდან ტოპოგრაფიული ან გეოლოგიური პირობების გამო წყალსაცავის აშენების შესაძლებლობა არ არის, ხოლო ასეთი შესაძლებლობა არსებობს მეზობელი მდინარის აუზში, მაშინ ჩანადენის გადავადება ამ აუზში შეიძლება მიზანშეწონილი აღმოჩნდეს.

ამ მოსაზრებებზე აგებული დანადგარის სქემა, რომელიც მოცემულია მე-15 ნახაზზე. აქ მდინარეს აქვს მთელი რიგი ჩანჩქერები და წყალვარდნილები; ამათგან ყველაზე დიდი არის 1, 2 და 3. აქედან პირველი ორი მოთავსებულია I ტბის ზემოთ, რომლის გავლით მიდის მდინარე. მესამე წყალვარდნილი მდებარეობს I და II ტბებს შორის. I ტბა თავისი მცირე ზომების გამო,



ნახ. 15. მდინარის გამოყენების რთული სქემა.

შეიძლება გამოყენებული იყოს, როგორც წყალსაცავი ჩანადენის რეგულირებისათვის, მხოლოდ მცირე მასშტაბით, ვინაიდან წყალსაცავის მოცულობა ამ მიზნისათვის საკმარისი არ არის.

ამის გამო შეიძლება მიღებულ იქნეს შემდეგი სქემა.

I წყალვარდნილის ზემოთ (I წყალვარდნილი არის ყველაზე უფრო მაღლა დანარჩენ წყალვარდნილებთან შედარებით) იგება კახსალი, რომელიც სწევს მდინარის დონეს და წყალს აწვდის მხ არხს.

მხ არხი წყალს გადაიყვანს III ტბაში. ამ ვარდნილზე შეიძლება აშენდეს A სადგური.

III ტბაში ხდება ჩანადენის ნაწილობრივი რეგულირება. შემდეგ არხით წყალი გადადის II ტბაში, რომელიც გამოყენებულია როგორც მთავარი წყალსაცავი სისტემის საბოლოო რეგულირებისათვის. III და II ტბებს შორის

რის მიიღება ვარდნა, რომელიც გამოიყენება B ჰიდროელსადგურის მიერ. II ტბიდან წყალი cd არხით გადაეცემა IV ტბის ნაპირს, სადაც მდებარეობს სისტემის მთავარი C ჰიდროელსადგური.

§ 4. წყალთა მეურნეობის კომპლექსური პრობლემატიკა

სოციალისტური მეურნეობის პირობებში ქვეყნის წყლის რესურსების რაციონალურ გამოყენებას დიდი სახალხო-სამეურნეო მნიშვნელობა აქვს და სახალხო მეურნეობის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას წარმოადგენს. ამასთან ერთად არ უნდა დავივიწყოთ, რომ წყლის ენერჯის გამოყენება უმეტეს შემთხვევაში არ არის ერთადერთი საკითხი წყალთა მეურნეობაში და იგი წარმოადგენს წყალთა მეურნეობის კომპლექსის მხოლოდ ერთ ნაწილს. წყლის რესურსების გამოყენება შეიძლება დავყოთ შემდეგ სახეებად:

1) წყლის ენერჯის გამოყენება.

2) მიწების მელიორაცია, რომელიც გულისხმობს მორწყვას ან მიწების ამოშრობას, ანდა მიწების დაცვას წყლის მანვე მოქმედებისაგან (ბრძოლა წყალდიდობასთან, ნიადაგის დაუტურებასთან, ნიადაგის დამარილიანებასთან და ა. შ.).

3) წყლის ღია სივრცეებში გამოყენება (მდინარეები, ტბები, ზღვები) წყლის ტრანსპორტისათვის (გემებით მიმოსვლა, დატურება).

4) წყლის გამოყენება სამეურნეო-სანიტარული მიზნებისათვის, ე. ი. წყალმომარაგება, კანალიზაცია, სამკურნალო საშუალებები (მინერალური წყლები) და ა. შ.

5) წყლის გამოყენება წყლის ფლორისა და ფაუნის განვითარებისა და სასარგებლო წიაღისეულის მისაღებად (თევზის მეურნეობა, მარილების ამოღება, წყლის მცენარეულობა და ა. შ.).

ჰიდროტექნიკური ნაგებობები, რომლებიც აგებულია წყლის ენერჯის გამოყენების მიზნით, ხშირად გამოიყენება სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგებისთვისაც. ასე, მაგალითად, კაშხალი, რომელიც ქმნის დაწნევას ჰიდროელსადგურისათვის, ამავე დროს ქმნის ღრმა ბიფეს ნაოსნობისაფის.

უნდა შევნიშნოთ, რომ სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგების ინტერესები შეიძლება ერთმანეთის საწინააღმდეგო იყოს.

ჰიდროელსადგური დღე-ღამის განმავლობაში იწვევს წყლის ხარჯის საგრძნობ ცვალებადობას იმის გამო, რომ დღე-ღამის განმავლობაში დატვირთვა იცვლება. ამ დროს დონეების ცვალებადობა მდინარეში დანადგარის ქვემოთ შეიძლება აღმოჩნდეს მოუხერხებელი და ზოგჯერ საშიშიც კი ნაოსნობისათვის და ა. შ.

სახალხო მეურნეობის ინტერესების ყველაზე უფრო კარგად დაკმაყოფილებისათვის არ შეიძლება შემოვიფარგლოთ წყალთა მეურნეობის მხოლოდ ერთი დარგის ინტერესების დაცვით. საჭიროა მოიძებნოს ისეთი კომპლექსური გადაწყვეტა, რომელიც წყალთა მეურნეობის ყველა დარგს დააკმაყოფილებს შესაძლო ფარგლებში, და მოგვეცემს საერთო სახალხო მეურნეობის უდიდეს ფიქტს. ეს საერთო დებულება ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში ხორციელდება წყალთა მეურნეობის ინდივიდუალური უპირატესობისა და მოკლებული რაიონის წყალთა მეურნეობის ამა თუ იმ დარგის უპირატესობის მიხედვით. მაგალითად, საბჭოთა კავშირის მშრალ და უწყლო რაიონებში, მაგალითად შუა აზიაში, ირიგაციის ამოცანებს ისეთი დიდი სახელმწიფო მნიშვნე-

ნელობა აქვს, რომ მისი მოთხოვნების დაკმაყოფილება პირველ ადგილზე უნდა იქნეს დაყენებული, მაშინ როდესაც წყლის ტრანსპორტს, ამ შემთხვევაში, შეუძლია შეასრულოს შედარებით დაქვემდებარებული როლი; წყლის ისეთ დიდ არტერიებში, როგორცაა მდინარეები: ვოლგა, კამა ან ოკა, პირიქით, ნაოსნობის საკითხები ძალიან დიდ როლს ასრულებს და ამიტომ მათი ინტერესები მთელი სერიოზულობით უნდა იყოს გათვალისწინებული. ვოლგას ქვემო ნაწილში დიდი მნიშვნელობა აქვს თევზის მეურნეობას, ამიტომ მასზე ყოველი ჰიდროტექნიკური ღონისძიების ჩატარების დროს ეს მდგომარეობა მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული.

წყალთა მეურნეობის პრობლემების კომპლექსური გადაწყვეტა მოქმედებს წყალდენის ენერჯის გამოყენების სქემებზე. ასე, მაგალითად, „დიდი ვოლგის“ სქემაში კაშხალების ურთიერთგანლაგება, მათ მიერ შექმნილი დაწნევები და ა. შ. ემორჩილებიან წყლის გზის საჭირო სიღრმეების შექმნის მოთხოვნისებებს, სანაპირო მიწებისა და დასახლებული პუნქტების დატბორვის შესაძლო პირობებს, მიწების მელიორაციას და ა. შ.

ამ მიზეზების გამო წყალდენის გამოყენების საერთო სქემების შედგენის დროს, ნაგებობების სწორი განაწილება, ნაკადის რეგულირების სქემა და მისი სხვადასხვა მიზნებისათვის გამოყენება წარმოადგენს დაპროექტების სერიოზულ ამოცანებს.

მდინარეების ჩანადენის დახასიათება

§ 5. წყლის ხარჯი

წყლის განმავლობაში ყველა ტიპის მდინარის წყლის ხარჯი განუწყვეტლივ იცვლება. უმეტეს შემთხვევებში ეს ცვლილება ხდება დიდ საზღვრებში, მაგრამ ყოველ წელს აქვს ხარჯების ცვლილების თავისი საზღვრები და ხასიათი.

წყლის ხარჯების რხევა (ცვალებადობა) გამოისახება პი დ რ ო გ რ ა ფ ი ს სახით, ე. ი. ხარჯის წლიური ცვალებადობის გრაფიკით, რომელზედაც გამოსახულია საშუალო დღელამური ხარჯები ყოველი დღისათვის. ძირითადად მდინარის წყლის ხარჯის ცვალებადობაზე მოქმედებს სამი სახის ფაქტორი, სახელდობრ:

1) მდინარის აუზის ტოპოგრაფიული ხასიათი, ე. ი. მისი სიდიდე, მონახულობის ფორმა და წყალშემკრები ფართობის რელიეფი.

2) აუზის კლიმატური პირობები, რომელთაგან ყველაზე უფრო საგულისხმოა აუზში ჩამოდენილი ნალექების სახე და მისი რაოდენობა, მათი განაწილება წლის დროთა მიხედვით, წლიური და დღელამური ტემპერატურის ცვლილება და სხვა მეტეოროლოგიური ფაქტორები, რომლებიც აორთქლებათე მოქმედებენ (ფარდობითი ტენიანობა, ქარის სიჩქარე და ა. შ.).

3) აუზის გეოლოგიური აგებულება და მისი მცენარეული საფარი.

ზემოთ აღნიშნული ფაქტორები, რომლებიც სხვადასხვა კომბინაციით გვევლინებიან ბუნებაში, ქმნიან წყალდენის რეჟიმის ინდივიდუალურ თავისებურებას. საბჭოთა კავშირის ფარგლებში შეიძლება შევნიშნოთ რამდენიმე ტიპის მდინარე, რომლებიც ჩანადენის ჰიდროლოგიური რეჟიმის მსგავსებით ხასიათდებიან. ჩვენ ქვემოთ მხოლოდ ზოგადად განვიხილავთ მდინარის ნაკადებს, ვინაიდან მათი დეტალური შესწავლა მოყვანილია ჰიდროლოგიის სპეციალურ სახელმძღვანელოებში.

§ 6. პირველი ტიპი—ბარის მდინარეები

მდინარეების ამ კატეგორიას მიეკუთვნება საბჭოთა კავშირის მდინარეთა უმრავლესობა, რომლებიც ბარის პირობებში მიედინებიან. თავისი კვების ძირითად ნაწილს ისინი ლეხულობენ გაზაფხულზე თოვლის დნობის შედეგად მიღებული წყლის ხარჯზე, რაც იწვევს გაზაფხულის წყალდენის საგრძნობ გადიდებას.

ასეთი მდინარეების ჩანადენის წლიური ციკლი შეიძლება გავყოთ ორ ძირითად პერიოდად—გ ა ზ ა ფ ხ უ ლ ი ს წ ყ ა ლ მ ე ტ ო ბ ა დ წყლის დიდი ხარ-

ჯებით და საშუალო დენისეულ პერიოდად, რომლის განმავლობაშიც წყლის ხარჯები კლებულობს (ნახ. 16).

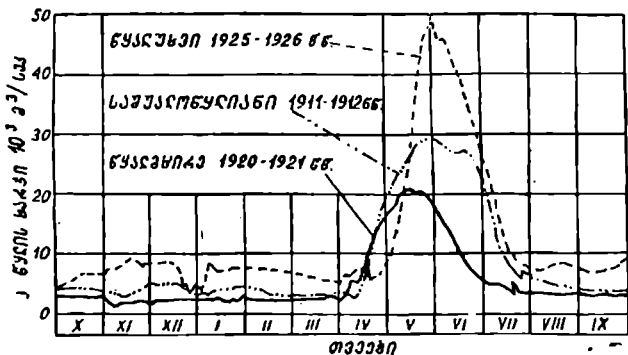
წყალმეტობის პერიოდში მდინარეში შეიძლება გაიაროს მდინარის მთელი წლიური ჩანადენის საგრძნობმა ნაწილმა. მაგალითად, მდ. ვოლგაში გაზაფხულის წყალმეტობის დროს, რომელიც 2—2,5 თვე გრძელდება, საშუალოდ. მთელი წლიური ჩანადენის 60% გადის, ხოლო დანარჩენ 9,5—10 თვეში კი ამ მოცულობის 40%.

მდინარის ჰიდროგრაფი შეიძლება გამოვსახოთ წყლის ხარჯების უზრუნველყოფის მრუდის სახით (ნახ. 17).

წვიმის სახის ნალექებს ზაფხულში და შემოდგომაზე შეუძლიათ გამოიწვიონ ხარჯების ცოტად თუ ბევრად საგრძნობი ვადიდება. ნალექების დიდი რაოდენობის დროს შეიძლება გაჩნდეს მეორე, ე. წ. შემოდგომის წყალმეტობა.

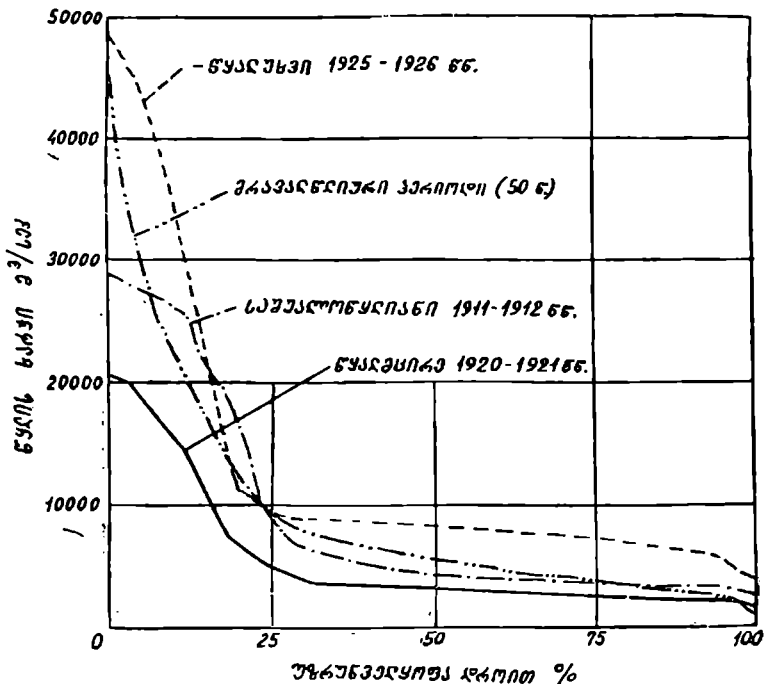
წლიური ჰიდროგრაფის მსვლელობაზე დიდ გავლენას ახდენს აგრეთვე მდინარის აუზის ფართობი და წყალშელწევადი შრეების სისქე გრუნტში, რომელთაც უნარი აქვთ შეიწოვონ წყალი და შეანელონ ჩანადენი.

აუზის მცირე ფართობისა და ნაკლებად შელწევადი გრუნტის დროს (ან წყალშელწევადი შრეების მცირე სიმძლავრის დროს), გაზაფხულის მდნარი წყალი სწრაფად მიედინება მდინარეში და ქმნის წყლის საკმაოდ დიდ ხარჯს, მაგრამ შედარებით ხანმოკლე წყალმეტობებს, რომლებიც შემდეგ იცვლება წყლის საშუალო დონისეული პერიოდით. წყალშელწევადი გრუნტის შრეების

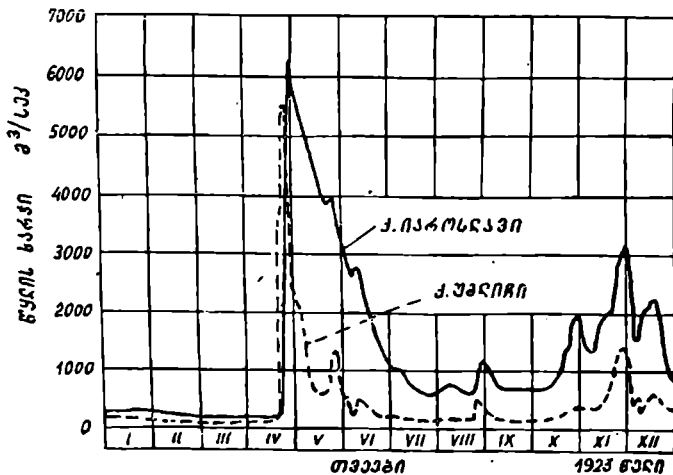


ნახ. 16. მდ. ვოლგას ჰიდროგრაფი მახასიათებელ წლებში ქ. სტალინგრადთან.

მცირე სისქე არ იძლევა საშუალებას შეიქმნას გრუნტის წყლების დიდი მარაგი, რომელთა ჩანადენითაც იკვებება მდინარე საშუალო დონისეულ პერიოდში; ამის გამო, საშუალო დონისეული წყლის ხარჯები მდინარეში საგრძნობლად მცირდება. მეორე მხრივ, ზაფხულისა და შემოდგომის ნალექების შედეგად მიღებული ნიაღვრისა და წვიმის წყლები სწრაფად აღწევენ მდინარის კალაპოტამდე, ამიტომ ჰიდროგრაფზე ამ შემთხვევაში მეტ-ნაკლებად მკვეთრად გამოვსახული, ნიაღვრით გამოწვეული, ხანმოკლე წყალმეტობა გაჩნდება. ეს უკანასკნელი განსაკუთრებით დამახასიათებელია, მაგალითად, უკრაინის მცირე მდინარეებისათვის, სადაც ზაფხულის ნიაღვრებს დიდი ინტენსიურობა აქვს, რის გამოც ნიაღვრით გამოწვეული წყალმეტობის მაქსიმალურმა ხარ-



ნახ 17. ხარჯების უზრუნველყოფის მრუდები მდ. ვოლგასათვის ქ. სტალინგრადთან, მახსიათებელი წლებისა და 50-წლიანი პერიოდისათვის.



ნახ. 18. მდ. ვოლგას ჰიდროგრაფი ქ. იაროსლავლთან და ქ. ჯარიკთან, 1923 წ.

ჯებმა შეიძლება შიდაწიოს გაზაფხულის წყალმეტობის სიდიდეს და შეიძლება გადააჭარბოს კიდეც მას.

პირიქით, მდინარის აუზის მნიშვნელოვანი სიდიდე, გრუნტის საკმაო სიმძლავრის შეღწევადი შრეების არსებობის დროს, ერთი მხრივ, ადიდებს დროს, რომელიც საჭიროა წყლის დინებისათვის აუზის შორეული ადგილებიდან მდინარემდე, მეორე მხრივ, იჭერს წყლის დიდ რაოდენობას, რომელიც შეიწოვება აუზის გრუნტის მიერ. ამის შედეგად მცირდება წყალმეტობის ჩანადენის მოცულობა და იზრდება მისი ხანგრძლიობა. ამ დროს მიიღება ხანგრძლივი წყალმეტობა დროის მიხედვით, ხოლო მისი მაქსიმალური სიდიდე მცირდება. მე-18 ნახაზზე მოცემულია მდ. ვოლგას ორი წყალმეტობის ჰიდროგრაფი ქალაქებთან—უგლიჩთან და იაროსლავლთან. მდინარე ვოლგას აუზის ფართობი ქ. უგლიჩთან შეადგენს 60043 კმ² და ქ. იაროსლავლთან 134000 კმ². ქ. უგლიჩთან ჰიდროგრაფის წყალმეტობის გრაფიკის მოხაზულობა უფრო წვეტიანია მცირე ხანგრძლიობის გამო, ვიდრე ქ. იაროსლავლთან. იაროსლავლის ზემოთ ქ. რიბინსკთან ვოლგა ღებულობს ორ დიდ შენაკადს—მდინარე მოლოვას და შექსნას. ამ შენაკადების აუზები და ვოლგას აუზი მოლოვასა და შექსნას შეერთებამდე, მოთავსებული არიან სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში, რის გამოც თოვლის დნობის დრო და გაზაფხულის წყალმეტობანი ერთმანეთს არ ემთხვევიან. პირველად გადის ზედა ვოლგას წყალმეტობა, შემდეგ მდ. მოლოვასა, ხოლო შემდეგ მდ. შექსნას წყალმეტობანი, რომელთა აუზები მოთავსებულია უფრო ჩრდილოეთის რაიონებში. ამიტომ სამივე წყალმეტობის მაქსიმალური ხარჯები არ ემთხვევიან ერთმანეთს, რის გამოც წყალმეტობა ქ. იაროსლავლთან ხანგრძლივდება, ხოლო მისი მაქსიმუმი შემცირებული გამოდის. ზოგიერთ წლებში კი შეიძლება ჰიდროგრაფზე შევამჩნიოთ სამი მაქსიმუმი: ზედა ვოლგას, მოლოვასა და შექსნას თანმიმდევრული პიკების სახით.

ამრიგად, აუზის ცალკეული ნაწილების სხვადასხვა კლიმატური პირობები აუზის დიდი ფართობის დროს ამცირებს წყალმეტობის ხარჯებს და ადიდებს მათ ხანგრძლიობას.

გაზაფხულის ჩანადენის დიდი რაოდენობით დაგროვება აუზის წყალშელწევადი გრუნტის სისქეში ადიდებს მდინარის ხარჯს საშუალო დონისეულ პერიოდში. ამის გამო, აუზის დიდი ფართობი და მისი გრუნტის კარგი წყალშელწევადობა ასწორებს მდინარის წლიური ჩანადენის გრაფიკს.

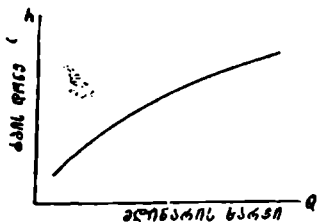
§ 7. მდინარე ტიპი—მდინარეები, რომლებიც ტბებიდან გამოდიან

ამ ტიპს მიეკუთვნებიან მდინარეები, რომლებიც ტბებიდან გამოდიან. ტბის მარჯვლედობელი თვისებები ასწორებს მდინარის წყალმეტობის გრაფიკს და ადიდებს საშუალო დონისეულ ხარჯებს. ტბის ტიპს მიეკუთვნება, მაგალითად, მდინარეები: სვირი, ნევა, ანგარა და აგრეთვე, კარელიისა და კოლის ნახევარკუნძულის ბევრი მდინარე, მაგალითად: ნივა, კოვდა, ვუოქსა, კემი, ვიგი და სხვ. მათი ჩანადენის რეჟიმი ძალიან ხელსაყრელია წყლის ენერჯიის გამოსაყენებლად.

აუზის გაზაფხულის ბუნებრივი ჩანადენი ჩადის რა ტბაში, აქ იგი გროვდება. ტბიდან გამომდინარე ხარჯი დამოკიდებულია მხოლოდ ტბის

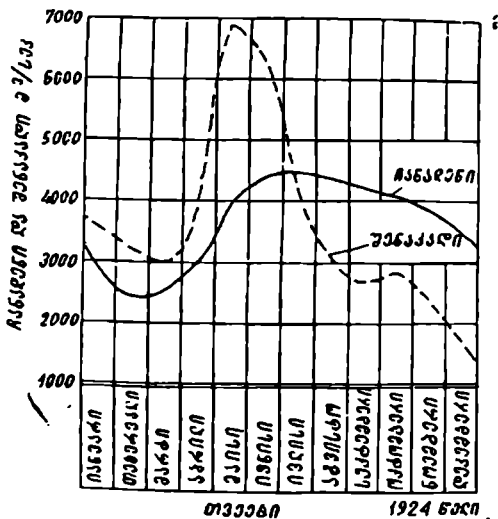
ლონზე. დაკვირვებების საფუძველზე შეიძლება ავაგოთ ტბის h ღონისა და მდინარის Q ხარჯის დამოკიდებულების მრუდი (ნახ. 19).

დაუწყვირდეთ ტბაში წყლის მოღინებას და მისგან გამომდინარე მდინარის ხარჯებს (ნახ. 20). ზამთრის ბოლოს, ვინაიდან ტბა მცირე რაოდენობით იკვებება, წყლის მარაგი ტბაში მთლიანად დახარჯულია და მისი ღონე, რომელიც ზამთრის განმავლობაში კლებულობს, გაზაფხულის წყალმეტობის დასაწყისში მიაღწევს თავის მინიმალურ მდგომარეობას. თუკი ტბის ფართობი საკმაოდ დიდია, გაზაფხულის წყალმეტობის მოღინება თითქმის მთლიანად რჩება ტბაში, რომლის ღონე თანდათანობით იწყებს აწევას. ღონის აწევასთან ერთად დაიწყებს მატებას მისგან გამომდინარე მდინარის ხარჯებიც. ამ დროს ტბაში მოღინების ხარჯები სწრაფად იზრდება



ნახ. 19. ტბის მდინარის ხარჯის დამოკიდებულება ტბის ღონისაგან.

(ნახ. 20, წყვეტილი მრუდი), ხოლო მდინარის ჩანადენისა—თანდათანობით. მოღინების მაქსიმუმის გავლის შემდეგ იწყება მისი ხარჯების შემცირება, მაგრამ ტბაში დაგროვება გრძელდება და ტბის ღონე მაინც მატულობს, ვინაიდან ტბიდან გამომდინარე ხარჯები ნაკლებია, ვიდრე მოღინების ხარჯები, ამიტომ მდინარის ხარჯიც განაგრძობს მატებას (ნახ. 20, მთლიანი მრუდი). იმ მომენტში, როდესაც კლებადი მოღინება გაუტოლდება მზარდ ხარჯს, ღონის ზრდა შეწყდება. შემდეგში, ვინაიდან მოღინება განაგრძობს შემცირებას იგი შეიძლება გახდეს ტბიდან გამომდინარე ხარჯზე ნაკლები და ტბის ღონე დაიწყებს დაკლებას მთელ საშუალო ღონისეულ პერიოდში. ამრიგად, ტბა ათანაბრებს აუზის ბუნებრივ ჩანადენს, ე. ი. არ გულისხმობს მას. ჩანადენის მაქსიმალური ხარჯები, რომლებსაც ტბა ათანაბრებს უფრო ნაკლები იქნება, ვიდრე მოღინების მაქსიმალური ხარჯები, ხოლო პირველი უფრო გვიან დაიწყება (ივნისი, ივლისი). საშუალო ღონისეული ხარჯები უფრო მეტი იქნება, ვიდრე ბუნებრივი მოღინებისა. ტბის გამათანაბრებელი მოქმედება იქნება მით უფრო მეტი,



ნახ. 20. ტბაში მოღინების ჰიდროგრაფი და ტბის მიერ დარეგულირებული მდინარის ჰიდროგრაფი საშუალო თვიური მონაცემების მიხედვით, 1924 წლისათვის.

ღონისეული ხარჯები უფრო მეტი იქნება, ვიდრე ბუნებრივი მოღინებისა. ტბის გამათანაბრებელი მოქმედება იქნება მით უფრო მეტი,

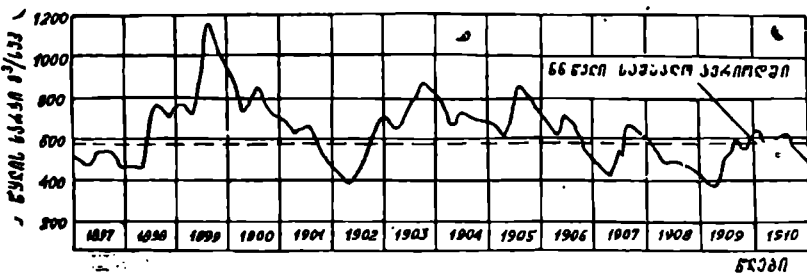
რაც მეტი იქნება ტბის ფართობი (წყალშემკრები აუზის ფართობთან შედარებით), ე. ი. რაც მეტია აუზის ე. წ. „ტბიანობის კოეფიციენტი“¹.

ტბის დიდი ზომების შემთხვევაში (დიდი ტბიანობის კოეფიციენტით), ჩანადენის გათანაბრება შეიძლება მოხდეს მრავალწლიურ პერიოდში. მთელი რიგი წყალუხვი წლების შედეგად შეიძლება დაგროვდეს წყალი და ტბის დონემ საგრძნობლად აიწიოს. შექმნილი მარაგი შემდეგში თანდათანობით იხარჯება წყალმცირე წლებში და ამრიგად ღიბდება მდინარის ხარჯი.

ისეთი დიდი ტბების არსებობის პერიოდში, რთგორც არის ონეგის ანდა ლადოგის ტბები, შემჩნეულია დონეების ცვალებადობის არა მარტო წლიური ციკლი, არამედ მრავალწლიურიც, რომლის ამპლიტუდა ვაცილებით მეტია, ვიდრე წლიურისა. ვინაიდან ტბიდან გამომდინარე წყლის ხარჯის სიდიდე დამოკიდებულია მხოლოდ ტბის დონის სიდიდეზე, ამიტომ ასეთ მდინარეებსაც ახასიათებს ცვალებადობის მრავალწლიური პერიოდი.

21-ე ნახაზზე მოცემულია წყლის საშუალო თვიური ხარჯები მდ. ვუოქსის სათავეში საიმის ტბასთან. გრაფიკი გვიჩვენებს, რომ დარეგულირების ხარისხი აქ ძალიან დიდია. ხარჯების წლიური ცვალებადობა ხდება შედარებით ვიწრო ფარგლებში; ვაცილებით მნიშვნელოვანია მრავალწლიური ცვალებადობა; მრავალწლიური მინიმუმი 1847—1930 წლებში შეადგენს 350 მ³/სეკ, მაქსიმუმი კი—1250 მ³/სეკ.

შედარებისათვის მე-6 ცხრილში მოყვანილია მრავალწლიური დაკვირვებების შედეგად პირველი და მეორე ტბის ზოგიერთი მდინარის მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯები და მათი ფარდობანი, რომლებიც ახასიათებენ ტბების მარეგულირებელ გავლენას.



ნახ. 21. ტბის მდინარის პიდრეგაფი.

ცხრილი 6

მდინარე	წყლის ხარჯი მ ³ /სეკ	ხარჯების ფარდობა
I ტბი		
დნეპრი კ. ზაპოროჟიესთან .	24500	178
ვოლგა კ. იაროსლავლთან .	11600	94
II ტბი		
ვუოქსა .	1250	3,57
ნევა .	4500	9,55

¹ მდინარის წყალშემკრებ აუზში შეიძლება იყოს ტბები; ყოველი მათგანი მარეგულირებელ გავლენას მოახდენს მდინარის ჩანადენზე, ამიტომ ჩანადენის თანაბრობა გაიზრდება აუზის ტბიანობის კოეფიციენტის გადიდებით.

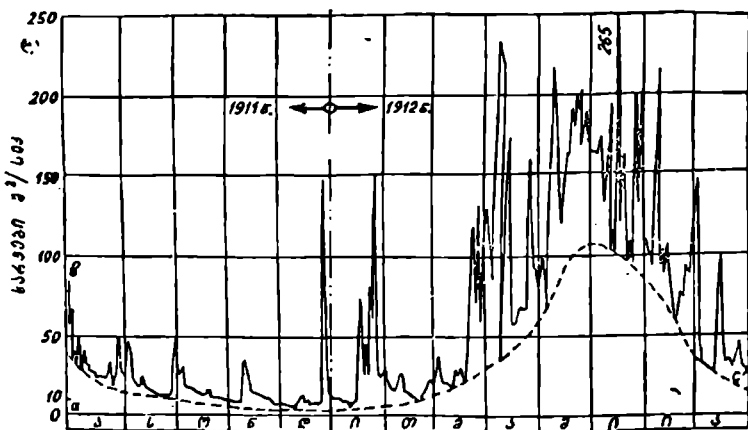
ტბის მსგავს გავლენას ახდენს აუზში არსებული ქაობიცი, რომელსაც აგრეთვე შეუძლია მდინარის ჩანადენი გაათანაბროს.

ტბის ტიპის მდინარის ჩანადენის ზემოთ აღნიშნული რეჟიმი არსებობს უშუალოდ სათავესთან ანდა სათავიდან მცირე მანძილზე, სადაც მდინარე დიდად არ განიცდის შენაკადების გავლენას.

ამ პირობას აკმაყოფილებს, მაგალითად, მდინარეები: ნევა, სვირი სათავეში ონეგის ტბასთან, ანგარა ქ. ირკუტსკთან, ნივა, კოვდა, და ა. შ. ამ მდინარეების ჰიდროგრაფი არის ტბის ტიპის მდინარეების დამახასიათებელი. მაგრამ, უკვე მდ. სვირი ქვედა სვირაქის ქვემოთ ლებულოს საგარძნობ დამატებით კვებას შენაკადებიდან. ამ შენაკადების ჰიდროგრაფი კი მიეკუთვნება I ტიპს. უერთდება რა ასეთი შენაკადები მდ. სვირს, შედეგად ვლენულობთ შერეული ტიპის ჰიდროგრაფს, რომელზედაც ნათლად არის გამოყოფილი გაზაფხულის პიკი, რომელიც შექმნილია შენაკადების გაზაფხულის წყალმეტობით და აგრეთვე უფრო მცირე პიკები (ზაფხულისა და შემოდგომის) სანიაღვარო წარმოშობისა, თუმცა ამ უკანასკნელ არეში ნათლად ჩანს ტბის ჩანადენის უპირატესობა. ანალოგიურად იცვლება მდ. ანგარას ჩანადენიც მას შემდეგ რაც მას უერთდება მსხვილი შენაკადები. მდ. ნევა, პირიქით, ინარჩუნებს ტბის მდინარის თვისებებს მთელ სიგრძეზე, ვინაიდან მისი აუზის ფართობი ლადოგის ტბის ქვემოთ შეადგენს 576 კმ², ე. ი. უმნიშვნელო სიდიდეს თვით ლადოგის ტბის აუზის ფართობთან შედარებით, რომელიც შეადგენს 276 164 კმ².

§ 8. მუხავე ტიპი—მდინარეები მუნიციპალური კვიბიტი

ამ ტიპს ეკუთვნის მდინარეები, რომელთა აუზის მნიშვნელოვანი ფართობი დაფარულია მუდმივი თოვლითა და მყინვარით, მაგალითად: კავკასიის მრავალი მდინარე, შუა აზიის ზოგიერთი მდინარე და ა. შ. ეს მდინარეები ძირითადად კვებას იღებს ზაფხულში თოვლისა და მყინვარის დნობის ხარჯ-



ნახ. 22. მუხავე ტიპის მდინარის ჰიდროგრაფი.

ზე, რომელთა ინტენსიობა დამოკიდებულია ტემპერატურისა და მზის რაღიაციის წლიურ ცვლილებაზე. ამის გამო, მათი ხარჯების მაქსიმუმი მოდის ზა-

ფხულის თვეებზე—მაისიდან აგვისტომდე, მინიმუმი კი ზამთრის თვეებზე, ჩვეულებრივ, დეკემბერსა და თებერვალზე.

ამ მდინარეების კვებაში მეორე დიდ ფაქტორს წარმოადგენს წვიმები (უმთავრესად გაზაფხულისა და ზაფხულის ნიაღვრები). მთიანი აუზის გრუნტის და ნიადაგის მცირე შეღწევალობისა და ციცაბო ფერდობების შემთხვევაში, წყალი სწრაფად ჩაედინება მდინარის კალაპოტში, რის გამოც ჩნდება ხანმოკლე და ინტენსიური წყალმეტობა, რომელიც ისევე სწრაფად თავდება, როგორც იწყება. მესამე ტიპის მდინარეების ჰიდროგრაფი განისაზღვრება ორივე ფაქტორების ერთიანი მოქმედებით (ნახ. 22). მდინარის ზედა უბნებში, სადაც აუზის შედარებით დიდ ნაწილს იკავებს თოვლი და მყინვარი, ქარბობს ჩანადენის მხოლოდ მყინვარეული ხასიათი, რომელიც გამოირჩევა შედარებით თანაბარი და წყნარი ჰიდროგრაფით ზაფხულში ხარჯების კა ნონზომიერი მატებითა და ზამთარში კლებით. დინების ქვემოთ, არამყინვარეული აუზის ზრდასთან ერთად, უფრო ცხადად ჩანს ნიაღვრების გავლენა, რომლებიც ჰიდროგრაფზე იწვევენ ხარჯების მკვეთრ, მაგრამ ხანმოკლე პიკებს, რის გამოც ჰიდროგრაფს ისეთი ხასიათი აქვს, როგორც 22-ე ნახაზზეა ნაჩვენები.

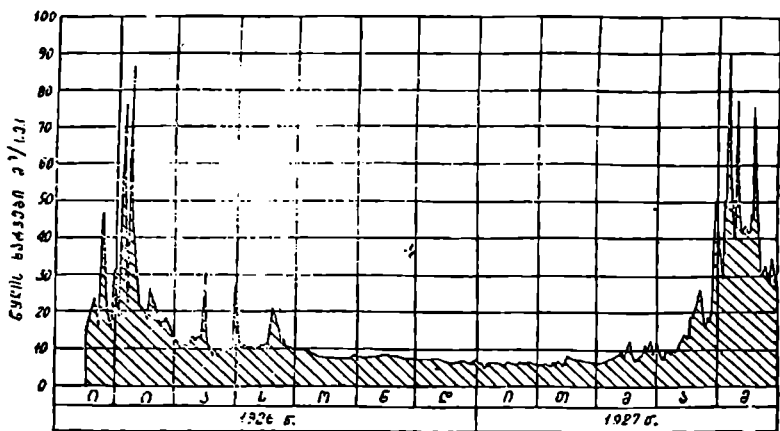
იმ მდინარეებისათვის, რომლებსთვისაც დამახასიათებელია მყინვარეული აუზის გავლენა, შესამჩნევია აგრეთვე ხარჯების დღე დამური რხევები, რომელთა მიზეზს წარმოადგენს ტემპერატურის დღელამური ცვლილება და მზის სხივებით თოვლის ზედაპირის უშუალო გათბობა. დნობის ინტენსიობის გადიდება დღისით და მისი შენელება ღამით, იწვევს ჩანადენის შესაბამის დღელამურ ცვლილებას, რომელიც შესამჩნევია მდინარის ქვემოთ დროის ისეთ გდანაცვლებით, რომელიც საჭიროა წყლის გარბენისათვის სათავეიდან იმ ადგილამდე, სადაც დაკვირვებას ვახდენთ.

§ 9. მდ. მთხე ტიპი—მდინარეები, რომლებიც უმთავრესად ზვიმებითა და ნიაღვრებით იკვებებიან

ამ კატეგორიას ეკუთვნის სამხრეთ რაიონების მდინარეები, რომელთაც არა აქვთ თოვლიანი აუზების დიდი რაოდენობა, სადაც ქარბობს წვიმის ნალექები, მაგალითად ამიერკავკასიის მდინარეები და ა. შ.

მთი რეგიონი ხასიათდება გაზაფხულ-ზაფხულის მაქსიმალური ხარჯებით, როდესაც მატულობს წვიმების ინტენსიობა. აუზის მთიანი რელიეფისა და გრუნტის მცირე წყალშეღწევალობის შემთხვევაში, წყლის გარბენის დრო არ არის ძალიან დიდი, ამიტომ ამ მდინარეების ჰიდროგრაფის ხასიათი გამოირჩევა ხშირი და მკვეთრად გამოსახული პიკებით. ამ ტიპს ეკუთვნის მდ. ძორაგეთის (სომხეთი) ჰიდროგრაფი, რომელიც მოცემულია 23-ე ნახაზზე. ზამთარში არსებული ხარჯების მინიმუმი ჩვეულებრივ, მკვეთრად არის გამოსახული, ვინაიდან მთიანი აუზის პირობებში ციცაბოფერდობიანი და მცირე წყალშეღწევალობის გრუნტის დროს გრუნტის წყლების მარაგი ზამთარში სწრაფად იხარჯება, რაც იწვევს მკვეთრ წყალმცირობას.

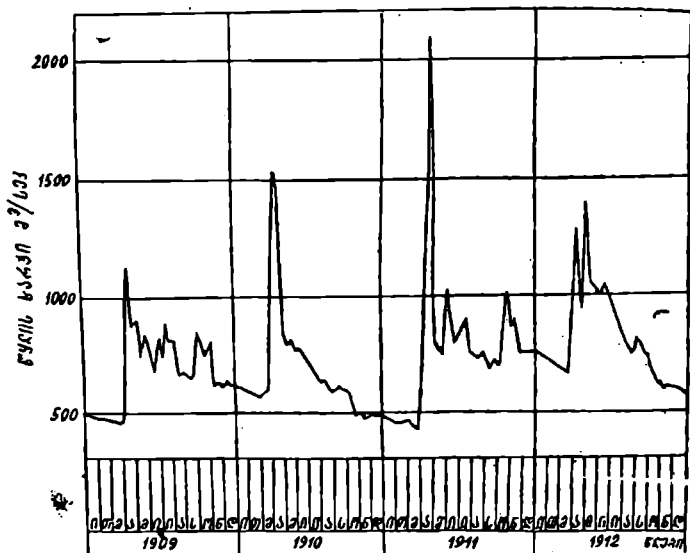
მდ. ძორაგეთისათვის წყლის ხარჯების დანაკვირვები მინიმუმი შეადგენს სულ 5 მ³/სეკ, ხოლო ნამდვილი აბსოლუტური მინიმუმი შეიძლება დაეცეს 4,5 მ³/სეკ-მდე. ხარჯების გაზაფხულის მინიმუმი, რომელიც ხშირად მეორდება, შეადგენს 150—200 მ³/სეკ. დანაკვირვები უდიდესი ხარჯი უდრის 650 მ³/სეკ, ხოლო საგარეულო ნაანგარიშები მაქსიმუმი არის 800—858 მ³/სეკ. ამრიგად, უდიდესი მაქსიმუმისა და უმცირესი მინიმუმის ფარდობა შეადგენს დაახლოებით 180.



ნახ. 23. წვიმის წყლით კვების მდინარის ჰიდროგრაფი.

§ 10. მდინარეების შირაული ტიპი

ზემოთ მოყვანილი იყო მდინარეების ძირითადი ტიპები მათი თავისებურებებით. ზოგჯერ, მდინარეს შეიძლება ჰქონდეს უფრო რთული რეჟიმი, რომელიც მიიღება ამ ჩანადენის რეჟიმის განმსაზღვრელი რამდენიმე ფაქტორის ერთდროული მოქმედებით ერთსა და იმავე აუზში.



ნახ. 24. შერეული კვების (ტბისა და თოვლიანი) მდინარის ჰიდროგრაფი.

ასეთი რეეიმის მაგალითები ზემოთ უკვე იყო მოცემული; მაგალითად, ბარის მდინარეები (I ტიპი) აუზში ტბის არსებობის დროს, ლებულობენ ჩანადენის შერეული კვების რეეიმს (ნახ. 24).

მყინვარული კვების მდინარეების ქვედა უბანი, ჩვეულებრივ, ხასიათდება მყინვარულ-წვიმიანი კვების რეეიმით. სამხრეთ უკრაინისა და დონბასის მდინარეებსაც აქვთ შერეული რეეიმი, რომელშიც გაზაფხულის წყალმეტობა (გამოწვეული თოვლის დნობით) ჩვეულებრივ იცვლება ზაფხულის საშუალო დონისეული პერიოდით, რომელზედაც ზოგჯერ გავლენას ახდენს საკმაოდ დიდი ნიაღვრების წყალმეტობა (I და II ტიპი). წლიური ჰიდროგრაფი გამოდის საკმაოდ არათანაბარი, ხარჯების დიდი ცვალებადობით.

გარდა ამისა, ჩანადენის წლიური განაწილების ხასიათზე მოქმედებს აუზის ფართობის სიდიდე. მაგალითად, მდინარეებისათვის, რომელთაც დიდი აუზები აქვთ, როგორც წესი, დამახასიათებელია ჩანადენის უფრო თანაბარი განაწილება, ვიდრე იმ მდინარეებისათვის, რომელთაც უფრო მცირე აუზები აქვთ.

§ 11. ჩანადენის ძირითადი მახასიათებელი

მდინარის ჩანადენი, გარდა წლიური ცვლილებისა, იცვლება აგრეთვე წლის მეტეოროლოგიური პირობების მიხედვითაც. სხვადასხვა წლების დიდი ან მცირე რაოდენობის წლიური ნალექები წლიური ჩანადენის საერთო მოცულობის შესაბამის ცვლილებას იწვევს.

წლიური ჩანადენის V მოცულობა წარმოადგენს წლის განმავლობაში მდინარეში გავლილი წყლის ჯამურ მოცულობას; იგი გამოსახულია უმთავრესად კუბიკურ მეტრებში ან, რიცხვების შესამცირებლად, კუბიკურ კილომეტრებში (10^9 მ³). გარდა მოცულობითი გამოსახულებისა, ზოგჯერ ჩანადენის დახასიათებისათვის გამოყენებულია სხვა სიდიდეები, სახელდობრ:

1) მდინარის საშუალო წლიური ხარჯი კუბიკურ მეტრ სექუნდებში

$$Q_0 = \frac{V}{T} \text{ მ}^3/\text{სექ},$$

სადაც $T = 31\,536\,000$ სექუნდს წელიწადში, რომელსაც 365 დღე აქვს;

2) ჩანადენის შრის სიმაღლე ან აუზის მთელ ფართობზე თანაბრად განაწილებული წლიური ჩანადენის V მოცულობის სიმაღლე, ე. ი.

$$x = \frac{V}{F} \text{ მ} = \frac{1000V}{F} \text{ მმ},$$

სადაც F არის აუზის ფართობი და გამოსახულია კვადრატულ მეტრებში ან

$$x = \frac{V}{1000F} \text{ მმ},$$

თუ F გამოითვლება კვადრატულ კილომეტრებში;

3) ჩანადენის კოეფიციენტი, ე. ი. ჩანადენის მოცულობის ფარდობა ნალექების წლიურ რაოდენობასთან ან ჩანადენის შრის x სიმაღლის ფარდობა ნალექების წლიურ h სიმაღლესთან

$$\alpha = \frac{x}{h};$$

4) ჩანადენის მოდული, ანუ საშუალო წლიური კუთრი ხარჯი აუზის 1 კმ² ფართობიდან, რომელიც ჩვეულებრივ გამოსახულია ლიტრ სეკუნდებში 1 კმ²-ზე.

$$M = \frac{1000 Q_0}{F} \frac{\text{ლ/სეკ}}{\text{კმ}^2};$$

5) მოდულური კოეფიციენტი, ანუ მოცემული წლის V ჩანადენის ფარდობა საშუალო წლიურ V_0 ჩანადენთან, რომელიც გამოთვლილია დროის საკმაოდ დიდი (მრავალწლიური) პერიოდისათვის

$$K = \frac{M}{M_0} = \frac{V}{V_0} = \frac{x}{x_0},$$

სადაც სიდიდეები ნულთან იხდებიან ნიშნავს საშუალო მრავალწლიურ სიდიდეებს, ანუ ჩანადენის ნორმას.

სიდიდეები α და K , ცხადია, განყენებული სიდიდეები არიან.

მოვიგონოთ, რომ ჰიდროლოგიაში წლიური ჩანადენის გამოსათვლელად გამოყენებულია არა კალენდარული, არამედ ჰიდროლოგიური წელი, რომელიც შეესაბამება ჰიდროლოგიური და მეტეოროლოგიური პროცესების ციკლს აუზში. საბჭოთა კავშირის უმეტეს ნაწილში მდინარეების კვებაში საკმაოდ დიდ როლს ასრულებს თოვლის საფარი. ზამთრის განმავლობაში თოვლის ნალექები გროვდება მდინარის აუზში და მათი გადნობა იწყებს აუზის გრუნტის გატენებას და გრუნტის წყლების მარაგის შექმნას. გაზაფხულის წყალმეტობის გავლის შემდეგ, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია თოვლის საფარში წყლის მარაგზე, იწყება საშუალო დონისეული პერიოდი, რომლის განმავლობაში მდინარეების კვება ხდება გრუნტის წყლების მარაგისა და წვიმების ხარჯზე.

ამიტომ ჰიდროლოგიური წლის დასაწყისი მიზანშეწონილია ავიღოთ ზედაპირული ჩანადენის შეწყვეტისა და თოვლით დაფარვის მომენტიდან, ე. ი. დაახლოებით 1 ნოემბრიდან (ან 15 ნოემბრიდან, 1 დეკემბრიდან—რაიონებისდა მიხედვით). ამ დროს თოვლის ნალექები და მათგან წარმოშობილი ჩანადენი იანგარიშება ერთი და იგივე ჰიდროლოგიურ წელში. თუ ძალაში დაეტოვებთ კალენდარული წლის გამოთვლებს, მაშინ 1 იანვრამდე მოსული თოვლი ჩათვლილი იქნება წინა წელში, ხოლო მისგან შექმნილი ჩანადენი—შემდეგ წელში, რის გამოც შეუძლებელი იქნება წლიური ნალექებისა და ჩანადენის რაოდენობათა შედარება, ჩანადენის კოეფიციენტის სწორად გათვალისწინება და სხვ. ვინაიდან ზამთრის ნალექების ხარჯზე შექმნილი წლიური ჩანადენის ნაწილი არსებითია, ამიტომ წლის კალენდარული გამოთვლის დროს ჩვენ არასწორად გავითვალისწინებთ ჩანადენის დიდმნიშვნელოვანი ფაქტორის გავლენას. მეორე მხრივ, ჰიდროლოგიური წლის გამოყენების დროს, მხოლოდ მეტეოროლოგიური მოვლენების ციკლის გათვალისწინება ხდება, რომელიც ნალექების, წვიმისა და თოვლის პერიოდების ზუსტ აღრიცხვაში მდგომარეობს. ჰიდროლოგიურ პროცესებს დიდი ხანგრძლიობა აქვს, ვინაიდან გადნობის შედეგად წარმოშობილი წყალი გრუნტის წყლების სახით დიდი ხნის განმავლობაში განაგრძობს ჩადინებას მდინარეში. მდინარეების კვება ზამთარში წინა ჰიდროლოგიური წლის გრუნტის წყლების ხარჯზე ხდება. ამრიგად, ჩანადენის პროცესს შეიძლება ჰქონდეს ერთ წელზე მეტი ხანგრძლიობა. ასეთი მოსაზრებების შემდეგ იმ დასკვნამდე მივდივართ, რომ

ხშირად შეუძლებელია ისეთი კალენდრის დადგენა, რომლის დროს ყოველი ჰიდროლოგიური წლის ჩანადენი დამოკიდებული იქნება მხოლოდ ამ წლის ნალექებზე. უეჭველად, ჰიდროლოგიური წლის დასაწყისის სწორი შერჩევის დროს, მისი ნალექები საკმაოდ დიდი სიზუსტით განსაზღვრავენ ჩანადენს. მაგრამ ეს უკანასკნელი შეიძლება დამოკიდებული იყოს გასული წლის ნალექებისა და გრუნტის წყლების მარაგზე, როგელიც შემდეგ წელში გადადის.

თუ აუზის ფართობი და წყალშელწევადი შრის სისქე (რომელიც იტევს გრუნტის წყლის მარაგს) დიდია, მაშინ მდინარემდე გრუნტის წყლის მოძრაობის დრო იზრდება. თუ შემოდგომაზე დიდი რაოდენობითაა ნალექები, რომლებიც მდინარემდე მხოლოდ ზამთარში აღწევენ, მაშინ შეიძლება უფრო სწორი იყოს ჰიდროლოგიური წლის უფრო ადრე დაწყება (მაგალითად, 1 ოქტომბერი), ამიტომ შემოდგომის ნალექები და მათგან შექმნილი ზამთრის ჩანადენი უნდა ვიანგარიშოთ ერთსა და იმავე ჰიდროლოგიურ წელში. მცირე აუზებისა და წყალშეუღწევი გრუნტის შემთხვევაში, პირიქით, უფრო სწორი იქნება ჰიდროლოგიური წლის უფრო გვიან დაწყება.

ჰიდროლოგიური წლის გამოთვლის დროს მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული მდინარის ჩანადენის ინდივიდუალური თავისებურებანი.

ჩანადენის საერთო მოცულობის გარდა, დიდი მნიშვნელობა აქვს მის განაწილებას წლის განმავლობაში. ჩანადენის განაწილების დაწვრილებით დახასიათებას იძლევა ჰიდროგრაფი, რომელზედაც გამოსახულია დღელამური ხარჯები. უფრო ზოგადი დახასიათებისათვის აგრეთვე გამოიყენება ჩანადენის მოცულობა ან მისი მოდული სხვადასხვა პერიოდისა და სეზონისათვის. ასეთი ტიპობრივი სეზონები პარის მდინარეებისათვის არის:

ზ ა მ თ რ ის პ ე რ ი ო დ ი — მდინარის გაყინვიდან გაზაფხულის წყალმეტობის დაწყებამდე;

გ ა ზ ა ფ ხ უ ლ ის წ ყ ა ლ მ ე ტ ო ბ ა — გაზაფხულის წყალმეტობის დაწყებიდან მის ბოლომდე;

ზ ა ფ ხ უ ლ ის ს ა შ უ ა ლ ო დ ო ნ ის ე უ ლ ი პ ე რ ი ო დ ი — წყალმეტობის დაცემიდან შემოდგომის წყალმეტობის დაწყებამდე და

შ ე მ ო დ გ ო მ ის წ ყ ა ლ მ ე ტ ო ბ ა — მდინარის გაყინვამდე¹.

ყოველი ცალკეული პერიოდისათვის შეიძლება ცალ-ცალკე იქნეს განსაზღვრული ყოველი წლის ჩანადენის მოცულობა ან მოდული და აგრეთვე ჩანადენის ნორმა, ე. ი. ამ სიდიდეთა საშუალო მნიშვნელობები მრავალწლიური პერიოდისათვის.

შ ე ნ ი შ ვ ა: ჩანადენის კოეფიციენტის სიდიდეს სეზონისათვის ცხადია არა აქვს რეალური აზრი, ვინაიდან მოცემული სეზონის ჩანადენი შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს წინა პერიოდის ნალექებით (მაგალითად, ზაფხულის წყალმეტობა დამოკიდებულია უმთავრესად ზამთრის ნალექებზე).

§ 12. ჩანადენის ცვალებადობა

წლის განმავლობაში მოსული და შრის $\frac{1}{2}$ სისქით გაზომილი ნალექების ნაწილი მოდის ჩანადენის შექმნაზე. ნალექების ეს რაოდენობა გამოისახება ჩანადენის კოეფიციენტით. ნალექების დანარჩენი ნაწილი ორთქლდება ნიადაგისა და წყლის ზედაპირებიდან, შთაინთქმება მცენარეულობის მიერ და

¹ ჩვენში, საქართველოში, მდინარეების გაყინვა არ ხდება, ამიტომ „მდინარის გაყინვის“ ტერმინის მაგივრად უნდა ვიხმაროთ „ზამთრის პერიოდი“.

ორთქლდება მათი ზედაპირიდან (ტრანსპირაცია). თუ აორთქლებული ნალექების შრის სისქეს აღვნიშნავთ z -ით, მაშინ შეიძლება დავწეროთ ტოლობა:

$$x = h - z.$$

(აქ ჩვენ მხედველობაში არა გვაქვს მიღებული გრუნტის წყლების წლიდან წელში გარდამავალი მარაგი).

ვინაიდან ჩანადენის შრის სისქე (სიმაღლე)

$$x = a/h,$$

ამიტომ, ცხადია,

$$z = (1 - a)h.$$

$(1 - a)$ სიდიდეს, ჩანადენის კოეფიციენტის ანალოგიურად, შეიძლება ვუწოდოთ აორთქლების კოეფიციენტი.

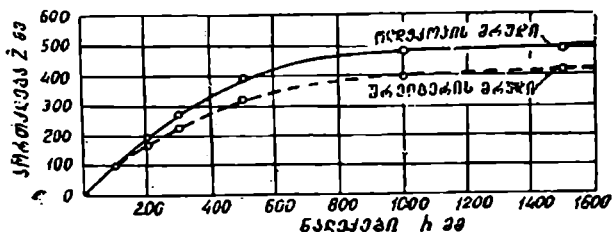
განსახილველი აუზის აორთქლების z სიდიდე დამოკიდებულია მოცემული წლის ნალექების რაოდენობაზე. ცხადია, რომ იმ წელში, როდესაც ნალექების რაოდენობა მცირეა, მისი დიდი ნაწილი შეიწოვება ნიადაგის მიერ და ამიტომ აორთქლება უნდა შემცირდეს; პირიქით, ნალექების დიდი რაოდენობის დროს ხდება ნიადაგის გაჯერება და ზედმეტი წყალი გამოიწვევს აორთქლების გადიდებას. ვინაიდან ნალექების რაოდენობის გადიდება იწვევს ამავე დროს ჩანადენის გადიდებასაც, ამიტომ იმ წლებში, რომლებიც მდიდარია ნალექებით, მოხდება როგორც ჩანადენის, ისე აორთქლების გადიდება. წყალმცირე წლებში კი ეს ორივე სიდიდე მცირდება.

ოლდეკოპი თვლის, რომ არსებობს აორთქლების ზღვრული სიდიდე z_0 , რომელიც შეესაბამება ნალექების შესაძლო მაქსიმუმს მოცემული აუზისათვის ტენიანობის დიდი რაოდენობის დროს. ნალექების ძალზე მცირე რაოდენობის დროს, ისინი თითქმის მთლიანად აორთქლდებიან. ოლდეკოპის მიერ მოცემულია შემდეგი ანალიზური დამოკიდებულება z -ისა h -გან:

$$z = z_0 t h \left(\frac{h}{z_0} \right), \quad (3)$$

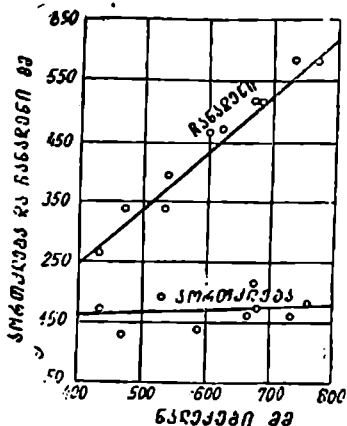
რომელიც მოცემულია გრაფიკზე (ნახ. 25).

მდინარეების მრავალწლიური ჩანადენის შესწავლას მივყავართ მდინარეების შემდეგი დაყოფისაკენ.

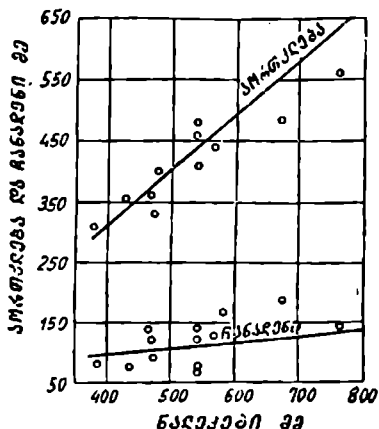


ნახ. 25. აორთქლების მრუდები ოლდეკოპისა და შრებიერის მიხედვით.

1. ტენიანი და ცივი კლიმატის ქვეყნების მდინარეები (ჩრდილოეთი). ნიადაგის ტენიანობის გამო, აორთქლება ყოველთვის ახლოა აორთქლების ზღვრულ მნიშვნელობასთან — z_0 -თან (იხილეთ ოლდეკოპის მრუდი). მაგრამ აორთქლების აბსოლუტური სიდიდე არ არის დიდი, რადგანაც



ნახ. 26. ჩანადენი, აორთქლება და ნალექები მდ. დაღუფისათვის.



ნახ. 27. ნალექები, აორთქლება და ჩანადენი მდ. ოკასათვის.

ჰერის დაბალი ტემპერატურა და ნიადაგის მაღალი ტენიანობა ხელს არ უწყობენ აორთქლებას, ამიტომ ნალექების ვადიდების დროს აორთქლება მხოლოდ სუსტად იზრდება, რის გამოც ჩანადენი ძლიერ იზრდება. ამ ტიპის მდინარეების ჩანადენის კოეფიციენტი შედარებით დიდია; ამის მაგალითს იძლევა შვეციის მდინარე დაღუფი (ნახ. 26).

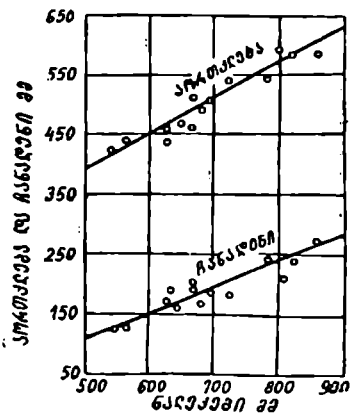
2. უფრო ზომიერი და მშრალი კლიმატის ქვეყნების მდინარეები. აქ, პირიქით, აორთქლება დიდია და იგი იზრდება ნალექების ზრდასთან ერთად, ვინაიდან მცირე ნალექების დროს ნიადაგში შემჩნეულია ტენის ნაკლებობა. ასეთი მდინარეებისათვის აორთქლების, ნალექებისაგან დამოკიდებულების მრუდი (მდ. ოკა, ნახ. 27) შეესაბამება ოლდეკოპის მრუდის ქვედა ნაწილს. აქ ჩანადენის კოეფიციენტი საგრძნობლად ნაკლებია, ვიდრე ზემოთ განხილული მდინარისათვის.

3. შუალედური ტიპი (მდ. ვლბა, ნახ. 28). აქ აორთქლება და ჩანადენი იზრდება ნალექების ზრდასთან ერთად.

ამრიგად, წლიური ნალექების რაოდენობის ცვლილება ასე თუ ისე გავლენას ახდენს ჩანადენზე.

ჩანადენის ცვალებადობის დახასიათებისათვის, ჩვეულებრივ, იყენებენ ფ. შ. ცვალებადობის, ან უვარიაციის, კოეფიციენტს C_v .

თუ გამოვთვლით საკმაოდ დიდი მრავალწლიური პერიოდისათვის წლი-



ნახ. 28. ნალექები, აორთქლება და ჩანადენი მდ. ვლბასათვის.

ური ჩანადენის მოცულობებს ანდა, რაც უფრო უკეთესია, წლიური ჩანადენის M მოდულებს, მაშინ ავჯამავთ რა მათ და გავყოფთ დაკვირვებათა წლებების n რიცხვზე, მივიღებთ საშუალო მრავალწლიურ მოდულს, ანუ ჩანადენის ნორმას.

$$M_0 = \frac{\sum M}{n}$$

თუ ყოველი წლის ჩანადენის მოდულს გავყოფთ M_0 -ზე, ჩვენ მივიღებთ მოდულურ კოეფიციენტებს $k = \frac{M}{M_0}$, რომლის გამოყენება (M მოდულის მაგვირად) სხვადასხვა მდინარის ჩანადენის ცვალებადობის ერთმანეთთან შედარების საშუალებას იძლევა, მათი ჩანადენის მოცულობისა და მოდულის აბსოლუტურ მნიშვნელობათაგან დამოუკიდებლად.

$k-1$ სხვაობა ყოველი წლისათვის მისი ჩანადენის ნორმიდან გადახრას იძლევა განყენებულ სიდიდეებში (ჩანადენის ნორმის ნაწილებში, რომლებიც მიღებულია ერთდროულად). იმ წლისათვის, რომლის ჩანადენი მეტია ნორმაზე, ეს სხვაობა დადებითია, წყალმცირე წლებისათვის—უარყოფითი. ამ გადახრის საშუალო მნიშვნელობა, ცხადია, არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჩანადენის ცვალებადობის დახასიათებისათვის, ვინაიდან იგი ყოველთვის ნულის ტოლი იქნება. ამიტომ, როგორც აღბათობის თეორიაშია მიღებული, ამ მიზნისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს საშუალო კვადრატული გადახრა:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(k-1)^2}{n}}$$

ანდა უმჯობესია, უდიდესი სააღბათო საშუალო კვადრატული გადახრა, რომელიც, როგორც ეს მტკიცდება აღბათობის თეორიაში, ტოლი იქნება:

$$C_s = \sqrt{\frac{\sum(k-1)^2}{n-1}} \quad (4)$$

C_s სიდიდეს წლიური ჩანადენის ვარიაციის კოეფიციენტს უწოდებენ.

ცხადია, რაც უფრო მეტად განსხვავდება ცალკეული წლების წლიური ჩანადენის მნიშვნელობა ნორმისაგან, ე. ი. რაც უფრო ცვალებადი იქნება ჩანადენი, მით მეტი იქნება C_s სიდიდე.

მე-7 ცხრილში მოცემულია ვარიაციის კოეფიციენტის გამოსათვლელად მდ. სამხრეთი ბუგისათვის $n=14$ წლის განმავლობაში ანგარიშის მაგალითი.

ცხრილი 7
 C_s -ს განაზღვრა მდ. სამხრეთი ბუგისათვის (დ. ლ. ხოკლოვსკის მიხედვით)

წლები	ჩანადენის მოდული M	მოდულური კოეფიციენტი k	ნორმიდან გადახრა $k-1$	$(k-1)^2$
1914	1,47	0,776	-20,224	0,050176
1915	1,92	1,013	+ 0,013	0,000169
1916	1,78	0,940	- 0,060	0,003600
1917	3,23	1,705	+ 0,705	0,497025
1918	1,30	0,686	- 0,314	0,098595
1919	2,13	1,124	+ 0,124	0,015376
1920	1,67	0,881	- 0,119	0,014161
1921	0,77	0,406	- 0,594	0,352836
1922	3,10	1,636	+ 0,636	0,404496
1923	2,54	1,340	+ 0,340	0,115600
1924	2,39	1,261	+ 0,261	0,068121
1925	1,13	0,506	- 0,404	0,163216
1926	2,06	1,086	- 0,086	0,007396
1927	1,04	0,549	- 0,451	0,203401

$$\Sigma M = 26,53$$

$$\Sigma(k-1)^2 = 1,994169$$

საშუალო მოდული

$$M_0 = \frac{\Sigma M}{n} = \frac{26,53}{14} = 1,895;$$

ვარიაციის კოეფიციენტი

$$C_v = \sqrt{\frac{\Sigma(k-1)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1,994169}{13}} = 0,392.$$

ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ მოდულური კოეფიციენტები აქ იცვლება საზღვრებში 0,406-დან ყველაზე წყალმცირე 1921 წლისათვის 1,705-მდე წყალუხვი 1917 წლისათვის. მაგრამ 14 წელიწადი არც თუ ისე დიდი ვადაა; მოსალოდნელია გაჩნდეს უფრო მეტი წყალუხვი ან წყალმცირე წლები. შეიძლება აგრეთვე ვივარაუდოთ, რომ რაც მეტი წლების განმავლობაში მოეახდენთ დაკვირვებას ჩანადენზე მით მეტ გადახრას უნდა მოველოდეთ. ნორმიდან ამა თუ იმ გადახრის ვარაუდი გამოისახება ე. წ. „განაწილების მრუდით“, რომელიც ალბათობის თეორიაში და სტატისტიკურ მათემატიკაში შეისწავლება.

შეიძლება აეგოთ გრაფიკი, რომლის აბსცისათა ლერძზე გადაიზომება ჩანადენის მოდულური კოეფიციენტი k , ხოლო ორდინატათა ლერძზე იმ წლების რიცხვი, რომლებისთვისაც k -ს მნიშვნელობაა გამოთვლილი. მაგრამ დაკვირვებათა წლების მცირე რაოდენობის შემთხვევაში, ყველა მოდულური კოეფიციენტი სხვადასხვა იქნება; ამაში შეიძლება დავრწმუნდეთ, თუ განვიხილავთ მე-7 ცხრილს, რომელშიაც განმეორებული არ არის M მოდულების ან მოდულური k კოეფიციენტების მნიშვნელობა. წლების საკმაოდ დიდი რაოდენობის შემთხვევაშიაც კი ძნელი მოსალოდნელია თუნდაც ორი წლისათვის ჩანადენის სიდიდეთა ზუსტი თანამთხვევა. მათ შორის ყოველთვის იქნება ცოტა განსხვავება მაინც, ამიტომ იძულებული ვართ მივმართოთ წლების დაჯგუფებას ჩანადენის ახლო მნიშვნელობების მიხედვით, მაგალითად, ავიღოთ ჯგუფი მოდულური კოეფიციენტებით:

$$k = 0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 \text{ და ა. შ.}$$

და გადავზომოთ კოორდინატებზე წლების რიცხვი, რომლებიც შეესაბამებიან თითოეული ჯგუფის მოდულური კოეფიციენტების განმეორებადობას. ასეთი აგების დროს ჩვენ მივიღებთ განმეორებადობის, ანუ განაწილების საფეხურთან გრაფიკს, რომელზედაც ნათლად გამოჩნდება მოვლენის კანონზომიერება. ასე, მაგალითად, 29-ე ნახაზზე ჩვენ ვხედავთ, რომ ყველაზე ხშირად მეორდება $k=0,8-1,4$ მნიშვნელობანი. საკიროა შევნიშნოთ, რომ წლების მცირე რიცხვის დროს, ამ გრაფიკს შეუძლია არ მოგვეცეს ნამდვილი სურათი, რადგან k -ს განსაზღვრულ მნიშვნელობათა შემთხვევითმა, ხშირმა განმეორებამ, რომელიც არ შედის საერთო კანონზომიერებაში, შეიძლება გარკვეული როლი შეასრულოს. როგორც ყოველთვის, მოვლენის სტატისტიკური შესწავლის დროს საკიროა დაკვირვებების დიდი რაოდენობა იმისათვის, რომ გამოვავლინოთ მისი კანონზომიერება.

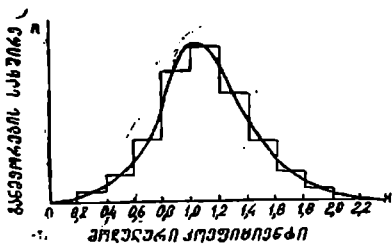
დაუშვათ, რომ წლების რიცხვი მატულობს და მისიწრაფვის უსასრულობისაკენ და ჩვენ გვაქვს ისეთი ბევრი მასალა, რომ იგი საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ ცალკეული ჯგუფების ზღვრები და გავადილოთ საფეხურების რიცხვი. ზღვარზე, როდესაც წლების რიცხვი გაუტოლდება უსასრუ-

ლობას, ხოლო საფეხურები ძალიან მცირე განზომილებაზე შემცირდება, მაშინ საფეხუროვანი გრაფიკი დაუახლოვდება „განაწილების მრუდს“, ანუ „განმეორებადობის მრუდს“, რომელიც მოდულური კოეფიციენტების ცვალებადობის კანონს გამოსახავს. ჩანადენის შესწავლის დროს ძნელია უშუალოდ ასეთი მრუდის აგება დაკვირვებათა წლების რიცხვის სიმცირის გამო.

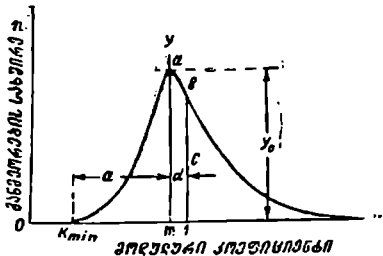
ნაღვეების განაწილების გამოსახვისათვის პირსონმა მოგვცა სხვადასხვა ტიპის ანალიზური მრუდი, რომელთაგან რომელიმე მოვლენის განაწილების ხასიათის გამოსახვის შესაბამისი მრუდის არჩევა დამოკიდებულია ამ მოვლენის ხასიათზე.

განაწილების მრუდები შეიძლება იყოს სიმეტრიული და არასიმეტრიული.

30-ე ნახაზზე მოცემულია ე. წ. არასიმეტრიული ტიპის განაწილების მრუდი. აბსცისათა ლერძის წერტილს, რომელსაც შეესაბამება $k=1$, განაწილების ცენტრი ეწოდება. ვინაიდან $k=1$ არის ყველა მოდულური კოეფიციენტის საშუალოარითმეტიკული მნიშვნელობა, ამიტომ, ცხადია, რომ ცენტრალური ორდინატა $b=1$, რომელიც გადატანილია განაწილების ცენტრ-



ნახ. 29. განაწილების მრუდი.



ნახ. 30. განაწილების არასიმეტრიული მრუდი.

ში, გაივლის მრუდის ფართობის სიმძიმის C ცენტრში. მოდულური კოეფიციენტის მნიშვნელობა $k=m$, რომელიც ყველაზე ხშირად მეორდება, მაქსიმალურ ორდინატას შეესაბამება და მოდა ეწოდება, ხოლო მაქსიმალურ ორდინატს y_0 — მოდალური ორდინატა. მოდასა და განაწილების ცენტრს შორის d მანძილი არის მრუდის ასიმეტრიის რადიუსი. მრუდი რომ სიმეტრიული ყოფილიყო, მაშინ, ცხადია, მოდა დაემთხვეოდა განაწილების ცენტრს ($m=1$), და ასიმეტრიის d რადიუსი ნულის ტოლი გახდებოდა.

როგორც ცდების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, ჩანადენის განაწილების მრუდი ჩვეულებრივ სიმეტრიულია. მისი მოდა $m < 1$, მრუდის მაქსიმუმზე გაწეულია განაწილების ცენტრიდან მარცხნივ, ე. ი. ყველაზე მეტად განმეორებადს წარმოადგენს მოდულური კოეფიციენტები $k < 1$ და სათანადოდ ისეთი წლები, რომელთა ჩანადენი ნორმაზე ნაკლებია, უფრო ხშირად მეორდება, ვიდრე ის წლები; რომელთა ჩანადენი ნორმაზე მეტია.

ცენტრალური ორდინატიდან მარცხნივ მდებარე მრუდის ფართობი მეტია, ვიდრე მის მარჯვნივ მდებარე ფართობი. რადგან ფართობის სიმძიმის

ცენტრი ცენტრალურ ორდინატზე მდებარეობს, ეს იმას ნიშნავს, რომ ფართობის მარჯვენა ნაწილი აწონასწორებს მარცხენას (ვინაიდან მოდულური კოეფიციენტების მაღალი მაქსიმალური მნიშვნელობები უფრო მეტად გადაიხრებიან ცენტრიდან, ვიდრე დაბალი). სხვაგვარად რომ ვთქვათ, წყალმცირე წლის ჩანადენი უფრო ნაკლებად გადაიხრება ნორმიდან, ვიდრე წყალუბვი ჩანადენი. ეს ჩანს მე-7 ცხრილიდან: მდ. სამხრეთი ბუგისათვის მინიმალური მოდულური კოეფიციენტი გადახრილია ნორმიდან $(k-1) = -0,594$, ხოლო მაქსიმალური $+0,705$ -ით.

ჩანადენის დახასიათებისათვის ფოსტერი ლებულობს პირსონის განაწილების მრუდის ე. წ. მესამე ტიპს — არასიმეტრიულ მრუდს. განაწილების მრუდის მაგვირად უფრო მოხერხებულია ჩანადენის უზრუნველყოფის მრუდით სარგებლობა, რომელიც შეიძლება განაწილების მრუდიდან მივიღოთ.

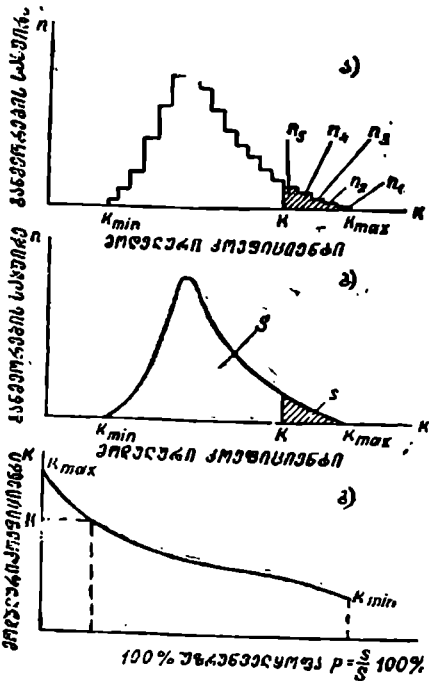
§ 13. ჩანადენის უზრუნველყოფა

ჩანადენის მოცემული სიდიდის უზრუნველყოფას ჩვენ ვუწოდებთ წლების რიცხვს, გამოსახულს პროცენტებში საერთო n რაოდენობის დაკვირვებათა წლებიდან, რომელთა განმავლობაში ჩანადენი (ან მოდულური კოეფიციენტი) მოცემულ ჩანადენზე მცირე იყო.

თუ ჩანადენის განაწილების გრაფიკი მოცემულია საფეხუროვანი მრუდის სახით (ნახ. 31, ა), მაშინ ჩანადენის ან მისი მოდულური k კოეფიციენტის უზრუნველყოფა გამოსახული იქნება ყველა იმ საფეხურის ორდინატების ჯამით, რომლებიც მოთავსებული იქნება k -ს მოცემულ მნიშვნელობასა და მის მაქსიმალურ k_{max} მნიშვნელობას შორის, ე. ი. $n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i$ წლების რიცხვით ან დაკვირვებათა წლების რიცხვის ნაწილით

$$P = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i}{n}$$

ცხადია, რომ n არის გრაფიკის ყველა საფეხურის ორდინატების ჯამი. ორდინატების ჯამის მაგივრად, ჩვენ სრული უფლება გვაქვს ავიღოთ ცალკეული საფეხურების ფართობის (ნახ. 31, ა) დაშტრიხული ნაწილი, რადგან საფეხურის სიგანე პირობით



ნახ. 31. უზრუნველყოფის მრუდის აგება განაწილების მრუდის საფუძველზე.

აღებულია ერთნაირი, ხოლო უზრუნველყოფა P გამოსახულია მთელი დაშტრიხული ფართობის ფარდობით გრაფიკის მთელ ფართობთან.

განაწილების მრუდზე გადასვლის დროს ზღვარში მივიღებთ P უზრუნველყოფას, როგორც δ მრუდის დაშტრიხული ფართობის ფარდობას მთელ ფართობთან (ნახ. 31, ბ), ე. ი.

$$P = \frac{S}{S}$$

განვსაზღვრავთ რა P უზრუნველყოფას k -ს რამდენიმე მნიშვნელობისათვის k_{min} -დან k_{max} -მდე, ჩვენ შევძლებთ ავაგოთ გრაფიკი, ანუ ჩანადენის უზრუნველყოფის მრუდი (ნახ. 31, გ).

k_{max} -თვის უზრუნველყოფა იქნება ნული, k_{min} -თვის კი 1, ანუ 100%.

მესამე ტიპის განაწილების მრუდისათვის პირსონმა მოგვცა ანალოგიური გამოსახულება. თუ კოორდინატთა სათავეს გადავიტანთ მოდის m წერტილში (ნახ. 30) და k_{min} -ის წერტილიდან m -მდე მანძილს აღვნიშნავთ a -თი, ხოლო მოდალურ ორდინატს კი y_0 -ით, მაშინ პირსონის განტოლებას ექნება სახე:

$$y = y_0 e^{-\frac{x}{a}} \left(1 + \frac{x}{a}\right)^{\frac{a}{a}}$$

სადაც y და x არიან მრუდის კოორდინატები ახალი ღერძის მიმართ.

თუ ცნობილია a და d , მაშინ მრუდის ნებისმიერი y ორდინატა შეიძლება გამოვსახოთ მაქსიმალური y_0 ორდინატით. თუ იცვლება y_0 , მაშინ მის პროპორციულად შეიცვლება ყველა ორდინატა. ამრიგად, მრუდის ფორმა განისაზღვრება a და d სიდიდეებით.

მრუდის ასაგებად უფრო მოსახერხებელია სხვა პარამეტრების გამოყენება, მაგალითად, ჩვენთვის ცნობილი ვარიაციის C_v კოეფიციენტი და ე. წ. ასიმეტრიის C_s კოეფიციენტი

$$C_s = \frac{\sum(k-1)^3}{(n-1)C_v^3}, \quad (5)$$

რომელიც შეიძლება გამოვთვალოთ, თუ ვისარგებლებთ $(k-1)$ სხვაობით; ეს უკანასკნელი კი მივიღეთ C_v სიდიდის გამოთვლის დროს (იხ. ცხრილი 7).

თეორიულად შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ

$$d = \frac{C_s C_v}{2} \quad \text{ანდა} \quad C_s = \frac{2d}{C_v},$$

ე. ი. C_s პროპორციულია d სიდიდისა და, ისე როგორც უკანასკნელი სიდიდე, გამოსახავს მოდის გადახრას განაწილების ცენტრიდან (საშუალოართმეტიკულიდან).

მეორე მხრივ, შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ

$$a + d = 2 \frac{C_v}{C_s}.$$

30-ე ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$a + d = 1 - k_{min}.$$

ვინაიდან მინიმალური ჩანადენი არ შეიძლება იყოს უარყოფითი, ამიტომ $k_{min} \geq 0$ და $a + d \leq 1$, ე. ი. $2 \frac{C_v}{C_s} \leq 1$, ამიტომ

$$C_s \geq 2C_v. \quad (6)$$

უზრუნველყოფის მრუდის ორდინატის ვადაზა 1-დან, როდესაც $C_0=1$

უზრუნველყოფის პროცენტული სიდიდე

სიბრტყის კოორდინატის C_0	0,1	1,0	3,0	5,0	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9
0,0	+3,09	+2,33	+1,88	+1,64	+1,28	+0,84	+0,68	+0,52	+0,25	0,00	-0,25	-0,52	-0,68	-0,84	-1,28	-1,64	-1,88	-2,33	-3,09
0,2	3,38	2,48	1,93	1,69	1,30	0,83	0,67	0,51	0,22	-0,03	-0,28	-0,55	-0,70	-0,85	-1,25	-1,58	-1,79	-2,18	-2,81
0,4	3,67	2,62	2,00	1,74	1,32	0,82	0,65	0,48	0,19	-0,06	-0,31	-0,57	-0,71	-0,85	-1,22	-1,51	-1,69	-2,03	-2,54
0,6	3,96	2,77	2,06	1,79	1,33	0,80	0,62	0,45	0,15	-0,09	-0,34	-0,59	-0,72	-0,86	-1,19	-1,45	-1,59	-1,88	-2,28
0,8	4,25	2,90	2,12	1,83	1,34	0,78	0,60	0,42	0,12	-0,13	-0,37	-0,60	-0,73	-0,86	-1,16	-1,38	-1,49	-1,74	-2,03
1,0	4,54	3,03	2,19	1,87	1,34	0,76	0,57	0,38	0,08	-0,16	-0,40	-0,61	-0,73	-0,86	-1,12	-1,31	-1,39	-1,59	-1,80
1,2	4,82	3,15	2,25	1,90	1,35	0,74	0,54	0,35	0,05	0,19	-0,42	-0,62	-0,73	-0,85	-1,08	-1,25	-1,30	-1,45	-1,59
1,4	5,11	3,28	2,31	1,93	1,34	0,71	0,51	0,32	+0,02	-0,22	-0,44	-0,63	-0,73	-0,84	-1,05	-1,18	-1,21	-1,32	-1,40
1,6	5,39	3,40	2,36	1,96	1,33	0,68	0,48	0,28	-0,01	-0,25	-0,46	-0,64	-0,73	-0,82	-1,00	-1,11	-1,13	-1,19	-1,24
1,8	5,66	3,50	2,41	1,98	1,32	0,64	0,44	0,24	-0,05	-0,28	-0,48	-0,64	-0,72	-0,80	-0,95	-1,03	-1,06	-1,08	-1,11
2,0	5,91	3,60	2,46	2,00	1,30	0,61	0,41	0,20	-0,08	-0,30	-0,49	-0,64	-0,71	-0,78	-0,90	-0,95	-0,98	-0,99	-1,00
2,2	6,20	3,70	2,48	2,01	1,28	0,58	0,37	0,17	-0,11	-0,33	-0,49	-0,63	-0,69	-0,75	-0,85	-0,90	-0,90	-0,90	-0,91
2,4	6,47	3,78	2,49	2,01	1,25	0,54	0,33	0,13	-0,14	-0,35	-0,50	-0,62	-0,66	-0,71	-0,79	-0,82	-0,82	-0,83	-0,83
2,6	6,73	3,87	2,50	2,01	1,23	0,51	0,31	0,10	-0,17	-0,37	-0,50	-0,60	-0,64	-0,68	-0,74	-0,76	-0,76	-0,77	-0,77
2,8	6,99	3,95	2,51	2,02	1,20	0,47	0,26	0,06	-0,20	-0,38	-0,50	-0,59	-0,62	-0,65	-0,70	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71
3,0	+7,25	+4,02	+2,52	+2,02	+1,18	+0,42	+0,25	+0,03	-0,23	-0,40	-0,50	-0,57	-0,60	-0,62	-0,65	-0,66	-0,66	-0,67	-0,67

ასიმეტრიის კოეფიციენტი C_s უნდა იყოს $2C_s$, სიდიდეზე მეტი, წინააღმდეგ შემთხვევაში მინიმალური ჩანადენი იქნება უარყოფითი, რაც შეუძლებელია.

C_s -ის მეორე საზღვარი შეიძლება მივიღოთ პირსონის შესაბამის ტიპის მრუდის განტოლებიდან შემდეგი სახით:

$$C_s \leq \frac{2C_s}{1 - k_{min}}$$

ვინაიდან მდ. სამხრეთი ბუგისათვის ჩვენ უკვე გამოვთვალეთ $C_s = 0,392$ და $k_{min} = 0,406$ (1921 წლის ჩანადენისათვის), ამიტომ უდიდესი მნიშვნელობა

$$C_s = \frac{2 \cdot 0,392}{1 - 0,406} = 1,32.$$

უმცირესი მნიშვნელობა კი

$$C_s = 2 \cdot 0,392 = 0,784.$$

§ 14. ფოსტარის მეთოდი

განაწილების მრუდის გამოსახვა C_s და C_s პარამეტრებით და აგრეთვე უზრუნველყოფის მრუდის ანალიზური სახის მოძებნა ძალიან რთულია. ამისათვის ფოსტარის მიერ მოცემულია ცხრილი, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოთვლილ იქნეს მოდულური კოეფიციენტების გადახრა ნორმიდან, ე. ი. $(k-1)$ სიდიდეები უზრუნველყოფის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის (იხ. ცხრილი 8). ეს ცხრილი გამოთვლილია $C_s = 1$ -სათვის და C_s -ის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის 0-დან 3-მდე.

ამ ცხრილით სარგებლობა საკმაოდ მარტივია, როგორც ეს ჩანს ქვემოთ მოყვანილი მაგალითიდან.

გამოვთვალოთ მოდულური კოეფიციენტის ის მნიშვნელობა მდ. სამხრეთი ბუგისათვის, რომელსაც 50% უზრუნველყოფა აქვს. მივიღოთ, რომ $C_s = 2C_s = 0,784 \approx 0,80$. როდესაც $C_s = 0,8$ და უზრუნველყოფა არის 50%, მაშინ მე-8 ცხრილიდან ვპოულობთ, რომ $C_s = 1$ -თვის $(k-1) = -0,13$.

როდესაც $C_s = 0,392$, მაშინ ეს გადახრა იქნება:

$$k-1 = -0,392 \cdot 0,13 = -0,051,$$

საიდანაც $k = 0,949$. გავამრავლებთ რა მოდულურ კოეფიციენტს ჩანადენის საშუალო მოდულზე ($M_0 = 1,895$), მივიღებთ ჩანადენის საძიებელ მოდულს $M = 0,949 \cdot 1,895 = 1,8$ ლ/სეკ ყოველი კვადრატული კილომეტრიდან. ეს ჩანადენი უზრუნველყოფილია 50%-ით, ე. ი. საქმარისი ალბათობით შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მოცემული რაოდენობის წლების ნახევარი რიცხვისათვის მივიღებთ ამ სიდიდეზე არანაკლებ ჩანადენს. წლების მოკლე რიგში (14 წელი), ჩანადენი არანაკლებ 1,8 ლ/სეკ შემჩნეულია შეიძვერ თოთხმეტიდან, რაც აგრეთვე შეესაბამება 50%-იან უზრუნველყოფას.

ფოსტარის ცხრილის მიხედვით შეიძლება გამოვთვალოთ k სიდიდის შესაძლო მნიშვნელობა ნებისმიერი უზრუნველყოფისათვის 0,1-დან 99,9%-მდე და ამის მიხედვით ავაგოთ მრუდი შესაძლო უზრუნველყოფით.

32-ე ნახაზზე აგებულია ასეთი უზრუნველყოფის მრუდი მდ. სამხრეთი ბუგისათვის, რომლისთვისაც $C_s = 0,392$ და $C_s = 2C_s \approx 0,8$ და $C_s = 1,2$.

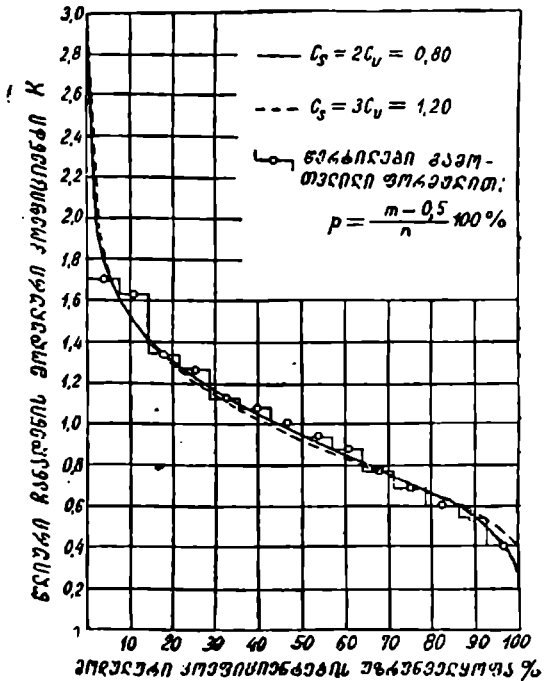
უზრუნველყოფის მრუდი შეიძლება აგებულ იქნეს აგრეთვე უშუალო დაკვირვებების მასალების მიხედვითაც.

ამოვიწერთ მე-7 ცხრილიდან მოდულური კოეფიციენტების მნიშვნელობანი ისე, რომ ეს რიცხვები თანდათან კლებულობდეს (იხ. ცხრილი 9).

მივიღოთ წლების რიცხვი $n = 14$ 100%-ად და მთელი რიგი დავყოთ საფეხურებად; ყოველი წლისათვის იგი იქნება $\frac{100}{14} = 7,14\%$.

უდიდესი მნიშვნელობა $k = 1,705$ უზრუნველყოფილი იქნება 0-დან $7,14\%$ -მდე, შემდეგი $k = 1,636$ კი $7,14$ -დან $14,28\%$ -მდე და ა. შ. რიგის წევრი, რომელსაც m ნომერი აქვს იმ საფეხურზე იქნება, რომლის უზრუნველყოფა მოთავეებული იქნება $\frac{m-1}{n} \cdot 100\%$ -დან

$\frac{m}{n} \cdot 100\%$ -მდე უზრუნველყოფათა შორის. უმცირესი კოეფიციენტი $k = 0,406$ შეესაბა-



ნახ. 32. მოდულური კოეფიციენტების უზრუნველყოფის მრუდი მდ. სამხრეთი ბუჯისათვის.

ცხრილი 9

უზრუნველყოფის ხაფხურაფანი მრუდის აგება

k	n	უზრუნველყოფა	
		$\frac{m-1}{n}$	$p = \frac{m-0.5}{n} \cdot 100$
		100-დან %	100-მდე %
1,705	1	0 — 7,1	3,6
1,636	2	7,1 — 14,3	10,7
1,340	3	14,3 — 21,4	17,9
1,261	4	21,4 — 28,6	25,0
1,124	5	28,6 — 35,8	32,2
1,086	6	35,8 — 42,9	39,3
1,013	7	42,9 — 50,0	46,4
0,940	8	50,0 — 57,1	53,6
0,881	9	57,1 — 64,3	60,7
0,776	10	64,3 — 71,4	67,9
0,686	11	71,4 — 78,5	75,0
0,596	12	78,5 — 85,7	82,1
0,549	13	85,7 — 92,8	89,3
0,406	14	92,8 — 100,0	96,4

მება უზრუნველყოფას 92,8-დან 100%-მდე. ამრიგად, შეიძლება ავაგოთ უზრუნველყოფის საფეხუროვანი მრუდი, რომელიც მოცემულია 32-ე ნახაზზე.

თუ გვექნება წლების უსასრულო რიგი, მაშინ საფეხურების სიგრძე შემცირდება და საფეხუროვანი მრუდი ზღვარში გარდაიქმნება უზრუნველყოფის უწყვეტ მრუდად, რომელიც გაივლის საფეხურების შუაში (32-ე ნახაზზე ეს მრუდი აღნიშნულია წრეებით). ასეთი უწყვეტი მრუდი შეიძლება ავაგოთ თუ უზრუნველყოფას გამოვთვლით ფორმულით:

$$p = \frac{m - 0,5}{n} 100\%$$

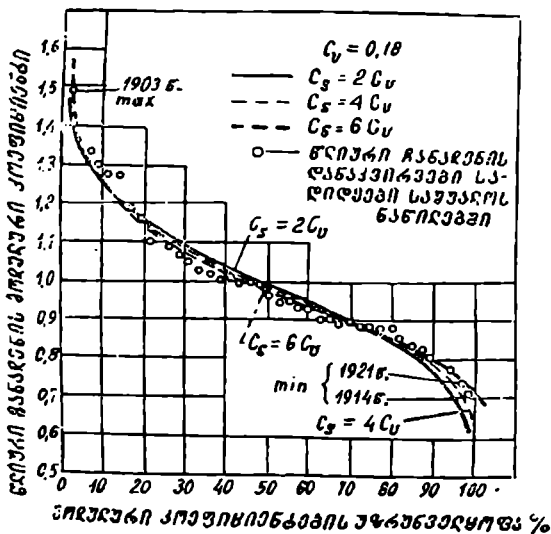
ამ წესით აგებული მრუდი ახლოს მდებარეობს ფოსტერის მრუდთან, როდესაც $C_s = 2C_s$; ეს უკანასკნელი კი უზრუნველყოფის მრუდის შესაძლო ზღვარს წარმოადგენს დაკვირვებათა წლების დიდი რიცხვისათვის. ამიტომ იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჩანადენის შესაძლო, ზღვრული (ექსტრემალური) მნიშვნელობების გამოსათვლელად. მაგალითად, მოდულის მინიმალური სიდიდე $k = 0,406$ ჩვენ მივიღეთ მდ. სამხრეთი ბუგისათვის 14 წელში ერთხელ. ალბათ იგი არ წარმოადგენს უმცირესს და მოსალოდნელია ჩანადენის უფრო მეტი შემცირება, თუ ავიღებთ უფრო ხანგრძლივ პერიოდს.

ფოსტერის მრუდი საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ, მაგალითად, მინიმალური ჩანადენის სიდიდე, რომელიც შეიძლება განმეორდეს 100 წელიწადში ერთხელ, ე. ი. უზრუნველყოფილია 99%-ით. ასეთ უზრუნველყოფას, როდესაც $C_s = 2C_s$, ექნება მოდულური კოეფიციენტი $k = 0,32$ ან ჩანადენის მოდული

$$M = k M_0 = 0,32 \cdot 1,895 = 0,606 \text{ ლ/სექ.}$$

1000 წლის განმავლობაში შეიძლება იყოს წელი, რომლისთვისაც $k = 0,2$, ე. ი. ჩანადენის მოდული $0,2 \cdot 1,895 = 0,38$ ლ/სექ (უზრუნველყოფა 99,9%) და ა. შ. ასევე შეიძლება იმის განსაზღვრა, რომ მაქსიმალური ჩანადენის მქონე წელს, რომლის გამოჩენის ალბათობა იქნება 1000 წელში ერთხელ (უზრუნველყოფა 0,1%) შეიძლება ჰქონდეს $k = 2,7$ და $M = 2,7 \cdot 1,895 = 5,1$ ლ/სექ.

33-ე ნახაზზე გამოსახული მრუდებიდან შეიძლება შევნიშნოთ, რომ C_s სიდიდის გააღრმავება უმთავრესად დიდად მოქმედებს უზრუნველყოფის ქვედა



ნახ. 33. მოდულური კოეფიციენტების უზრუნველყოფის მრუდები მდ. სვირისათვის 1881—1922 წლებში, როდესაც $C_s = 0,18$.

უბანზე. როდესაც $C_2 > 2C_1$, მაშინ უზრუნველყოფის მრუდი იძლევა მოდულური კოეფიციენტების გადიდებულ და შემცირებულ მნიშვნელობებს, ხოლო მათი საშუალო სიდიდეების შემცირებულ მნიშვნელობებს იმ უზრუნველყოფის მრუდთან შედარებით, რომელიც აგებულია პირობით: $C_2 = 2C_1$. ამრიგად, $C_2 = 2C_1$ იძლევა უზრუნველყოფის მრუდის ყველაზე უფრო ფართოდ მოხაზულობას მის ქვედა უბანში, ამიტომ $C_2 = 2C_1$ მრუდმა ყველაზე უფრო მეტი გავრცელება ჰპოვა ჰიდროტექნიკური გაანგარიშების პრაქტიკაში, მაგრამ ასეთი დაშვება ყოველთვის არ არის სწორი.

თუ მდინარის ჩანადენი კარგად არის დარეგულირებული ბუნებრივ პირობებში (მაგალითად, მდინარეები ტბებიდან), მაშინ წლიური ჩანადენის მოდული გამოდის საკმაოდ უცვლელი, განსაკუთრებით წყალმცირე წელში. ასეთი მდინარეების ჩანადენის მცირე ცვალებადობა პირველყოფლისა გამოისახება ვარიაციის კოეფიციენტის მცირე სიდიდით. მინიმალური ჩანადენის მდგომარეობა ხასიათდება მრუდის ქვედა ნაწილში მცირე ვარდნით, ე. ი. უკეთესად გამოისახება მრუდით, რომელიც აგებულია $C_2 > 2C_1$ -სათვის. მაგალითისათვის 33-ე ნახაზზე მოცემულია მოდულური კოეფიციენტების უზრუნველყოფის მრუდი მდ. სვირისათვის 40 წლის დაკვირვებების მასალების მიხედვით და იგი აგებულია პირობით:

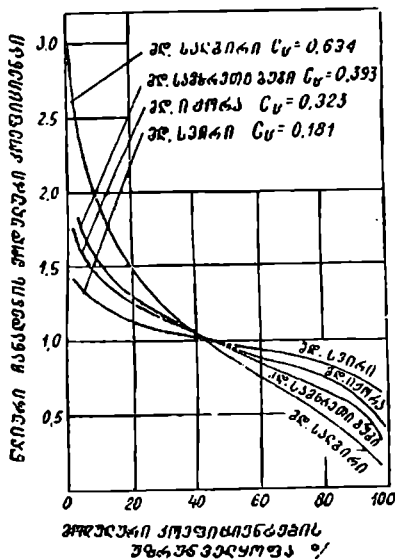
$$C_2 = 2C_1; C_3 = 4C_1 \text{ და } C_4 = 6C_1.$$

ვარიაციის კოეფიციენტის სიდიდე მდ. სვირისათვის, იმის გამო, რომ მისი ჩანადენი დარეგულირებულია ონეგის ტბით, ძალიან მცირეა და შეადგენს სულ $C_1 = 0,18$. ნახაზიდან ჩანს აგრეთვე, რომ დანაკვირვები მოდულური კოეფიციენტების წერტილები ყველაზე ახლოსაა მრუდთან, რომლისთვისაც $C_2 = 6C_1$, გარდა ყველაზე ქვედა ნაწილისა, სადაც ეს წერტილები მოთავსებულია მრუდებს შორის:

$$C_2 = 6C_1 \text{ და } C_3 = 4C_1.$$

პირიქით, ცვალებადი ჩანადენის მქონე მდინარეებისათვის მიიღება C_1 -ს ძალიან დიდი მნიშვნელობები და დაკვირვების შედეგად მიღებული წერტილები ახლოსაა მრუდთან $C_2 = 2C_1$ (ნახ. 34).

მნიშვნელოვანია საკითხი დაკვირვებათა ციკლის მინიმალური ხანგრძლიობის შესახებ, რომელიც საკმარისია იმისათვის, რომ ამ ხანგრძლიობით გამოთვლილი C_1 -სა და C_2 -ის მნიშვნელობები ახლოს იყოს ქეზმარტ მნიშვნე-



ნახ. 34. წლიური ჩანადენის მოდულური კოეფიციენტების მრუდები მდინარეებისათვის სხვადასხვა C_1 სიდიდით, როდესაც $C_2 = 2C_1$.

ლობებთან, რომლებიც შეიძლება მიღებულ იქნენ დაკვირვებათა მხოლოდ ძალიან დიდი დროისათვის. ამ საკითხის გამოკვლევამ საბჭოთა კავშირის მდინარეებზე დ. ლ. სოკოლოვსკი მიიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ ვარიაციის C_1 კოეფიციენტის ასე თუ ისე ზუსტი მნიშვნელობისათვის საკმარისია დაკვირვება ათი წლის განმავლობაში. მაგრამ ამ ათ წელში შესაძლებელია იყვეს რამდენიმე ერთმანეთზე მიუოლებელი შემთხვევითი წლების ჯგუფი, რომლებიც განსხვავებული იქნებიან, მაგალითად, ჩანადენის საშუალო სიდიდით. ამას არ უარყოფს დ. ლ. სოკოლოვსკიც. ასეთ შემთხვევით დაჯგუფებას შეუძლია გამოიწვიოს C_1 სიდიდის შემცირება. ამიტომ სიფრთხილისთვის C_1 საკირთა გამოითვალოს დაკვირვებით არანაკლებ 20—30 წლის განმავლობაში, რაც ჰიდროლოგიური მონაცემებით ჩვეულებრივ შესაძლებელია. თითქმის იგივე პერიოდის დაკვირვებებზე მიგვითითებენ მ. ფ. მენჯელი და ს. ნ. კრიციქი.

უფრო ცუდადაა საქმე C_2 სიდიდის განსაზღვრისათვის. იმისათვის, რომ (5) ფორმულით მივიღოთ C_2 -ის სწორი მნიშვნელობა, აუცილებელია გვეკონდეს დაკვირვებათა ძალიან ხანგრძლივი რიგი (ასეული წლები). აი რატომ ვიყენებდით ზემოთ ზღვრულ მნიშვნელობას: $C_2 = 2C_1$, როგორც ფრთხილ გადაწყვეტას. ასიმეტრიის კოეფიციენტის შერჩევისათვის შეიძლება ავავოთ უზრუნველყოფის მრუდი სხვადასხვა C_2 -თვის და მასზე დაკვირვებათა წერტილების გამოსახვით შეიძლება ავირჩიოთ C_2 სიდიდის ის მნიშვნელობა, რომელიც ახლოს იქნება უშუალო დაკვირვებათა მრუდთან. მოყვანილ მაგალითებში ეს იქნება: მდ. სამხრეთი ბუგისათვის $C_2 = 2C_1$, და მდ. სვირისათვის $C_2 = 6C_1$, ან უფრო ზუსტად $C_2 = 5C_1$.

§ 15. ჩანადენის გეოგრაფიული განაწილება

საბჭოთა კავშირის ყველაზე უფრო გამორკვეული ევროპული ნაწილისათვის პირველი ძვირფასი ცდა ჩანადენის გეოგრაფიული განაწილებისათვის მოგვცა ნიჟიერმა რუსმა ჰიდროლოგმა დ. ი. კოჩერინმა.

იმ დროისათვის (1927 წლამდე) არსებული მასალების გადამუშავების საფუძველზე მან შეადგინა ზემოთ აღნიშნული ტერიტორიის რუკა, რომელზედაც გამოსახული იყო ჩანადენის საშუალო მრავალწლიური მოდულების მუდმივი მნიშვნელობათა ხაზები ლიტრ სექუნდებში აუზის ფართობის ერთი კვადრატული კილომეტრიდან (ჩანადენის ნორმა).

გვეცოდინება რა რომელიმე ადგილისათვის ჩანადენის მოდული, შეიძლება განესაზღვროთ საშუალო მრავალწლიური ჩანადენის შრის სისქე (ამისათვის უნდა გამოვიყენოთ § 12). საშუალო წლიური ნალექების სიმაღლე შეიძლება განესაზღვროთ იმ რუკის მიხედვით, რომელზედაც გამოსახული იქნება საშუალო ნალექების მუდმივი მნიშვნელობების წირები. ნებოლსინის მიერ შედგენილი რუკებით (ნახ. 35) სარგებლობის შედეგად დ. ი. კოჩერინმა გამოთვალა:

1) სხვაობა $\alpha = k - x$, ე. ი. საშუალო მრავალწლიური აორთქლების სისქე, და

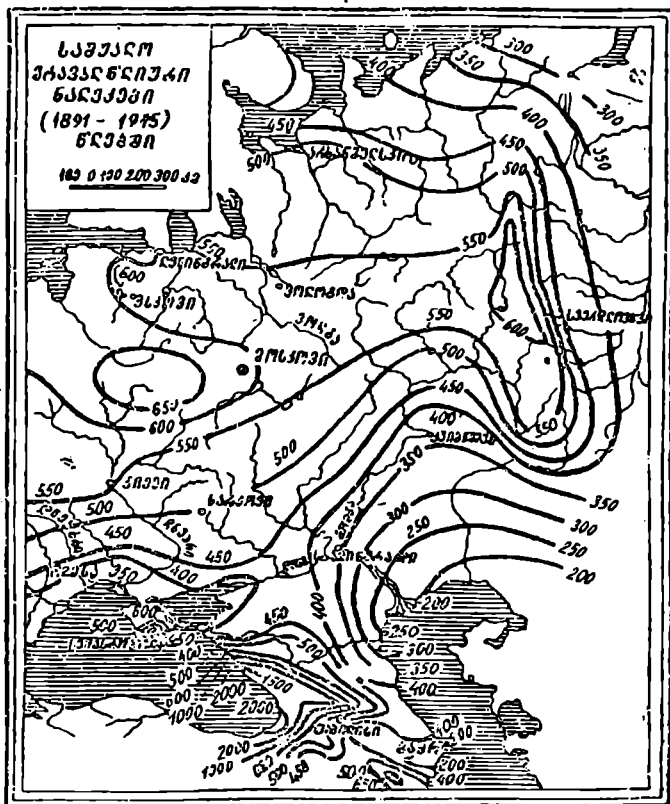
2) ფარდობა $\alpha = \frac{x}{h}$, ე. ი. ჩანადენის კოეფიციენტის საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობანი, და საბჭოთა კავშირის ევროპული ნაწილისათ-

¹ C_1 -სა და C_2 სიდიდების განსაზღვრის შეცდომების შესახებ იხ. С. Н. Крицкий и М. Ф. Менжель, Расчеты речного стока, Госстройиздат, 1934.

ვის შეადგინა α და α სხვადასხვა, საშუალო მრავალწლიური, მუდმივი მნიშვნელობების შესაბამისი მრუდების რუკა.

დ. ი. კონჩერინის მრუდები, შედგენილი შედარებით მცირე ჰიდროლოგიური მასალების მიხედვით, ამეიამდ მოძველდა. შემდგომი მასალები შედგენილია დიდი რაოდენობის მდინარეებისათვის, იგი უფრო სრულყოფილია და ამავდროს უფრო ხანგრძლივი დაკვირვებების შედეგია.

ახალი რუკები შედგენილია:



ნახ. 35. წლიური ნალექების იზობაზების რუკა (ს. ი. ნებოლსინის მიხედვით).

1. სახელმწიფო ჰიდროლოგიური ინსტიტუტის მიერ (ავტორები: ბ. დ. ზაიკოვი და ს. ი. ბელინკოვი, დ. ლ. სოკოლოვსკის რედაქტორობით) საბჭოთა კავშირის ევროპული ნაწილისათვის, რომელშიაც აგრეთვე შედის კავკასია, გარდა ამისა, შედგენილია რუკა მთელი საბჭოთა კავშირისათვის (ნაკლებად დაწვრილებით). ამ რუკებიდან პირველი უფრო დეტალურია, ვიდრე დ. ი. კონჩერინის რუკა და წარმოადგენს ძვირფას მონაცემს.

2. ჰიდროენერგოპროექტის ლენინგრადის განყოფილების კოლექტივის მიერ (ავტორი ინტ. გ. პ. ივანოვი). ეს რუკა (ნახ. 36) შედგენილია საბჭოთა კავშირის ევროპული ნაწილისათვის და რამდენაღმე განსხვავდება ჰიდროლოგიური ინსტიტუტის რუკისგან დეტალებში. ზოგიერთი რაიონებისათვის ეს რუკა უფრო ახლოს უნდა იყოს სინამდვილესთან.



ნახ. 36. ჩანადენის საშუალო მრავალწლიური მოდულების იზოხაზების რუკა (გ. ი. ივანოვის მიხედვით).

გარდა ჩანადენის მრავალწლიური მოდულების განაწილებისა, დ. ი. კოჩერინს მოცემული აქვს აგრეთვე წყლის უდიდესი ხარჯების მოდულების ცხრილი საბჭოთა კავშირის ევროპული ნაწილისათვის და რაიონების საზღვრების რუკა. ამ ცხრილში მოდულები მოყვანილია აუზების ფართობზე.

ბის სიდიდესთან დაკავშირებით და ნაგულისხმევია, რომ მცირე აუზები იძლევა დიდ კუთრ ჩანადენს ყოველი კვადრატული კილომეტრიდან, ვიდრე დიდი აუზები.

§ 16. ჩანადენის განსაზღვრის არაპირდაპირი მეთოდები

ჩანადენის საშუალო მოდულების რუკის მიხედვით, შესაძლებელია ნაანგარიშები იქნეს მდინარის აუზის საშუალო ჩანადენი ჰიდროლოგიური დაკვირვებების არასაკმარისობის ან არარსებობის დროსაც კი. ამისათვის საკმარისია ვიცოდეთ აუზის ფართობი.

მცირე აუზებისათვის, თუ აუზის F ფართობს გავამრავლებთ რუკიდან აღებული ჩანადენის საშუალო მოდულზე, შეიძლება ვიანგარიშოთ საშუალო წლიური ხარჯის სიდიდე:

$$Q_0 = \frac{M_0 F}{1000} \text{ მ}^3/\text{სექ}$$

და წლიური ჩანადენის მოცულობა;

$$V = 31536000 Q_0 \text{ მ}^3,$$

სადაც F აუზის ფართობია კვადრატულ კილომეტრებში, ხოლო M_0 —საშუალო მრავალწლიური ჩანადენის მოდული ლიტრ სექუნდებში კვადრატული კილომეტრიდან.

დიდი აუზებისათვის ჩანადენის მოდული სხვადასხვა იქნება მისი ცალკეული ნაწილებისათვის. ამ შემთხვევაში დავყოფთ რა მთელი აუზის ფართობს ნაწილებად, რომელთათვისაც მოდული ასე თუ ისე ერთი და იგივე იქნება, შეიძლება ვიანგარიშოთ ცალკეული აუზების ჩანადენი და შემდეგ მთელი ჩანადენი განვსაზღვროთ, როგორც აუზის ცალკეული ნაწილებიდან ჩანადენების ჯამი.

ამგვარად შეიძლება ვიანგარიშოთ საშუალო მრავალწლიური ჩანადენი. ჩანადენის ცვლილება წლების მიხედვით რჩება უცნობრ, რადგან ამისათვის საჭიროა C_s სიდიდის ცოდნა. დ. ლ. სოკოლოვსკის მიერ მოცემულია ფორმულა, რომელიც შედგენილია საბჭოთა კავშირის მთელ რიგ მდინარეებზე დაკვირვებათა მონაცემების გადამუშავების შედეგად; აღებული იყო სხვადასხვა სიდიდის აუზების მქონე და სხვადასხვა ტერიტორიაზე მდებარე მდინარეები. ეს ფორმულა საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ C_s , თუკი გვეცოდინება აუზის F ფართობი და ე. წ. „გეოგრაფიული პარამეტრი“ a , რომლის სიდიდე დამოკიდებულია აუზის გეოგრაფიულ-კლიმატურ პირობებზე.

ამ ფორმულას აქვს ასეთი სახე:

$$C_s = a - 0,063 \lg(F + 1).$$

კლიმატური პარამეტრი განისაზღვრება დ. ლ. სოკოლოვსკის მიერ შედგენილი რუკიდან (ნახ. 37), რომელზედაც გამოხატულია a კოეფიციენტის მუდმივ მნიშვნელობათა ხაზები.

C_s სიდიდის გამოსათვლელად უფრო მოსახერხებელია ს. ნ. კრიცკისა და მ. ფ. მენკელის ფორმულა, სადაც გეოგრაფიული პარამეტრების მაგივრად შედის ჩანადენის ნორმა, ე. ი. ჩანადენის საშუალო მრავალწლიური მოდული

$$C_s = \frac{0,83}{F^{0,06} \cdot M_0^{0,27}} \quad (7)$$

ვისარგებლებთ რა ჩანადენის საშუალო M_0 მოდულით და ვარიაციის C , კოეფიციენტით (თუკი არა გვაქვს სხვა მონაცემები, გარდა აუზის ფართობისა), შეიძლება ავაგოთ ჩანადენის უზრუნველყოფის ჰრუდი და გამოვთვალოთ მისი განაპირა მნიშვნელობანი (მაგალითად, მინიმალური 99%-იანი უზრუნველყოფით, ე. ი. ისეთი, როგორც 100 წელიწადში ერთხელ მეორდება, და ა. შ.).



ნახ. 37. გეოგრაფიული a კოეფიციენტის იზოხაზების რუკა C , სიდიდის გამოსათვლელად (დ. ლ. სოკოლოვსკის მიხედვით).

გარდა ამისა, ჩანადენის ასეთი არაპირდაპირი შეფასება შეიძლება ხელსაყრელი იყოს მაშინ, როდესაც ჩანადენზე დაკვირვება ხდება მოკლე დროში. თუ შევადარებთ არაპირდაპირი გამოთვლებით მიღებულ უზრუნველყოფის მრუდს დაკვირვებებით მიღებულ ჩანადენს, შეიძლება შევეფასოთ დაკვირვებ-

ბების პერიოდი და განსაზღვროთ ახლოსა თუ არა იგი ჩანადენის საშუალო მნიშვნელობასთან, წყალმცირე, თუ წყალზე პერიოდთან და ამავე დროს შეიძლება წარმოდგენა ვიქონიოთ სინამდვილიდან გამოთვლების შესაძლო გადახრაზე.

ამავე დროს არ შეიძლება ამ არაპირდაპირ მეთოდს მიეცეთ დიდი მნიშვნელობა. როგორც ყველა, სტატისტიკური საშუალო მახასიათებლის გამოყენებაზე დამყარებული მეთოდი, ეს მეთოდიც მიახლოებით ამოხსნას იძლევა, რომელიც საკმარისია ჩანადენის მხოლოდ საორიენტაციო შეფასებისათვის, თუკი არ არის სხვა უფრო ზუსტი მონაცემები.

ბევრ სახელმძღვანელოში მოყვანილია ნალექების რაოდენობის მიხედვით ჩანადენის განსაზღვრის მეთოდი. ეს მეთოდი ცნობილია იშკოვსკის მეთოდის სახელწოდებით. იშკოვსკი იყენებს ჩანადენის შრის სისქის განსაზღვრის ჩვეულებრივ ფორმულას

$$x = ah,$$

სადაც a —ჩანადენის კოეფიციენტი, ხოლო h —ნალექების წლიური სისქე.

მან მოგვცა აგრეთვე ცხრილი, რომელშიაც a განისაზღვრება აუზის რელიეფის მიხედვით.

მაგრამ სრულიად ნათელია, რომ აუზის ერთისა და იმავე რელიეფის დროს, ჩანადენის კოეფიციენტი დამოკიდებულია კლიმატურ პირობებზე (ნალექების რაოდენობა, ტენიანობა, ტემპერატურა და ა. შ.) და a იქნება სრულიად სხვადასხვა, მაგალითად: ლენინგრადისათვის და სამხრეთ სტეპებისათვის ერთისა და იმავე რელიეფის პირობებში.

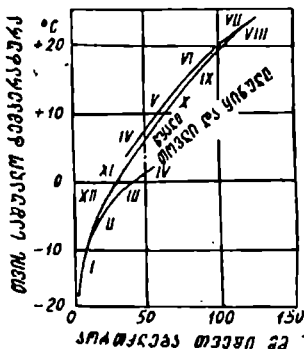
იშკოვსკიმ თავისი ფორმულა მოგვცა განსაზღვრული რაიონის ერთნაირი კლიმატისათვის და მისი გავრცელება საბჭოთა კავშირის სხვადასხვა კლიმატის მქონე ტერიტორიებზე მოკლებულია ყოველგვარ საფუძველს.

გარდა ამისა, იგი იძლევა მახასიათებელი ხარჯების (საშუალო დონისეული, მინიმალური და ა. შ.) საშუალო წლიურ ხარჯთან ფარდობის კოეფიციენტებს. მათით სარგებლობაც არ შეიძლება, ვინაიდან ისინი შეიძლება სამართლიანი იყვნენ აუზის მხოლოდ გარკვეულ კლიმატურ, სანიადაგო და სხვა პირობებისათვის. იგივე შეიძლება ითქვას იშკოვსკის მინიმალური ხარჯების ფორმულაზედაც.

მ. ა. ველიკანოვმა და დ. ლ. სოკოლოვსკიმ მოგვცეს ჩანადენის ნორმის გამოსათვლელი ფორმულა ჩანადენის a კოეფიციენტის მიხედვით, რომელიც გამოითვლება აორთქლების პირობებით:

$$a = 1 - \sqrt{\frac{d}{4,8}}$$

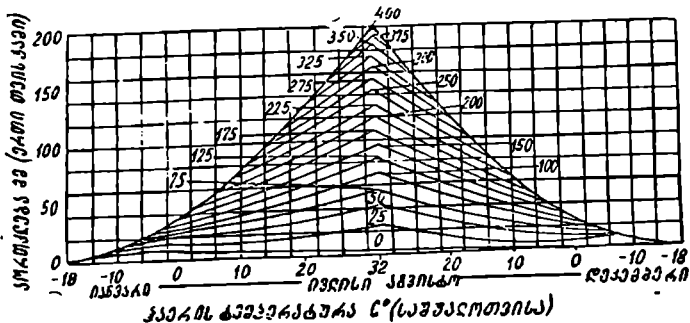
სადაც d არის ტენიანობის საშუალო დეფიციტი, რომელიც განისაზღვრება წყლის ორთქლის დრეკადობისა და ჰაერში პრაქტიკულად არსებული ორთქ-



ნახ. 38. აორთქლება წყლის ზედაპირიდან (მეიერის მიხედვით).

ლის (აბსოლუტური ტენიანობა) დრეკადობის სხვაობით. ტენიანობის დეფიციტის ანგარიში საქმაოდ რთული და შრომატევადია.

ეს ფორმულა კარგ შედეგებს იძლევა საბჭოთა კავშირის ევროპული ნაწილისა და გერმანიის იმ მდინარეებისათვის, რომლებსათვისაც დაკვირვებების მასალების მიხედვით გამოთვლილი იყო ჩანადენის კოეფიციენტი და რომელიც საფუძვლად დაედო ამ ფორმულის შედგენას. მაგრამ ეს ფორმულა ძნელია გავაერცელოთ სხვა რაიონის მდინარეებზედაც, რომლებიც სხვა კლიმატურ და მეტეოროლოგიურ პირობებში მდებარეობენ.



ნახ. 39. აორთქლება მიწის ზედაპირიდან მეიერის მიხედვით (მრუდებზე ციფრები აღნიშნავს ნალექების რაოდენობას თვეში მმ-ში).

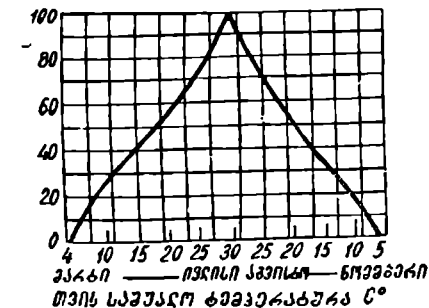
ა. ვ. ოგიევსკის მოპყავს მაგალითები, რომლებშიაც ჩანს, რომ ეს ფორმულები ღონბასის მდინარეებისათვის შეცდომას იძლევა 27-დან 50%-მდე;

ველიკანოვისა და სოკოლოვსკის ფორმულა ჩრდილოეთის მდინარეებისათვის იძლევა 25—35%-ით შემცირებულ სიდიდეებს, ხოლო პეჩორისათვის კი 50%-ს. ამათომ ამ ფორმულის რეკომენდება უველა აუზისათვის არ შეიძლება.

მეიერის მეთოდით (აშშ) ჩანადენი განისაზღვრება როგორც ნალექებისა და აორთქლების სხვაობა

$$x = h - z.$$

მეიერი წინადადებას იძლევა თითოეული თვისათვის აორთქლება გამოვთვალოთ; როგორც სამი სახის აორთქლების ჯამი:



ნახ. 40. მცენარეული საფარის ტრანსპირაცია მეიერის მიხედვით.

1) აორთქლება მიწის ზედაპირიდან, 2) აორთქლება მცენარეულობით (ტრანსპირაცია) და 3) აორთქლება წყლის ზედაპირიდან.

აორთქლების ყოველთვიური შრის სისქე მილიმეტრებში განისაზღვრება თვის საშუალო ტემპერატურის მიხედვით მეიერის გრაფიკებიდან (ნახ. 38, 39 და 40).

გამოვაკლებთ რა თვის ნალექების შრეს ყველა სამი სახის აორთქლების ჯამს, მივიღებთ ერთი თვის ჩანადენის შრეს. ყველა თვის ჩანადენის შრის შეჯამება მთელი წლისათვის მოგვცემს წლიურ ჩანადენს.

მაგრამ ამ მეთოდის ავტორი თვლის, რომ აორთქლების მისი მრუდები სამართლიანია მხოლოდ საშუალო პირობებისათვის. შეამოწმა რა თავისი მეთოდი ამერიკის შეერთებული შტატების 15 სხვადასხვა მდინარისათვის, შეიერმა შეიტანა შესწორება მიწიდან აორთქლების სიდიდეში კოეფიციენტების სახით 1,25-დან 0,95-მდე (ზოგიერთ შემთხვევაში 0,6-მდე) და აგრეთვე შესწორება შეიტანა ტრანსპირაციის პირობებში.

ამ პირობებში შეიერმა მიიღო მისი მეთოდით გამოთვლილი ჩანადენის თანხედენა სინამდვილეში დაკვირვების შედეგებთან. შეიერის მეთოდი საბჭოთა კავშირის პირობებში შეამოწმა ინჟ. ნაზაროვმა მდ. სამხრეთი ბუგისათვის და მ. ა. ველიკანოვმა და მ. ი. ლვოვიჩმა 9 სხვადასხვა მდინარისათვის, მათ შორის: ოკისათვის, მსტისათვის, სანდალკისათვის (კარგლია), კალჯირისათვის (ყაზახეთი) და სხვ. ყველა შემთხვევაში შეიერის მეთოდზე მათ უხდებოდათ დამატებითი შესწორებების შეტანა; ასე, მაგალითად, მ. ა. ველიკანოვი და მ. ი. ლვოვიჩი თვლიდნენ, რომ ზაფხულში მიწის ზედაპირიდან აორთქლება არ არის და ადგილი აქვს ტენის ტრანსპირაციას მცენარეულობით და ა. შ. მიუხედავად ამისა, მათ ცალკეულ შემთხვევაში მიიღეს გამოთვლილი ჩანადენის გადახრა სინამდვილიდან 15-დან 11%-მდე.

ცხადია, შეიერის მეთოდის გამოყენება ჩვენს პირობებში, შესწორებების გარეშე, დაუშვებელია; შესწორების შეტანა კი შეიძლება მხოლოდ თეორიულად მიღებული და უშუალო გაზომვების შედეგების შედარებით.

უნდა შევნიშნოთ, რომ თუმცა შეიერი ანგარიშობს ყოველთვიურ ჩანადენს, მაგრამ ამ მეთოდით სარგებლობა წლიური ჩანადენის განაწილების განსასაზღვრავად არ შეიძლება; ეს გასაგებია თავისთავადაც, ვინაიდან მოცემული თვის ჩანადენი მიიღება არა მარტო ამ თვის ნალექების ხარჯზე, არამედ გრუნტის წყლების მარაგისა და თოვლის დნობის ხარჯზე და ა. შ. ამიტომ, მაგალითად, ზამთრის თვეების ჩანადენი თოვლის მკვიდრი საფარისა და მცირე ტემპერატურის გამო, დამოკიდებულია მიწისქვეშა კვებაზე და თითქმის სულ არ არის დამოკიდებული ზამთრის ნალექებზე; გაზაფხულის ჩანადენი იკვებება ზამთრის თოვლის მარაგის ხარჯზე და ა. შ.

შეჯამებული წლიური ჩანადენის გამოთვლის დროსაც კი ამ მეთოდმა შეიძლება მოგვცეს საკმაოდ დიდი გადახრა სინამდვილიდან, რადგან შეიერის მეთოდი არ იღებს მხედველობაში ტენის მარაგს ნიადაგში, რომელიც ერთი წლიდან მეორე წელში გადადის და ა. შ. ამავდროს, შესაძლებელია რამდენიმე წელში ხდებოდეს გრუნტში ტენის მარაგის დაგროვება, ხოლო შემდგომ წლებში კი ამ მარაგით მდინარის კვება. ამ შემთხვევაში, ცხადია, შეიერის მეთოდი (თუნდაც ზუსტად იღებდეს მხედველობაში აორთქლებას) მოგვცემს ჩანადენის არასწორ სიდიდეს. ზუსტი შედეგის მოცემა მას შეუძლია მხოლოდ მრავალწლიური პერიოდისათვის, რომლის განმავლობაში აუზში თოვლის სახით დაგროვილი მარაგი და მის მიერ დაგროვილი მარაგის ხარჯზე დამატებითი კვება ერთმანეთს აწონასწორებენ.

ამიტომ შეიერის მეთოდი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მხოლოდ საშუალო მრავალწლიური ჩანადენის ნორმის განსასაზღვრავად, და არა ცალკეული წლებისა და მით უმეტეს თვეების ჩანადენის საანგარიშოდ.

§ 17. ანალოგიის მეთოდი

ეს მეთოდი შეიძლება გამოვიყენოთ ისეთი მდინარეების ჩანადენის განსასაზღვრავად, რომელთათვისაც უშუალო ჰიდრომეტრიული მონაცემები სრულებით არ არსებობს ან არსებობს მხოლოდ ხანმოკლე დროისათვის. საჭიროა მოიძებნოს მდინარე, რომლის აუზი ხასიათდება ერთნაირი კლიმატური პირობებით, რელიეფით, მცენარეული საფარით და ა. შ., და რომლის ჩანადენზე გვაქვს საკმარისი ხანგრძლივი დაკვირვებები. თუ ორივე აუზის ნალექების რაოდენობა ერთნაირია, შეიძლება ვიგულისხმოთ, რომ მათთვის ერთნაირია მოდულებიც და ჩანადენის კოეფიციენტებიც. ამრიგად, ამ ორი მდინარის ჩანადენთა ფარდობა მათი აუზების ფართობების ფარდობის ტოლი უნდა იყოს, ამიტომ ამ ორი მდინარისათვის შეიძლება დავწეროთ, რომ

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{F_1}{F_2}$$

ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება თვის ჩანადენებიც აუზების პროპორციულად ჩაითვალოს, ე. ი. გამოსაკვლევი მდინარის ჩანადენის წლიური განაწილება მივიღოთ ისეთი, როგორც აქვს მის ანალოგს.

თუ ნალექების h რაოდენობა ორი ანალოგიური აუზისათვის ერთნაირია არ არის, მაშინ შეიძლება ვიგულისხმოთ, რომ ჩანადენის მოდულები h -ის პროპორციულია, ე. ი.

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{h_1}{h_2}$$

ხოლო წლიური ჩანადენის რაოდენობა კი აუზში მიღებული ნალექების პროპორციულია:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{F_1 h_1}{F_2 h_2}$$

ეს დაშვებანი სამართლიანი იქნებიან, თუ ორივე აუზის ფართობებზე საკმარის დიდია (არანაკლები რამდენიმე ასეული კვადრატული კილომეტრისა), ვინაიდან აუზის მცირე ფართობის დროს, მისი სიდიდე შეიძლება მოქმედებდეს ჩანადენის მოდულის სიდიდეზე. გარდა ამისა, ანალოგია იქნება არასაიმედო, თუ ორივე აუზის ზომები ძალიან დიდად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან.

თუ რომელიმე აუზისათვის გვაქვს დაკვირვებათა გრძელი რიგი, ხოლო მეორისათვის კი—მხოლოდ რამდენიმე წელი, მაშინ პირველი მდინარისათვის შესაძლებელია ჩანადენის M_0' ნორმის განსაზღვრა; თუ მეორე აუზის დაკვირვებების დროისათვის გამოვთვლით ორივე მდინარის ჩანადენის მოდულების M_1 და M_2 მნიშვნელობებს, მაშინ მეორე მდინარის ჩანადენის ნორმა შეიძლება მივიღოთ ტოლად:

$$M_0'' = M_0' \frac{M_2}{M_1}$$

ცხადია, ანგარიში უნდა გავუწიოთ იმ გარემოებას, რომ ანალოგიის მეთოდი არის მხოლოდ მიახლოებითი მეთოდი და მისი სიზუსტე დიდად არის დამოკიდებული ჩვენთვის საინტერესო მდინარის ანალოგის სწორად შერჩევაზე.

ზოგჯერ შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს მეთოდი, რომლის დროსაც

ვაგებთ ორი ანალოგიური მდინარის აუზების ჩანადენებს შორის ურთიერთ-დამოკიდებულების მრუდებს; გადავზომავთ რა კოორდინატთა ლერძებზე ორი მდინარის ჩანადენის მოდულებს, საერთო წლების დაკვირვებების პერიოდში მიღებული წერტილებიდან შეიძლება ავაგოთ გრაფიკი, რომელიც მოგვცემს ჩანადენის მოდულების ურთიერთშორის კავშირს. თუკი ასეთი კავშირი დამყარებულ იქნება და გვეცოდინება ჩანადენის მოდული იმ მდინარისათვის, რომელზედაც გვაქვს მრავალი წლის ხანგრძლივი დაკვირვება, შეიძლება ამავე წლებისათვის გრაფიკულად განვსაზღვროთ ჩანადენის მოდული ჩვენი საკვლევე მდინარისათვის. ალბათობის თეორია ამ მიზნისათვის იძლევა კორელაციური დამოკიდებულების აგების მეთოდს¹.

§ 18. შაქსიმალური ხარჯების განსაზღვრა

წყალსაშვების, წყალსაგდებისა და კაშხალის წყალგამტარი ხერხების გაანგარიშებისათვის საჭიროა ვიცოდეთ წყალმეტრობის შესაძლო მაქსიმალური ხარჯის სიდიდე. ამავე დროს, ხანგრძლივი პერიოდის დაკვირვებებიც კი (30—50 წელი) არ იძლევა გამომქვანების შესაძლებლობის გარანტიას ისეთი წყალმეტრობის განსაზღვრისათვის, რომელიც სინამდვილეში იარსებებს და აღემატება დაკვირვების პერიოდის ხარჯების მაქსიმალურ მონაცემებს. თუ აუზის წყალგამტარი ნაგებობანი არ იქნებიან გათვლილი ასეთ ხარჯებზე, მაშინ ამან შეიძლება გამოიწვიოს ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა დაზიანება და შეიძლება დანგრევაც კი. ეს განსაკუთრებით საშიშია ისეთი კაშხალებისათვის, რომელთა ქიმზე არ შეიძლება გადატარებულ იქნეს წყლის ნაკადი, მაგალითად მიწის კაშხალებისათვის. აშშ პრაქტიკაში იყო კაშხალების დანგრევის ბევრი შემთხვევა, რაც გამოწვეული იყო წყალმეტრობის გატარებით, რომლის სიდიდე არ იყო გათვალისწინებული დაპროექტების დროს. ამ მოვლენამ გამოხმაურება ჰპოვა აშშ ყველა შემდგომ პროექტში, სადაც წყალმეტრობის საანგარიშო სიდიდე უკანასკნელ წლებში მიღებულია დიდი მარაგით. უნდა ითქვას, რომ აშშ მდინარეები ამ მხრივ განსაკუთრებული არიან ამ ქვეყნის კლიმატის თავისებურების გამო. აშშ ტერიტორია მდებარეობს ჩრდილო განედის 25 და 49°-ზე, ხოლო ფლორიდის ნახევარკუნძულის გარეშე 30 და 49°-ს შორის, რასაც ჩვენს ნახევარსფეროზე შეესაბამება დაახლოებით სტალინგრადის ან პარიზის (49°) და კაიროს (დაახლოებით 30°) განედები. ნიუ-იორკი მდებარეობს თბილისისა და ნეაპოლის სამხრეთით. ამავე დროს, ტერიტორიის უდიდესი ნაწილი იფარება თოვლით, რომლის დნობის პერიოდში მოსალოდნელია ნიაღვრები, რომლებიც ზოგ ადგილებში (აშშ სამხრეთი რაიონი) აღწევს საკმაო ინტენსიობას.

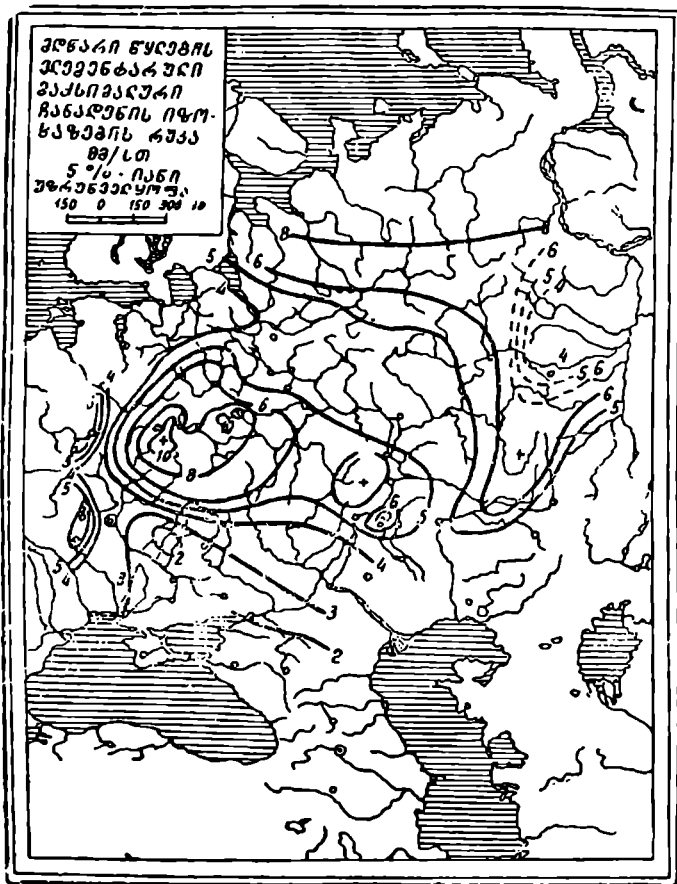
ნიაღვრების დიდი ხარჯების შესაძლო შეერთება ვაზაფხულის წყალმეტრობასთან, იძლევა წყლის საშიშ ხარჯებს. ალბათ ამ მდგომარეობის გაუთვალისწინებლობით აიხსნება კაშხალის წყალსაგდების არასაკმარისი გამტარუნარიანობა და კაშხალების დანგრევა. მეორე მხრივ, წყალსაგდები მოწყობილობის გამტარუნარიანობის ძალიან გადიდება შეიძლება გამოიწვიოს მათი ღირებულების გადიდება.

საბჭოთა ჰიდროტექნიკის პრაქტიკაში მაქსიმალური ხარჯების გამოსათვლელად იყენებენ შემდეგ მეთოდებს.

1. დ. ი. კოჩერინის ან დ. ლ. სოკოლოვსკის მონაცემების

¹ იხ. С. Н. Крицкий и М. Ф. Менкель, Расчеты речного стока, Гостройиздат, 1934.

მიხედვით განსაზღვრის მეთოდი. ვინაიდან დ. ი. კონჩერინს მაშინ არასრული მასალები ჰქონდა, ამიტომ მისი მონაცემებითა და შედეგებით ანგარიში არ შეიძლება დამაჯერებლად ჩავთვალოთ. ვარდა ამისა, დაკვირვების ხანგრძლიობა, რომლებიც მას გააჩნდა, ხშირად არ იყო საკმარისი. ცალ-



ნახ. 41. *A* პარამეტრის იზოხაზების რუკა მდნარი წყლების მაქსიმალური ჩანადენის გამოსათვლელად 5%-იანი უზრუნველყოფით (დ. ლ. სოკოლოვსკის მიხედვით).

კეულ მდინარეებზე, რომელთა მაქსიმალური ხარჯებითაც ის სარგებლობდა, ჰქონდა დაკვირვებების სხვადასხვა ხანგრძლიობა. ამიტომ არ შეიძლება ვთქვათ კონჩერინის მეთოდით გამოთვლილ მაქსიმალურ ხარჯებს როგორი უზრუნველყოფა აქვს. შეიძლება აგრეთვე ვიგულისხმოთ, რომ სხვადასხვა ზომის აუზებისათვის კონჩერინის მეთოდით გამოთვლილ მაქსიმუმის სიდიდეებს აქვს სხვადასხვა უზრუნველყოფა.

საფაცო F არის აუზის ფართობი კმ²-ში, ხოლო A პარამეტრი, რომელიც დამოკიდებულია მდინარის აუზის გეოგრაფიულ მდებარეობაზე.

A პარამეტრისათვის დ. ლ. სოკოლოვის მიერ შედგენილია რუკა, რომელიც მოცემულია 41-ე და 42-ე ნახაზებზე; ამ რუკებიდან შესაძლებელია მოგძებნოთ A სიდიდე გაზაფხულის წყალმეტობისათვის 5⁰/₁₀₀-იანი (20 წელიწადში ერთხელ) და 1⁰/₁₀₀-იანი უზრუნველყოფით (100 წელიწადში ერთხელ).

2. ფოსტერის მეთოდის გამოყენებაზე დამყარებული ხერხი. თუკი გვაქვს დაკვირვებები საქმაოდ დიდი დროისათვის (20—30 წელი), ფოსტერის მეთოდის გამოყენებით შეიძლება გავიგოთ წყალმეტობის მაქსიმალური ხარჯი ნებისმიერი უზრუნველყოფისათვის.

ვთქვათ, გვინდა გავიგოთ გაზაფხულის თოვლის დნობით გამოწვეული წყალმეტობის მაქსიმალური ხარჯები. ამოვწერთ რა დაკვირვების ყველა წლიდან მაქსიმალურ ხარჯებს, გამოვთვლით მათ საშუალო Q_0 ხარჯს n წლისათვის. თუ ავიღებთ ნებისმიერი წლისათვის მაქსიმალური Q ხარჯის ფარდობას მაქსიმუმის საშუალო Q_0 სიდიდესთან, ამ წესით გამოვიანგარიშებთ ყველა წლისათვის $k = \frac{Q}{Q_0}$ კოეფიციენტის მნიშვნელობას და (4) ფორმულით განვ-

საზღვრავთ ვარიაციის C_s კოეფიციენტის სიდიდეს.

იმისათვის, რომ არ შევამციროთ მოსალოდნელი მაქსიმუმის მნიშვნელობა, საჭიროა ფრთხილად შევარჩიოთ ასიმეტრიის C_s კოეფიციენტის სიდიდე. ვინაიდან C_s -ის ძალიან დიდი მნიშვნელობა იძლევა მაქსიმუმის საქმაოდ დიდ მნიშვნელობას, ამიტომ უმჯობესია ავიღოთ $C_s > 2C_s$, მაგალითად:

$$C_s = \frac{2C_s}{1 - k_{\min}}$$

გვეცოდინება რა C_s და C_s , ფოსტერის ცხრილებით შეიძლება გამოვთვალოთ k_{\max} ნებისმიერი უზრუნველყოფისათვის. ამ უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯის სიდიდე იქნება:

$$Q_{\max} = k_{\max} Q_0.$$

წყალგამტარი ნაგებობების გაანგარიშებისათვის ჩვეულებრივ იღებენ ისეთ ხარჯებს, რომელთა განმეორების შესაძლებლობა მოსალოდნელია 1000 წელიწადში ერთხელ, ე. ი. უზრუნველყოფით: არა-უმეტეს 0,1⁰/₁₀₀-ისა.

მშენებლობის პერიოდში ჯებირებით შევიწროებული კალაპოტის გამტარუნარიანობის გაანგარიშებისათვის ბუნებრივია დავუშვათ წყალმეტობან განმეორების შეტი სიხშირით (მაგალითად: 100, 50 ან 30 წელიწადში ერთხელ, ე. ი. უზრუნველყოფით, სათანადოდ 1,0—2,0—3,3⁰/₁₀₀). ვინაიდან ამ ნაგებობათა ექსპლოატაციის დრო უფრო მოკლეა, ვიდრე კაშხალის არსებობის ხანგრძლიობა, შეიძლება წავიდეთ გარკვეულ რისკზე დავუშვათ რა მათთვის მცირე გამტარუნარიანობას.

საპასუხისმგებლო შემთხვევებში და აგრეთვე ისეთ მდინარეებზე, რომლებზედაც დიდად ცვალებადობს წყალმეტობის ხარჯები, საჭიროა განსაკუთრებული ყურადღებით მოვეპყროთ გასაანგარიშებელი წყალმეტობის შერჩევას.

3. ფულერის მეთოდი. ამ მეთოდით წყალმეტობის მაქსიმალური ხარჯების გამოთვლისათვის საჭიროა ვიხმაროთ ფორმულა:

$$Q_{\max} = Q_0(1 + 0,8 \lg T), \quad (9)$$

სადაც Q_0 არის წყალმეტობის მაქსიმალური ხარჯების საშუალო სიდიდე დაკვირვების მრავალწლიური პერიოდისათვის და T —წლების რიცხვი, რომლის განმავლობაში მოსალოდნელია Q_{max} .

ფულერის ფორმულამ, მისი გამოქვეყნების, პერიოდში, ამ მეცნიერის სამშობლოში (აშშ) გამოიწვია მთელი რიგი აცილებები; შემდეგ კი ეს აზრი გამოთქვეს საბჭოთა კავშირის ჰიდროლოგებმაც.

იყო ცდები შესწორებულისა ეს ფორმულა და აგრეთვე შემოწმებულიყო იგი საბჭოთა კავშირის მდინარეების ჰიდროლოგიურ პირობებში; ასე მაგალითად, ა. ვ. ოგიევსკის შემოწმებამ მდ. დნეპრზე ქ. კიევთან, სადაც არსებობდა წყალმეტობის ხარჯებზე დაკვირვებები 80 წლის განმავლობაში, გვიჩვენა, რომ ფულერის ფორმულა არ იძლევა კარგ შედეგებს. ოგიევსკიმ მიიღო უკეთესი შედეგები ასეთნაირად შეცვლილი ფორმულით:

$$Q_{max} = Q_0(1 + 1,3 \lg T);$$

ამიტომ იგი თვლის, რომ ფორმულაში კოეფიციენტი 0,8 სამართლიანია მხოლოდ იმ მდინარეებისათვის, რომლებიც ფულერმა გამოიკვლია; საერთოდ კი ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეიძლება იცვლებოდეს ადგილმდებარეობის მიხედვით.

ჩანადენის რეზუმირება

§ 19. ჩანადენის ენერგეტიკული რეზულირების ძირითადი სახეები

როგორც აღენიშნეთ, მდინარის ხარჯების განაწილება წლის განმავლობაში ხასიათდება ასე თუ ისე საკმაოდ დიდი უთანაბრობით, რაც არ არის სასურველი ენერჯიის გამომუშავებისათვის. ენერჯიის მოხმარება წლის განმავლობაში უფრო მეტად თანაბარია და ძირითადად განიცდის მნიშვნელოვან დღელამურ და ნაკლებად მნიშვნელოვან კვირეულ ცვლილებებს; ამის შედეგად ჩნდება ორი ძირითადი წინააღმდეგობა ენერჯიის მოხმარებასა და ჩანადენის ბუნებრივ რეჟიმზე მომუშავე ჰიდროელსადგურების გამომუშავებას შორის.

1. დღელამის (კვირის) განმავლობაში ნაკადის ხარჯი და მისი სიმძლავრე მუდმივი (ან თითქმის მუდმივი) რჩება, მაშინ როდესაც მომხმარებლის სიმძლავრე ძალიან იცვლება;

2. წლის განმავლობაში ენერჯიის საშუალო დღელამური მოხმარება იცვლება შედარებით მცირედ, მაშინ როდესაც მდინარის ხარჯი და სადგურის სიმძლავრე მერყეობს საკმაოდ დიდ ფარგლებში.

ამ მდგომარეობას ემატება კიდევ ისიც, რომ მდინარის ჩანადენის რაოდენობა სხვადასხვა წლებში სხვადასხვაა.

ჰიდროენერჯიის ყველაზე უფრო ეკონომიურად გამოყენებისათვის აუცილებელია ჩანადენის გადნაწილება დროის მიხედვით; ეს კი შეიძლება მოხდეს წყალსაცავით ჩანადენის რეგულირების გზით და ჰიდროენერჯიის გამომუშავების რეჟიმის შეფარდებით მომხმარებლების მოთხოვნის შესაბამისად.

ამ მიზნით, დროის იმ პერიოდში, როდესაც მდინარეს აქვს ზედმეტი წყალი, იგი ინახება წყალსაცავში. ამრიგად შექმნილი მარაგი ჰიდროელსადგურის მიერ გამოყენებულ იქნება იმ პერიოდში, როდესაც შემცირდება წყლის ბუნებრივი ხარჯები მდინარეში და იზრდება მოთხოვნილება ენერჯიაზე.

არჩევენ რეგულირების ოთხ ძირითად სახეს: დღელამური, კვირეული, წლიური და მრავალწლიური.

1. დღელამური რეგულირება მიზნად ისახავს დღელამეში მდინარის მუდმივი ან თითქმის მუდმივი წყლის ხარჯების დროს უზრუნველყოს ჰიდროელსადგურის მიერ წყლის მოხმარების უთანაბრობა, რომელიც დღელამური დატვირთვის ცვალებადობით არის გამოწვეული. 43-ე ნახაზზე მოცემულია სადგურის დღელამური დატვირთვის გრაფიკი. ვინაიდან სადგურის სიმძლავრე

$$P = 9,81QH\eta \text{ კვტ,}$$

ამიტომ H დაწნევისა და მარგი ქმედების η კოეფიციენტის მუდმივობის შემთხვევაში იგი Q ხარჯის პირდაპირ პროპორციულია, ამიტომ დატვირთვის გრაფიკი, რომელიც სიმძლავრის დღელამურ ცვლილებას გამოსახავს, შეიძლება განვიხილოთ როგორც სადგურის მიერ გამოყენებული წყლის ხარჯების ცვალებადობის გრაფიკი. ამ მიზნით გრაფიკის ორდინატთა ღერძზე შეიძლება გადავიტანოთ ხარჯების სკალა შესაბამის მასშტაბში. ვთქვათ $P_{აა}$ არის გრაფიკის საშუალო ორდინატა, ე. ი. დატვირთვის საშუალო დღელამური სიმძლავრე.

დავუშვათ, რომ რომელიმე მოცემულ დღეს, მდინარეში წყლის ხარჯი შეადგენს Q მ³/სეკ ისე, რომ ეს ხარჯი იძლეოდეს სიმძლავრეს:

$$P_0 = 9,81QH\eta = P_{აა}.$$

1 და 4 დაშტრიხული ფართობი შეესაბამება იმ საათებს, როდესაც ენერჯიის მოძმარებლების მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე ნაკლებია $P_{აა}$ -ზე, ე. ი. მდინარეს უნარი აქვს ამ საათებში ზედმეტი სიმძლავრე განავითაროს, ვინაიდან ამ საათებში მდინარის Q ხარჯი აღემატება იმ ხარჯს, რომელიც საჭიროა დატვირთვის დასაფარავად.

ზედმეტი წყალი, რომლის მოკულობა შეესაბამება 1 და 4 ფართობს, გროვდება წყალსაცავში, სადაც წყლის დონე ამ პერიოდში მატულობს.

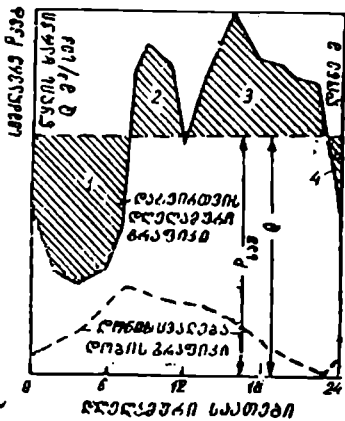
როდესაც დატვირთვა გადააქარბებს $P_{აა}$ -ს, ე. ი. სადგურის მიერ გამოყენებული წყლის ხარჯი მეტია Q -ზე, მაშინ წყლის დამატებითი რაოდენობა წყალსაცავიდან მიდის სადგურში. ამ დროს, წყლის დონე წყალსაცავში ეცემა. მოხმარებული წყლის რაოდენობა გამოისახება 2 და 3 დაშტრიხული ფართობით. ცხადია, რომ დაგროვილი წყლის რაოდენობა, რომელიც გამოისახულია 1+4 ფართობით გარკვეულ მასშტაბში ტოლია წყალსაცავიდან დახარჯული წყლის რაოდენობისა, რომელიც გამოისახულია 2+3 ფართობით.

წყლის დონე წყალსაცავში დღელამურში ასრულებს ცვალებადობის სრულ ციკლს და უბრუნდება თავის პირვანდელ მდებარეობას.

დაგროვების პირველ საათებში წყალსაცავის დონე მიაღწევს უმაღლეს მდებარეობას, შემდეგ იგი კლებულობს უდაბლეს დონემდე; დაგროვების შედეგად 24 საათის განმავლობაში საწყისი დონე აღდგება და თუ მეორე დღეს იქნება დატვირთვის იგივე გრაფიკი და მდინარეში წყლის იგივე ხარჯი, მაშინ სურათი განმეორდება.

წყალსაცავში დონეების ცვალებადობის ციკლს აქვს ხანგრძლიობა ერთი დღე-ღამე.

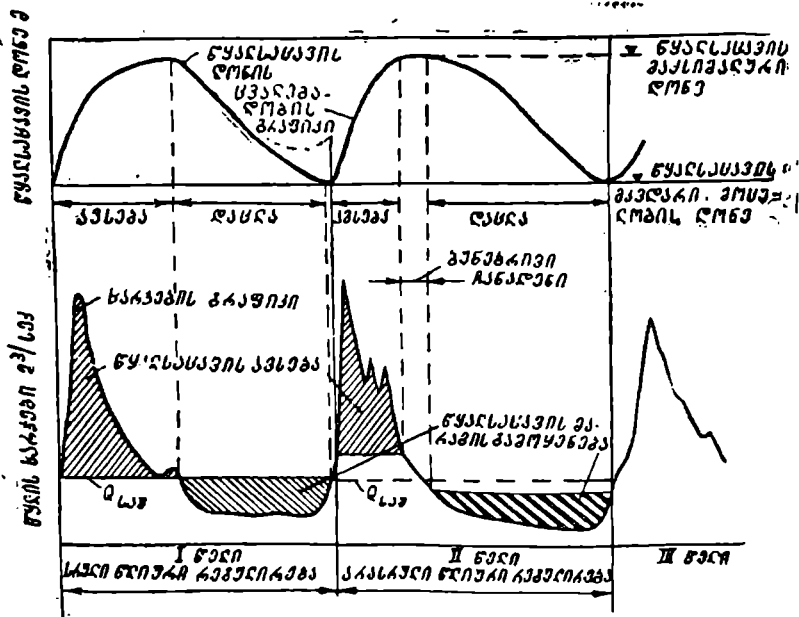
2. კვირული რეგულირება გამოყენებულია მაშინ, როდესაც მდინარის ხარჯი კვირის განმავლობაში თითქმის მუდმივია, ხოლო დატვირთვა არ არის მუდმივი. ასე, მაგალითად, არასამუშაო დღეებში დატვირთვა რამდენადმე მცირდება სამრეწველო საწარმოების გაჩერების, დაწესებულებების



ნახ. 43. დღელამური რეგულირება.

განათების შემცირების გამო და ა. შ. ცალკეულ მუშა დღეებშიაც შეიძლება ადგილი ექნეს დატვირთვის შემცირებას; ამ დროს მდინარის წყლის ნაწილი არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს. ამ შემთხვევაში არასამუშაო დღეებში ხდება წყლის დაგროვება წყალსაცავში, ხოლო მიღებული მარაგი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მდინარის ბუნებრივ ჩანადერთან ერთად კვირის იმ დღეებში, როდესაც დატვირთვები დიდი. ცხადია, რომ მინიმალური დატვირთვის დღის შემდეგ, წყალსაცავი ივსება უდიდეს ღონემდე, შემდეგ კი კვირის განმავლობაში იგი ყოველდღიურად აწარმოებს დღელამურ რეგულირებას, ე. ი. წყალსაცავში ადგილი ექნება დონის დღელამურ ცვალებადობას. მაგრამ ყოველი მუშა დღის ბოლოს, წყალსაცავის დონე ვერ დაუბრუნდება იმ დონეს, რომელიც დღის დასაწყისში იყო, ვინაიდან იქიდან უკვე გამოყენებულ იქნა კვირის მარაგის ნაწილი. უკანასკნელ დღეს, არასამუშაო დღის წინ წყალსაცავში დონე დაიწევს უდაბლეს ნიშნულამდე, ხოლო არასამუშაო დღეს მასში აღდგება კვირის მარაგი თავისი უმაღლესი დონით. დონის ცვალებადობის სრული ციკლის ხანგრძლიობა აღწევს ერთ კვირას. არასამუშაო დღისა და შემცირებული დატვირთვის მუშა დღეებში შექმნილი კვირის მარაგის ხარჯზე იზრდება ენერჯის გამომუშავება გადიდებული დატვირთვების სამუშაო დღეებში.

3. წლიური რეგულირების მიზანია გადაანაწილოს მდინარის ჩანადენი წლის განმავლობაში; ეს ხორციელდება წყალმეტობის წყლის დაგროვებით და მისი გამოყენებით წელიწადის წყალმცირე პერიოდში (ნახ. 44). წყალსაცავის მოცულობა, რომელიც საჭიროა ამ ამოცანის შესასრულე-



ნახ. 44. ჩანადენის წლიური რეგულირება (სრული და არასრული).

ზლად, საგრძნობლად აკარბებს დღელამური და კვირეული რეგულირებისათვის საჭირო მოცულობებს¹.

წყალმეტობის პერიოდში წყალსაცავი ივსება უდიდეს დონემდე; დაგროვილი წყლის მარაგი იხარჯება შემდეგი წლის წყალმეტობის დაწყებამდე, რომელიც შემდგომ ხელახლა აესებს წყალსაცავს.

4. მრავალწლიური რეგულირება ემსახურება სადგურის წლიური გამოშვებების გათანაბრებას ცალკეულ წლებში მთელი რიგი წლების მანძილზე, რომელთა წლიური ჩანადენი სხვადასხვაა. თუ წყალსაცავის მოცულობა საკმარისად დიდია, მაშინ წყალმცირე წელიწადში, ხოლო ზოგჯერ საშუალო წელში, წყალსაცავში შეიძლება დაეგროვოთ მთელი წყალმეტობა და ამ წელიწადში უზრუნველყოფილ იქნება თანაბარი, მუდმივი სიმძლავრე და ხარჯი (სრული წლიური რეგულირება). ვინაიდან ცალკეული წლების ჩანადენის სიდიდე სხვადასხვაა, ამიტომ მოცემულ წელიწადში დარეგულირებული სიმძლავრე იცვლება წელიწადის მიხედვით. თუ წყალსაცავის მოცულობა საშუალებას იძლევა, მაშინ შესაძლებელია დაეგროვოთ წყალუხვი წლის წყალმეტობის მარაგი და არ დაეხარჯოთ იგი იმავე წელში, არამედ დაეხარჯოთ მხოლოდ მისი ნაწილი, რომელიც უზრუნველყოფს წყალუხვი წლების სიმძლავრეს და წყლის ხარჯს, რომლებიც ახლოს არიან საშუალო წლის (ან საშუალო მრავალწლიურ) მნიშვნელობასთან.

წყალუხვი წელიწადის ჩანადენის დარჩენილი ნაწილი საჭიროა წყალმცირე წლების სიმძლავრისა და, მაშასადამე, წყლის ხარჯების გასაღიდეზლად, რათა იგი მიეუახლოვოთ საშუალო მრავალწლიურ სიდიდეებს. ასეთ მრავალწლიურ რეგულირებას, რომელიც უზრუნველყოფს ენერჯის თანაბარ გამოშვებას, თან ახლავს წყალსაცავის დონის, წლიური რეგულაციების დროს დონის ცვალებადობისაგან განსხვავებული, ცვალებადობა. წყალსაცავის დონის ცვალებადობის სრული ციკლი გაგრძელდება რამდენიმე წელს.

მაქსიმალური დონე შეიძლება მიღებულ იქნეს, თუ თანმიმდევრობით განმეორდება წყალუხვი წლები, ხოლო უმცირეს დონეზე დაეცემა მხოლოდ მთელი რიგი წყალმცირე წლების შემდეგ.

წლიური რეგულირებას მრავალწლიურთან შედარებით აქვს მცირე ამპლიტუდა და რაც დამახასიათებელია მრავალწლიური რეგულირებისათვის, წლის ბოლოს წყალსაცავის დონე არ უბრუნდება იმ დონეს, რომელიც მას ჰქონდა წლის დასაწყისში ისე, როგორც ამას ადგილი აქვს წლიური რეგულირების დროს. ეს გამოწვეულია იმით, რომ თუ მოცემულ წელიწადში ჩანადენი არის საშუალოზე უფრო მცირე, მაშინ მრავალწლიური რეგულირების მოცულობის ნაწილი დახარჯული იქნება; თუ იგი მეტია საშუალოზე, მაშინ, პირიქით, — უნდა შეივსოს. პირველ შემთხვევაში წყლის დონე წლის ბოლოს უფრო დაბლა იქნება, ვიდრე წლის დასაწყისში იყო; მეორე შემთხვევაში — პირიქით.

ყოველი სახის რეგულირება შეიძლება იყოს სრული და არასრული იმისდა მიხედვით, თუ როგორი მოცულობა აქვს წყალსაცავს. ასე, მაგალი-

¹ თუ კვირეული რეგულირებისათვის გამოყენებულია წყალსაცავი, რომელიც აწარმოებს წლიურ ან მრავალწლიურ რეგულირებას, მაშინ კვირის ციკლის დამთავრების შემდეგ წყლის დონე შეიძლება იყოს პირვანდელი მდგომარეობაში, თუ იხარჯება წყლის წლიური მარაგი, ან პირვანდელი დონის ხეობით, ამ მარაგის დაგროვების შეთხვევაში.

თად, თუ წლიური რეგულირების დროს წყალსაცავში შეიძლება წყალმეტრობის სრული დაგროვება და ამით წლის განმავლობაში მუდმივი ხარჯის უზრუნველყოფა, მაშინ ასეთი რეგულირება იქნება სრული რეგულირება. თუ წყალსაცავის მოცულობა არ არის საკმარისი იმისათვის, რომ დაიტოვოს წყალმეტრობის ჩანადენი, მაშინ წლის წყალმცირე პერიოდში შესაძლებელია ხარჯების გაზრდა, დანარჩენ თვეებში კი გვექნება წყლის ბუნებრივი ხარჯები (ნახ. 44). ამ შემთხვევაში გვექნება არასრული, ანუ ნაწილობრივი წლიური რეგულირება, რომელსაც ზოგჯერ სეზონურ რეგულირებას უწოდებენ.

იმისათვის, რომ განვახორციელოთ რეგულირების ესა თუ ის ფორმა, საჭიროა გვექონდეს წყალსაცავის შესაფერისი მოცულობა. დღეღამური და კვირეული რეგულირება მოითხოვს შედარებით მცირე მოცულობის წყალსაცავებს.

შეიძლება მიახლოებით ჩავთვალოთ, რომ, თუ წყალსაცავის მოცულობა შეადგენს ტურბინებში დღე-ღამეში გატარებული წყლის მოცულობის არანაკლებ 5% -ს, მაშინ შესაძლებელია თუნდაც არასრული დღეღამური რეგულირება. თუ წყალსაცავს აქვს მოცულობა, რომელიც შეადგენს იმავე მოცულობის $20-25\%$ -ს, მაშინ შესაძლებელია სრული დღეღამური რეგულირება.

წლიური რეგულირებისათვის საჭიროა საკმაოდ დიდი წყალსაცავი-არასრული (ნაწილობრივი) წლიური რეგულირება უკვე იძლევა ეფექტს (წყალმცირე პერიოდების ხარჯების გადიდების მიზნით), როდესაც წყალსაცავის მოცულობა შეადგენს საშუალო წლის წლიური ჩანადენის $2-3\%$ -ს. თუ ეს მოცულობა არის წლიური ჩანადენის $20-30\%$, მაშინ შეიძლება განვახორციელოთ სრული ან არასრული წლიური რეგულირება. თუ წყალსაცავის მოცულობა შეადგენს საშუალო წლის წლიური ჩანადენის 50% -ს, მაშინ შესაძლებელია არასრული მრავალწლიური რეგულირება. მრავალწლიურმა სრულმა რეგულირებამ შეიძლება მოითხოვოს საშუალო წლის სრული ჩანადენის მოცულობის ტოლი ანდა მასზე მეტი მოცულობის წყალსაცავი.

ცხადია, წყალსაცავის ზემოთ აღნიშნული მოცულობები წარმოადგენს საორიენტაციო სიდიდეებს და შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მათი მოცულობების მხოლოდ საერთო შეფასებისათვის.

წყალსაცავს შეუძლია შეასრულოს ერთსა და იმავე დროს რეგულირების სხვადასხვა სახეები, თუ ამის საშუალებას იძლევა მისი მოცულობა და ადგილმდებარეობა. მაგალითად, წლიური რეგულირების წყალსაცავმა თავისი მოცულობით შეიძლება შეასრულოს დღეღამური და კვირეული რეგულირება, რომლებიც მოითხოვენ უფრო ნაკლებ მოცულობებს. მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავები, როგორც წესი, ყოველთვის ასრულებს ჩანადენის წლიურ რეგულირებასაც.

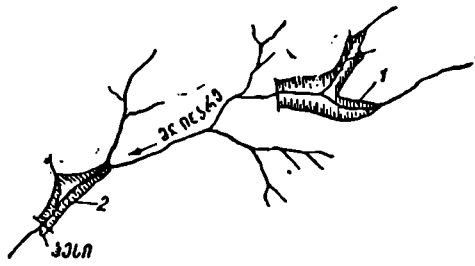
§ 20. ჩანადენის რეგულირების სპეციალური სახეები

ზემოთ დასახელებული იყო ჩანადენის რეგულირების ძირითადი სახეები, რომლებიც გამოყენებული არიან ჰიდროენერჯის მისაღებად. გარდა ამ სახეებისა, საჭიროების შემთხვევაში, შეიძლება ადგილი ექნეს რეგულირების სხვა სახეებსაც, რომლებსაც სპეციალური დანიშნულება აქვთ.

1. კომპენსირებულ რეგულირება. ასეთ რეგულირებას აწარ-

მოებს წყალსაცავი, რომელიც მდებარეობს დანადგარიდან ცალკე, ღინების ზემოთ, ძირითადად თვით მდინარეში ან მის ერთ შენაკადში (ნახ. 45).

თუ 1 წყალსაცავსა და ჰიდროელსადგურს შორის მდინარეს აქვს შენაკადები, მაშინ ამ სადგურისათვის წყლის ხარჯები არ იქნება დარეგულირებული. ამიტომ პირველი წყალსაცავიდან უნდა ვაწარმოოთ წყლის ისეთი რაოდენობის გაშვება, რომელიც საჭიროა მათ შორის მოთავსებული შენაკადების ხარჯების კომპენსირებისათვის. თუ ეს შენაკადები იძლევა ჰიდროელსადგურისათვის საჭირო რაოდენობის ხარჯს, მაშინ წყალსაცავიდან წყლის დამატება საჭირო არ არის. ამიტომ შენაკადებში წყალმეტობის დროს შეიძლება აუცილებელი იყოს 1 წყალსაცავში წყლის მთლიანად შეკავება, სანამ წყალსაცავი მთლიანად არ აივსება. რეგულირების ეს სახე იწვევს წყალსაცავის მუშაობის მძიმე პირობებს, ვინაიდან წყლის მაქსიმალური მოდინების დროს მან უნდა და-



აგროვოს იგი და ამ დროს არაერთარი ხარჯი არ გაუშვას მდინარეში და, პირიქით, წყალმცირობის დროს უნდა გაუშვას საგრძნობი ხარჯები, რომ ამით კომპენსაცია გაუკეთოს შენაკადების მცირე ხარჯებს. ამ მიზნით აგებული წყალსაცავების მოკულობა, ცხადია, უნდა იყოს მეტი, ვიდრე იმ შემთხვევაში, როდესაც იგი ათანაბრებს მხოლოდ თავისი აუზის ჩანაღდენს.

2. ბუფერული რეგულირება. თუ რეგულირება წარმოებს წყალსაცავით, რომელიც მოცილებულია ჰიდროელსადგურიდან და მდებარეობს მდინარის ზედა უბანში, მაშინ ძალიან ძნელია ზუსტად ვიანგარიშოთ ის დრო, რომელიც დასჭირდება მოცემული ხარჯის გავლას წყალსაცავიდან ჰიდროელსადგურამდე; გარდა ამისა, შეუძლებელია ზუსტად ვიანგარიშოთ საჭირო ხარჯის სიდიდე, მით უმეტეს, თუ გზაში არსებობს შენაკადები, რომელთა ხარჯები ყოველთვის ცვალებადია. ამ შემთხვევაში ხარჯის მიწოდების ყველა არასიზუსტე უნდა შეაყოს ბუფერულმა წყალსაცავმა, რომელიც მოწყობილია ჰიდროელსადგურთან, მაგალითად, კაშხალის შეგუბებით (ნახ. 45). ამ დროს ზედა 1 წყალსაცავი აწარმოებს უხეშ რეგულირებას, ხოლო წყლის ხარჯის უფრო ზუსტი რეგულირება უნდა აწარმოოს ბუფერულმა წყალსაცავმა.

ბუფერული წყალსაცავის მეორე მაგალითს იძლევა ორ სადგურს შორის მოთავსებული წყალსაცავი, რომელიც შექმნილია ქვედა საფეხურის კაშხალით. თუ ეს ორი სადგური მუშაობს დღე-ღამეში ცვალებად დატვირთვაზე, მაშინ ხშირად ძნელია, და ზოგჯერ შეუძლებელიც, ვაიმულოთ ეს ორი სადგური იმუშაოს წყლის ერთსა და იმავე ხარჯზე. ამ დროს ორი სადგურის წყლის ხარჯის გრაფიკები ერთმანეთს არ დაემთხვევა; მაგალითად, ზედა სადგური შეიძლება უშვებდეს, თავისი ტურბინების გავლით, მეტ ან ნაკლებ ხარ-

ჯებს, ვიდრე ეს სჭირდება ქვედა სადგურს. ასეთ კასკადებს შორის მოთავე-სებული წყალსაცავი არის ბუფერული წყალსაცავი.

3. ხარჯების განაწილება. მდინარეებზე, სადაც ჰიდროელსადგურები მუშაობენ და მათ ქვედა უბნებში წარმოებს ნაოსნობა, ხე-ტყის დატურება, ირიგაცია ან არსებობს წყლის სხვა მომხმარებელი, ჩანადენის რეჟიმში უნდა აკმაყოფილებდეს მათ მოთხოვნილებებსაც. ენერგეტიკის მიზნით რეგულირების წარმოება შეიძლება არ შეესაბამებოდეს ამ მოთხოვნილებებს. ასე, მაგალითად. შუა აზიის ზოგიერთ მდინარეზე, რომელთაც მყინვარული კეება აქვთ (მდ. ჩირჩიკი და სხვ.), მაქსიმალური ხარჯები არის ზაფხულში, მყინვარების დნობის პერიოდში. ენერგეტიკული მიზნებისათვის რეგულირება მოითხოვდა ზაფხულის ჩანადენის დაგროვებას და მის გამოყენებას ზამთარში წყალმცირობის დროს. ირიგაცია მოითხოვდა უმთავრესად ბამბის ნათესების მოსარწყავად საჭირო დიდ ხარჯებს ზაფხულში და ნაგვიანვეი მორწყვისათვის შემოდგომაზე. ზამთარში ირიგაცია წყლით არ არის დაინტერესებული. თუ მდინარის ზედა უბანზე მოეწყობა წყალსაცავი ენერგეტიკული რეგულირებისათვის, მაშინ მდინარის ქვედა უბანზე, სადაც განლაგებულია ჰიდროელსადგურები, საჭიროა აშენდეს ქვედა წყალსაცავი, რომელიც ჰიდროელსადგურებიდან მიღებული წყლის ხარჯს დააგროვებს ზამთარში და მიაწოდებს მას მორწყვის პერიოდში. ასეთი წყალსაცავის დანიშნულება გადაანაწილოს წყლის ხარჯი სხვა გრაფიკის მიხედვით.

თუ გემსავალ მდინარეზე მოთავეებულია ჰიდროელსადგურების კასკადი, რომელიც დღელამურ რეგულირებას აწარმოებს, ხოლო ქვედა უბანში მდინარე არ არის შეგუბებული კაშხალით, მაშინ დღელამურ რეგულირებას შეუძლია ნაოსნობისათვის დაუშვებელი დონის ცვალებადობა გამოიწვიოს. ამ გარემოების გამო, შესაძლებელია კასკადის უკანასკნელი საფეხური გადავიყვანოთ მუდმივ დატვირთვაზე, რომელიც შეესაბამება საშუალო დღელამურ ხარჯს. მაშინ ამ სადგურის წყალსაცავი ზედა საფეხურიდან მიიღებს ცვალებად ხარჯს, ხოლო თვითონ კი გაუშვებს მუდმივ ხარჯს, ე. ი. გადაარეგულირებს ხარჯს ნაოსნობის მოთხოვნილების მიხედვით.

4. წყალმეტობების ტრანსფორმაცია. წყალსაცავის ტევადობა შეიძლება გამოყენებულ იქნეს წყალმეტობის მაქსიმალური ხარჯების შესაბამისად. ამ შემთხვევაში წყალსაცავი მომზადებული უნდა იქნეს წყალმეტობის მისაღებად, ე. ი. ამ უკანასკნელის დაწყებამდე წყალსაცავში თავისუფალი უნდა იქნეს საჭირო მოცულობა. თუ ამ მოცულობაში შეკავებული იქნება მთელი წყალმეტობა, რომელსაც მოაქვს მაქსიმალური ხარჯები, ე. ი. ამ მოცულობის ავისება მოხდება მხოლოდ მას შემდეგ, რაც ხარჯები დაეცემა, მაშინ მაქსიმალური ხარჯი, რომელიც გატარებულ იქნება წყალსაცავის კაშხალიდან, უფრო მცირე გამოვა. წყალმეტობის ასეთმა რეგულირებამ შეიძლება მოგვესთავაზოს დიდი ეფექტი—კაშხალის წყალგამტარი ხერცებისა და მდინარის ნაპირებიდან გადასვლის და კაშხალის ქვემოთ მდებარე ადგილების დატვირთვის შემცირება და ა. შ. ამ მიზნით ზოგჯერ აწყობენ სპეციალურ წყალსაცავს, რომლის მთავარ დანიშნულებას წარმოადგენს წყალმეტობის ხარჯების შემცირება და მისგან გამოწვეული ადგილების დატვირთვის შესაძლებლობის თავიდან აცილება.

5. წყალსაცავის ავარიული გამოყენება. წყალსაცავები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ენერჯის ავარიული რეზერვის შესაქმნელად. თუ ელსადგურების სისტემაში, რომელშიაც არის ჰიდროელსადგური წყალსაცავით, მოხდება ავარია, რომლის შედეგად წყობიდან გაშვდა ერთი ან რამდენ-

ნიმე ტურბინა რომელიმე ელსადგურში, და ამ ავარიის შედეგად შემცირდება ენერჯის გამოშვება სისტემაში, მაშინ შესაძლებელია, ავარიის ლიკვიდაციის პერიოდში, გავადიდოთ ჰიდროელსადგურის გამოშვება წყალსაცავის წყლის მარაგის გაძლიერებული გამოყენებით. ამ მიზნისათვის წყალსაცავში ზოგჯერ გამოყოფილია წყლის სპეციალური მარაგი (ავარიული მარაგი), რომელიც არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს წყალსაცავის ნორმალური ექსპლოატაციის პერიოდში.

გამოყენებული ავარიული მარაგი ავარიის ლიკვიდაციის შემდეგ ყოველთვის აღდგენილი უნდა იქნეს წყლის დაგროვების საშუალებით; ამ მიზნით, ავარიის ლიკვიდაციის შემდეგ, დროის გარკვეულ საზღვრებში, ჰიდროელსადგური უნდა მუშაობდეს ენერჯის შემცირებულ გამოშვებაზე და აგროვებდეს წყალს. ენერჯის მოხმარების უზრუნველყოფა ამ დროს უნდა მოხდეს სისტემის თბოსადგურების გამოშვებების გადიდების ხარჯზე.

§ 21. წყალსაცავები და მათი განლაგება დანადგარის მიმართ

წყალსაცავები დანადგარის მიმართ განლაგების მიხედვით შეიძლება იყოს:

1. ზედა, როდესაც წყალსაცავი მოთავსებულია მდინარეზე, მის შენაკადზე, მოცემული დანადგარის ზემოთ.
2. საკუთარი, რომელიც შექმნილია დანადგარში შემავალი ნაგებობებით და
3. ქვედა, როდესაც წყალსაცავი შექმნილია მდინარის კალაპოტში, დანადგარის ქვემოთ.

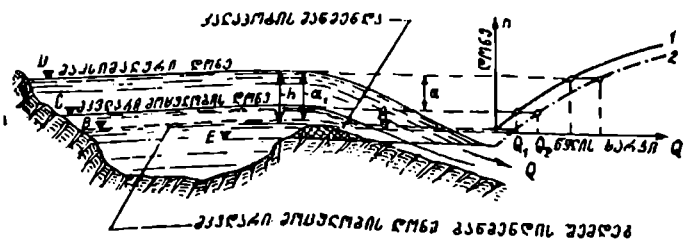
ყველა ზემოთ დასახვლებული წყალსაცავიდან მხოლოდ საკუთარ წყალსაცავს შეუძლია შეასრულოს ყველა სახის რეგულირება, ე. ი. დღეღამური, წლიური, შრავალწლიური და ა. შ. დანარჩენებს კი შეუძლიათ შეასრულონ რეგულირების მხოლოდ ცალკეული სახეები, რაზედაც ქვემოთ გვექნება საუბარი.

წყალსაცავი შეიძლება იყოს:

- 1) ბუნებრივი, ე. ი. ჩანადენის რეგულირების მიზნისათვის გამოყენებული ტბები და
- 2) ხელოვნური, შექმნილი სპეციალური ნაგებობით.

1. ბუნებრივი წყალსაცავები. ბუნებრივი წყალსაცავების სახით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ტბა, რომელიც მოცემული მდინარის აუზში მდებარეობს. ამ მდინარის სათავეში, ტბასთან აშენებენ კაშხალს, რომელიც ჩანადენის რეგულირების საშუალებას იძლევა (ნახ. 46).

ტბიდან გამომდინარე მდინარეში, წყლის ხარჯი ბუნებრივ მდგომარეობაში დამოკიდებულია ტბაში წყლის დონეზე და არ არის დამოკიდებული ტბაში



ნახ. 46. ჩანადენის რეგულირების სქემა ბუნებრივი ტბის წყალსაცავით.

ჩანადენის ხარჯზე. ასე, მაგალითად, ზამთრის ბოლოს ტბის დონე, ჩვეულებრივ, ეცემა უდაბლეს დონემდე და როდესაც ტბაში მოდინების წყალმეტობა დაიწყება, მაშინ გამდინარე ნაკადის ხარჯი მცირება.

ეს ხარჯი, როგორც ნათქვამი იყო, დამოკიდებულია ტბაში წყლი დონის მდებარეობაზე; ასეთი დამოკიდებულება შეიძლება გამოვსახოთ ხარჯის მრუდით, რომელიც მოცემულია 46-ე ნახაზზე, თუ ტბის დონე A წერტილამდე დაეცა (ეს არის ზღურბლის ნიშნული მდინარეში, ტბასთან), მაშინ მდინარის ხარჯი ნულის ტოლი გახდება.

ხარჯის მრუდი, ცხადია, ანალოგიურია წყალსაშვების ხარჯის მრუდისა და გამოსახავს Q ხარჯის დამოკიდებულებას h დაწნევისაგან ზღურბლზე, რომლის ნიშნულია A . თუ აღვნიშნავთ ტბის უდიდესი დონის ნიშნულს D სიდიდით, რომელიც შეიძლება მივიღოთ კაშხალით ტბის შეტბორვის შედეგად, მაშინ წყლის პრიზმა D ნიშნულიდან A ნიშნულამდე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს რეგულირებისათვის; პრაქტიკულად კი მთელი ამ პრიზმის მოცულობის გამოყენება შეუძლებელია.

რეგულირების ამოცანას შეადგენს მდინარის მინიმალური ხარჯების გადიდება, რომელსაც ადგილი აქვს ბუნებრივ მდგომარეობაში. დარეგულირებული მინიმალური ხარჯი მეტი იქნება, ვიდრე ბუნებრივი მინიმალური ხარჯი; მაშასადამე, დამატებითი ხარჯი შეიძლება მივიღოთ ტბიდან მხოლოდ იმ პირობით, რომ ტბის დონეს A ნიშნულიდან საკმაო სიმაღლე ექნება. ცხადია, ეს დონე უნდა იყოს უფრო მეტი, ვიდრე ტბის ბუნებრივი დონეა.

წყლის დონის მდებარეობა, რომლის დროსაც შესაძლებელია მოცემული ხარჯის გაშვება, შეიძლება განვსაზღვროთ ხარჯის მრუდის მიხედვით. მაგალითად, Q_1 ხარჯისათვის ტბის დონე უნდა იყოს C . ამრიგად, ტბის რეგულირებისათვის გამოყენებული პრიზმა მოთავსებული იქნება D ნიშნულსა და იმ C ნიშნულს შორის, რომლის დროსაც ტბიდან შეიძლება გამოშვებული იქნეს საჭირო Q_1 ხარჯი.

თუ სასურველია რეგულირების პიზმის გადიდება მაქსიმალური ნიშნულის გაზრდის გარეშე, მაშინ მდინარის სათავეში საჭიროა ვაწარმოოთ გაწმენდა, მაგალითად E ნიშნულამდე ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახაზზე. გაწმენდის შემდეგ, ცხადია, ხარჯის მრუდი შეიცვლება და 1 მდგომარეობიდან გადავა 2 მდგომარეობაში; ამ შემთხვევაში ტბის დონის მოცემული C ნიშნულის დროს ჩვენ საშუალება გვქვია გამოვუშვათ ტბიდან Q_2 ხარჯი, რომელიც მეტია Q_1 -ზე, ხოლო ძველი ხარჯი შეიძლება გავატაროთ უფრო მცირე დონეზე, მაგალითად B დონეზე, რაც გაადიდებს რეგულირების პრიზმას.

ამრიგად, თუ ტბა გამოყენებულ იქნება როგორც რეგულატორი, საჭირო გახდება ან მისი დონის გაზრდა კაშხალის მოწყობით, ან მდინარის სათავეს გაწმენდა ტბასთან, ან ამ ორ ღონისძიებათა ერთდროულად ჩატარება.

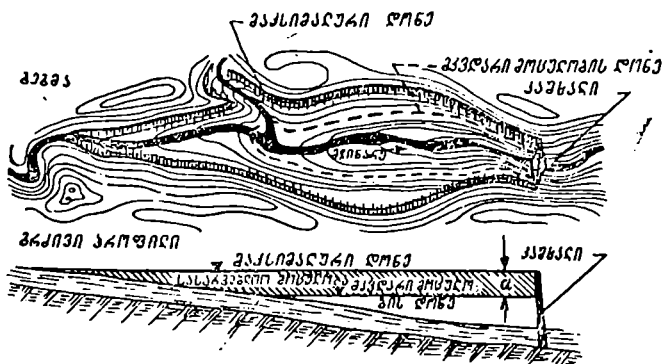
ბუნებრივი ტბის ასეთი რეგულატორები საშუალებას იძლევა დავკმაყოფილოთ პრიზმის მცირე სიმაღლით, ვინაიდან წყალსაცავის საჭირო მოცულობა უზრუნველყოფილია ტბის დიდი ფართობით.

2. ხელოვნური წყალსაცავები. ხელოვნური წყალსაცავები შეიძლება შეიქმნას სხვადასხვა მეთოდით იმისდა მიხედვით, თუ რა მოცულობის წყალსაცავია საჭირო და რა მიზნებისათვის არის იგი შექმნილი.

ხელოვნურ წყალსაცავებად გამოყენებული არიან:

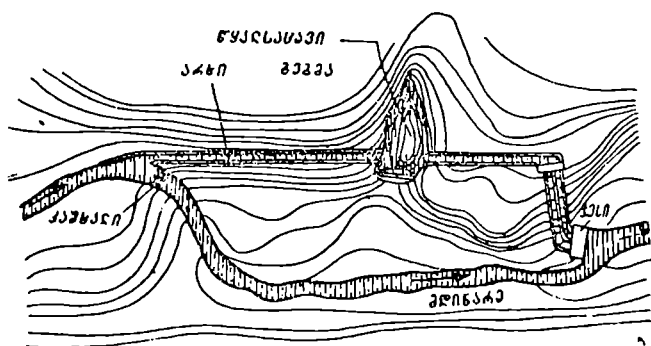
ა) კაშხალით შეტბორილ მდინარეთა კალაპოტები (ნახ. 47);

ბ) ადგილმდებარეობის ბუნებრივი ჩარამაგებული ადგილები დერივაციული არხის ტრასაზე (მაგალითად, კაშხალით გადაკეტილი ხეხები) და ხელოვნური წყალსაცავები (ნახ. 48);

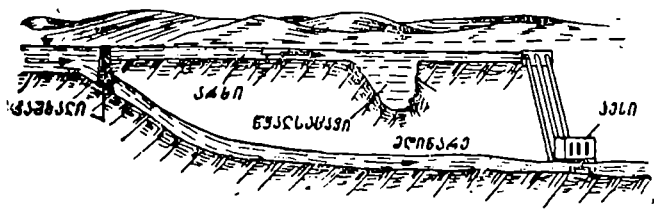


ნახ. 47. წყალსაცავი მდინარის კალაპოტში.

ვ) წყლის პროზმა დერივაციულ არხში, ზედა მაქსიმალური ნიშნულიდან ქვედა მინიმალურ ნიშნულამდე, წყლის რეგულირებით გამოწვეული რხევის ფარგლებში.



მასივური ღონე



ნახ. 48. წყალსაცავი დერივაციულ არხზე.

წყალსაცავები, რომლებიც შექმნილი არიან მდინარის კალაპოტში კაშხალის აშენებით, შეიძლება საკმაო მოცულობისა იყოს მდინარის ქანობისა და ნაპირების მიხედვით. რაც ნაკლებია მდინარის გრძივი ქანობი, მით მეტია კაშხალის აგებით გამოწვეული დატბორვის სიგრძე. ცხადია, ასეთი წყალსაცავის მოცულობა მით მეტი იქნება, რაც ნაკლებია მდინარის გრძივი ქანობი და რაც მეტია მისი კალაპოტის სიგანე.

ბარის დიდ მდინარეებზე, მაღალი კაშხალის მოწყობა შეუძლებელი ხდება მის მიერ შექმნილი დატბორვის გამო. დატბორვის დასაშვები სიდიდე განსაზღვრავს წყალსაცავის იმ ზღვრულ მოცულობას, რომელიც ამ პირობებში შეიძლება მივიღოთ.

ბარის მდინარეების კალაპოტში მოთავსებული წყალსაცავები, მდინარის მცირე ქანობის გამო, ხასიათდება დიდი სიგრძით და რეგულირების პრიზმის შედარებით მცირე სიმაღლით.

თუ ჰიდროელსადგური მოთავსებულია უშუალოდ კაშხალთან (ე. ი. წყალსაცავი არის მოცემული სადგურის საკუთრება), მაშინ ღონის დამუშავების დიდი სიმაღლე შეიძლება არახელსაყრელი გამოდგეს იმის გამო, რომ წყალსაცავის ღონის დაწევა გამოიწვევს დანადგარის დაწნევის შემცირებას. წყალსაცავის დიდი სიღრმით დამუშავებით ჩვენ შეიძლება დავკარგოთ ენერჯის უფრო დიდი რაოდენობა, ვიდრე წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის გაზრდით; ეს გარემოება განსაზღვრავს რეგულირების პრიზმის სიდიდის ზღვრულ მნიშვნელობას.

მთის პირობებში, მაღალი, ციცაბოფერდობიანი ნაპირების მქონე მდინარეებზე ყოველგვარი სერიოზული დატბორვის გარეშე შეიძლება აშენდეს დიდი სიმაღლის კაშხალები. ამავდროს, მდინარის დიდი ქანობის გამო, დატბორვის სიგრძე გამოდის შედარებით მცირე და წყალსაცავის საჭირო მოცულობა შეიძლება მიღებულ იქნეს რეგულირების პრიზმის მხოლოდ საკმაო სიმაღლის დროს.

მთის წყალსაცავების შექმნისათვის ძალიან კარგი პირობები არსებობს იმ ადგილებში, სადაც მდინარის ქანობი მცირეა და მდინარის ხეობა გაშლილია. ამ ტიპის წყალსაცავის მაგალითს წარმოადგენს წყალსაცავი მდ. კოლორადოზე (აშშ), შექმნილი ბოულდერის კაშხალით; მისი სიმაღლე აღწევს 223 მ. ეს კაშხალი ჯერჯერობით უმაღლესია მსოფლიოში. მის მიერ შექმნილი წყალსაცავის მოცულობა არის $37,5 \cdot 10^6$ მ³ და გამოყენებულია ენერჯის მისაღებად და მიწების მოსარწყავად.

კაშხალების არადიდი სიმაღლეების ან მდინარის დიდი ქანობის დროს, წყალსაცავი შეიძლება მივიღოთ მცირე, საკმარისი მხოლოდ დღელამური რეგულირებისათვის.

დერიაციული არხის ტრასაზე შექმნილ წყალსაცავებს ჩვეულებრივ აქვთ მცირე მოცულობა, რომელიც საკმარისია მხოლოდ დღელამური და ზოგჯერ კვირეული რეგულირებისათვის.

§ 22. წყალსაცავების გამომყვება ჩანადენის კომპლიკაციისათვის

ჩანადენის წლიური ან მრავალწლიური რეგულირებისათვის, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, საჭიროა წყალსაცავის საკმაოდ დიდი მოცულობა. ამ მიზნისათვის ჩვეულებრივ იყენებენ ბუნებრივ ტბებსა და მდინარეებზე აგებულ წყალსაცავებს, რომლებიც იქმნება კაშხალის მიერ შექმნილი შეგუბებით. რეგულირების ეს ორი სახე შეიძლება ვაწარმოოთ როგორც საკუთარი, ისე

ზედა წყალსაცავით, რომელიც მოწყობილ იქნება ნაგებობიდან მოშორებით ან მდინარის კალაპორტში, ან მის რომელიმე შენაკადზე. წყალსაცავის ნაგებობიდან დაშორებას ამ შემთხვევაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა არა აქვს.

ის დრო, რომელიც დასჭირდება წყალსაცავიდან გაშვებულ წყალს ნაგებობამდე შეიძლება გავითვალისწინოთ წყალსაცავის ექსპლოატაციის დროს, ხოლო წყლის გამოშვება ვაწარმოოთ წინასწარ იმ ანგარიშით, რომ წყალი მოვიდეს დანიშნულ დროს წყალმიღებ ნაგებობებთან.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ჩანადენის რეგულირება წარმოებს ზედა წყალსაცავით, მაშინ დანადგარის საკუთარი წყალსაცავი ასრულებს ბუფერულის როლს, ე. ი. ემსახურება ზედა წყალსაცავიდან წყლის არათანაბარი მიწოდების გათანაბრებას და ამიტომ მას შეიძლება ჰქონდეს შედარებით მცირე მოცულობა. თუ ზედა წყალსაცავსა და ნაგებობას შორის არსებობს შენაკადები, მაშინ ზედა წყალსაცავით ჩვეულებრივ წარმოებს ჩანადენის კომპენსირებული რეგულირება საკუთარ წყალსაცავში ხარჯის არათანაბარი მიწოდების გასათანაბრებლად.

ჩანადენის დღელამური და კვირეული რეგულირება მოითხოვს წყალსაცავის საკმაოდ მცირე მოცულობას, ვიდრე წლიური და მრავალწლიური რეგულირება, ამიტომ ამ სახეების რეგულირებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ნებისმიერი წყალსაცავი, მაგრამ იგი უნდა იყოს ჰიდროელსადგურის ახლოს. ამ თვალსაზრისით დღელამური რეგულირებისათვის ზედა წყალსაცავი უფარგისია; ყველაზე უფრო მოსახერხებელია საკუთარი წყალსაცავი განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც სადგური უშუალოდ კაშხალთან არის მოთავსებული. ამ შემთხვევაში სადგურის დატვირთვის ყოველგვარი ცვლილება ადვილად წარმოებს ზედა ბიეთის წყლის მარაგით.

დერივაციული დანადგარში საგენერატორო სადგური დაცილებულია კაშხალიდან დერივაციული არხით. სადგურის ხარჯის შეცვლის დროს (მისი დატვირთვის მიხედვით) პირველად გამოიყენება არხში არსებული წყალი. წყლის მიღება სათავიდან გრძელი დერივაციის დროს გაძნელებულია, ვინაიდან სადგურის ხარჯის სწრაფი შეცვლის გამო, კაშხალის ბიეთიდან წყლის მიწოდება შეიძლება მოხდეს დროის გარკვეული პერიოდს შემდეგ, რომლის განმავლობაში დაიხარჯება არხის პრიზმის წყლის მარაგი.

რაც უფრო დიდი სიგრძისაა არხი, მით უფრო გვიან შევა ნუშაობაში კაშხალიდან გაშვებული წყალი. ძალიან გრძელი არხის დროს, კაშხალის ბიეთი შეიძლება გამოიყენებულ იქნეს ძალიან სუსტად. ვინაიდან წყლის მარაგი არხის პრიზმში ჩვეულებრივ ძალიან შეზღუდულია, ამიტომ იგი შეიძლება საკმარისი აღმოჩნდეს მხოლოდ ხარჯების შედარებით მცირე შეცვლის დროს; საგრძნობლად შეზღუდულია დღელამური რეგულირების შესაძლებლობაც, ამიტომ დანადგარები გრძელი დერივაციით ნაკლებად გამოდგებიან დღელამურ რეგულირებაზე სამუშაოდ.

დღელამური რეგულირების პირობების გასაუმჯობესებლად სადერივაციო დანადგარში იძულებული ვართ დღელამური რეგულირების აუზი მოვითავსოთ დერივაციაზე და უნდა ვეცადოთ რაც შეიძლება ახლოს იყოს იგი სადგურთან, რათა იგი სრულყოფილად გამოვიყენოთ. ყველაზე უკეთესი იქნება დღელამური აუზის მოწყობა დერივაციული არხის ბოლოში, უშუალოდ, სადაწინაო აუზში.

კვირეული რეგულირებისათვის დერივაციული არხი უხერხულობას არ წარმოადგენს, ვინაიდან ამ შემთხვევაში კაშხალით შექმნილი შეგუბებული ბი-

ეფი გრძელი დერივაციული არხის დროსაც კი შეიძლება კარგად იქნეს გამოყენებული.

თუ წყლის მიყვანა სადგურთან განხორციელებულია არა არხით, არამედ სადაწნეო გვირაბით ან მილსადენით, რომლებიც სრული კვეთით მუშაობენ, მაშინ სადგურიდან დაშორებული კაშხალის ბიეფის სრული გამოყენების საშუალებაც არსებობს. სადაწნეო დერივაციის დროს ყოველგვარი ხარჯის გაზრდა სადგურში, თითქმის მყისად ზრდის ხარჯს გვირაბში; ამის შედეგად კაშხალით შექმნილი წყალსაცავი გამოყენებულია ისე სრულყოფილად, როგორც სადგურთან უშუალოდ მდებარე აუზები.

დღელამური რეგულირების აუზების ხელოვნური შექმნა არხის ტრასაზე ხელსაყრელია მხოლოდ მცირე ხარჯებისა და მალალი დაწნევების დროს.

§ 23. წყალსაცავის მოცულობა

წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობა ეს არის ის მოცულობა, რომელიც მოთავსებულია რეგულირების პრიზმში, ე. ი. აუზის უდაბლეს და უმაღლეს დონეებს შორის, რომლის ფარგლებშიაც ცვალებადობს წყალსაცავის დონე რეგულირების დროს. წყალსაცავის უდაბლესი დონის ქვემოთ მოთავსებული მოცულობა არის მკვდარი მოცულობა.

წყალსაცავის სრული მოცულობა არის სასარგებლო და მკვდარი მოცულობების ჯამი.

ზოგიერთ შემთხვევაში დასაშვებია დონის აწვევა უმაღლეს დონეზე ზემოთ, მაგალითად, წყალმეტობის ტრანსფორმაციის მიზნით. ეს აწვევა შექმნის რეგულირების დამატებით პრიზმს.

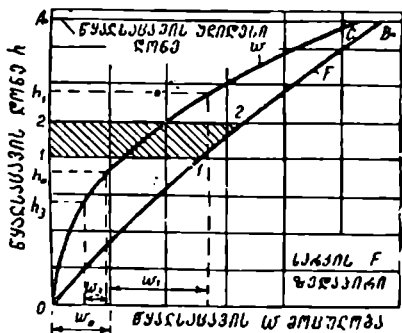
ზოგჯერ მიზანშეწონილია, რეგულირების პრიზმის ქვედა ნაწილი შევინარჩუნოთ როგორც სარეზერვო მოცულობა, ე. ი. ნორმალური რეგულირების დროს დონის დამუშავება

მოვახდინოთ მხოლოდ ამ სარეზერვო მოცულობის საზღვრამდე, ხოლო ეს უკანასკნელი გამოიყენოთ განსაკუთრებულ შემთხვევებში, მაგალითად, სისტემაში ავარიის დროს, როდესაც სადგურებიდან ერთ-ერთი მათგანი წყობიდან ხანგრძლივად გამოდის. გამოიყენებთ რა სარეზერვო მოცულობას, ავარიის პერიოდში ასეთი ჰიდროელსადგურიდან შეიძლება მივიღოთ ენერჯის დამატებითი რაოდენობა.

წყალსაცავის მოცულობის განსასაზღვრავად აუცილებელია

ჩავატაროთ ამ ადგილის ტოპოგრაფიული გადაღება. პორიზონტალების მიხედვით განისაზღვრება წყალსაცავის ფართობი, შემოსაზღვრული თითოეული პორიზონტალითა და კაშხალით.

ფართობის მიღებული მნიშვნელობიდან შეიძლება ავაგოთ წყალსაცავის სარკის ფართობის OB მრუდი (ნახ. 49), რომელიც გამოსახავს წყალსაცავის სარკის F ფართობის დამოკიდებულებას h სიღრმისაგან.



ნახ. 49. წყალსაცავის მოცულობისა და სარკის ზედაპირის მრუდები.

ორ ჰორიზონტალს შორის (1—1 და 2—2) მოთავსებული წყლის მოცულობა, ცხადია, ტოლი იქნება დაშტრიხული ფართობისა *ჯარჯვეულ მანძილში*, ხოლო წყალსაცავის სრული მოცულობა, უმაღლეს დონეზე, გამოისახება *OAB* ფართობით.

თუ ორ მეზობელ ჰორიზონტალს შორის მოთავსებულ მოცულობებს ავჯამავთ, შეიძლება ავაგოთ მრუდი, რომელიც გამოსახავს წყალსაცავის მოცულობის დამოკიდებულებას წყლის დონისაგან; ეს მრუდი მოცემულია იმავე ნახაზზე *OC* მრუდის სახით.

ზოგჯერ, გარდა წყალსაცავის მოცულობისა, საჭიროა ვიცოდეთ მისი მოცულობის ენერგეტიკული ეკვივალენტი, ე. ი. წყალსაცავის სასარგებლო *ა* მოცულობის პოტენციალური ენერჯის მარაგი, თუ ცნობილი იქნება *H* დაწინება

$$W = \frac{\eta H a}{367} \text{ კვტ-სთ.}$$

თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ $\eta = 0,81 - 0,82$, მაშინ მივიღებთ:

$$W = \frac{a H}{450} \text{ კვტ-სთ.}$$

ენერჯის ამ რაოდენობას წყალსაცავის მოცულობის ენერგეტიკული ეკვივალენტი ეწოდება.

ზედა წყალსაცავისათვის *H* წარმოადგენს სადგურის სრულ დაწინებას.

დანადგარის საკუთარი წყალსაცავისათვის *H* დაწინება იცვლება წყალსაცავის დონის მიხედვით. ამ შემთხვევაში, ენერგეტიკული ეკვივალენტის გამოთვლის დროს *H* დაწინება განისაზღვრება როგორც ქვედა ბიფისა და პრიზმის სიმძიმის ცენტრის ნიშნულთა სხვაობა.

ბარის დიდი მდინარეებისათვის წყალსაცავის მოცულობის გამოთვლა ჩვეულებრივ წარმოებს სხვა მეთოდით. მდინარის სიგრძეზე აიღება მთელი რიგი განივი კვეთები, რომლებზედაც ინიშნება წყალსაცავის მკედარი ზონისა და უმაღლესი დონის ნიშნულები. მდინარის განივი კვეთის ფართობი ამ ორ დონეს შორის განისაზღვრება პლანიმეტრით. გვეცოდინება რა კვეთებს შორის მანძილი, ძნელი არ არის გამოვთვალოთ მარეგულირებელი პრიზმის მოცულობა. თუ წყალსაცავში დინების სიჩქარე დიდი, მაშინ წყალსაცავის ზედაპირი (სარკე) არ იქნება პორიზონტალური და მდინარის გრძივ პროფილზე წყალსაცავის უმაღლესი და უდაბლესი დონეები არ იქნებიან პორიზონტალური წირები; მდინარის სიგრძეზე ამ წირებს ექნება გრძივი ქანობი, ე. ი. ისინი წარმოადგენენ დატბორვის წირებს.

ამ შემთხვევაში მდინარის გრძივ პროფილზე გადმოგვაქვს წყლის შესაბამისი მდებარეობა, ე. ი. ვაგებთ დატბორვის წირს. განივ კვეთზე გრძივი პროფილიდან გადმოგვაქვს შესაბამისი დონეები. ამას მნიშვნელობა აქვს მხოლოდ მცირე დატბორვით შექმნილი წყალსაცავებისათვის, ვინაიდან დიდი დატბორვის დროს წყალსაცავის სარკე შეიძლება პორიზონტალურად ჩავთვალოთ.

**ჩანადენის წლიური და მრავალწლიური
რემულირების გაანგებარება**

§ 24. მოდინება წალსაცავში

ჩანადენის რეგულირების გაანგებარებისათვის პირველ რიგში აუცილებელია დაედგინოთ წალსაცავში წყლის მოდინების ქრონოლოგიური გრაფიკი.

ჩვენ დავიწყოთ ხელოვნური წალსაცავის უმარტივესი შემთხვევიდან, როდესაც წალსაცავი შექმნილია კაშხალით. ამ შემთხვევაში, წალსაცავში წყლის მოდინება გამოისახება მდინარის ჰიდროგრაფით, რომელიც აგებული უნდა იყოს კაშხალის კვეთისათვის. ამრიგად, ჩანადენის რეგულირების გაანგებარებისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ ჰიდროლოგიური კვლევის შედეგად დადგენილი მოდინების ჰიდროგრაფი.

გვეჩვენება რა ჰიდროგრაფი, შეიძლება ნებისმიერ მომენტში გამოვთვალოთ წყლის ჯამური მოცულობა, რომელიც შემოდის წალსაცავში რომელიმე საწყისი დროიდან მოცემულ დრომდე.

ეს მოცულობა, ცხადია, ტოლი იქნება:

$$V = \int Q dt.$$

ჩანადენის მოცულობის გამოთვლა შეიძლება ვაწარმოოთ აგრეთვე აჯამების მიახლოებითი მეთოდითაც. დავყოფთ რა მთელ ჰიდროგრაფს დროის ელემენტარულ Δt სიდიდეებად და გამოვთვლით რა ამ ელემენტარულ დროში საშუალო $Q_{\text{სა}}$ ხარჯს, შეიძლება განესაზღვროთ მოდინების მოცულობა; ამისათვის ინტეგრალი შეიცვლება მოდინების ჯამით დროის ცალკეულ მონაკვეთებში:

$$V = \sum_0^I Q_{\text{სა}} \Delta t.$$

დროის ხანგრძლიობის შერჩევა ხდება გამოთვლის სასურველი სიზუსტის ხარისხის მიხედვით და აგრეთვე იმისდა მიხედვით, თუ რამდენად სწრაფად იცვლება მდინარის ხარჯი.

დროის პერიოდში, როდესაც ხარჯი თითქმის მუდმივია, Δt დროის მონაკვეთი შეიძლება იყოს დიდა და, პირიქით, იმ პერიოდში, როდესაც ხარჯი სწრაფად იცვლება (მაგალითად, წალმეტობის დროს) სასურველია დროის მონაკვეთი შევამციროთ. ჩვეულებრივ, პრაქტიკაში საკმარისია დროის მონაკვეთად ავიღოთ $\Delta t = 5-10$ დღე, მაქსიმუმ 15 დღემდე, ხოლო განსაკუთრებით ხელსაყრელ პირობებში, ჰიდროგრაფის ნელი ცვლის დროს, ან მიახლოე-

ბითი გაანგარიშებისათვის—1 თვე. ყველაზე ხშირად ხმარობენ დროის დეკადურ სიდიდეს. დროის მონაკვეთი გამოსახული უნდა იყოს სეკუნდებში.

მე-10 ცხრილში მოცემულია ჩანადენის ანგარიშის მაგალითი. 1-ლ გრაფაში ნაჩვენებია თარიღები, მე-2—შესაბამისი ხარჯები, მე-3—გამოთვლილია საშუალო დეკადური ხარჯები, რომელიც მიწერილია მოცემული დეკადის ბოლოს, მე-4—მოცემულია ნამრავლი

$$\Delta V = Q_{\text{ს.ა}} \Delta t,$$

მე-5 გრაფაში მოყვანილია მოდინების ჯამური მოცულობა მოცემული რიცხვისათვის.

ცხრილი 10

$$\Delta t = 10 \text{ დღე} = 0,864 \cdot 10^6 \text{ სეკ.}$$

$$\Delta V = Q_{\text{ს.ა}} \Delta t = 0,864 Q_{\text{ს.ა}} \cdot 10^6 \text{ მ}^3$$

თარიღი	ხარჯი Q მ ³ /სეკ	$Q_{\text{ს.ა}}$ მ ³ /სეკ	ΔV 10 ⁶ მ ³	V 10 ⁶ მ ³
1	2	3	4	5
დეკემბერი 31	20	—	—	—
იანვარი 10	22	21	18,1	18,1
„ 20	20	21	18,1	36,2
„ 30	18	19	16,4	52,6
თებერვალი 9	16	17	14,7	67,3
„ 19	14	15	13,0	80,3
მარტი 1	14	14	12,0	92,4
„ 11	16	15	13,0	105,4
და ა. შ.				

თუ წყალსაცავად გამოყენებულია ტბა, რომელიც რეგულირდება მისგან გამომდინარე მდინარის სათავეში აგებული კაშხალით, მაშინ ინტეგრალური მრუდის ასაგებად არ შეიძლება უშუალოდ სათავეში გაზომილი ხარჯები გამოვიყენოთ. მართლაც, რეგულირების გაანგარიშებისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ ტბაში წყლის მოდინება. ტბიდან გამომდინარე ხარჯები არ ასახევენ ტბაში მოდინების რეჟიმს, ვინაიდან გამომდინარე ხარჯები უკვე დარეგულირებულია ტბის მიერ ისე, როგორც ხელოვნური წყალსაცავის დროს (ნახ. 20); ამ შემთხვევაში საჭიროა ტბაში მოდინების გაპოთვლა, გვეცოდინება რა დანდინების სიდიდე და წყლის დონის ცვალებადობა.

დავუშვათ, რომ Δt დროის განმავლობაში ტბის დონემ მოიმატა Δh სიდიდით. თუ $Q_{\text{ს.ა}}$ არის საშუალო ხარჯი Δt დროში, მაშინ ამ დროის მონაკვეთში მოდინების მოცულობა ΔV ტოლი იქნება ჩანადენის $Q_{\text{ს.ა}} \Delta t$ მოცულობისა და ტბაში დაგროვილი $\Delta h F$ მოცულობის ჯამისა, სადაც F არის ტბის საარკის საშუალო ფართობი Δh სიღრმის ფარგლებში, ე. ი.

$$\Delta V = Q_{\text{ს.ა}} \Delta t + \Delta h F$$

(ტბის დონის აწევის დროს Δh სიდიდე უარყოფითია).

ამრიგად, გვექნება რა ჩანადენის ჰიდროგრაფი და ტბის დონის ცვალებადობის გრაფიკი, შეიძლება გამოვთვალოთ მოდინების ΔV მოცულობა Δt დროის განმავლობაში. ელემენტარული მოცულობების აჯამებით, შეიძლება მივიღოთ ჩანადენის მოცულობის სიდიდე¹, როგორც $\Sigma \Delta V$ ნებისმიერი დროისათვის

¹ ამ დროს ჩვენ მხედველობაში არ ვდებულობთ ტბის ზედაპირიდან აორთქლებას და ფილტრაციას, ამიტომ $\Sigma \Delta V$ არის ჩანადენის მოცულობა აორთქლებისა და ფილტრაციის გამოკლებით, ტბის ბუნებრივ მდგომარეობასთან შედარებით.

გამოთვლები წარმოებს ცხრილის სახით, მე-10 ცხრილის ანალოგიურად. საშუალო მოდინება Δl დროში იქნება

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = Q_{საა} + F \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

ან ზღვარში

$$\frac{dV}{dt} = Q_{საა} + F \frac{dh}{dt}$$

მიღებული შედეგი შეიძლება გამოესახოს *OBFEA* მრუდის სახით, რომელიც გვიჩვენებს მოდინების ზრდას დროის მიხედვით. ამ მრუდს მოდინების ინტეგრალურ მრუდს უწოდებენ (ნახ. 50).

გადავზომავთ რა აბსცისათა ღერძზე Δt დროს, ხოლო ორდინატათა ღერძზე — წყლის ჯამურ მოცულობას, რომელიც შემოდის წყალსაცავში საწყისი მომენტიდან და მიღებულ წერტილებს შევავრთებთ უწყვეტი ხაზით, მივიღებთ მოდინების ინტეგრალურ მრუდს. ინტეგრალური მრუდი 50-ე ნახაზზე ავებულება ერთი წლისათვის.

ბოლო *A* წერტილის ორდინატა, ცხადია, გამოსახავს წლიური ჩანადენის V_0 მოცულობას; მისი ფარდობა მთელი პერიოდის სექუნდების რიცხვზე (მოცემულ შემთხვევაში 1 წელი, 31 536 000 სექუნდი) მოგვცემს ჩანადენის საშუალო წლიურ ხარჯს

ბოლო *A* წერტილის ორდინატა, ცხადია, გამოსახავს წლიური ჩანადენის V_0 მოცულობას; მისი ფარდობა მთელი პერიოდის სექუნდების რიცხვზე (მოცემულ შემთხვევაში 1 წელი, 31 536 000 სექუნდი) მოგვცემს ჩანადენის საშუალო წლიურ ხარჯს

$$Q_0 = \frac{V_0}{T}$$

გაველოთ სწორი ხაზი, რომელიც კოორდინატთა სათავეს ინტეგრალური

მრუდის ბოლო წერტილთან აერთებს: აღენიშნოთ ამ სწორი ხაზის დახრილობის კუთხე აბსცისათა ღერძთან α_0 სიდიდით, მაშინ

$$\frac{V_0}{T} = Q_0 = m \operatorname{tg} \alpha_0$$

სადაც m არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია V_0 და T სიდიდეების მასშტაბებზე.

ამრიგად, ჩვენ შევიძლია ვთქვათ, რომ მოდინების საშუალო წლიური Q_0 ხარჯი პროპორციულია *OA* სწორი ხაზის აბსცისათა ღერძის მიმართ დახრილობის კუთხის ტანგენსისა.

შვეისწავლოთ ინტეგრალური მრუდის კიდევ ერთი თვისება. ნებისმიერ t დროისათვის მოდინების სექუნდური ხარჯის სიდიდე ტოლი იქნება:

$$\frac{dV}{dt} = m \operatorname{tg} \alpha,$$

სადაც α ინტეგრალური მრუდის მხეების აბსცისათა ლერძთან დახრილობის კუთხის ტანგენსია მრუდის ნებისმიერი წერტილისათვის.

ამრიგად, ჩვენ შეგვიძლია განვსაზღვროთ სეკუნდური ხარჯი ნებისმიერ დროში, თუ შესაბამის B წერტილში გავავლებთ მხებს და განვსაზღვრავეთ აბსცისათა ლერძის მიმართ მისი დახრილობის კუთხის ტანგენსს.

ინტეგრალური მრუდის მიხედვით მოდინების მოხერხებული გაანგარიშებისათვის ამ უკანასკნელზე აიკვება ხარჯების ე. წ. „სხივური“ მასშტაბი; მისი აკვება შეიძლება შემდეგი წესით. 50-ე ნახაზზე გავატაროთ ნებისმიერი ვერტიკალური ხაზი, რომელიც გადის ნებისმიერ C წერტილზე. მისი მონაკვეთი აბსცისათა ლერძსა და OA წრფეს შორის, გამოსახავს საშუალო წლიური Q_0 ხარჯის სიდიდეს. გავიგებთ რა ამ გზით მასშტაბს, CD წრფეზე გავაგრძელებთ ხარჯების სკალას. შევეერთებთ სკალის ცალკეულ წერტილებს კოორდინატთა სათავესთან და მივიღებთ ხარჯის სხივურ მასშტაბს.

ხარჯის განსასაზღვრავად რომელიმე t_1 დროისათვის, ჩვენ მის შესაბამის B წერტილში ვავლებთ ინტეგრალური მრუდის მხებს და გავატარებთ რა ამ მხების პარალელურს კოორდინატთა სათავიდან, სხივურ მასშტაბში ვიღებთ მოდინების ხარჯის სიდიდეს დროის t_1 მომენტისათვის.

§ 25. ინტეგრალური მრუდის გამოყენება ჩანადენის რამდენიმეხანის განვარტებისათვის

დაეუშვათ, რომ ჩვენ გვსურს წყალსაცავის მოცულობის გაგება, რომელიც უზრუნველყოფს მუდმივ ხარჯს წლის განმავლობაში. ეს იმას ნიშნავს, რომ წყალსაცავიდან გვინდა გავუშვათ წლის განმავლობაში ერთი და იგივე Q_0 ხარჯი. OA წრფის ორდინატა დროის ყოველ მომენტში გამოსახავს Q_t სიდიდეს, ე. ი. წყალსაცავიდან გამოსული წყლის მოცულობას. ამრიგად, ინტეგრალური მრუდისა და დარეგულირებული ხარჯის წრფის ორდინატათა სხვაობა, ე. ი. $V - Q_t$ არის წყლის ის მოცულობა, რომელიც გროვდება წყალსაცავში (თუ ეს სხვაობა დადებითია) ან წყალსაცავიდან გამოდის ბუნებრივი მოდინების დამატებით (თუ ეს სხვაობა უარყოფითია).

ასე, მაგალითად, 50-ე ნახაზზე ნაჩვენებია, რომ t_1 მომენტისათვის წყალსაცავში მოდინების მოცულობა მეტია დარეგულირებული ჩანადენის მოცულობაზე α_1 სიდიდით, ე. ი. ამ მომენტში ჩვენ გვაქვს წყლის დაგროვება წყალსაცავში α_1 მ³ რაოდენობით.

დროის t_2 მომენტში ინტეგრალური მრუდი და დარეგულირებული ხარჯის წრფე ერთმანეთს კვეთენ; ეს იმას ნიშნავს, რომ ამ მომენტისათვის წყალსაცავიდან დაიხარჯება წყლის იგივე რაოდენობა რაც მასში შემოვიდა. წყალსაცავში დაგროვილი წყლის მოცულობა უდრის ნულს, ხოლო წყალსაცავის დონე იმყოფება ბირვანდელ მდგომარეობაში, ე. ი. იმ დონეზე, რომელიც მას ჰქონდა საწყის მომენტში.

დროის t_3 მომენტში მოდინების მოცულობა ნაკლებია დარეგულირებული ჩანადენის მოცულობაზე α_2 სიდიდით, ე. ი. ამ მომენტში წყალსაცავიდან დახარჯულია α_2 მოცულობა წყლის იმ მარაგიდან, რომელიც მას გააჩნდა საწყის მომენტში. ცხადია, t_3 მომენტში წყალსაცავის დონე უფრო დაბალი იქნება, ვიდრე საწყის მომენტში.

ინტეგრალური მრუდის ბოლო წერტილი ისევე ემთხვევა დარეგულირებული ხარჯის წრფეს, ე. ი. წლიური ციკლის გავლის შემდეგ წყალსაცავში საწყისი დონე აღდგება.

თუ გვეცოდინება წყალსაცავში დონის საწყისი მდებარეობა და გვექნება მოცულობის მრუდი, ყოველი მომენტისათვის შეიძლება განვსაზღვროთ დონის მდებარეობა წყალსაცავში. ვთქვათ (ნახ. 49), რომ h_0 არის წყალსაცავის საწყისი დონე, რომელსაც შეესაბამება წყლის a_0 მოცულობა. თუ t_1 დროისათვის (ნახ. 50) განვსაზღვრავთ წყალსაცავში დაგროვილი წყლის მოცულობას, მაშინ მიუვამტებთ რა მას წყალსაცავის ჰირფანდელ ან მოცულობის (ნახ. 49), მივიღებთ ახალ მოცულობას, რომელსაც მოცულობის OC მრუდის მიხედვით შეესაბამება წყალსაცავის h_1 დონე. იგივე წესით, ვსარგებლობთ რა 50-ე ნახაზის მრუდით, შეიძლება t_2 მომენტისათვის განვსაზღვროთ წყალსაცავიდან გაშვებული წყლის a_2 მოცულობა, ხოლო, თუ მას გამოვაკლებთ საწყის a_0 მოცულობას, მაშინ OC მრუდით (ნახ. 49) შეიძლება განვსაზღვროთ წყალსაცავის შესაბამისი h_2 დონე დროის ამ მომენტისათვის.

თუ ასეთ გამოთვლებს ვაწარმოებთ ნებისმიერი მომენტისათვის, შეიძლება ავავთო წყალსაცავში წყლის დონის ცვალებადობის გრაფიკი, რომელიც მოცემულია 50-ე ნახაზზე.

ცხადია, წყლის მაქსიმალური დონე წყალსაცავში მიიღება მაშინ, როდესაც დაგროვილი წყლის მოცულობა უდიდესი იქნება. ეს მომენტი ადვილად შეიძლება განვსაზღვროთ, თუ ინტეგრალურ მრუდზე გავატარებთ ზედა მხებს OA წრფის პარალელურად. შეხების F წერტილიდან დარეგულირებულ ხარჯის წრფემდე მანძილი, ცხადია, უდიდესი იქნება; შეხების წერტილისა და დარეგულირებულ ხარჯის წრფის ორდინატთა სხვაობა მოგვცემს დაგროვილი წყლის მოცულობის მაქსიმუმს; თუ ეს უკანასკნელი გვეცოდინება, მოცულობათა OC მრუდის საშუალებით შეიძლება გამოვთვალოთ დონის მაქსიმალური აწევა წყალსაცავში (ნახ. 50).

ის მომენტი, როდესაც მიღწეულ იქნება წყალსაცავის მაქსიმალური დონე, განისაზღვრება F წერტილის აბსცისით (ნახ. 50).

ანალოგიურად, გავატარებთ რა ინტეგრალური მრუდის ქვედა მხებს, ჩვენ განვსაზღვრავთ წყალსაცავის უდიდესი დაცლის მომენტს, წყალსაცავიდან გამოშვებული წყლის მოცულობას და უმცირეს დონეს. 49-ე ნახაზზე ეს მომენტი იწყება E წერტილში.

ინტეგრალური მრუდის ზედა და ქვედა მხებებს შორის მანძილი, ცხადია, წყალსაცავის იმ W მოცულობის ტოლია, რომელიც აუცილებელია მოდინების საშუალო წლიური Q_0 ხარჯის დარეგულირებისათვის.

§ 25. ინტეგრალური მრუდი იკრიბაუთხა კოოკლინატთა სისტემაში

წინა პარაგრაფში მოცემული იყო ინტეგრალური მრუდის აგება მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში. ამ სახით ინტეგრალური მრუდი ძალიან მარტივი და თვალსაჩინოა, მაგრამ ერთი ნაკლი აქვს—აგების მცირე სიზუსტე იმ შემთხვევაში, როდესაც გვიხდება მისი აგება ხანგრძლივი პერიოდისათვის, მაგალითად, ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირების განგარიშების შემთხვევაში.

მართლაც, ინტეგრალური მრუდის აგებისათვის 50-წლიანი პერიოდისათვის, ნახაზის ფარგლებში იძულებული ვართ ორდინატთა ღერძის გასწვრივ მოვათავსოთ მთელი წლის ჩანადენი, რის გამოც (ნახაზის ფურცლის 100 სანტიმეტრი სიგანის დროსაც კი) საშუალო წლის ჩანადენი გამოსახული იქნება მასშტაბში სიგრძით სულ 2 სანტიმეტრი.

ვინაიდან ინტეგრალური მრუდის გადახრები საშუალო ხარჯის წირიდან (რაც ჩვენთვის ყველაზე უფრო საინტერესოა) შეადგენს კიდევ უფრო ნაკლებ სიდიდეს და გამოსახული იქნება მხოლოდ რამდენიმე მილიმეტრიანი მონაკვეთით, ამიტომ ავება იქნება არაზუსტი. იმის ცდამ, რომ გაგვედიდებინა ინტეგრალური მრუდის აგების სიზუსტე, მიგვიყვანა ამ მრუდის აგებამდე ირიბკუთხა კოორდინატებში. ასეთი აგების ძირითადი უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ მოცულობების მასშტაბი ამ დროს შეიძლება საგრძნობლად გადიდდეს.

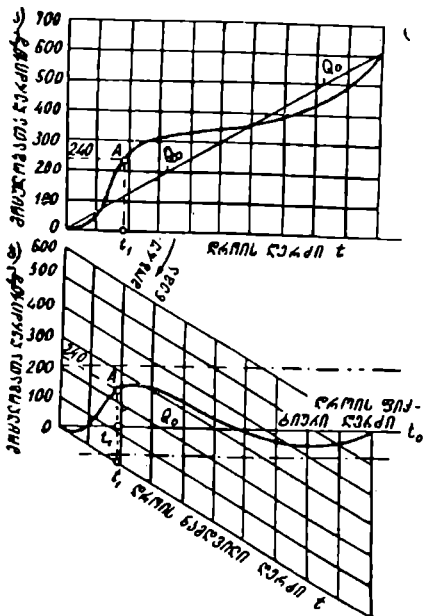
51, ბ და ბ ნახაზებზე ერთმანეთის ქვეშ მოცემულია ინტეგრალური მრუდები ერთწლიანი პერიოდისათვის, ამათგან ერთი აგებულია მართკუთხა, ხოლო მეორე ირიბკუთხა კოორდინატებში.

მოუპარუნოთ აბსცისათა ლერძი (დროის ლერძი) O წერტილის ირგვლივ საათის ისრის მიმართულებით იმ O ; მდებარეობამდე, რომელიც მას 51, ბ ნახაზზე აქვს ისე, რომ ორდინატათა ლერძი (მოცულობის ლერძი) იყოს ისევ ვერტიკალური. ინტეგრალური მრუდის ასაგებად საჭირო ბადე მართკუთხედებიდან გადადის პარალელოგრამში, თვით ინტეგრალური მრუდი კი მიიღებს 51, ბ ნახაზზე ნაჩვენებ სახეს.

ნებისმიერი დროისათვის, მაგალითად, t_1 -სათვის ჯამური ჩანადენის მოცულობა გამოისახება A წერტილით ისე, რომ მისი შესაბამისი მოცულობა ირიბკუთხა კოორდინატებში ათვლილი უნდა იქნეს შემდეგი წესით: A წერტილი მდებარეობს დახრილი ბადის ხაზებს შორის, რომელთაც შეესაბამება მოცულობანი შესაბამისად: $200 \cdot 10^6$ მ³ და $300 \cdot 10^6$ მ³; თუ A წერტილის მდებარეობას ინტერპოლაციით ავიღებთ $V = 240 \cdot 10^6$ მ³. ჩანადენის ხარჯის გამოსათვლელად ანალოგიურად იგება სხივური მასშტაბი.

იმის მაგივრად, რომ 51, ბ ნახაზზე ვისარგებლოთ დროის მასშტაბით უშუალოდ Ot ლერძზე, ჩვენ შეგვიძლია დავაგეგმილოთ O ლერძის დანაყოფები Ot_0 აბსცისათა ლერძზე და აქედან ვაწარმოოთ ათვლა დროისათვის; Ot_0 ლერძს ვუწოდოთ დროის ფიქტიური ლერძი, Ot ლერძს კი — ნამდვილი.

თუ დროის ნამდვილი ლერძის მიმართულება არჩეულია ისე, რომ საშუალო ხარჯის წირი ემთხვევა დროის ფიქტიური ლერძის მიმართულებას ან მკირვლადა მისგან გადახრილი (ზუსტი დამთხვევა არ არის საჭირო), მაშინ



ნახ. 51. ინტეგრალური მრუდი მართკუთხა და ირიბკუთხა კოორდინატთა სისტემაში.

ინტეგრალური მრუდი მთელ მის სიგრძეზე გაივლის ფიქტიური OI_0 ღერძის ახლოს.

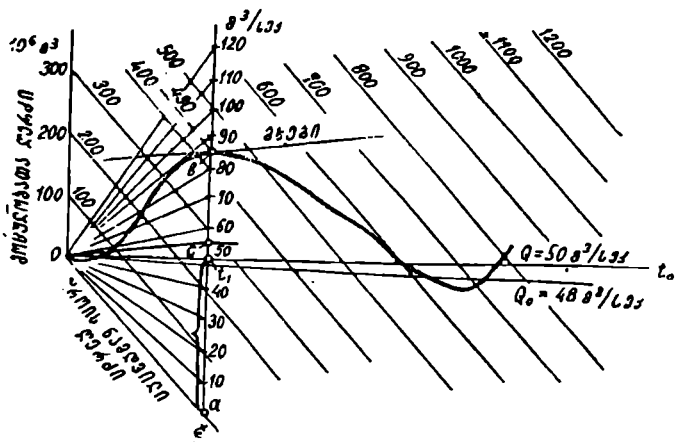
პრაქტიკული გამოყენებისათვის ჩვენ დაგვეკირდება 51, ბ ნახაზზე ორი წყვეტილი ჰორიზონტალური წირით ზოლის სახით გამოყოფილი ნაწილი, რომლის შიგნით მოთავსებულია ინტეგრალური მრუდი, ხოლო დროისა და მოცულობის ნამდვილი ღერძები შეიძლება ამ ხაზებით გადაიკვეთოს.

ამრიგად, ქალაქის ფურცლის მოცემული სიგანის ფარგლებში უნდა მოთავსებულ იქნეს მხოლოდ აღნიშნული ზოლი, რომელიც საკმარისია ინტეგრალური მრუდის გამოსათვლელად. ეს საშუალებას იძლევა ძალიან გავზარდოთ მასშტაბი, ვინაიდან ნახაზის ფარგლებში ახლა განლაგებულ იქნება მხოლოდ მოცულობები, რომლებიც გააშოხახავენ ინტეგრალური მრუდის გადახრას დროის ფიქტიური ღერძიდან.

პრაქტიკულად ინტეგრალური მრუდის აგება ირიბკუთხა კოორდინატებში წარმოებს ისე, როგორც ეს მოცემულია 52-ე ნახაზზე.

მილიმეტრული ქალაქის ფურცელზე ვატარებთ დროის ჰორიზონტალურ (ფიქტიურ) ღერძს OI_0 და მოცულობათა ვერტიკალურ ღერძს. მათთვის ვირჩევთ მასშტაბებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ აგების აუცილებელ სიზუსტეს. შემდეგ გამოვთვლით მოდინების საშუალო ხარჯს ინტეგრალური მრუდის აგების მთელი პერიოდისათვის

$$Q_0 = \frac{V_0}{T}$$



ნახ. 52. ინტეგრალური მრუდი ირიბკუთხა კოორდინატთა სისტემაში.

დროის ფიქტიური ღერძი შეიძლება არ დაემთხვეს ზუსტად Q_0 ხარჯის მიმართულებას, მაგრამ სასურველია ეს უკანასკნელი იყოს დროის ღერძის მიმართულების ახლოს. დაუშვათ, რომ Q_0 შეადგენს 48 მ³/სეკ. ჩვენ შეგვიძლია შემოვიღოთ პირობა, რომ დროის ფიქტიური ღერძი OI_0 შეესაბამებოდეს ხარჯის უახლოეს დამრგვალებულ მნიშვნელობას, მაგალითად, $Q = 50$ მ³/სეკ.

დროის ფიქტიურ ღერძზე გადავზომთ ნებისმიერი t_1 მონაკვეთი. ამ დროში Q ხარჯს შეესაბამება ჩანადენის მოცულობა $V_1 = Q \cdot t_1$ წერტილიდან

ქვემოთ, დროის ფიქტიური ღერძის ვერტიკალურ მიმართულებაზე, გადავზომოთ V_1 -ის ტოლი მონაკვეთი იმ მასშტაბში, რომელიც მოცულობას შეესაბამება. ცხადია, მიღებული a წერტილის შეერთება კოორდინატა O სათავესთან მოგვეყვას დროის ნაშლადვილი OI ღერძის მიმართულდებას.

მოძებნილი მიმართულებით ნახაზზე ვაკეთებთ ბადეს, რომელიც შედგენილია ამ მიმართულების პარალელური წრფეებით და გატარებულია მოცულობის ღერძის შესაბამისი დანაყოფებიდან, მაგალითად $100 \cdot 10^6$ მ³, $200 \cdot 10^6$ მ³ და ა. შ. ეს ბადე გრძელდება მოცულობათა დიდი მნიშვნელობისათვის იმ ქალაქის მთელი ზოლის საზღვრებში, რომელზედაც აგება წარმოებს. ნახაზის საზღვარზე ბადის სათანადო წრფეებს დაეწერება მოცულობათა მნიშვნელობები.

სხივური მასშტაბი, ცხადია, შეიძლება აგებულ იქნეს აგრეთვე ძალიან მარტივად. ჩვენ ვიცით, რომ დროის ფიქტიური ღერძის პორიზონტალური მიმართულება შეესაბამება 50 მ³/სეკ (ჩვენ მიერ მიღებული პირობით). დავყოფთ რა at_1 მანძილს 50 ტოლ ნაწილად და ამ დანაყოფებს გავაგრძელებთ at_1 წრფის გაგრძელებაზე ზემოთ, ჩვენ შეგვიძლია ავაგოთ სხივური მასშტაბი კოორდინატა O სათავეს შეერთებით at_1 ხაზის დანაყოფებთან, რომლებიც შეესაბამებიან გაკვეთულ ხარჯებს, მაგალითად ყოველ 10 მ³/სეკ, ისე როგორც ეს 52-ე ნახაზზეა გაკეთებული.

თვით ინტეგრალური მრუდის აგება წარმოებს შემდეგი წესით. ვთქვათ, რომ მოცემული t_1 მომენტისათვის ნამდვილი ჩანადენი არის $V_1 = 430 \cdot 10^6$ მ³. t_1 წერტილიდან ვერტიკალურად გავლებულ წრფეზე მოძებნით b წერტილს, რომელიც შეესაბამება $V_1 = 430 \cdot 10^6$ მ³ მოცულობას. ეს სიდიდე მოიძებნება ინტეგრალური ბადის დახრილ წირებს შორის, რომლებიც შეესაბამებიან $500 \cdot 10^6$ მ³ და $400 \cdot 10^6$ მ³ მოცულობებს. ამრიგად, მე-10 ცხრილის გამოთვლებით, b წერტილის ანალოგიურად, შეიძლება აიგოს ინტეგრალური მრუდის ნებისმიერი წერტილი.

ამ აგების დროს სრულებით არ ვსარგებლობთ დროის ნამდვილი ღერძით, რომლის გაგრძელება განსახილველი დროის მნიშვნელოვან ნაწილში ნახაზის ფარგლებიდან გამოდის.

ცხადია, რომ მოდინების ხარჯი დროის ნებისმიერ t_1 მომენტში შეიძლება სრულიად ისევე მოიძებნოს, როგორც ინტეგრალური მრუდისათვის მართკუთხა კოორდინატებში. ამისათვის ინტეგრალური მრუდის მოცემულ წერტილში, რომელიც t_1 მომენტს შეესაბამება, ე. ი. b წერტილში გავატარებთ მხებს, ხოლო შემდეგ მის პარალელურ OC სხივს, რომლის მიხედვით სხივურ მასშტაბზე შეიძლება წავიკითხოთ ხარჯის მნიშვნელობა 55 მ³/სეკ.

შემდეგში ჩვენ გამოვიყენებთ ირიბკუთხა კოორდინატებში აგებულ ინტეგრალურ მრუდებს, ხოლო დროს გადავზომავთ OI_0 ფიქტიურ ღერძზე.

§ 27. ჩანადენის წლიური ჩაგულირება

ზემოთ მე-19 პარაგრაფში უკვე ნათქვამი იყო, რომ ჩანადენის წლიური რეგულირების დროს წყალსაცავის ავსება და შემდეგ დაცლა შეადგენს ციკლს ერთი წლის ხანგრძლიობით. სრულიად ნათელია, რომ ჩანადენის რეგულირების გაანგარიშებისათვის, ჩვენ არ შეგვიძლია ავირჩიოთ საანგარიშო პერიოდად არც კალენდარული და არც ჰიდროლოგიური წელი, ვინაიდან წყალსაცავის ავსება წარმოებს წყალმეტობის პერიოდში. ჰიდროლოგიური და კალენდარული წლის დასაწყისი ხედება დაცლისა და ავსების წლიური ციკლის

შუაში. ამრიგად, თუ რეგულირების გაანგარიშებას ვაწარმოებთ ერთი წლისათვის, ჩვენ არ გვეცოდინება წყალსაცავის დონე არც ჰიდროლოგიური და არც კალენდარული წლის დასაწყისში. ამიტომ ჩანადენის წლიური გაანგარიშებისათვის ირჩევა ე. წ. სარეგულაციო წელი, რომლის დასაწყისად მიღებულია წყალსაცავის ამგვარი წყალმეტობის დასაწყისი.

რეგულირების წლის დასაწყისში წყალსაცავი ყოველთვის დაკლილი იქნება უმცირეს დონემდე; შემდეგ, წყალმეტობის პერიოდში იგი აივსება უდიდეს ნიშნულამდე და დაიკლებს რეგულირების წლის ბოლოს.

53, ა ნახაზზე გამოსახულია ინტეგრალური მრუდი სარეგულაციო წლისათვის. დასაწყისში ეს მრუდი სწრაფად იზრდება, რაც შეესაბამება წყალმეტობის მნიშვნელოვან მოძინებას; შემდეგ, მცირე ხარჯების პერიოდში იწყებს დაშვებას A წერტილამდე, რომლის შემდეგ იწყება შემდეგი წყალმეტობის დასაწყისის შესაბამისი ახალი სწრაფი ზრდა. A წერტილი შეესაბამება სარეგულაციო წლის დასასრულს, რომლის ხანგრძლიობა დროის O_1 დერძზე მოცემულია O_1 მონაკვეთით. შევეერთებთ რა სარეგულაციო წლის დასაწყისს, ე. ი. O წერტილს A წერტილთან, ჩვენ მივიღებთ მოცემული წლის საშუალო Q_0 ხარჯის შესაბამის OA წირს (სხივური მასშტაბი, ნახაზი რომ არ დაგვეჩლია, გამოტანილია ინტეგრალური მრუდის გარეთ).

გავატაროთ ინტეგრალურ მრუდზე ორი მხები, რომლებიც საშუალო ხარჯის წირის პარალელური იქნებიან და შეეხებიან ინტეგრალურ მრუდს X და M წერტილებში. ამ მხებებს შორის მანძილი W_0 მოგვცემს წყალსაცავის მოცულობას. ეს მოცულობა აუცილებელია სრული წლიური რეგულირებისათვის, რომელიც უზრუნველყოფს წლის განმავლობაში მუდმივ Q_0 ხარჯს.

ჩვეულებრივ, წლიური რეგულირების დროს გვაქვს წყალსაცავი W მოცულობით, რომელიც ნაკლებია ვიდრე W_0 ; წყალსაცავის მოცულობა W წყალმცირე პერიოდში ვერ უზრუნველყოფს Q_0 ხარჯს; შესაძლებელია დავარეგულოთ მხოლოდ რომელიმე მცირე ხარჯი — $Q_0 < Q_0$.

ამვე დროს წყალმეტობის პერიოდში, ცხადია, შეუძლებელია მთელი წყალმეტობის ჩანადენის მოთავსება წყალსაცავის W მოცულობაში, ვინაიდან იგი მცირეა ვიდრე W_0 და ამიტომ წყალმეტობის ნაწილი დარჩება რეგულირების გარეშე.

თუ ჰიდროელსადური მუშაობს მთელი თავისი სიმძლავრით და თავის ტურბინებში უშვებს Q_0 ხერჯს, მაშინ წყალმეტობის დასაწყისიდან ხელსაყრელი იქნება სადგურის მუშაობა სრულ ხარჯზე. სადგური გაატარებს Q_0 ხარჯს, ხოლო დანარჩენი წყალი შეკავდება წყალსაცავში მის სრულ ავსებამდე.

მიღებული ინტეგრალური მრუდის ქვემოთ ავაგოთ $FEBD$ მრუდი, რომელიც ჩამორჩება ინტეგრალურ მრუდს მთელ მის სიგრძეზე წყალსაცავის მოცულობის ტოლი ერთი და იგივე მანძილით (ნახ. 53).

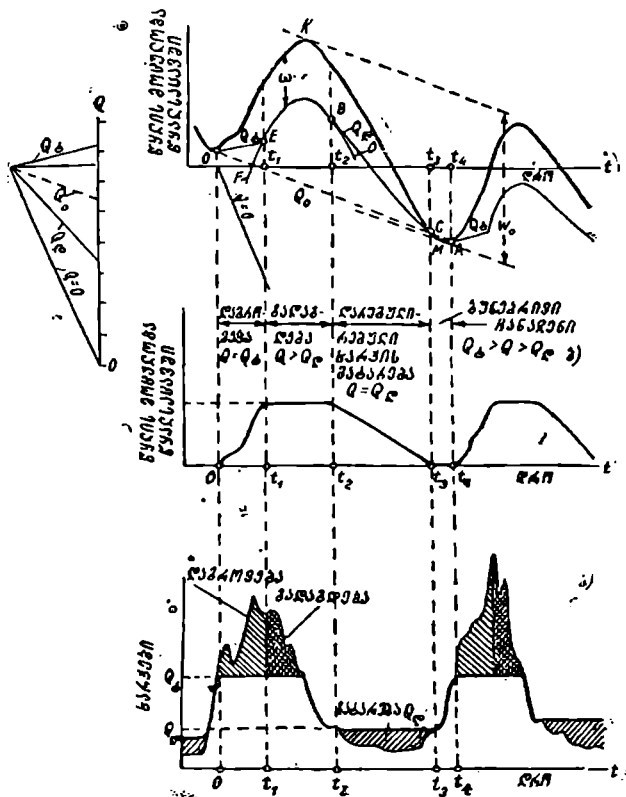
გამოვიყენოთ სხივური მასშტაბი და მის მიხედვით გავატაროთ სადგურის Q_0 ხარჯის შესაბამისი სხივი; შემდეგ, სარეგულაციო წლის დასაწყისიდან ავიღოთ ამ სხივის პარალელური წრფე OE , რომლის ორდინატა, ცხადია, იქნება წყალსაცავიდან Q_0 ხარჯის დროს გასული წყლის მოცულობა. ორდინატების სხვაობა Q_0 წრფესა და ინტეგრალურ მრუდს შორის, გამოსახავს წყალსაცავში დარჩენილი წყლის მოცულობას.

დროის t_1 მომენტში Q_0 წრფე ჩვენ მიერ გატარებულ მრუდს E წერტილში გადაკვეთს. ამ მომენტში წყალსაცავი აივსება უმაღლეს დონემდე და

ა მოცულობა ექნება. ამ მომენტიდან მოგვიხდება წყალსაცავიდან მთელი მოდინების გაშვება, ეინაიდან წყალსაცავი უკვე ავსებულია და მისი დონის უფრო მეტად აწევა არ შეიძლება.

ამრიგად, მრუდის EB მონაკვეთი იქნება წყალსაცავიდან გამოსული ხარჯის წირი. ეს წირი მთელ თავის სიგრძეზე მიჰყვება მოდინების ინტეგრალურ მრუდს ერთსა და იმავე ა მანძილით. ხარჯი შეიძლება განესაზღვროთ ნებისმიერ მომენტში, თუ EB მრუდის შესაბამის წერტილზე გავატავებთ მხეებს და ამ მხეების პარალელურ სხივებს სხივურ მასშტაბში.

გავატაროთ ეხლა BC წირი, რომელიც წარმოადგენს საერთო მხეებს ინტეგრალური მრუდისათვის C წერტილში და $FEBD$ მრუდისათვის B წერტილში. ამ წირის მიმართულება განსაზღვრავს Q_e ხარჯს, რომელიც შეიძლება დაეარეგულიროთ t_2 -დან t_3 -მდე პერიოდში.



ნახ. 53. ჩანადრის წლიური რეგულირება.

მართლაც, t_2 მომენტში წყლის ბუნებრივი მოდინება წყალსაცავში ტოლია Q_e -სი (ეინაიდან Q_e წრფე წარმოადგენს EB მრუდის მხეებს).

თუ I_3 მომენტიდან გავუშვებთ Q_2 . ხარჯს წყალსაცავიდან, მაშინ ორდინატათა სხვაობა BC წირსა და ინტეგრალურ მრუდს შორის, რომელიც გამოსახავს წყლის მოცულობას წყალსაცავში, თანდათან მცირდება და დროის t_3 მომენტში, როდესაც BC წირი ინტეგრალურ მრუდს შეეხება, წყალსაცავი უკვე დაცლივს იქნება.

ინტეგრალური მრუდის CA მონაკვეთზე მოდინება უფრო მეტი იქნება ვიდრე Q_2 ხარჯი, ე. ი. დაცლილი წყალსაცავიდანაც კი შეიძლება უზრუნველყოთ სადგური Q_2 -ზე მეტი ხარჯით. A წერტილი ეს არის Q_2 წრფის მხების წერტილი შემდეგი სარეგულაციო წლისათვის. მაშასადამე, t_3 მომენტისათვის წყლის სეკუნდური მოდინება მიაღწევს Q_2 მინიმუმს, ე. ი. სადგურის მაქსიმალურ გამტარუნარიანობას და შემდგომი წყალმეტობის პერიოდში, ცხადია, ისევ უნდა გამოგუშვათ წყალსაცავიდან სადურისაკენ Q_2 ხარჯი და ამით ზედმეტი წყალი დავაგროვოთ წყალსაცავში. დაიწყება რეგულირების მეორე წლიური ციკლი.

ამრიგად, სარეგულაციო წლის განმავლობაში O -დან t_1 -მდე პერიოდში სადგური იმუშავებს სრული Q_2 ხარჯით და ამავე დროს წყალსაცავი აივსება მაქსიმალურ ნიშნულამდე (იხ. წყალსაცავში დაგროვილი წყლის მოცულობის ცვლილების გრაფიკი 53, ბ ნახაზზე). t_3 მომენტიდან t_4 მომენტამდე წყალსაცავში დონე იქნება მაქსიმალური და მისგან გამოშვებული იქნება წყალსაცავში მაქსიმალური მოდინების შესაბამისი ხარჯი. დგება კარბი წყლის გადაღების პერიოდი.

t_3 მომენტიდან t_4 მომენტამდე წარმოებს წყალსაცავის დაცლა, რომლის განმავლობაში მისგან გაშვებულ იქნება წყლის ბუნებრივ მოდინებაზე მეტი წყლის Q_2 მუდმივი ხარჯი, ე. ი. ხდება წყალსაცავის დაცლა.

t_4 მომენტში წყალსაცავი დაცლილია მთლიანად და t_4 მომენტამდე, ე. ი. წლის ბოლომდე, ჰიდროსადგური ისევ მუშაობს ბუნებრივ მოდინებაზე, რომელიც მეტია ვიდრე Q_2 .

ამ აგებიდან შეიძლება გამოვიყვანოთ წესი დარეგულირებული ხარჯის სიდიდის განსაზღვრავად, რომელიც შეიძლება უზრუნველყოფილ იქნეს წლის მთელი წყალმცირე პერიოდისათვის. ეს ხარჯი განისაზღვრება BC მხების მიმართულებით, რომელიც გავლებულია ინტეგრალური მრუდისა და მისადმი პარალელურად გავლებული $FEBD$ მრუდისადმი; ეს უკანასკნელი, როგორც ზემოთ იყო მოხსენებული, დაცლებულია ინტეგრალური მრუდიდან წყალსაცავის მოცულობის ტოლი სიდიდით (ნახ. 53, ა).

შეიძლება ავაგოთ დარეგულირებული ხარჯის წლიური ჰიდროგრაფი, თუ გამოვიყენებთ $OEBCA$ დარეგულირებული ხარჯის წირს. ეს ხარჯი, ცხადია, t_1 — t_2 და t_3 — t_4 პერიოდებისათვის ბუნებრივი მოდინების ხარჯის ტოლია, რომელიც ყოველ მომენტში ინტეგრალური მრუდის მხების მიმართულებით განისაზღვრება.

53, ა ნახაზზე მოცემულია ბუნებრივი და დარეგულირებული ხარჯების წლიური ჰიდროგრაფი.

წყალმცირე პერიოდის დარეგულირებული Q_2 ხარჯის ფარდობას საშუალო წლიურ ხარჯთან, ე. ი.

$$a = \frac{Q_2}{Q_0}$$

დარეგულირების კოეფიციენტი ეწოდება.

ჰიდროელსადგურის ტურბინების მიერ გატარებული მაქსიმალური ხარჯი, როგორც ზემოთ იყო ნათქვამი, არის Q_6 . ჰიდროგრაფის მრუდის ნაწილი (ნახ. 53, გ), რომელიც ზემოდან მაქსიმალური Q_6 ხარჯითაა შემოსაზღვრული, ხოლო ქვემოდან — დროის O ღერძით, წარმოადგენს ჰიდროელსადგურის მიერ გამოყენებული ჩანადენის მოცულობას. ნახაზზე ორი სხვადასხვა შტრიხულით აღნიშნული ფართობის ნაწილი, რომელიც მდებარეობს Q_6 ხარჯის ზემოთ, წარმოადგენს შესაბამისად დაგროვებული და გადაღვარილი წყლის მოცულობებს. ცხადია, რეგულირების დროს გამოყენებული ჩანადენის ნაწილი უფრო მეტია, ვიდრე რეგულირების გარეშე.

ჩანადენის გამოყენებული ნაწილის მოცულობის ფარდობას მთელი წლის ჩანადენთან ჩანადენის გამოყენების კოეფიციენტი ეწოდება.

ზემოთ განხილულ მაგალითზე ჩვენ გამოვარკვეთ ჩანადენის წლიური რეგულირების გაანგარიშების მეთოდი ერთი სარეგულაციო წლისათვის.

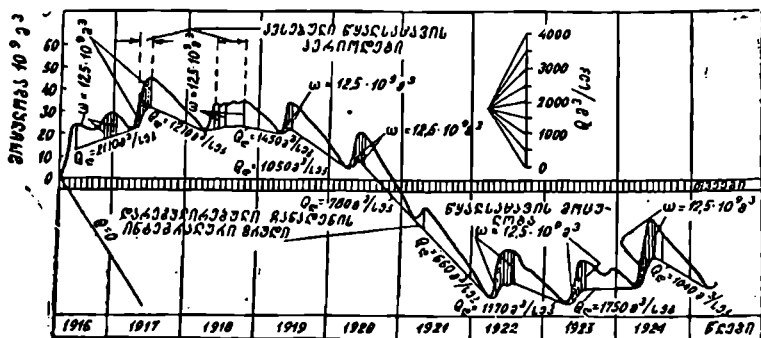
ჰიდროელსადგურის დაპროექტების დროს ასეთი გაანგარიშება აუცილებელია ჩატარდეს საკმაოდ გრძელი პერიოდისათვის იმისათვის, რომ ვუჩვენოთ თუ როგორ იცვლება დარეგულირებული ხარჯის სიდიდე სხვადასხვა ჩანადენის მქონე წლებში (წყალუბვი, წყალმცირე, საშუალო და ა. შ. წლებისათვის). ამ მიზნით ჰიდროლოგიური დაკვირვებებით უზრუნველყოფილი წლებიდან ამოირჩევა სხვადასხვა ჩანადენის მქონე წლები. ჩვეულებრივ, ასეთ გაანგარიშებას აწარმოებენ უკიდურეს შემთხვევაში საშუალო წლისათვის, ერთი ან ორი წყალმცირე (მაგალითად, კატასტროფული წყალმცირე და საშუალო წყალმცირე წლებისათვის, წლიური ჩანადენის 90 ან 95%-იანი უზრუნველყოფით) და ერთი ან ორი წყალუბვი წლისათვის (მაგალითად, ყველაზე უფრო წყალუბვი და წყალუბვი წლიური ჩანადენის 10%-იანი უზრუნველყოფით).

საკითხის უფრო ღრმად შესწავლისათვის (მაგალითად, ტექნიკურ პროექტში) საჭირო ხდება ასეთი გაანგარიშების ჩატარება ჰიდროლოგიური მასალების მქონე ყველა წლისათვის. ამ შემთხვევაში იგება ინტეგრალური მრუდი მრავალწლიური პერიოდისათვის და მასზე წარმოებს დარეგულირებული ხარჯების აგება მთელი პერიოდისათვის, ზემოთ მოყვანილი მეთოდის საფუძველზე.

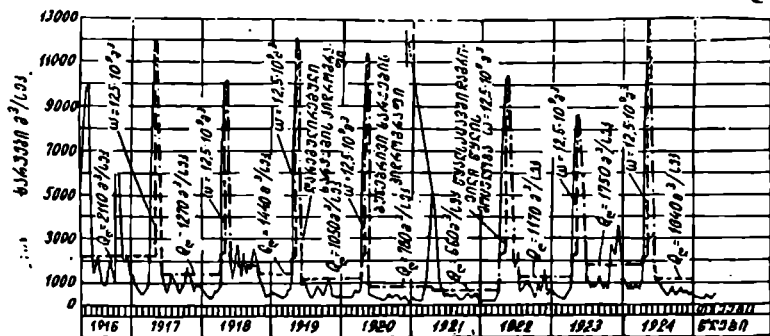
ცხადია, წყალმცირე პერიოდის უზრუნველყოფილი დარეგულირებული ხარჯი სხვადასხვა წლებისათვის სხვადასხვა იქნება. წყალმცირე წლებში შეიძლება უზრუნველყოფით უფრო ნაკლები ხარჯები, ვიდრე საშუალო წლებში; წყალუბვ წლებში კი, პირიქით.

იცვლება აგრეთვე წყლის გადაღების ხანგრძლიობაც, რომელიც ცხადია, მეტი იქნება წყალუბვ წლებში. ცალკეულ წყალმცირე წლებში, საკმაოდ დიდი მოცულობის წყალსაცავის დროს, შეიძლება საჭირო გახდეს წყალსაცავის შესავსებად წყალმეტობის დროს მისგან უფრო ნაკლები ხარჯების გაშვება, ვიდრე ჰიდროელსადგურის გამტარუნარიანობაა. ამას ექნება ადგილი იმ შემთხვევაში, თუ Q_6 ხარჯის წრფე არ შეეხება EB მრუდს (ნახ. 53, ა) და გაივლის მის ზემოთ, ე. ი. თუ წყალმეტობის დასაწყისში ტურბინებში გავსვებით Q_6 ხარჯს, მაშინ ჩვენ ვერ შევძლებთ წყალსაცავის ავსებას სრულად მოცულობამდე. ამ შემთხვევაში, წყალსაცავის ავსების პერიოდში, ჰიდროელსადგურის წყლის ხარჯი უნდა იყოს Q_6 სიდიდზე ნაკლები. იგი განისაზღვრება O წერტილიდან EB მრუდისადმი გავლებული მხების მიმართულებით. ამის გამო, წყალმეტობის პერიოდში ჩვენ უკვე არ გვექნება დარეგულირებულ

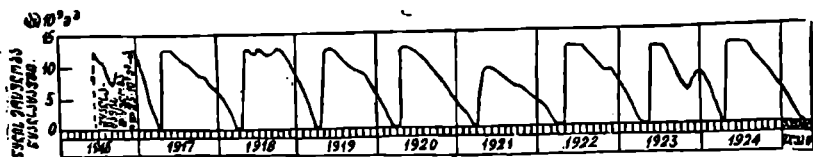
მდგომარეობაში წყალმეტობის ხარჯი, რომელიც უზრუნველყოფს ყველა ტურ-ბინის სრულ გამტარუნარიანობას.



ნახ. 54. ჩანადენის წლიური რეგულირება.



ნახ. 55. ბუნებრივი და დარეგულირებული ხარჯების ჰიდროგრაფი წლიური რეგულირების დროს.



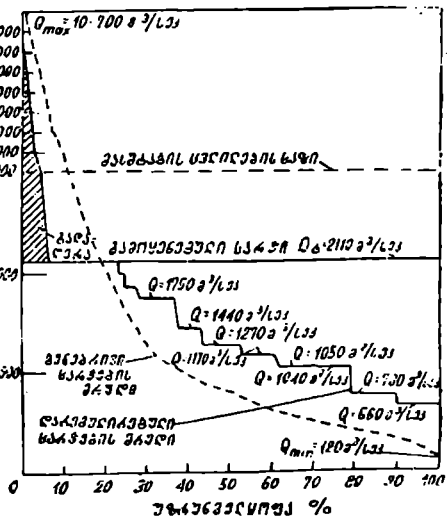
ნახ. 56. წყალსაცავში დარეგულირებული წყლის მოცულობის გრაფიკი ჩანადენის წლიური რეგულირების დროს.

54-ე ნახაზზე მოცემულია ჩანადენის ინტეგრალური მრუდი მდ. ვოლგას ერთ-ერთი კვეთისათვის 1916 წლიდან 1925 წლამდე, რომელზედაც დატანილია დარეგულირებული ხარჯების წირები $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-3}$ მოცულობისათვის, ხოლო 55-ე ნახაზზე აგებულია დარეგულირებული ხარჯების ჰიდრო-

გრაფი. წყალსაცავში დაგროვებული წყლის მოცულობის ცვლილება, უზრუნველყოფის მრუდები, ბუნებრივი და დარეგულირებული წყლის ხარჯები მთელი რეგულირების პერიოდში მოცემულია 56-ე და 57-ე ნახაზებზე.

რეგულირების ეფექტი საკმაოდ დიდია. წყალმცირე წელიწადში მინიმალური ხარჯი იზრდება 120-დან 660 მ³/სექ-მდე, ე. ი. 5,5 ჯერ. გამოყენებული ხარჯი $Q_{ბ} = 2110$ მ³/სექ. გამოყენებული ჩანადენის სიდიდე რეგულირების გარეშე შეადგენს $31,9 \cdot 10^9$ მ³, ხოლო რეგულირების დროს იზრდება $43,7 \cdot 10^9$ მ³-მდე, ე. ი. 1,37-ჯერ. ჩანადენის საერთო მოცულობიდან ($48,4 \cdot 10^9$ მ³) ჩანადენის გამოყენება შეადგენს:

რეგულირების გარეშე



ნახ. 57. ბუნებრივი და დარეგულირებული ხარჯების უზრუნველყოფა ჩანადენის წლიური რეგულირების დროს.

$$\frac{31,9 \cdot 10^9}{48,4 \cdot 10^9} = 65,9\%$$

რეგულირების დროს კი

$$\frac{43,7 \cdot 10^9}{58,4 \cdot 10^9} = 90,2\%$$

რეგულირების დროს წყლის გადადგება შეადგენს 9,0%. ეს მიღწეულია წყალსაცავის საკმაოდ დიდი მოცულობით, რომელიც შეადგენს

$$\frac{12,5 \cdot 10^9}{48,4 \cdot 10^9} = 25,8\%$$

საშუალო წლიური ჩანადენის მოცულობიდან; ამ დროს წყალსაცავი არ შეიძლება ავსებულ იქნეს ყველაზე წყალმცირე წელიწადში, როგორც ეს 56-ე ნახაზიდან ჩანს.

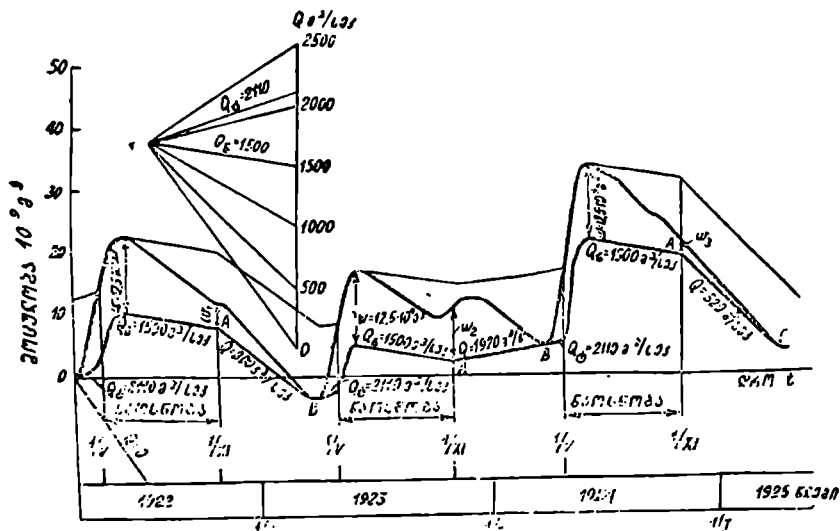
§ 28. ცვლადი ხარჯის ჩამოშლის რეგულირება

აქამდე ჩვენ ვიხილავდით რეგულირების უმარტივეს შემთხვევებს, რომლებიც უზრუნველყოფდა მუდმივ ხარჯს წლის მთელ წყალმცირე პერიოდში. მაგრამ პრაქტიკაში შეიძლება საჭირო იყოს ისეთი რეგულირება, რომელიც შექმნიდა წლის განმავლობაში ცვლად დარეგულირებულ ხარჯს. ეს შეიძლება გამოწვეული იყოს მთელი რიგი მიზეზებით.

ენერგეტიკული რეგულირების დროს ყოველთვის არ არის საჭირო მთელი წლის განმავლობაში ჰიდროელსადგურს ყოველდღიურად მუდმივი გამომუშა-

ვება ჰქონდეს; პირიქით, ზოგჯერ შეიძლება სასურველი იყოს არათანაბარი გამომუშავება. იზოლირებული ჰიდროელსადგურისათვის, რომელიც მხოლოდ ერთი ამარაგებს ენერჯის მოხმარების რაიონს, ზამთრის დატვირთვა იზრდება განათების ხარჯზე; ზაფხულში იგი მცირდება. ამ პირობებში სასურველია ჰიდროელსადგურისაგან ზამთარში მივიღოთ დიდი სიმძლავრე, ხოლო ზაფხულში—მცირე. ცხადია, რომ ჩანადრის რეგულირებამ შეიძლება დააკმაყოფილოს ეს მოთხოვნილება, თუ ზამთრის თვეებში უზრუნველყოფს დიდ ხარჯებს.

მდინარის კომპლექსური გამოყენების დროს, მაგალითად ენერგეტიკულთან ერთად, არაენერგეტიკულმა მომხმარებლებმა შეიძლება მოითხოვონ წყლის გარკვეული ხარჯი წლის გარკვეულ პერიოდში. მაგალითად, ნაოსნობის შესანარჩუნებლად სასურველია ნაოსნობის პერიოდში წყალსაცავიდან გაეუშვათ ისეთი ხარჯი, რომელიც უზრუნველყოფს მდინარის ქვედა უბანში ნაოსნობისათვის საჭირო სიღრმეს.



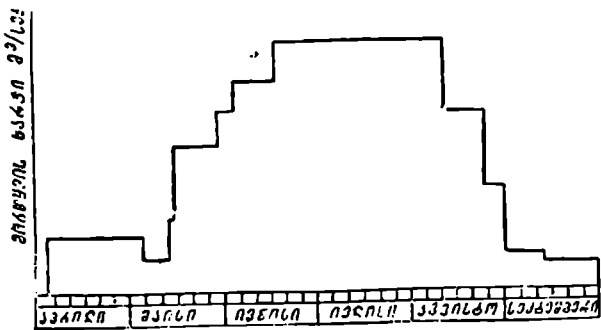
ნახ. 56. წლიური რეგულირება ნაოსნობისათვის საჭირო ხარჯების უზრუნველყოფის დროს.

თუ დანადგარის ქვემოთ წყალი მიჰყავთ ირიგაციისათვის, მაშინ მორწყვის პერიოდში დარეგულირებული ხარჯი არ უნდა იყოს იმაზე ნაკლები, რაც გრაფიკის მიხედვით მიწის მორწყვას სჭირდება. ეს მოთხოვნილებანი იმდენად არსებითია, რომ შეიძლება მოგვიხდეს მისი პირველ რიგში შესრულება, ზოგჯერ ზამთრის თვეების ხარჯების შემცირებითაც კი, რომელიც ასე აუცილებელია ენერგეტიკისათვის.

თუ ჰიდროელსადგური მუშაობს დიდ სისტემაში თბოსადგურებთან ერთად, მაშინ ზამთრის თვეებში გამომუშავების მთავარი ნაწილი შეიძლება მიეცეთ უკანასკნელს და შევამციროთ გამომუშავება ჰიდროელსადგურზე.

ასე თუ ისე, ყველა ამ შემთხვევაში შეიძლება საჭირო იყოს წლის განმელობაში ცვლადი ხარჯის დარეგულირება. დარეგულირებული ხარჯის გრაფიკული აგება ინტეგრალურ მრუდზე ამ დროს რთულდება.

ამ შემთხვევაში, მუდმივი დარეგულირებული ხარჯის წრფის მაგივრად ჩვენ გვექნება სხვა წირი, რომლის მიმართულება დამოკიდებულ იქნება დარეგულირებული ხარჯის ცვლილების ხასიათზე. ვთქვათ, მაგალითად, არის მოთხოვნილება, რომ ნაოსნობის პერიოდში სანაოსნო სიღრმის შესანარჩუნებლად გაეწვეათ მდინარეში გარკვეული ხარჯი, არანაკლებ Q_0 -ისა დაწყებული ნაოსნობის გახსნიდან მის ბოლომდე (მაგალითად, I/V -დან I/XI -მდე). ამ შემთხვევაში, ცხადია, დარეგულირებული ხარჯის წირები, როგორც 58-ე ნახაზიდან ჩანს, გამოსახულია წრფეებით, რომლებიც მიდიან ნაოსნობის ხარჯით განსაზღვრული მიმართულებებით; მაგალითად, $Q_0 = 1500$ მ³/სეკ ყოველდღიურად საჭიროა ნაოსნობის პერიოდში, ე. ი. I/V -დან I/XI -მდე. ამ წირების ბოლო A წერტილები განსაზღვრავს წყალსაცავის მდგომარეობას I/XI -თვის, სადაც ამ მომენტისათვის შესაბამისად წყლის მოცულობა იქნება: w_1 ,



ნახ. 59. წყლის ხარჯის გრაფიკი მიწების მორწყვისათვის.

w_2 და w_3 , რომლებიც ნაჩვენებია ნახაზზე. I/XI -დან ყოველი სარეგულაციო წლის ბოლომდე ჩვენ შეგვიძლია ამ შემთხვევაში ენერგეტიკული მიზნისათვის მივიღოთ მუდმივი დარეგულირებული ხარჯები, რომლებიც განისაზღვრებიან A წერტილზე გავლებული წრფეებით, რომლებიც მხები იქნებიან ინტეგრალური მრუდებისა სარეგულაციო წლის ბოლო B წერტილებში. AB წრფეების მიმართულება ჩვენს მაგალითში განსაზღვრავს ხარჯებს $Q_0 = 800, 1920$ და 520 მ³/სეკ, რომლებიც შეიძლება უზრუნველყოფილი იქნენ ზამთრის პერიოდში, შესაბამისად, 1922—23, 1923—24 და 1924—25 წლებში. როგორც ჩანს, 1923—24 წლებში გაზაფხულის წყალმეტობის გამო, ზამთრის ხარჯი მეტი გამოვიდა, ვიდრე ნაოსნობის ხარჯი; ზამთარში 1924—25 წლებში შესაძლებელი გახდა მხოლოდ 520 მ³/სეკ ხარჯის დარეგულირება.

გარდა ზემოთ განხილული უმარტივესი შემთხვევისა, როდესაც ჩვენ მოცემული გვაქვს მუდმივი დარეგულირებული ხარჯი დროის რომელიმე პერიოდში, შეიძლება ადგილი ექნეს უფრო რთულ შემთხვევებს. მაგალითად, შეიძლება მოთხოვნილი იყოს, რომ დავარეგულიროთ ხარჯი მოცემული გრაფიკის მიხედვით (მაგალითად, მორწყვის გრაფიკით, ნახ. 59). ამ შემთხვევაში დარეგულირებული ხარჯის წირი ინტეგრალურ მრუდზე იქნება მორწყვის გრაფიკით მოცემული ახალი ინტეგრალური მრუდი.

§ 29. ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირება

როგორც ზემოთ დაენახეთ, წლიური რეგულირების დროს, დარეგულირებული ხარჯის სიდიდე Q_e ყოველ წელიწადს სხვადასხვა გამოდის; რაც ნაკლებია წყალსაცავის მოცულობა, მით მეტია განსხვავება დარეგულირებული ხარჯის სიდიდეებში წყალმცირე და წყალუხვ წლებში. დიდი მოცულობის წყალსაცავების დროს, შეიძლება უზრუნველყოთ დარეგულირებული ხარჯების მუდმივი მნიშვნელობა ნებისმიერ წელში, თუკი ეს მოცულობა საკმარისია წყალუხვი წლის ჩანადენის დასარეგულირებლად, რომელიც შემდეგ გამოყენებულ იქნება წყალმცირე წლებში.

მრავალწლიური რეგულირების სქემა განსხვავდება წლიური რეგულირების სქემისაგან იმით, რომ წყალსაცავის აგება უმაღლეს დონემდე შეიძლება მოხდეს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ გვექნება მთელი რიგი წლების საშუალოზე უფრო მეტი ჩანადენი. ასეთი წყალუხვი პერიოდის განმავლობაში შეიძლება დაეგროვოთ კარბი ჩანადენი, რომელიც საშუალოზე მეტი იქნება და ამით აევისოთ წყალსაცავი. წყალსაცავის დაკლა წარმოებს საშუალოზე მცირე ჩანადენის მქონე წლების განმავლობაში თანდათანობით. ასეთი წყალმცირე პერიოდის ბოლოს წყალსაცავი შეიძლება დაკლილი აღმოჩნდეს.

ამრიგად, წყლის დონის ცვალებადობის პერიოდი წყალსაცავში ავსებიდან დაკლამდე და შემდეგ განმეორებითი ავსებისათვის შეიცავს რამდენიმე წელიწადს.

მუდმივი Q_e ხარჯი, რომელიც შეიძლება უზრუნველყოფილ იქნეს ხანგრძლივი წლების განმავლობაში, ცხადია, დამოკიდებულია წყალსაცავის მოცულობაზე და აგრეთვე წყალმცირე და წყალუხვი წლების რიგზე. ჩანადენზე ხანგრძლივი დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ მდინარის რეჟიმში შეიძლება თანმიმდევრულად არსებობდეს წყალმცირე და წყალუხვი წლების ჯგუფები და თანაც არ არის გამორიცხული ის პერიოდები, რომლებშიაც წყალმცირე წლები განმეორდება თანმიმდევრობით.

21-ე ნახაზზე მოცემულია მდ. ვუოქსის ჰიდროგრაფი, სადაც წყალუხვი და წყალმცირე წლების თანმიმდევრობა ცხადადაა ნაჩვენები.

წლების განმავლობაში 1899 წლამდე მდ. ვუოქსაზე შემჩნეულია მთელი რიგი წყალუხვი წლები მაღალი და საშუალო ხარჯებით. შემდეგ, როგორც გრაფიკიდან ჩანს, წყალმცირე პერიოდი დაიწყო 1900 წელს და გრძელდებოდა 1902 წლამდე, რომელიც კატასტროფულ წყალმცირე წელიწადს წარმოადგენდა. ამის შემდეგ ისევ დაიწყო ჩანადენის გადიდება და შემდეგ — შემცირება.

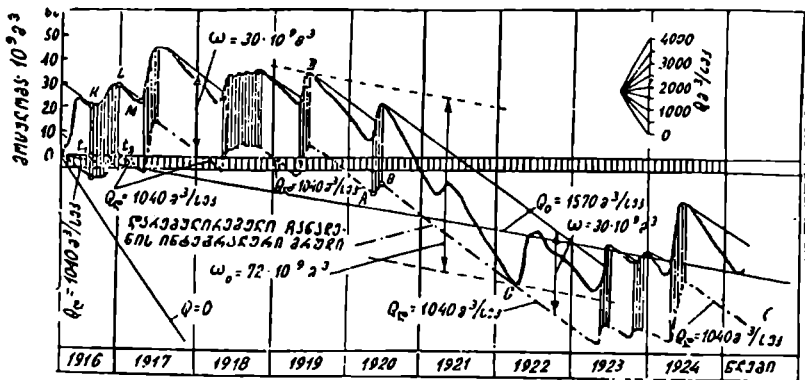
ყველაზე უფრო იწვლია მუდმივი დარეგულირებული ხარჯის უზრუნველყოფა წყალმცირე წლებში, რომელიც ცხადია დარეგულირებული ხარჯის სიდიდის განმსაზღვრელს წარმოადგენს.

მე-60 ნახაზზე მოცემულია ინტეგრალური მრუდი მდ. ვოლგას ჩანადენისათვის, სადაც ჩანს წყალუხვი და წყალმცირე წლების შენაცვლება.

აქ წყალმცირე პერიოდს წარმოადგენს წლები 1918-დან 1922-მდე, რომლის განმავლობაში საშუალო წლიური ხარჯების სიდიდეები ძალიან მცირეა. განხილულ პერიოდში სრული მრავალწლიური რეგულირებისათვის, ე. ი. მუდმივი ხარჯის უზრუნველსაყოფად, რომელიც მთელი პერიოდის საშუალო ხარჯს წარმოადგენს ($Q_e = 1570$ მ³/სეკ), დაგვეჭირებოდა საკმაოდ დიდი მოცულობის წყალსაცავი. ეს მოცულობა შეიძლება განვსაზღვროთ. თუ ინტეგრა-

ლური მრუდის ზედა და ქვედა საზღვრებზე, ე. ი. D და C წერტილებში Q_0 ხარჯის მიმართულების პარალელურ მხებებს გავატარებთ.

მე-60 ნახაზზე წარმოებული აგება იძლევა ამ მიზნისათვის საჭირო წყალსაცავის მოცულობას $\omega_0 = 72 \cdot 10^3$ მ³. თუ წყალსაცავის მოცულობა უფრო მცირე იქნება, მაშინ ცხადია, მასში არ მოხერხდება წყალუხვი პერიოდის ჩანადენის დაგროვება და საჭირო გახდება ზედმეტი წყლის გადაღერა აუზის აესების შემდეგ. მეორე მხრივ, იმის გამო, რომ წყალი გადავადღეთ და ამით უფრო ნაკლები წყალი დავაგროვებთ ჩვენ შევედლებთ წყალმცირე პერიოდის უზრუნველყოფას მხოლოდ $Q_e < Q_0$ ხარჯით. ყველაზე წყალმცირე პერიოდში უზრუნველყოფილი დარეგულირებული ხარჯი შეიძლება განვსაზღვროთ იმავე ეტაპით, რაც 27-ე პარაგრაფში იყო მოცემული ჩანადენის წლიური რეგულირებისათვის. ავადოთ ინტეგრალური მრუდის ქვემოთ მდებარე და მისგან წყალსაცავის მოცულობის $\omega = 30 \cdot 10^3$ მ³ ტოლი მანძილით დაშორებული AB მრუდი და გავატაროთ საერთო BC მხები ამ მრუდისა და ინტეგრალური მრუდისათვის. ამ მხების მიმართულება განსაზღვრავს $Q_e = 1040$ მ³/სეკ ხარჯს, რომელიც შეიძლება დარეგულირებულ იქნეს მოცემული მოცულობის წყალსაცავით.



ნახ. 60. ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირება მუდმივი, ყოველთვის უზრუნველყოფილი ხარჯით.

თუკი შევეცდებით მრავალწლიური რეგულირების დროს ყველა წელში მუდმივი დარეგულირებული ხარჯის $Q_e = 1040$ მ³/სეკ უზრუნველყოფას, მაშინ ინტეგრალურ მრუდზე უნდა დავიტანოთ ეს მუდმივი დარეგულირებული ხარჯი, მაგრამ აქ წარმოიშობება დამატებითი გართულება.

წლიური რეგულირების დროს ჩვენ ვიცოდით, რომ სარეგულაციო წლის დასაწყისში; წყალსაცავი ყოველთვის უდაბლეს დონემდე იქნებოდა დაკლილი. მრავალწლიური რეგულირების დროს კი ჩვენთვის უცნობია რეგულირების დასაწყისში წყალსაცავის შევსების ხარისხი, ვინაიდან მასში წყლის მარაგი დამოკიდებულია განვილი წლებში დაგროვებული წყლის რაოდენობაზე.

კამხალის მშენებლობის დამთავრების დროს წყალსაცავი არ არის ავსებული. დაეუფათ, რომ ამ მომენტიდან იწყება რეგულირების გაანგარიშებისათვის შერჩეული წლების რიგი. თუ ეს რიგი იწყება წყალმცირე წლებით,

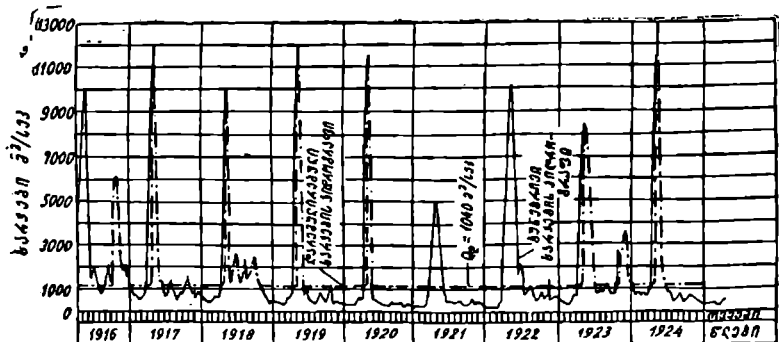
მაშინ რამდენიმე წლის განმავლობაში წყალსაცავის ავსება არ მოხდებოდა, ხოლო წყალმცირე პერიოდის ჩანადენი უზრუნველყოფს უფრო მცირე დარეგულირებულ ხარჯს, ვიდრე შემდეგ წლებში დარეგულირებული ხარჯია იმის შემდეგ რაც წყალსაცავი ავსებული იქნება წყალუხვი წლების ჩანადენით. თუკი განხილული პერიოდის პირველივე წელი წყალუხვია, მაშინ წყალსაცავის ავსება შეიძლება უფრო სწრაფად მოხდეს. ამრიგად, წყალსაცავის ავსების პირობები დამოკიდებულია იმ პერიოდის პირველ წლებზე, რომლისთვისაც გაანგარიშება წარმოებს. ამავე დროს, არ ვიცით როგორი იქნება დანადგარის ექსპლოატაციის პირველი წლები.

თუ წყალსაცავად ბუნებრივი ტბაა გამოყენებული, მაშინ დაგროვების პირველადი მოცულობა დამოკიდებული იქნება ტბის დონის მდებარეობაზე სადგურის ექსპლოატაციის დაწყების მომენტში. ამ დროს შესაძლებელია საწყის მომენტში ტბაში იყოს წყლის საკმაო მოცულობა, რომელიც უზრუნველყოფს ნორმალურ დარეგულირებულ ხარჯს მრავალწლიური რეგულირებისათვის. მაგრამ კაშხალის მშენებლობის დამთავრების მომენტში შესაძლებელია ტბის დონე უმცირესი იყოს, თუ გასული წლები წყალმცირე იყო.

ამიტომ მრავალწლიური რეგულირების გაანგარიშებისათვის მოგვიხდება საანგარიშო პერიოდის დასაწყისის ამორჩევა წყალუხვი წლებიდან, რომლებიც წყალსაცავის ავსების საშუალებას მოგვცემენ. ექსპლოატაციის პირველ წლებში საკმარის ხდება დამატებითი გაანგარიშების წარმოება. გაანგარიშებამ უნდა გვიჩვენოს: როგორი ხარჯების უზრუნველყოფა შეიძლება ექსპლოატაციის პირველ პერიოდში და როდის აივსება წყალსაცავი იმის გათვალისწინებით, რომ ავსების პერიოდში აღვიღო ექნება წყალუხვი, საშუალო და წყალმცირე წლების სხვადასხვა შესაძლო კომბინაციებს.

გაუგებრებთ რა ასეთ რამდენიმე ვარიანტს, შეიძლება დაახლოებით ვიანგარიშოთ წყალსაცავის ავსებისა და მისი ნორმალურ ექსპლოატაციაზე გადასვლის ვადა.

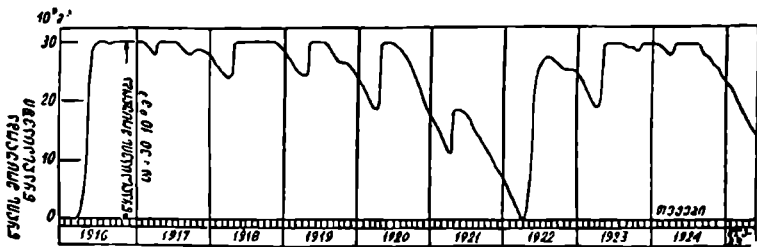
თვალსაჩინოებისათვის განვიხილოთ წყალუხვი წლებიდან დაწყებული რეგულირების პროცესი.



ნახ. 61. ბუნებრივი და დარეგულირებული ხარჯების ჰიდროგრაფი ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირების დროს.

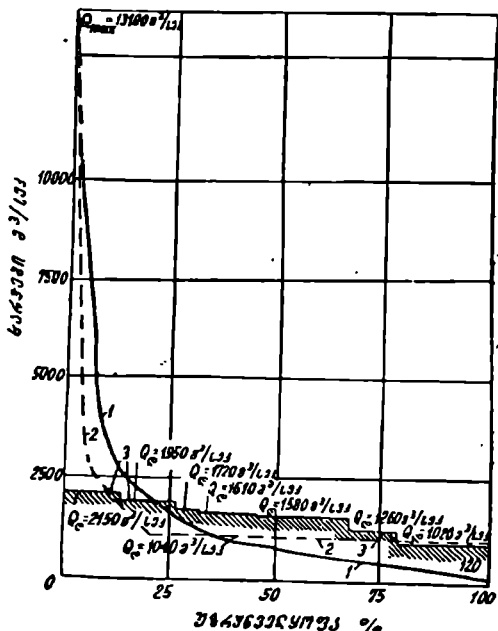
მე-60 ნახაზზე გამოსახულია დარეგულირებული ხარჯის $Q_e = 1040$ მ³/სეკ წირი, რომელიც კოორდინატთა სათავედან იწყება. ეს იმას ნიშნავს, რომ

საწყის მომენტში წყალსაცავი დაკლილია უდაბლეს დონემდე. ამ წირის პარალელურად გეავტაროთ მის ზემოთ გამავალი და მისგან წყალსაცავის მოცულობის $\omega = 30 \cdot 10^9$ მ³ ტოლი მანძილით დაშორებული მეორე პარალელური წირი. ეს წირი (რომელსაც ზედა საკონტროლო წირს ვუწოდებთ) K



ნახ. 62. წყალსაცავში დარღვილი წყლის მოცულობის გრაფიკი ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირების დროს.

წერტილში კვეთს ინტეგრალურ მრუდს, რაც იმას ნიშნავს, რომ შესაბამის t_1 მომენტში წყალსაცავი ავსებულია უმაღლეს დონემდე. ამ მომენტიდან არ შეიძლება წყალსაცავში წყლის მეტად აწევა და აუცილებელია წყალსაცავიდან მოდინების ტოლი ხარჯის გაშვება. დარეგულირებული ჩანადენის ინტეგრალური მრუდი (საშუალო წლიური Q_0 ხარჯის წრფის მაგივრად) გამოსახული იქნება ბუნებრივი ჩანადენის ინტეგრალური მრუდიდან ω მანძილით თანაბრად დაცილებული მრუდით. ინტეგრალური მრუდის ზედა საკონტროლო წირთან გადაკვეთის მომენტიდან, ე. ი. t_1 მომენტიდან იწყება წყლის გადაგების პერიოდი, რომლის განმელობაში წყალსაცავიდან გამოდის მთელი მოდინება მანამდე, სანამ ჩანადენის ხარჯი არ გახდება $Q_0 = 1040$ მ³/სეკ-ის ტოლი; ეს იქნება დროის t_2 მომენტში, როდესაც



ნახ. 63. დარეგულირებული ხარჯების უზრუნველყოფა ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირების დროს.

ინტეგრალური მრუდის მხები ამ დარეგულირებული ხარჯის წირის პარალელური გახდება. t_2 მომენტში წყლის მოდინება წყალსაცავში დარეგულირებული-

$Q_e = 1040$ მ³/სეკ ხარჯის ტოლი გახდება და შემდეგშიაც მას ექნება კიდევ უფრო მეტად შემცირების ტენდენცია. ამრიგად, t_2 მომენტიდან დაიწყება წყალსაცავიდან წყლის გაშვება, რომელიც საჭიროა მუდმივი $Q_e = 1040$ მ³/სეკ ხარჯის უზრუნველსაყოფად და წყალსაცავი დაიწყებს დაკლას. იგი ხელახლა აივსება მაშინ, როდესაც ინტეგრალური მრუდის მიმართ L წერტილში მხედრად გაფლებული ზედა საკონტროლო წირი ხელახლა გადაკვეთს ინტეგრალურ მრუდს M წერტილში; ამ მომენტიდან დაიწყება წყლის ხელახლა გადაგდება და ა. შ.

მე-60 ნახაზზე მოცემულია ინტეგრალური მრუდის აგება დროის მთელი პერიოდისათვის. 61-ე ნახაზზე გამოსახულია ბუნებრივი და დარეგულირებული ხარჯების ჰიდროგრაფი.

62-ე ნახაზზე მოცემულია წყალსაცავში წყლის მოცულობის ცვალებადობის გრაფიკი; გადავლებების პერიოდში წყალსაცავში წყლის დონე მაქსიმალურია.

61-ე ნახაზზე აგებულ დარეგულირებული ხარჯების ჰიდროგრაფს აქვს შემდეგი სახე: იმ პერიოდში, როდესაც წყალსაცავში დონე დაბალია, ვიდრე უმაღლესი დონე, წყალსაცავიდან გამოსული $Q_e = 1040$ მ³/სეკ ხარჯი მუდმივი დარჩება. პირიქით, თუ დონე იქნება მაქსიმალური, წყალსაცავიდან ვუშვებთ მთელ ბუნებრივ ჩანადენს და ამრიგად ამ პერიოდში ვინარჩუნებთ ბუნებრივი ჰიდროგრაფით განსაზღვრულ წყლის ხარჯებს.

63-ე ნახაზზე აგებულია ხარჯების უზრუნველყოფის 1 და 2 მრუდების დაკვირვების მთელი პერიოდისათვის, მდინარის ბუნებრივი და დარეგულირებული მდგომარეობის დროს.

მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავის არსებობა მუდმივი ხარჯის უზრუნველყოფის საშუალებას იძლევა ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში. ამ შემთხვევაში $Q_e = 1040$ მ³/სეკ. რეგულირების კოეფიციენტი

$$\alpha = \frac{Q_e}{Q_0} = \frac{1040}{1570} = 0,663.$$

§ 30. მრავალწლიური რეგულირების სქემა წყალსაცავის ზედალური მოცულობის დროს

წინა პარაგრაფში განხილული იყო მრავალწლიური რეგულირების სქემა, რომლის დროს უზრუნველყოფილი იყო მთელი რიგი წლების დარეგულირებული ხარჯი.

თუ წყალსაცავის მოცულობა საკმაოდ დიდია, მაშინ შეიძლება დავარეგულიროთ ისეთი ხარჯი, რომელიც ახლოს იქნება მრავალწლიურ საშუალო ხარჯთან საკმაოდ დიდი პერიოდისათვის. ამის გამო, გადავლებული წყლის მოცულობა შედარებით მცირეა, ხოლო ჩანადენის გამოყენების კოეფიციენტი კი საკმაოდ დიდი.

დარეგულირების ხარისხი თვალსაჩინოდ შეიძლება გამოვსახოთ დარეგულირებული ხარჯის უზრუნველყოფის მრუდის დახმარებით და მისი შედარებით ბუნებრივი ხარჯების უზრუნველყოფის მრუდთან.

63-ე ნახაზზე მოცემულია ორივე უზრუნველყოფის მრუდი (1 და 2) მდ. ვოლგას ჩანადენის რეგულირებასათვის.

რაც ნაკლები იქნება წყალსაცავის მოცულობა, ცხადია, მით უფრო არადამაკმაყოფილებელი იქნება რეგულირების შედეგი. დარეგულირებული ხარჯის სიდიდე მცირდება წყალსაცავის მოცულობის შემცირებასთან ერთად.

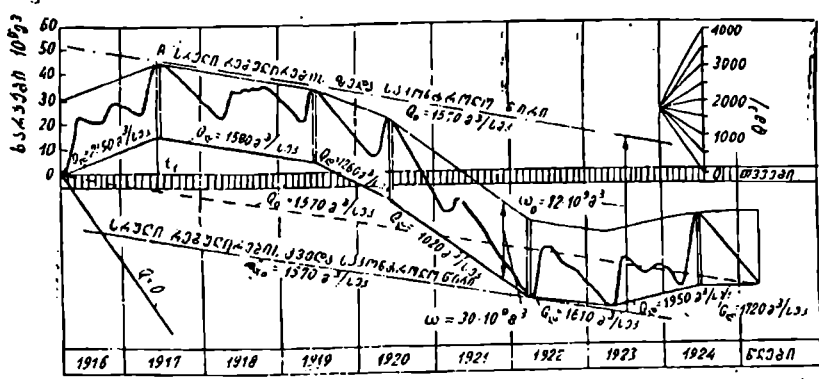
მეორე მხრივ, კი გაიზრდება გადავლებული წყლის მოცულობა და მისი ხანგრძლიობის დრო.

ზოგჯერ ხელსაყრელი დარეგულირებული ხარჯის სიდიდესხვადასხვა წელში სხვადასხვა იყოს.

ამ შემთხვევაში უფრო სწორი იქნება ანგარიში გაუწიოთ ჩანადენის როდინობის ცვლებადობას სხვადასხვა წლებში. წყალმცირე წლებში შეიძლება დავეშვათ დარეგულირებული ხარჯების შემცირება, ხოლო წყალუხვ წლებში კი—გაიზრდება, შევამცირებთ რა გადავლებას. ეს უკანასკნელი, ცხადია, შესაძლებელია, ვინაიდან გადავლების არსებობა გვიჩვენებს ჩანადენის ზემდგომობას და მისი შემცირება საშუალებას მოგვცემს გავადილოთ დარეგულირებული ხარჯის სიდიდეს, წყალსაცავის ავსების შენელებით.

64-ე ნახაზზე გამოსახულია მდ. ვოლგას ჩანადენის იგივე ინტეგრალური მრუდი, რომლითაც ჩვენ ვსარგებლობდით მე-60 ნახაზზე.

წყალსაცავის იმავე მოცულობისათვის $\omega = 30 \cdot 10^9$ მ³, რომელიც წინა პარაგრაფში გვქონდა, 64-ე ნახაზზე მოცემულია რეგულირების შემდეგი სქემა.



ნახ. 64. ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირების იდეალური სქემა

ორდინატთა ლერძზე გადაზომილია წყალსაცავის მოცულობა $\omega = 30 \cdot 10^9$ მ³ და გატარებულია ორი პარალელური წირი, რომლებიც ერთმანეთისაგან დაცილებულია წყალსაცავის მოცულობის ტოლი სიდიდით. აქედან, ქვედა წარმოადგენს დარეგულირებული ხარჯის წირს, ხოლო ზედა კი (რომელიც ინტეგრალურ მრუდს A წერტილში ეხება)—საკონტროლო წირს.

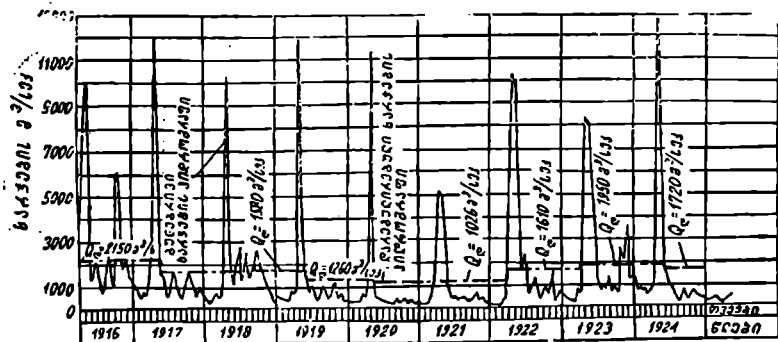
ეს წირები გატარებულია შემდეგი წესით. საწყის პერიოდში ჩანადენი არის საშუალოზე მეტი, ამიტომ წირის მიმართულება არჩეულია ისე, რომ ზედა საკონტროლო წირს ჰქონდეს შესაძლო უდიდესი დახრილობა და ამავე დროს ინტეგრალურ მრუდს ეხებოდეს A წერტილში. შეხების A წერტილის შესაბამის t_1 მომენტში წყალსაცავი, ცხადია, ავსებული იქნება, ხოლო დარეგულირებული ხარჯი პირველ პერიოდში განისაზღვრება ($Q_e = 2150$ მ³/სეკ) წირის დახრილობით.

შემდეგში ორივე წირი (დარეგულირებული ხარჯისა და ზედა საკონტროლო) გატარებული იქნება, როგორც ინტეგრალური წირის ორი მომდგები ტეხილი წირი. ტეხილი წირის ყოველი წრფივი უბნის მიმართულება იძ-

ლევა დარეგულირებულ ხარჯს, რომელიც განისაზღვრება სხივური მასშტაბის საშუალებით. ასეთ აგებას ზოგჯერ „დაკვიშული ძაფის წესით“ აგებას უწოდებენ.

ჩანადენის რეგულირების განხილულ სქემას იდეალურს უწოდებენ. ვინაიდან იგი ათანაბრებს რა მრავალწლიური პერიოდის ჩანადენს, არ იძლევა წყლის გადაგდებას. წყალსაცავს აქვს ავსებისა და დაკლის მრავალწლიური ციკლი. როგორც 66-ე ნახაზიდან ჩანს, წყალსაცავი ივსება 1917, 1918 და 1920 წლებში, ხოლო იცვლება 1922 და 1923 წლებში და ხელახლა ივსება 1924 წელს.

ამ შემთხვევისათვის, ხარჯების ხანგრძლიობის მრუდი შეიძლება იქნეს მარტივად, თუ გამოვიყენებთ დარეგულირებული ხარჯების ჰიდროგრაფს (ნახ. 65). ამისათვის კი დავალაგებთ ცალკეული პერიოდების დარეგულირებული ხარჯების სიდიდეებს მათი კლებადი რიგის მიხედვით და აბსცისათა ღერძზე თანმიმდევრობით გადავზომავთ თითოეული პერიოდის ხანგრძლიობას. ხოლო ორდინატათა ღერძზე კი დარეგულირებული ხარჯების სიდიდეებს, მაშინ შეიძლება ავაგოთ დარეგულირებული ხარჯების უზრუნველყოფის (განგრძლიობის) საფეხუროვანი მრუდი 3 (ნახ. 63).



ნახ. 65. ბუნებრივი და დარეგულირებული ხარჯების ჰიდროგრაფი (იდეალური სქემა).

როგორც მუდმივი დარეგულირებული ხარჯების სქემის შედარებიდან ჩანს (მრუდი 2, ნახ. 63), მინიმალური ხარჯი იდეალურ სქემაში მხოლოდ რამდენადმე ნაკლებია ($1020, 1040 \text{ მ}^3/\text{სეკ}$ -ის მაგივრად), ხოლო მისი ხანგრძლიობა კი გაცილებით ნაკლები. დანარჩენ დროში ხარჯები საკმაოდ მეტია (1260 -დან $2150 \text{ მ}^3/\text{სეკ}$ -მდე).

თუ სადგურის ტურბინების გამტარუნარიანობა იქნება არანაკლები, ვიდრე მაქსიმალური დარეგულირებული ხარჯი $Q_{\text{მ}} = 2150 \text{ მ}^3/\text{სეკ}$, მაშინ ჰიდროელსადგურს შეუძლია გამოიყენოს მთელი ჩანადენი, ე. ი. ჩანადენის გამოყენების კოეფიციენტი იქნება 100% , მაშინ როდესაც წინა პარაგრაფში იგი $66,3\%$ მივიღეთ.

ჩანადენის გამოყენების დიდი კოეფიციენტი მიიღება დარეგულირებული ხარჯების სიდიდეების შეცვლის შედეგად დროის სხვადასხვა პერიოდში.

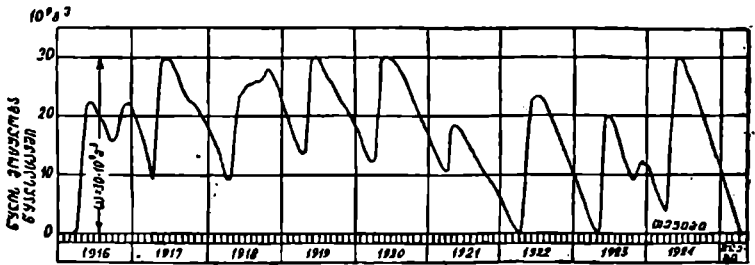
თუ ჰიდროელსადგური მუშაობს თბოსადგურებთან ერთად დიდ ენერგეტიკულ სისტემაში, მაშინ ნაკადის უთანაბრობის გარკვეულ სიდიდეს არ

შეუძლია დიდი როლი შეასრულოს. ამ შემთხვევაში დარეგულირებული მცირე ხარჯების წლებში გავადიდებთ თბოსადგურების გამომუშაებას და შევამცირობთ მას იმ წლებში, როდესაც ჰიდროელსადგურში გამოყენებული ხარჯები, ე. ი. მათი გამომუშაება, გაიზარდება.

შემდეგ თავებში ამ საკითხს მიეჭევა ყურადღება თბო-და ჰიდროელსადგურების ერთობლივი მუშაობის განხილვის დროს.

იმ სისტემაში, სადაც ჰიდროელსადგური არის ერთადერთი ან სადაც გარდა ჰიდროელსადგურისა მუშაობს ჰიდროელსადგურთან შედარებით მცირე სიმძლავრის თბოსადგურები, დარეგულირებული ჩანადენის უთანაბრობა შეიძლება დაუშვებელი აღმოჩნდეს.

მართლაც, თუ ჰიდროელსადგური წარმოადგენს ენერჯის ერთადერთ წყაროს, მაშინ ასეთი სადგური მომსახურებას გაუწევს ენერჯის მომხმარებლებს, თუ მოხმარების სიმძლავრე და ენერჯის რაოდენობა შეიძლება დაკმაყოფილებულ იქნეს ყველაზე წყალმცირე პერიოდის დარეგულირებული ხარჯით.



ნახ. 66. წყალსაცავში დაგროვილი წყლის გრაფიკი იდეალური სქემის მიხედვით ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირების დროს.

თუ მოხმარების სიდიდე წყალმცირე წლებში მეტი იქნება, ვიდრე ჰიდროელსადგურის სიმძლავრე და გამომუშაება, მაშინ, ცხადია, მომხმარებლების ნაწილი ენერჯიას გამოიყენებს მხოლოდ უფრო წყალზე პერიოდში; წყალმცირე პერიოდში კი ამ დროს აუცილებლად მოგვიხდებოდა მომხმარებლების შეზღუდვა. ვინაიდან წყალმცირე პერიოდი შეიძლება გაგრძელდეს რამდენიმე წელს თანმიმდევრობით, ამიტომ ენერჯის მომხმარებლები ვერ შეურიგდება ენერჯის შეზღუდვას ასე ხანგრძლივად. ამ შემთხვევაში იძულებული ვართ სადგურის სიმძლავრე და გამომუშაება ვიანგარიშოთ წყალმცირე პერიოდის მიხედვით და დანარჩენი წყალი გადავაგდოთ ტურბინების გარეშე.

პრაქტიკულად წყალსაცავის არასაკმარისი მოცულობის დროს, ძალძან ხშირად, დარეგულირებული ხარჯების რხევა სხვადასხვა წლებში საკმაოდ დიდი გამოადის, რაც გვაიძულებს უარი ეთქვათ რეგულირების იდეალურ სქემაზე და დაეუშვათ ჩანადენის ნაწილობრივი გადაღება. ამ შემთხვევაში საკიროა მივიღოთ რეგულირების სქემა დარეგულირებული ცვალებადი ხარჯით, მაგრამ უნდა შევეცადოთ, რომ დარეგულირებული ჩანადენი უფრო გათანაბრებული იყოს, ვიდრე ეს გამოადის იდეალური სქემით.

ზემოთ ჩვენ ვიხილავდით ჩანადენის რეგულირებას ცალკეული ჰიდროელსადგურებისათვის.

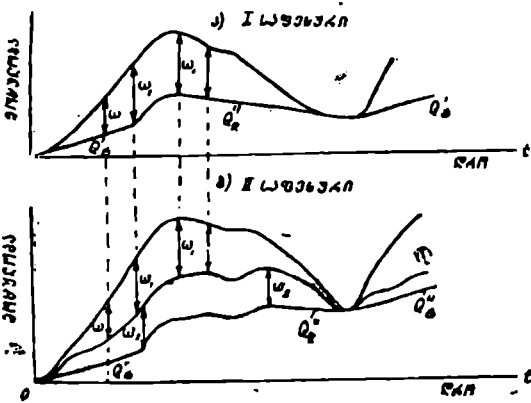
წყალდენის გამოყენების დროს საჭიროა დამუშავდეს სქემა, რომელიც გაითვალისწინებს მთელი მდინარის გამოყენებას, უკიდურეს შემთხვევაში მდინარის ყველაზე უფრო ეფექტური (ენერგეტიკის თვალსაზრისით) ნაწილის გამოყენებას. ამ დროს, ხშირად, მდინარეზე საჭირო ხდება სადგურების მოწყობა საფეხურების სახით, რომლებიც ერთად ქმნიან კასკადს. მაშინ სადგურების კაშხალებს შეუძლია შექმნას ჩანადენის დასარეგულირებლად გამოსაყენებელი მთელი რიგი წყალსაცავები.

ასეთი კასკადის მაგალითს წარმოადგენს მდ. ვოლგას დანადგარები. ანალოგიური კასკადებია გათვალისწინებული მდინარეებზე: დნეპრზე, კამაზე, ირტიშზე და ა. შ.

ასეთი დანადგარების კალაპოტური წყალსაცავები იშვიათად უზრუნველყოფს ჩანადენის მრავალწლიურ ან წლიურ რეგულირებასაც კი. მაგალითად, მდ. ვოლგაზე ყველა წყალსაცავიდან სრული წლიური რეგულირება და შეიძლება ნაწილობრივი მრავალწლიური რეგულირებაც შეუძლია უზრუნველყოს მხოლოდ რიბინსკის წყალსაცავმა. ყველა დანარჩენი წყალსაცავი იძლევა

შეზღუდული წლიური რეგულირების საშუალებას.

ერთი მხრივ, ამ კასკადაზე ყველაზე უფრო ძვირფასია ზედა საფეხურის წყალსაცავები, ვინაიდან მათგან დარეგულირებული ხარჯი გამოყენებულია კასკადის ყველა ქვემოთ მდებარე საფეხურზე. პირიქით, კასკადის ქვედა საფეხურის წყალსაცავი ნაკადს არეგულირებს მხოლოდ უკანასკნელი დანადგარისათვის.



ნახ. 67. ჩანადენის რეგულირება სადგურების კასკადური განლაგების დროს.

მეორე მხრივ, ზედა საფეხურის წყალსაცავები შეძლებს დაარეგულიროს მდინარის ზემო უბანში განლაგებული შედარებით მცირე აუზის ჩანადენი. ქვემოთ მდებარე ნაწილის მთელი ჩანადენი შეიძლება დარეგულირებულ იქნეს მხოლოდ ქვემოთ განლაგებული წყალსაცავებით. ამიტომ ასეთი კასკადის დაპროექტების დროს დიდი ყურადღება უნდა მიექცეს ზედა საფეხურის წყალსაცავებს, სადაც უნდა შევეცადოთ შევქმნათ რაც შეიძლება დიდი მოცულობები. ის ჩანადენი, რომელიც ქვემოთ განლაგებული წყალშემკრები აუზიდან მდინარეში ჩადის შეიძლება დამატებით დაეარეგულიროთ ქვედა წყალსაცავებში.

ჩანადენის რეგულირების გაანგარიშება კასკადისათვის უნდა დაეწყოს

ზედა წყალსაცავიდან და ვეცადოთ მისი საშუალებით რაც შეიძლება მეტად გავათანაბროთ ჩანადენი.

შემდეგ მეორე საფეხურზე (თუ თვლას ვიწყებთ ზემოდან), რეგულირების ანგარიში წარმოებს ჩანადენის ინტეგრალური მრუდით, მაგრამ იგი შესწორებული უნდა იყოს პირველი საფეხურის რეგულირების შესაბამისად. ამ მიზნით იგება მეორე საფეხურის ბუნებრივი ჩანადენის ინტეგრალური მრუდი და შემდეგ ჰისი ორდინატები აკლდება მოცემულ მომენტში ზედა წყალსაცავში დაკავებული ნაკადის მოცულობას (ნახ. 67, ა და ბ).

გადავზომავეთ რა მეორე საფეხურის ინტეგრალური მრუდის ქვემოთ ორდინატებს α_1 , α_2 და ა. შ., რომელებიც გამოსახვენ პირველი საფეხურის წყალსაცავში დაგროვილი წყლის მოცულობებს (ნახ. 67, ა), ჩვენ მივიღებთ შესწორებული ინტეგრალური მრუდის ასაგებად საჭირო მთელ რივ წერტილებს.

ანალოგიურად აგებენ მრუდებს შემდეგი საფეხურებისათვისაც. ასე, მაგალითად, მეოთხე საფეხურისათვის საჭიროა მის წყალსაცავში მოდინების ინტეგრალურ მრუდს ყოველ მომენტში გამოვაკლოთ ზედა სამ წყალსაცავში დაგროვილი წყლის მოცულობათა ჯამი.

მოცემული წყალსაცავისათვის მიღებული შესწორებული ინტეგრალური მრუდი გამოდგება რეგულირების შემდგომი გაანგარიშებისათვის განხილული საფეხურის საკუთარი წყალსაცავის დახმარებით. კასკადის ასეთი რეგულირების დროს ჩვენ შეიძლება გვეკონდეს რეგულირების ყველა დასახელებული სახე, ე. ი. შეიძლება ვაწარმოოთ წყალსაცავის მოცულობის მიხედვით წლიური ან მრავალწლიური რეგულირება, მუდმივი ან ცვლადი ხარჯის რეგულირება და ა. შ.

§ 32. ჩანადენის კომპენსირებული რეგულირება

მე-20 პარაგრაფში უკვე აღნიშნული იყო კომპენსირებული რეგულირების დანიშნულება. აქ დაგვჩვენა განვმარტოთ ინტეგრალური მრუდის დახმარებით მისი გაანგარიშების მეთოდი.

კომპენსირებული რეგულირების დროს გვექნება ორი ინტეგრალური მრუდი: 1) ბუნებრივი ჩანადენის ინტეგრალური მრუდი ჰიდროელსადგურის კვეთისათვის (ნახ. 68, ბ) და 2) ბუნებრივი ჩანადენის ინტეგრალური მრუდი ზემოთ მდებარე წყალსაცავის კვეთში (ნახ. 68, ა).

დავეშვათ, რომ საჭიროა ჩანადენის წლიური რეგულირების წარმოება, ისე რომ ჰიდროელსადგურზე უზრუნველყოთ მუდმივი დარეგულირებული ხარჯი მისგან დაცილებული ზედა წყალსაცავით, რომლის მოცულობა არის ω .

ავაგოთ ბუნებრივი ჩანადენის ორი ინტეგრალური მრუდი წყალსაცავისა და ჰიდროელსადგურის კვეთებისათვის. ორივე ინტეგრალური მრუდის ქვემოთ ავაგოთ წყალსაცავის ω მოცულობის ტოლი მანძილით დაცილებული ab და AB მრუდები (ნახ. 68).

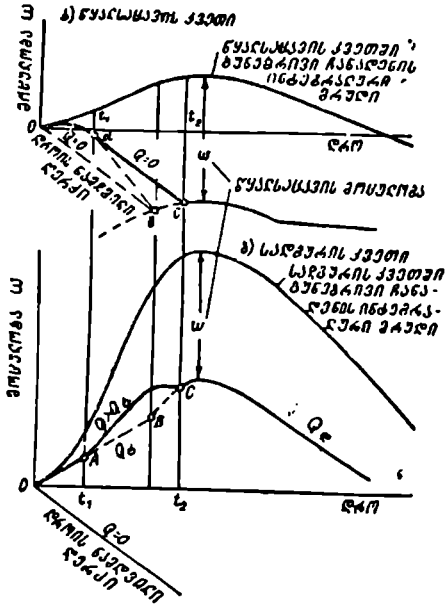
თუ საჭიროა წყალმცირე პერიოდში სადგურის უზრუნველყოფა მუდმივი ხარჯით, მაშინ გავატაროთ ინტეგრალური მრუდისა და AB მრუდის საერთო BC მხები. BC მიმართულება განსაზღვრავს საძიებელ Q_c ხარჯს, რომელიც შეიძლება დავარეგულიროთ სადგურის კვეთში t_1 -დან t_2 -მდე დროის პერიოდში. ამ პერიოდში, ცხადია, წყალსაცავი იცლება. დროის ნებისმიერ t მომენტში სადგურის კვეთის მიმართ მოდინების ინტეგრალური მრუდისა და Q_c ხარჯის წირის ორდინატათა სხვაობა DE განსაზღვრავს წყალსაცავში დაგროვილი წყლის მოცულობას. თუ ამ მოცულობას გამოვაკლებთ წყალსაცავის კვეთში ბუნებრივი ჩანადენის მოცულობიდან (ნახ. 68, ა), მივიღებთ წყალსაცავიდან t მო-

ში მოდინება მეტი იქნება ვიდრე Q_0 , წყალსაცავიდან შეეწყვიტავთ წყლის მიწოდებას. სადგურის კვეთში გაივლის აუზის შუალედური ნაწილის წყლის მთელი ბუნებრივი ხარჯი, ე. ი. უფრო მეტი ვიდრე Q_0 . ამიტომ ვაწარმოებთ რა oa წირის აგებას წყალსაცავის ინტეგრალურ მრუდზე (ნახ. 68, ა), აღნიშნული მეთოდით ჩვენ შეგვიძლია ავაგოთ მრუდის მხოლოდ ის ნაწილი, რომლისთვისაც წყალსაცავის ხარჯი დადებითი იქნება.

იმ მომენტიდან, როდესაც ამ აგებით მიღებული ხარჯი წყალსაცავის კვეთში ნული გახდება, წყალსაცავიდან წყლის გაშვება შეწყდება.

69, ა და ბ ნახაზებზე მოყვანილია აგების მეთოდი ამ შემთხვევისათვის. t_1 მომენტამდე სადგურის კვეთში შეიძლება დავარეგულიროთ Q_0 ხარჯი,

რომელსაც შეესაბამება OAB წირის OA მონაკვეთი (ნახ. 69, ბ). წყალსაცავის კვეთში დარეგულირებული ხარჯი შესაბამისად გამოსახულია oab წირის oa მონაკვეთით (ნახ. 69, ა). t_1 მომენტში oab მრუდის ac მხები ღებულობს დროის ნამდვილი ღერძის პარალელურ მიმართულებას, რაც იმას ნიშნავს, რომ წყალსაცავიდან გატარებული ხარჯი $Q=0$. შემდეგ, შეეწყვეტთ რა წყლის გამოშვებას წყალსაცავიდან, სადგურის კვეთში ჩვენ გვექნება აუზის შუალედური ნაწილის სრული ბუნებრივი მოდინება, ე. ი. $Q > Q_0$ (ნახ. 69, ბ). გავატაროთ ac წირი დროის ნამდვილი ღერძის პარალელურად მანამ, სანამ იგი არ გადაკვეთს t_2 მომენტში bc მრუდს, რომელიც გატარებულია წყალსაცავის კვეთის ინტეგ-



ნახ. 69. ჩანადენის კომპენსირებული რეგულირება წყალმეტობის პერიოდში.

რალური მრუდიდან $ა-ს$ ტოლი მანძილით (ნახ. 69, ა). მაშინ ინტეგრალური მრუდისა და ac მრუდის ორდინატათა სხვაობა წყალსაცავში დავაროვილი წყლის მოცულობას იძლევა. თუ ამ სხვაობას გამოვაკლებთ სადგურის კვეთის ინტეგრალური მრუდის ორდინატიდან (ნახ. 69, ბ), მივიღებთ სადგურის კვეთში დარეგულირებული ჩანადენის გამომსახველ AC წირს.

69; ა და ბ ნახაზებზე ეს აგება შესრულებულია უწყვეტი წირებით; წყვეტილი წირებით კი ნაჩვენებია სადგურის კვეთში მუდმივი Q_0 ხარჯის შესაბამისი აგება, რომელსაც მივყევართ უარყოფით ხარჯამდე წყალსაცავის კვეთში; ეს უკანასკნელი 69, ა ნახაზზე გამოსახულია ab წირის მიმართულებით, რაც არ შეიძლება განხორციელდეს.

§ 33. სხვადასხვა პლინარეფაზე განლაგებული
ჰიდროელსადგურების სისტემის რეგულირება

ყველა ზემოთ განხილული შემთხვევა შეეხებოდა ჩანადენის რეგულირებას იზოლირებულ ან კასკადში მომუშავე ჰიდროელსადგურებს. კასკადური რეგულირების დროს ზემოთ მდებარე სადგურის დარეგულირებული ჩანადენი გამოყენებული იყო ქვემოთ მდებარე სადგურების მიერ. თუ ენერგეტიკულ სისტემაში გვაქვს რამდენიმე ჰიდროელსადგური, რომლებიც საერთო ქსელში მუშაობენ, მაშინ რეგულირების მიზანი უნდა იყოს თანაბარი გამომუშავების მიღება მთელ სისტემაში. სისტემაში შემაჯალ ზოგიერთ სადგურს შეიძლება არ ჰქონდეს წყალსაცავი, ე. ი. მუშაობდეს ბუნებრივ ჩანადენზე, მაშინ, როდესაც სხვა სადგურებს შეიძლება გააჩნდეს საკმაოდ დიდი წყალსაცავები. ამ შემთხვევაში უკანასკნელ სადგურებს უხდებათ მძიმე ამოცანის შესრულება: უზრუნველყოს ჩანადენის ისეთი რეგულირება, რომლისთვისაც არამარეგულირებელი, ანუ სეზონური სადგურების სიმძლავრისა და გამომუშავების შემცირება კომპენსირებული იქნება მარეგულირებელი სადგურების სიმძლავრისა და გამომუშავების გადიდებით.

წყალსაცავი, ცხადია, ამ შემთხვევაში ინტენსიურად მუშაობს და მისი მოცულობა უფრო მეტი უნდა იყოს ვიდრე მაშინ, როდესაც იგი ჩანადენს მხოლოდ თავისი საჭიროებისათვის არეგულირებს.

ჩანადენის ასეთი რეგულირების გაანგარიშება არ შეიძლება ვაწარმოოთ ინტეგრალური მრუდების აგების იმ წესით, რომელიც ადრე იყო განმარტებული, ამიტომ საჭირო ხდება არა მოცულობებში, არამედ კილოვატ-საათებში აგებული ინტეგრალური მრუდების გამოყენება, ვინაიდან მარეგულირებელმა სადგურმა კომპენსაცია უნდა გაუკეთოს სეზონური სადგურის არასაკმარის გამომუშავებას გარკვეული რაოდენობის კილოვატ-საათების გამომუშავებით.

ენერჯის გამომუშავება t დროის განმავლობაში შეადგენს:

$$W = \int_0^t P dt,$$

სადაც $P = 9,81 Q H \eta$ წარმოადგენს სადგურის სიმძლავრეს, რომელიც იცვლება Q ხარჯის

ნახ. 70. ენერჯის გამომუშავების ინტეგრალური მრუდი. ცვლასთან ერთად.

გვექნება რა ბუნებრივი ჩანადენის ჰიდროგრაფი, შეიძლება ავსავთ ნაკადის ქრონოლოგიური გრაფიკი. დავყოთ დროის მთელი T პერიოდი მცირე Δt შუალედებად და ინტეგრება შევცვალოთ შეჯამებით; მაშინ შეიძლება ავსავთ ენერჯის ინტეგრალური მრუდი, რომლის ორდინატები გამოითვლება ტოლობით:

$$W = \sum_0^t P \Delta t.$$

ამ ინტეგრალური მრუდის ბოლო წერტილის W_0 ორდინატა წარმოადგენს გამომუშავებას მთელი T პერიოდებისათვის (ნახ. 70). თუ შევეერთებთ კოორდინატთა სათავეს ინტეგრალური მრუდის ბოლო წერტილთან OA წიხით, მაშინ დროის ღერძის მიმართ ამ წიხის დახრილობის α_0 კუთხის ტანგენსი პროპორციული იქნება საშუალო P_0 სიმძლავრისა T დროში; მართლაც,

$$P_0 = \frac{W_0}{T} = m \operatorname{tg} \alpha_0.$$

(m კოეფიციენტი დამოკიდებულია T და W სიდიდეების მასშტაბების ფარდობაზე).

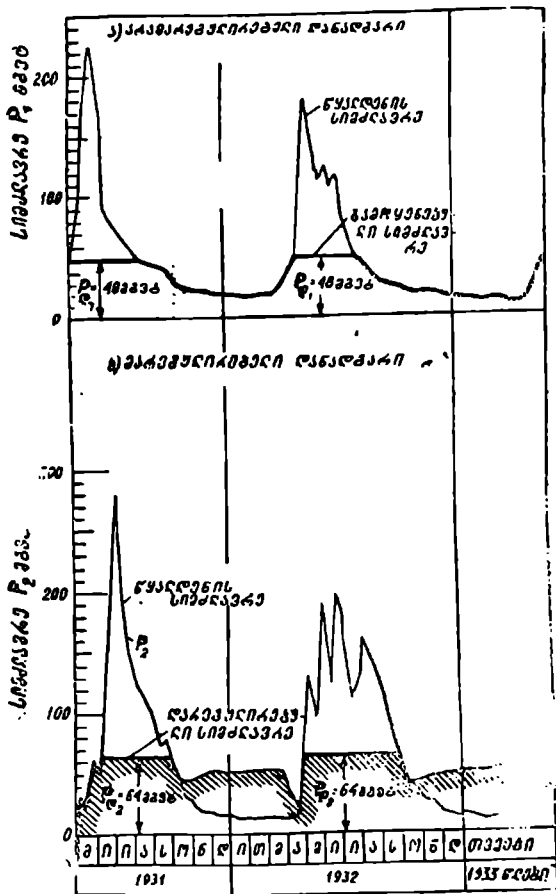
ინტეგრალური მრუდის ნებისმიერ წერტილში გატარებული მხების დახრილობის კუთხის ტანგენსი პროპორციული იქნება სიმძლავრისა მოცემულ მომენტში:

$$P_1 = \frac{dW}{dt} = m \operatorname{tg} \alpha_1.$$

შეიძლება ავაგოთ სიმძლავრეების სხივური მასშტაბი ისევე როგორც წინათ ვაგებდით მას ხარჯებისათვის.

ამრიგად, გამომუშავებული ენერჯიის ინტეგრალური მრუდი, აგებული კილოვატ-საათებში სრულიად ანალოგიურია მოცულობის ინტეგრალური მრუდისა. მოცულობა აქ იცვლება ენერჯიის გამომუშავებით კილოვატ-საათებში, ხოლო მხების დახრილობის კუთხე გამოსახავს ნაკადის სიმძლავრეს ისევე როგორც მოცულობით აგებული ინტეგრალური მრუდისათვის იგი გამოსახავდა ხარჯებს სეკუნდებში.

გამომუშავებული ენერჯიის ინტეგრალური მრუდით შეიძლება ვაწარმოოთ რეგულირების გაანგარიშება, რისთვისაც საჭიროა წყალსაცავის მოცუ-

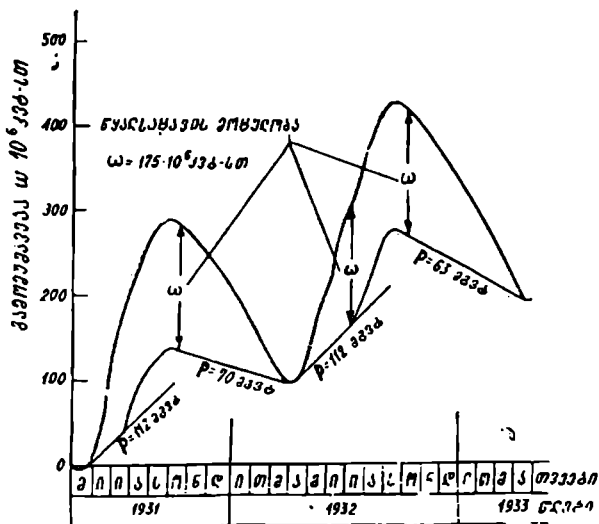


ნახ. 71. საერთო ენერჯისისტემაში ისეთი დანაჯარების სიმძლავრის გრაფიკები, რომლებსაც აქვთ ან არა აქვთ დარეგულირებული ჩანადები.

რეების ჯამური გრაფიკი (ნახ. 72), რომლის მიხედვით იგება ენერჯის გამო-
მუშავების ინტეგრალური მრუდი და წარმოებს რეგულირების გაანგარიშება.

მარეგულირებელი სადგურის დადგენილი სიმძლავრე მივიღოთ $P_{\Sigma} = 64$
მგვტ-ის ტოლად. ინტეგრალურ მრუდზე (ნახ. 73) მოყვანილია რეგულირების
გაანგარიშება, როდესაც წყალსაცავის მოცულობა $\omega = 177 \cdot 10^6$ კვტ-სთ (ენერ-
გეტიკულ ეკვივალენტში).

წყალმეტობის პერიოდში გამოყენებულია ორივე სადგურის დადგენილი
სრული სიმძლავრე $P = 65 + 48 = 112$ მგვტ. რეგულირების პირველ წელს ზამ-
თრის წყალმცირე პერიოდში, წყალსაცავის მოცემული მოცულობის დროს,
შეიძლება უზრუნველყოთ მუდმივი დარეგულირებული სიმძლავრე 70 მგვტ,
მეორე წელს—63 მგვტ. ეს სიმძლავრეები გამოსახულია სიმძლავრეების ჯამურ
გრაფიკზე (ნახ. 71), სადაც შტრიხულით გამოყოფილია ჯამური დარეგული-
რებული ხარჯების გრაფიკი. ამავე გრაფიკზე თუ გამოვსახავთ სეზონური
სადგურის სიმძლავრეებს, რომლებიც შეიძლება ავიღოთ 71, ა ნახაზიდან,
ჩვენ მივიღებთ მეორე სადგურის დარეგულირებულ სიმძლავრეებს როგორც
ჯამური დარეგულირებული სიმძლავრისა და სეზონური სადგურის სიმძლავ-
რეების ორდინატათა სხვაობას. ეს სხვაობა გამოხატულია მარეგულირებელი
დანადგარის სიმძლავრის გრაფიკზე (ნახ. 71, ბ) შტრიხულით.



ნახ. 73. საერთო ენერჯის სისტემაში მომუშავე ორი ჰიდროელსადგურის
სიმძლავრის რეგულირება.

თუ მარეგულირებელი სადგური იმუშავებს ამ გრაფიკის მიხედვით, მა-
შინ იგი სეზონურ სადგურთან ერთად სისტემას მიაწოდებს მუდმივ დარეგუ-
ლირებულ სიმძლავრეს მთელ წყალმცირე პერიოდში და გაყვება 72-ე ნახაზზე
ნაჩვენებ გრაფიკს.

ამრიგად, პირველი შეხედვით, სადგურის მუშაობის სრული რეგულირე-
ბა სისტემაში შედარებით მარტივად წყდება. უფრო რთულია რეგულირების
შემთხვევა დანადგარის ცვალებადი დაწნევის დროს.

ამ თავში განმარტებული რეგულირების გაანგარიშება დაფუძნებულია ნაკადის მონაცემების გამოყენებაზე დროის განვლილი პერიოდისათვის. ამ პირობებში შეიძლება დამუშავდეს რეგულირების სრულყოფილი სქემა, ვინაიდან დამპროექტებლისათვის ყოველთვის წინასწარ არის ცნობილი ჩანადენის რეჟიმი და ხანგრძლივი წყალმციკრე პერიოდის დასაწყისი. ამიტომ წყალმციკრე პერიოდის დასაწყისში შეიძლება შევარჩიოთ დარეგულირებული ხარჯის ისეთი სიდიდე, რომლის დროსაც წყალსაცავში შექმნილი მარაგი მთლიანად იქნება დახარჯული ზუსტად წყალმციკრე პერიოდის ბოლოს და წყალსაცავის ხელახალი ავსების დასაწყისში.

არსებული ჰიდროელსადგურის ექსპლოატაციაში არ შეიძლება მომავალი წლების ჩანადენის რეჟიმის წინასწარმეტყველება. ჩანადენის პროგნოზი წინასწარ ერთი წლით ადრეც კი არ შეიძლება სარწმუნო იყოს და მით უმეტეს რამდენიმე წლისათვის. ამიტომ ჰიდროელსადგურის ექსპლოატაციის დროს, ყოველთვის მოსალოდნელია შეცდომები როგორც ერთ მხარეს, ისე მეორე მხარეს. თუ იწყება უფრო წყალმციკრე პერიოდი, ვიდრე ეს გათვალისწინებული იყო, მაშინ დარეგულირებული ხარჯის სიდიდე შეიძლება ძალიან დიდი აღმოჩნდეს და წყალსაცავი დაიკლოს წყალმციკრე პერიოდის დასასრულზე უფრო ადრე; ამ დროს, ჰიდროელსადგური წყალმციკრე პერიოდში იძულებული იქნება ბუნებრივ ჩანადენზე იმუშაოს წყალსაცავის გარეშე. პირიქით, თუ წყლის მარაგი დაიხარჯება ძალიან ეკონომიურად, მაშინ წყალმციკრის დასაწყისში წყალსაცავი დაკლილი არ იქნება. ამ დროს წყალმციკრის ჩანადენი არ შეიძლება მთლიანად იქნეს დაკავებული, რაც გამოიწვევს წყლის გადაღრვას და ზედმეტ კარგვას.

ამიტომ შეიძლება დავამუშაოთ რეგულირების კარგი სქემა ჩანადენის სრულყოფილად გამოყენებისათვის, თუკი წინასწარ გვექნება ჩანადენის ინტეგრალური მრუდი მომავალი დროისათვის. მაგრამ, თუ წარმოვიდგენთ, რომ საანგარიშო პერიოდის დასაწყისში აგებული იქნება ჰიდროელსადგური, მაშინ დარწმუნებით შეიძლება ვთქვათ, რომ ჩანადენის რეგულირების რეალურად შესრულებული სქემა იქნებოდა სრულიად სხვა და ამავე დროს უფრო ცუდი, ვიდრე პროექტით იყო გათვალისწინებული. ადგილი ექნებოდა წყლის უსარგებლო კარგვას გადადებებზე, ხოლო წყალმციკრე პერიოდში მოსალოდნელი იქნებოდა წყალსაცავის არადროული დაკლა.

ყველა ეს მოსაზრება გვაიძულებს ვეძიოთ სადისპეტერო გრაფიკზე დაყრდნობილი რეგულირების მეთოდი. ამ გრაფიკის მიხედვით ჰიდროელსადგური ვალდებული იქნებოდა გამოეყენებინა ის ხარჯები, რომლებიც განსაზღვრული იქნებოდა სრულიად ობიექტური მონაცემებით და არ იქნებოდა დამოკიდებული მომავალი წლის ჩანადენის წინასწარ ნავარაუდევ სიდიდეზე.

ასეთი მეთოდის გამომუშავების აუცილებლობაზე პირველად აზრი გამოთქვა ავტორმა 1926 წელს. ამავე წელს ნევის ჰიდროელსადგურის პროექტის დამუშავების დროს მის მიერ წარდგენილ იქნა წინადადება მდ. ნევის რეგულირების სადისპეტერო გრაფიკის შესახებ, რომელიც წარმოადგენდა პირველ ცდას ამ მიმართულებით. შემდეგში, საკითხი სადისპეტერო გრაფიკებზე დამუშავებული იყო დაწვრილებით ინჟინრების: გ. პ. ივანოვის (ჰიდროენერგოპროექტი), ს. ნ. კრიკის, მ. ფ. მენკელის. გ. კ. ლოტერის (სვირშენი) მიერ, ხოლო საზღვარგარეთ ფ. სამშიოსა და სხვების მიერ¹.

¹ იხ. А. Л ю д и я, Гидроэлектростроительство Скандинавии, 1934.

74-ე ნახაზზე მაგალითისათვის მოცემულია ბუნებრივი ჩანადენის ინტეგრალური მრუდი n წლისათვის. რეგულირების სქემა განისაზღვრება სამწლიანი წყალმცირე პერიოდით, დაწყებული მეორე წლიდან და დამთავრებული ვანხილული პერიოდის მეოთხე წელში. დაეუშვათ, რომ ამ წყალმცირე პერიოდში გასურველია უზრუნველყოთ დარეგულირებული ხარჯი არანაკლები Q_1 -ისა (გარანტირებული ხარჯი). წყალსაცავის მარგი მოცულობა a მოცემულია.

განვიხილოთ სადისპეჩერო გრაფიკის აგება ორი ხარჯით. ეთქვათ, ყველაზე წყალმცირე პერიოდში (II, III და IV წლებისათვის) წყალსაცავის a მოცულობის დროს შეიძლება უზრუნველყოთ Q_1 ხარჯი. ყველაზე ცუდ პირობებშია მეოთხე წელი, რომლის ბოლოს წყალსაცავი მთლიანად იქნება დაკლილი, ხოლო წყლის დაგროვება ამ წელში იქნება უმცირესი (ნახ. 74).

განვსაზღვროთ მთელი წყალმცირე პერიოდისათვის, მაგალითად ყოველი თვის პირველი რიცხვისათვის, წყლის უდიდესი მოცულობა, რომელიც დაგროვდება წყალსაცავში იმ პირობით, რომ მისგან გამოდის დარეგულირებული Q_1 ხარჯი. 74-ე ნახაზზე, მის გასამარტივებლად, ასეთი მოცულობები— a , b , c , d , e —ნაჩვენებია შესაბამისად $1/VI$, $1/IX$, $1/I$, $1/IV$ და $1/V$ რიცხვებისათვის. ამ მოცულობებით ნახაზზე აგებულია სადისპეჩერო გრაფიკი, რომელზედაც მოცემული თარიღებისათვის გამოსახულია მდოვრე მრუდით შეერთებული შესაბამისი მოცულობები.

თუ ჩანადენს ყველა წელში ამ სადისპეჩერო გრაფიკით დარეგულირებთ (გარდა წყალმცირე პერიოდისა), მაშინ საჭიროა წყალსაცავში დროის ყოველი მომენტისათვის შევინარჩუნოთ წყლის ისეთი მარაგი, რომელიც გათვალისწინებულია სადისპეჩერო გრაფიკით. ამ მოცულობებს საგარანტიო მოცულობებს უწოდებენ იმიტომ, რომ მათი არსებობა წყალსაცავში უზრუნველყოფს Q_1 ხარჯს წყალმცირე პერიოდში. წყალსაცავის საგარანტიო მოცულობა მთლიანად უნდა დაიხარჯოს მხოლოდ წყალმცირე პერიოდის ბოლოს. დანარჩენ წლებში, როგორც კი წყალსაცავში წყლის მოცულობა დაეცემა საგარანტიო მოცულობაზე ქვემოთ, დარეგულირებული ხარჯი უნდა შემცირდეს მანამ, სანამ წყალსაცავში არ აღდგება საგარანტიო მოცულობა.

როდესაც წყლის მარაგი წყალსაცავში გადააქარბებს საგარანტიო მოცულობას, ხარჯი შეიძლება გავადიდოთ უფრო მეტად ვიდრე Q_1 , ისე როგორც ამას საჭიროება მოითხოვს. თუ დავნიშნავთ ძალიან მცირე ხარჯს, მაშინ წყალმეტობის პერიოდში დაიწყება წყლის იძულებითი გადადგება დიდი ხარჯებით, რომელიც შეიძლება მეტი იყოს, ვიდრე ჰიდროელსადგურის გამტარუნარიანობა Q_2 , ე. ი. ადგილი ექნება წყლის კარგვას. ამიტომ როგორც კი წყლის მარაგი მეტი იქნება საგარანტიო მოცულობაზე, საჭიროა მაშინვე გადავიდეთ Q_2 ხარჯზე და შევინარჩუნოთ იგი მანამდე, სანამ წყალსაცავი არ აივსება. ამ შემთხვევაში წყლის დანაკარგები უმცირესი იქნება.

ასეთი სადისპეჩერო გრაფიკი იძლევა სრულიად ობიექტურ მითითებებს თუ როგორ უნდა ვაწარმოოთ წყალსაცავის ექსპლოატაცია. იგი იძლევა Q_1 დარეგულირებულ ხარჯს, თუ წყლის მარაგი ნაკლებია საგარანტიო მოცულობაზე ან Q_2 ხარჯს, თუ იგი მეტია საგარანტიო მინიმუმზე. ასეთია სადისპეჩერო გრაფიკი ორი— Q_1 და Q_2 ხარჯით.

მაგრამ, ზოგჯერ დარეგულირებულ ხარჯს შეიძლება ჰქონდეს Q_1 და Q_2 სიდიდეებს შორის საშუალო მნიშვნელობა, რომლის დროს წყალსაცავში

დარჩება ზუსტად საგარანტიო მოცულობა. ამას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს მას შემდეგ, რაც გადასინჯულ იქნება რეგულირების პროცესი სადისპეჩერო გრაფიკის მიხედვით მთელი 6 წლის განმავლობაში.

ბუნებრივი ჩანადრის ინტეგრალური მრუდის ქვემოთ გადავზომოთ საგარანტიო მოცულობები ისე, რომ მათი სიდიდეები ყოველი თვისათვის აღებული იყოს სადისპეჩერო გრაფიკიდან. ამრიგად დანიშნული წერტილები შევავრთოთ; მივიღებთ საგარანტიო მოცულობის მრუდს, რომელიც ინტეგრალურ მრუდთან ერთად ქმნის დაშტრიხულ ზოლს (ნახ. 74).

თუ რეგულირებული ხარჯის წირი შედის ამ ზოლის შიგნით, მაშინ ხარჯი შემცირებული უნდა იქნეს Q_1 -მდე; თუ იგი გადის ზოლის გარეთ, მაშინ ხარჯი შეიძლება გადიდებულ იქნეს Q_2 -მდე.

დავუშვათ, რომ ერთი წლის განმავლობაში ხდებოდა წყლის გადაგდება და t_1 მომენტში იგი დამთავრდა. წყალსაცავი ამ მომენტში ავსებულია და შეიძლება Q_2 ხარჯის რეგულირება. რეგულირებული Q_2 ხარჯის AB წირი გადის დაშტრიხული ზოლის გარეთ, ე. ი. წყალსაცავში ყოველთვისაა საგარანტიო მოცულობაზე მეტი წყლის მოცულობა. B წერტილში AB წირი კვეთს დაშტრიხული ზოლის საზღვარს, ე. ი. t_2 მომენტში წყალსაცავში არის სადისპეჩერო გრაფიკით მოთხოვნილი საგარანტიო მოცულობა. თუ გავავრძილებთ Q_2 ხარჯის რეგულირებას, მაშინ ხარჯის წირი შევა ზოლში; მაშასადამე, ხარჯი უნდა შემცირდეს.

74-ე გრაფიკზე მივიღეთ, რომ ხარჯი კიდევაც რომ შემცირდეს Q_1 -მდე ჩვენ მაინც შევდივართ დაშტრიხულ ზოლში; ე. ი. მეორე წყალმცირე წელიწადში ნაწილობრივ გამოვიყენებთ საგარანტიო მარაგს t_2 მომენტამდე, რომლის შემდეგ მარაგი ხელახლა აღდგება. C წერტილში BC წირი ზონიდან გამოდის, ე. ი. ხარჯი შეიძლება Q_1 -ზე მეტი გახდეს. C წერტილიდან D წერტილამდე შეიძლება გამოვიყენოთ Q_1 -ზე მეტი, მაგრამ Q_2 -ზე ნაკლები ხარჯები, რომლებიც მიიღებიან ზოლის ქვემოთ ამ საზღვრის მიმართულებით. CD უბანზე დროის ნებისმიერ მომენტში დარეგულირებული ხარჯი განისაზღვრება CD მრუდის მხების მიმართულებით, ხოლო წყალსაცავში შენარჩუნებული იქნება საგარანტიო მარაგი. D წერტილიდან E წერტილამდე შეიძლება გავდილოთ ხარჯი Q_2 -მდე, შემდეგში კი ის ისევ უნდა იქნეს შემცირებული Q_1 -მდე. შევინარჩუნებთ რა ამ ხარჯს, მთელი მესამე წლის განმავლობაში გვექნება ზუსტად საგარანტიო მარაგი, ხოლო მეოთხე წლის (ყველაზე წყალმცირე წელი) ბოლოსათვის ეს მარაგი მთლიანად იქნება დახარჯული. ეს ის კატასტროფული წელია, რომლისთვისაც დანიშნული იყო წყლის საგარანტიო მარაგი. რეგულირების მსვლელობა შემდეგ წლებში ნათლად ჩანს ნახაზიდან. კერძოდ, მეექვსე წელში იძულებული ვართ წყალი ხელახლა გადავადლოთ.

მიღებული სადისპეჩერო გრაფიკით შეიძლება წარმოდგენა ვიქონიოთ დარეგულირებული ხარჯის სიდიდეზე დროის ნებისმიერ მომენტში, ხოლო მისი შემოწმება მოცემული წლების პერიოდში, მოთხოვნილ Q_1 სიდიდეზე არანაკლები, მინიმალური დარეგულირებული ხარჯის უზრუნველყოფის საშუალებას იძლევა.

თუ ექსპლოატაციის დროს ადგილი ექნება სადისპეჩერო გრაფიკის დარღვევას საჭიროა იგი გამოვასწოროთ. მაგალითად, 74-ე ნახაზზე, მეხუთე წელში, წყვეტილი წირებით ნაჩვენებია აგება ასეთი შემთხვევისათვის. დავუშვათ, რომ გაზაფხულზე დარეგულირებული Q_2 ხარჯი გაგრძელებული იყო უფრო

მეტად, ვიდრე ამის საშუალებას იძლეოდა სადისპეჩერო გრაფიკი (MN წირი შევიდა დაშტრახულ ზოლში). ასეთი მდგომარეობა შესაძლებელია ყოფილიყო, მაგალითად, თუ M მომენტში მოხდა ავარია და ენერგოსისტემაში მწყობრიდან გამოვიდა ერთ-ერთი თბოსადგური. მის მიერ დაკლებული ენერგიის ასანახლაურებლად იძულებული ვიყავით დროის N მომენტამდე გაგვეგრძელებინა ჰიდროელსადგურის მუშაობა სრულ დატვირთვაზე Q_6 ხარჯით. დროის ამ N მომენტისათვის სადისპეჩერო გრაფიკის წინააღმდეგ დაიხარჯა წყლის საგარანტიო მოცულობის ნაწილი, რომელიც საჭიროა აღვადგინოთ. დროის N მომენტში თბოსადგურში ავარია უკვე ლიკვიდირებულ იქნა და იგი შევიდა მუშაობაში. შევამცირობთ რა დარეგულირებულ ხარჯს, სადისპეჩერო გრაფიკის მოთხოვნის შესაბამისად Q_1 ხარჯამდე (NR წირი), R მომენტში წყალსაცავში ხელახლა აღდგება წყლის ნორმალური საგარანტიო მარაგი.

სადისპეჩერო გრაფიკის აგების განხილულ მეთოდს მივყევართ საკმაოდ უხეშ რეგულირებამდე, ვინაიდან იგი იწვევს მყის გადახრას მაქსიმალური დარეგულირებული Q_6 ხარჯიდან მინიმალურ საგარანტიო Q_1 ხარჯამდე და, პირიქით. ხარჯების შუალედური მნიშვნელობანი წყალსაცავის მოცემული ზომების დროს იშვიათად არსებობენ ან სრულიად არ არსებობენ. ამავე დროს შეიძლება მივალწიოთ დარეგულირებული ხარჯების უფრო ნელ ცვლას. მაგალითად, პირველ და მეორე წლებში (ნახ. 74).

დარეგულირებული ხარჯების წირის ABC უბანზე დასაწყისში მიიღება მაქსიმალური Q_6 ხარჯი, ბოლოში კი მინიმალური— Q_1 . ამის მაგივრად შეიძლებოდა დროის საკმაოდ დიდ პერიოდში აგველო მუდმივი ხარჯი—ხარჯების საშუალო სიდიდე (ამ პერიოდისათვის), როგორც ეს ნაჩვენებია წყვეტილი წირით. ეს მოგვეცემა უფრო უმდვიე სიმძლავრეს სადგურზე, მაგრამ ეს იქნებოდა სადისპეჩერო გრაფიკის დარღვევა.

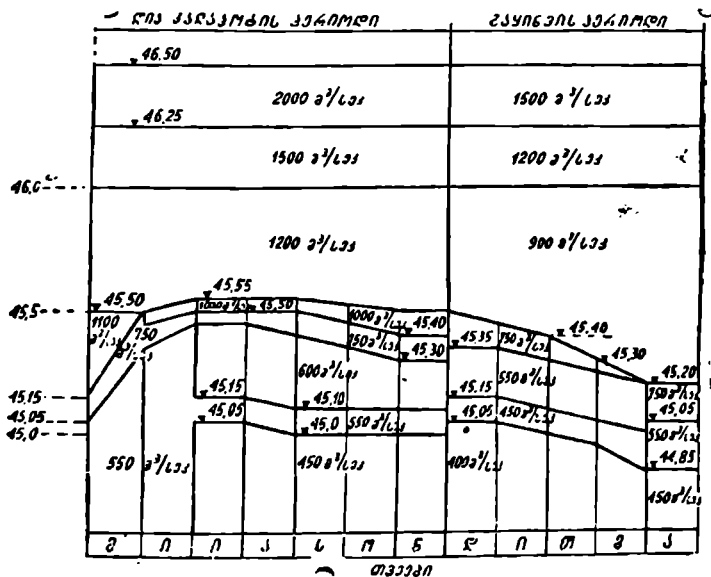
სადისპეჩერო გრაფიკი შეიძლება გავაუმჯობესოთ, თუ გარდა მინიმალური ხარჯისა შემოვიღებთ შუალედურ Q_2 ხარჯს Q_1 -სა და Q_6 -ს შორის. ყველაზე წყალმცირე პერიოდში (მესამე და მეოთხე წლებში) შეიძლება გარანტირებული იყოს ხარჯი არა-უმეტეს Q_1 -ისა. დარჩენილი წყალმცირე წლებიდან, თუ ავირჩევთ შემდეგ წყალმცირე წელს (მეორეს), მისთვის შეიძლება შევარჩიოთ გარანტირებული ხარჯი $Q_2 > Q_1$ და იმავე მეთოდით მოვძებნოთ აუცილებელი საგარანტიო მოცულობანი. გადავიტანთ რა მათ სადისპეჩერო გრაფიკზე მივიღებთ მეორე წყვეტილ წირს, რომელიც Q_2 ხარჯის ზოლს აცილებს Q_6 ხარჯისაგან. ასეთი გრაფიკის მიხედვით რეგულირება მოგვეცემს დარეგულირებული ხარჯების უფრო ნელ ცვლას. სასაზღვრო Q_1 და Q_6 ხარჯების ხანგრძლიობა შემცირდება, მაგრამ სამაგიეროდ დროის რომელიმე პერიოდში გვექნება დარეგულირებული Q_2 ხარჯი.

სრულიად ანალოგიურად, სადისპეჩერო გრაფიკშიაც შეიძლებოდა არაორი, არამედ სამი და უფრო მეტი ხარჯის შეტანა. ასეთი გადაწყვეტის მაგალითს წარმოადგენს ინჟინერ ივანოვის მიერ დამუშავებული სადისპეჩერო გრაფიკი საბჭოთა კავშირის ერთ-ერთი ჰიდროელსადგურისათვის, რომელიც ტბის მდინარეზე მდებარეობს (ნახ. 75).

ამ გრაფიკის მაგალითზე შეიძლება კიდევ უფრო განვავითაროთ ის აზრი, რომელიც საფუძვლად ედო წინათ მოყვანილ განმარტებას.

ეს იდეა მიზნად ისახავს ყველაზე წყალმცირე პერიოდში Q_1 -ზე არანაკლები ხარჯის უზრუნველყოფას. ანალოგიურად, შეიძლება ჩვენს წინაშე დავაყენოთ ამოცანა, რომ გადავადგინოთ მაქსიმალური ხარჯი არ აღე-

მატებოლეს წინასწარ დადგენილ სიღიღეს. ამისათვის სადისპე-
ჩერო გრაფიკი უნდა ითვალისწინებდეს წყალმეტობის ჩანადენის ტრანსფორ-
მაციისათვის საკმარის გარკვეულ საგარანტიო მოცულობას წყალსაცავის
ზედა შრეებში. ეს ამოცანაც აგრეთვე სადისპეჩერო გრაფიკით წყდება
(ნახ. 75). გარდა ამისა, დაბალდაწინევიან დანადგარებში საგარანტიო როლს ას-
რულებს დაწინევის დასემა საკუთარი წყალსაცავის ზედა ბიფის დამუშავების
შედეგად და აგრეთვე ხარჯების ცვალებადობით გამოწვეული ბიფების დო-
ნეების ცვალებადობა განსაკუთრებით ყინულების დაკურების პერიოდში. ეს
მდგომარეობაც აგრეთვე გათვალისწინებულია აღნიშნულ გრაფიკზე.



ნახ. 75. სადისპეჩერო გრაფიკი (გ. ა. ივანოვის მიხედვით).

75-ე ნახაზზე აგებულია სადისპეჩერო გრაფიკი იმ დაშვებით, რომ კაშ-
ხალი და ჰესი გაშენებულია ტბიდან მოშორებით; ტბა შეტოვრილია და გა-
მოყენებულია ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირებისათვის. წყალსაცავის მო-
ცულობა ძალზე დიდია და საშუალო მრავალწლიური მუდმივი ხარჯის დარეგუ-
ლირების საშუალებას იძლევა. მაგრამ ამ დროს გეხვდება მთელი რიგი დამრ-
კოლებანი, რომლებიც რეგულირების ასეთი სქემის ნაკლს წარმოადგენენ.

ერთი მხრივ, მუდმივი ხარჯების რეგულირებას მიყვებით გადაადგმის
ხარჯების გადიდებისაკენ. როდესაც წყალსაცავი წყალზე წლებში ივსება
ზღვრულ, უმაღლეს დონემდე, აუცილებელი ხდება მოდინების სრული ხარჯის
გადადგება. ტბაში მოდინების მაქსიმალური ხარჯი გაცილებით მეტია, ვიდრე
მდინარის ბუნებრივი ხარჯი სათავეში, რომელიც შემცირებულია რეგული-
რების გამო, ამიტომ გადაადგმის ხარჯები უფრო მეტი გამოდის, ვიდრე მაქ-
სიმალური ბუნებრივი ხარჯები.

მეორე მხრივ, მდინარის შეგუბებულ კალაპოტში მაღალი ხარჯების გაე-

ლის დროს, დანადგარის ზედა ბიეფში ჩნდება დაწნევის დანაკარგი თავისუფალი ზედაპირის ვარდნის ხარჯზე ტბიდან კაშხალამდე. ეს ვარდნა მით მეტია, რაც დაბალია წყლის დონე ტბაში. ამრიგად, ხარჯის გადიდება იწვევს დაწნევის მით უფრო მეტად შემცირებას, რაც უფრო დაბალია წყლის დონე ტბაში, ამიტომ ხელსაყრელია ტბაში წყლის დაბალი დონის დროს ხარჯების შემცირება, მაღალი დონეების დროს—გადიდება.

გარდა ამისა, ზამთარში დაწნევის დანაკარგი ზედა ბიეფში სწრაფად იზრდება ყინულით კალაპოტის შევიწროებისა და წინალობის გადიდების გამო. ამიტომ ტბაში წყლის ერთსა და იმავე დონეების შემთხვევაში ხელსაყრელია ზაფხულში დიდი ხარჯების. ხოლო ზამთარში მცირე ხარჯების დარეგულირება. ეს შეამცირებს აგრეთვე დაწნევის დანაკარგს ქვედა ბიეფის აწევის გამო, განსაკუთრებით ზამთარში ყინულით მდინარის დაფარვის პერიოდში.

ზამთრის ხარჯებისა და სიმძლავრეების შემცირება არ ეწინააღმდეგება სისტემის ენერგომომარაგებას, ვინაიდან სათბობ ორთქლზე მომუშავე თბოფიკაციის ელექტროსადგურების გამომუშავება ზამთარში იზრდება და ჰიდროენერჯის გამომუშავება შეიძლება შემცირებულ იქნეს.

ყველა ეს მოთხოვნა ასახულია სადისპეჩერო გრაფიკზე (ნახ. 75). ეს გრაფიკი ტბაში წყლის დაბალი დონის დროს (ზაფხულში) უზრუნველყოფს მინიმალურ ხარჯს—450 მ³/სეკ და 400 მ³/სეკ—ზამთარში. გაზაფხულზე, როდესაც მოსალოდნელია წყალმეტობა და წყალსაცავის შევსება, მინიმალური ხარჯები იზრდება 550 მ³/სეკ-მდე. ტბის ავსების პერიოდში დარეგულირებული ხარჯები იზრდება დონის ზრდასთან ერთად. გრაფიკზე გამოსახულია მთელ რიგ საგარანტიო მოცულობათა საზღვრები სხვადასხვა ხარჯებისათვის. როდესაც ტბაში წყლის დონე უდიდესია, ზაფხულში, ხარჯები აღწევს 1500 მ³/სეკ-მდე, ხოლო ზამთარში—1200 მ³/სეკ-მდე, როდესაც წყალის ზედაპირი გაყინული არ არის. წყლის ზედა შრე ტბაში, სისქით 0,25 მ, დანიშნულია წყალმეტობის ტრანსფორმაციისათვის. თუ დონე მდებარეობს 0,25 მ სისქის ზედა საზღვრებში, მაშინ სადისპეჩერო გრაფიკის მიხედვით გათვალისწინებულია წყლის გადაგდება ხარჯით 2000 მ³/სეკ-ის რაოდენობით. თუ გადაგდების მაგიერად განუვარძობთ მაქსიმალური ხარჯის გამოშვებას (1500 მ³/სეკ), მაშინ წყალსაცავი იღრე აივსება მაქსიმალურ დონემდე და მაშინ ჩანადენის გაცილებით მეტი ხარჯის გადაგდება მოგვიხდება, ვიდრე 2000 მ³/სეკ-ია რაც სადგურის დაწნევის სწრაფად დაკემას გამოიწვევს.

მრავალი წლების მანძილზე ამ სადისპეჩერო გრაფიკის შემოწმებამ კარგი შედეგები მოგვცა. ტბის დონის ცვალებადობა არასდროს არ გამოდის წინასწარ დანიშნული საზღვრებიდან. მაღალი დონეების ხანგრძლიობა ტბაში ღიდი არაა და რეგულირების დროს ისინი მცირედ განსხვავდებიან ბუნებრივი დონეებისაგან, რაც ამცირებს დატბორვისაგან გამოწვეულ ზარალს, რომელსაც შეიძლება ადგილი ჰქონოდა, თუ მაღალ დონეებს უფრო დიდი ხანგრძლიობა ექნებოდა, ვიდრე ბუნებრივი მდგომარეობის დროს. ენერჯის გამომუშავება სადისპეჩერო გრაფიკით რეგულირების დროს გადიდა წინათ არსებული რეგულირების სქემასთან შედარებით, რომელიც იწვევდა დაწნევის დიდ დანაკარგებს, განსაკუთრებით ზამთრის პერიოდში დიდი ხარჯების დარეგულირების დროს, როდესაც ტბაში წყლის დაბალი დონეები იყო.

სადისპეჩერო გრაფიკი იძლევა აგრეთვე ობიექტურ კრიტერიუმს დარეგულირებული ხარჯის სიდიდის განსასაზღვრავად. გარდა ამისა, მისი ზუსტი

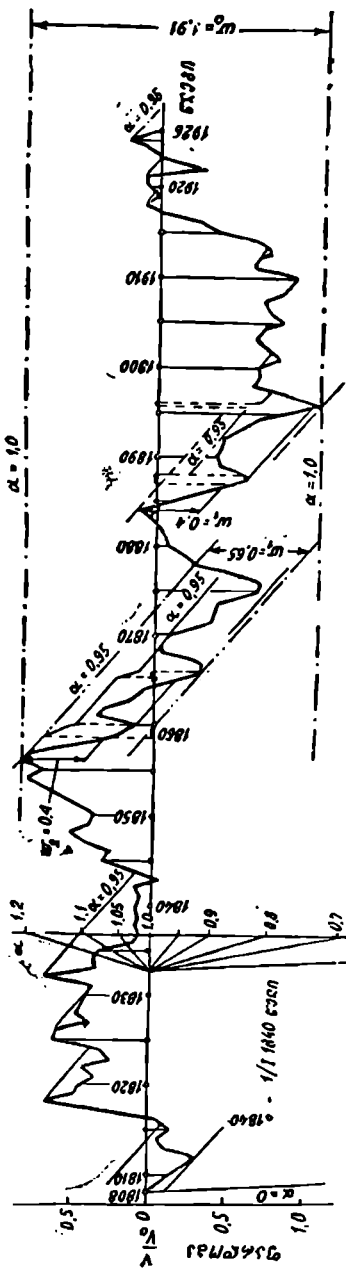
შერჩევა იძლევა ჰიდროელსადგურის მუშაობის რეჟიმის გაუმჯობესებას, მაგალითად, დაწინევის დანაკარგების შემცირების გზით.

§ 35. წყალსაცავის მოცულობის განსაზღვრა ჩანადენის მავალფლიური რეგულირებისათვის

ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირების გაანგარიშება ფაქტიური მასალების მიხედვით მით უფრო უზრუნველყოფს შედეგების სისწორეს, რაც მეტი იქნება დაკვირვებათა წლების რიცხვი. თუ გაანგარიშება დაფუძნებულია მოკლე პერიოდზე, მაგალითად, 10 წელიწადზე, მაშინ დიდი იქნება ალბათობა იმისა, რომ მომავალში ჩანადენის მიხედვით შეიძლება იყოს უფრო არახელსაყრელი წლების განლაგება, ვიდრე მიღებული იყო გაანგარიშების დროს. მაგალითად, დაკვირვებათა წლებში შეიძლება აღმოჩნდეს 3 ან 4 წყალმცირე წელი, მაგრამ მომავალში შეიძლება იყოს წყალმცირე წლების უფრო მეტი რაოდენობა ან წლების იგივე რაოდენობა, მაგრამ ჩანადენის მცირე მოცულობით. მაშინ გაანგარიშებით მიღებული დარეგულირებული ხარჯის სიდიდე არ იქნება უზრუნველყოფილი გაანგარიშებით მიღებულ ფარგლებში; მიღებული დარეგულირებული ხარჯის უზრუნველსაყოფად დაგვირდება წყალსაცავის დიდი მოცულობა.

ამიტომ ისმის საკითხი, როგორი უნდა იყოს დაკვირვებათა წლების რაოდენობა, რომ მასზე დაფუძნებული გაანგარიშების შედეგები საკმარისად ახლოს იყოს სინამდვილესთან. ამ კითხვაზე შეიძლება გავცეთ მხოლოდ ასეთი პასუხი: გაანგარიშებით მიღებული წყალსაცავის მოცულობა მით უფრო მეტი იქნება და მით უფრო საიმედოდ უზრუნველყოფს იგი რეგულირების

მ. ა. ა. შოროხოვი



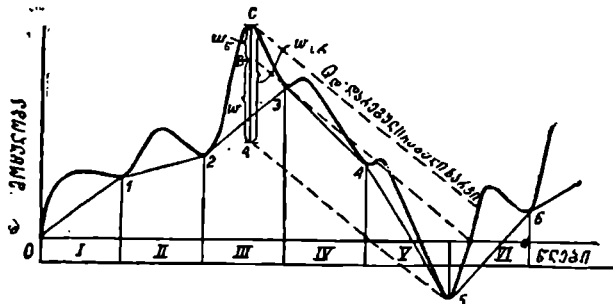
ნახ. 76. მდ. რაინის ჩანადენის ინტეგრალური მრუდი ბახლეთან.

აუცილებელ ეფექტს, რაც მეტი დაკვირვებათა წლების რაოდენობა იქნება აღებული გაანგარიშების დროს. წლების უსასრულო რიცხვის შემთხვევაში უნდა მივიღოთ წყალსაცავის მაქსიმალური მოცულობა, რომელიც მოგვეცემს რეგულირების სრულ გარანტიას.

რაც მეტია არჩეული წლების რიცხვი, მით უფრო ახლოს იქნება გაანგარიშებით მიღებული წყალსაცავის მოცულობა თავის ზღვართან, რადგანაც მით ნაკლები იქნება იმ არახელსაყრელი წყალმცირე წლების განლაგების ალბათობა, რომლებიც არ იყვნენ შემჩნეული საანგარიშო პერიოდში.

ჩვეულებრივ, ჩვენს განკარგულებაში არის დაკვირვებათა წლების შედარებით მცირე რაოდენობა, ორმოცი—ორმოცდაათი წელი.

76-ე ნახაზზე მოცემულია მდ. რაინის ჩანადენის ინტეგრალური მრუდი ბაზელთან (შვეიცარია) 118 წლის დაკვირვების შედეგად (1808 წლიდან 1925 წლამდე). ეს არის დაკვირვების ყველაზე დიდი პერიოდი, რომელიც შეიძლება იყოს მსოფლიოში. ეს მრუდი იძლევა წლების საკმაოდ საინტერესო განლაგებას ჩანადენის მიხედვით. მაგალითად, 1808 წლიდან 1847 წლამდე არის ორმოცწლიანი პერიოდი საშუალოზე მეტი ჩანადენით (ნორმიდან 102%), მაშინ როდესაც შემდგომში იწყება წყალმცირე პერიოდი იმავე ხანგრძლიობით, 1857-დან 1896 წლამდე—ჩანადენით 95% , ე. ი. ნორმაზე ნაკლები. ამრიგად, ჩანადენის სხვაობა ამ ორ პერიოდში შეადგენს 7% -ს წყალსაცავის მოცულობა გამოთვლილი პირველი პერიოდის მიხედვით არასაკმარისია რეგულირების იმ ეფექტის მიხედვით, რომელიც მიიღება მეორე პერიოდის მიხედვით.



ნახ. 77. წყალსაცავის მოცულობის გაყოფა მრავალწლიური და წლიური რეგულირების მოცულობებად.

სასურველია დამუშავდეს წყალსაცავის მოცულობის გაანგარიშების ისეთი მეთოდი, რომელიც რეგულირების მტკიცე გარანტიას იძლევა ამ საკითხის გადაწყვეტის პირველი ცდა ჩაატარა ამერიკელმა ჰიდროლოგმა ა. ჰაზენმა (A. Hazen) 1914 წელს. უკანასკნელ პერიოდში, დიდი წყალსაცავების დაპროექტებასთან დაკავშირებით, ჩვენში შეიქმნა მთელი რიგი შრომები, რომელთაგან საკიროა აღინიშნოს მ. ფ. მენკელის, ს. ნ. კრიცკის, ინგ. ა. დ. სავარენსკის შრომები, დაფუძნებული ალბათობის თეორიის გამოყენებაზე და აგრეთვე გ. პ. ივანოვის მეთოდი, რომელიც ა. ჰაზენის ანალოგიურად ამოცანას წყვეტს სტატისტიკური მეთოდით.

მ. ფ. მენკელის, ს. ნ. კრიცკისა და ინგ. ა. დ. სავარენსკის საინტერესო და რთული მეთოდები აქ არ შეიძლება განმარტებულ იქნეს მით უმეტეს,

რომ ისინი მოითხოვენ სპეციალურ ცოდნას ალბათობის თეორიიდან; ამიტომ ჩვენ აქ განვმარტავთ ა. ჰაზენისა და გ. პ. ივანოვის მეთოდებს.

ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავის მოცულობა შეიძლება გავყოთ ორ ნაწილად: 1) მრავალწლიური ჩანადენის გათანაბრებისათვის საჭირო მოცულობა და 2) ჩანადენის წლიური უთანაბრობის გათანაბრებისათვის საჭირო მოცულობა. 77-ე ნახაზზე მოცემულია ჩანადენის ინტეგრალური მრუდი მრავალი წლისათვის და დარეგულირებული Q_e ხარჯის წირი. მრავალწლიური რეგულირებისათვის წყალსაცავის სრული მოცულობა გამოსახულია AC მონაკვეთით. შევეერთოთ ტეხილი წირებით ინტეგრალური მრუდის $0-1-2-3-4-5-0$ წერტილები, რომლებიც მეზობელი წლების საზღვრებზე მდებარეობენ. მიღებული ტეხილი წირი წარმოადგენს ჩანადენის ინტეგრალურ მრუდს; იგი აგებულია იმ დაშვებით, რომ ყოველი წლის განმავლობაში ჩანადენი თანაბარია. ასეთი ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირებისათვის საჭიროა წყალსაცავის ω მოცულობა, გამოსახული AB მონაკვეთით. $BC = \omega_f$ მონაკვეთი, ცხადია, წარმოადგენს წყალსაცავის მოცულობას, რომელიც საჭიროა Q_e ხარჯის წლიური რეგულირებისათვის განხილული პერიოდის შესამე წელში. ნახაზიდან ჩანს, რომ წყალსაცავის სრული მოცულობა მრავალწლიური რეგულირებისათვის

$$\omega_{\Sigma} = \omega + \omega_f,$$

ე. ი. ω_{Σ} მრავალწლიური და წლიური რეგულირების მოცულობათა ჯამს ტოლია.

შემდეგში, გ. პ. ივანოვის მეთოდით ვეძებთ მრავალწლიური რეგულირების ω მოცულობას. სრული მოცულობა მიიღება, თუ მას დაეუმატებთ წლიური რეგულირების ω_f მოცულობას.

მრავალწლიური რეგულირება შეიძლება იყოს სრული და არასრული (ნაწილობრივი); გარდა ამისა, მუდმივი, დარეგულირებული ხარჯი შეიძლება უზრუნველყოფთ მთელი პერიოდისათვის, ე. ი. გვექნება 100%-იანი უზრუნველყოფა, ან ამ პერიოდის მხოლოდ ნაწილისათვის. უკანასკნელ შემთხვევაში მისი უზრუნველყოფა ნაკლებია 100%-ზე.

78-ე ნახაზზე მოყვანილია უზრუნველყოფის მრუდი მდინარის ბუნებრივი წლიური ჩანადენისათვის. ვთქვათ, V_0 არის საშუალო წლიური ჩანადენის მოცულობა მთელი პერიოდისათვის. თუ წყალსაცავის მოცულობა საკმაოდ დიდია, მაშინ შეიძლება დაეარეგულიროთ მთელი ჩანადენი; ამ დროს დარეგულირებული ჩანადენის მოცულობა $V_e = V_0$ და ეს ჩანადენი უზრუნველყოფილია ყოველთვის ე. ი. მისი უზრუნველყოფა უდრის 100%-ს.

წყალსაცავის ნაკლები მოცულობის დროს დაეარეგულირებთ მხოლოდ მასზე მცირე მოცულობას $V_e < V_0$; ამ დროს აუცილებლად გაჩნდება ზედმეტი წყლის გადადგების საჭიროება.

ფარდობას

$$\alpha = \frac{V_e}{V_0}$$

დარეგულირების ხარისხს ან ჩანადენის დარეგულირების კოეფიციენტს უწოდებენ.

ნახაზზე წყვეტილი ხაზებით გამოსახულია ჩანადენის დარეგულირების ორი ვარიანტი.

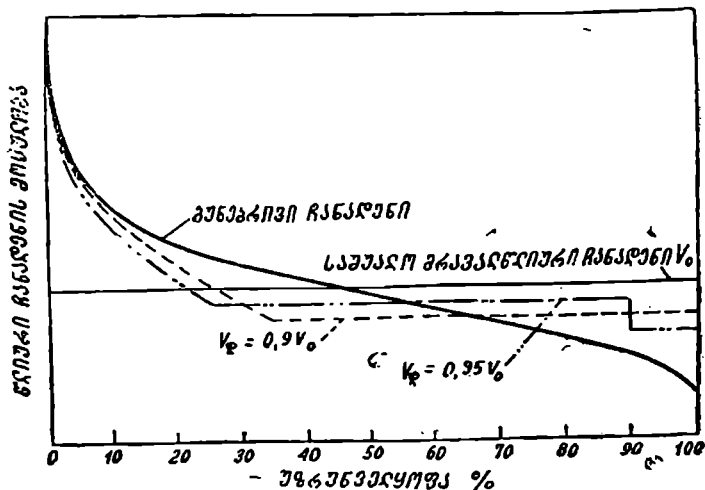
1. $V_e = 0,9V_0$ უზრუნველყოფილია მთელ პერიოდში. ამ შემთხვევაში დარეგულირების ხარისხი $\alpha = 0,9$, ხოლო ჩანადენის დარეგულირების უზრუნველყოფა — 100% -ს.

2. $V_e = 0,95V$ უზრუნველყოფილია დროის 90% -ის განმავლობაში; დანარჩენ დროში დარეგულირებული ჩანადენი კლებულობს; აქ $\alpha = 0,95$, ხოლო უზრუნველყოფა — 90% -ს.

მდ. რაინის საშუალო წლიურ ხარჯზე აგებულ ინტეგრალურ მრუდზე (ნახ. 76) გამოსახულია რეგულირების რამდენიმე ვარიანტი. მოცულობათა ღერძზე აღებულია ისეთი მასშტაბი, რომელშიაც საშუალო მრავალწლიური ჩანადენი V_0 მიღებულია ერთეულად, ე. ი. მოცულობათა ჯამის მაგივრად გადაზომილია ჩანადენის მოდულური კოეფიციენტების ჯამი $k = \frac{V}{V_0}$.

დარეგულირებული ჩანადენი $V_e = \alpha V$ ამ მასშტაბში გამოისახება α სიდიდით, რომელიც აითვლება სხივური მასშტაბის მიხედვით.

1. როდესაც $\alpha = 1,0$ (100% -იანი უზრუნველყოფით) სრული მრავალწლიური რეგულირება მოითხოვს წყალსაცავის ω_0 მოცულობას, რომელიც მოიძებნება როგორც ინტეგრალური მრუდის ორ სასაზღვრო მხებს შორის მანძილი; მხებების მიმართულება უნდა იყოს $\alpha = 1,0$. ნახაზის მასშტაბში ეს მოცულობა $\omega_0 = 1,91$ ან ნამდვილ მოცულობებში $\omega_0 = 1,91V_0$, ე. ი. ω_0 1,91-ჯერ მეტია, ვიდრე საშუალო წლიური ჩანადენი.



ნახ. 78. ბუნებრივი და დარეგულირებული ჩანადენის უზრუნველყოფის გრაფიკი.

2. როდესაც $V_e = 0,95V$, ე. ი. $\alpha = 0,95$ (100% -იანი უზრუნველყოფა), ჩანადენის რეგულირება მოითხოვს წყალსაცავის მოცულობას $\omega_1 = 0,66 V_0$ როგორც ეს ჩანს $\alpha = 0,95$ -ის ტოლი კუთხით გავლებული მხების აგებიდან.

3. როდესაც $V_e = 0,95V$ ჩანადენის რეგულირების $\omega_2 = 0,4V_0$ მოცულობის დროს არ შეიძლება მივალწიოთ დარეგულირებული ჩანადენის მუდმივობას (ეს აგება 76-ე ნახაზზე შესრულებულია უწყვეტი წირებით). მთელ რიგ წლებში წყალსაცავის დაცლა ხდება წყალმციროვანი პერიოდის დასასრულზე აღ-

რე და ჩანადენი დარჩება დარეგულირებული, ბუნებრივი ჩანადენის გადიდებაამდე. პერიოდები, როდესაც დარეგულირებული ხარჯი უზრუნველყოფილი არ არის, დროის t სკალაზე აღნიშნულია შავი ზოლით. წლების რაოდენობა, რომლებშიც დარეგულირებული ჩანადენი არ არის უზრუნველყოფილი, შეადგენს 5 წელს 118-დან, ე. ი. 4,2%-ს. ამრიგად არჩეული წყალსაცავის მოცულობა იძლევა დარეგულირებული ჩანადენის 95,8%-იან უზრუნველყოფას.

იმავე მოცულობის წყალსაცავით, ცხადია, შეიძლება დაგვერეგულირებინა უფრო მცირე ჩანადენი ($\alpha < 0,95$), მაგრამ ყოველთვის 100%-იანი უზრუნველყოფით; ამისათვის საჭიროა მოიძებნოს α -ს ისეთი მნიშვნელობა, რომლის დროს ინტეგრალური მრუდის ორი სასაზღვრო მხები გაივლის ერთმანეთისაგან წყალსაცავის მოცემული ω მოცულობის ტოლი მანძილით.

ზემოთ, მდ. რაინზე ნაჩვენები იყო, რომ დაკვირვებები 40 წლის განმავლობაშიაც კი არ იძლევა იმის გარანტიას, რომ არ არსებობდეს წყალმცირე წლების უფრო არახელსაყრელი რიგი. ამიტომ საჭიროა გვეჩვენოს საკმარისად გრძელი პერიოდი, თუნდაც იგი ხელოვნურად იყოს შექმნილი. დაკვირვებათა პერიოდის ასეთი ხელოვნური გაგრძელების ცდა გააკეთეს ა. ჰაზენმა, სადღერმა და გ. პ. ივანოვმა. სადღერმა ცალკე ფურცლებზე ამოწერა წლიური ჩანადენის სიდიდეები და ჩაყარა ისინი ყუთში; ამ ყუთიდან ფურცლების ამოღების შემთხვევითი თანმიმდევრობა მიიღო ამ ფურცლებზე დაწერილი წლების რიგად.

ა. ჰაზენი, ხოლო შემდეგ გ. პ. ივანოვი გამოდიოდნენ შემდეგი მოსაზრებიდან. წყალსაცავის მოცულობის სიდიდე, რომელიც საჭიროა რეგულირების მოცემული პირობებისათვის, საშუალო მრავალწლიური ჩანადენის (ჩანადენის ნორმა) პროპორციულია და მით უფრო მეტი უნდა იყოს, რაც ქმეტია ჩანადენის მოსალოდნელი საშუალო კვადრატული გადახრა ნორმიდან, ე. ი. რაც უფრო ცვალებადია ჩანადენი. ამიტომ ა. ჰაზენმა შესაძლოდ ჩათვალა, რომ ეს მოცულობა

$$\omega = \xi C_0 V_0,$$

სადაც C_0 ვარიაციის კოეფიციენტია.
მაშინ

$$\xi = \frac{\omega}{C_0 V_0}$$

წარმოადგენს წყალსაცავის დაყვანილ მოცულობას, ე. ი. სიდიდეს, რომელიც ყველა მდინარისათვის შეიძლება მუდმივად ჩავთვალოთ, თუკი დაეუშვებთ, რომ მათი ინდივიდუალური თავისებურება (კვების პირობები, აუზის ზომები, კლიმატი, გეოგრაფიული განლაგება და ა. შ.) მთლიანად ასახულია V_0 და C_0 სიდიდეებით.

ამ მოსაზრებებმა ა. ჰაზენი იმ დასკვნამდე მიიყვანა, რომ შესაძლებელია ჩანადენის ხელოვნური ხანგრძლივი რიგის შედგენა სხვადასხვა მდინარეების ცალკეული მოკლე რიგებისაგან. მან ჩანადენის ერთეულად მიიღო $C_0 V_0$ სიდიდე ყოველი მოცემული მდინარისათვის და მისი ჩანადენი გამოსახა მოცემული წლისათვის შემდეგი განყენებული სიდიდით

$$\frac{V}{C_0 V_0},$$

სადაც V არის მოცემული წლის ფაქტიური ჩანადენი.

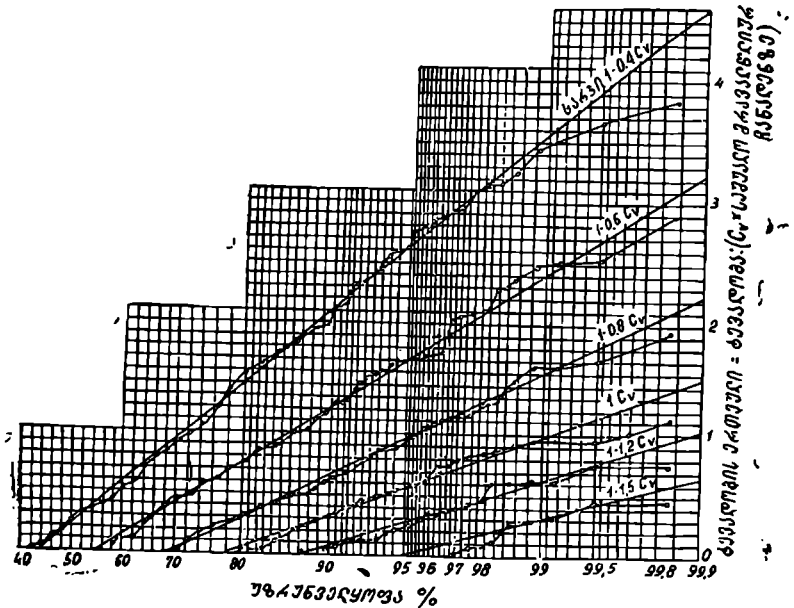
ა. ჰაზენმა ააგო ისეთი რიგი, რომლის საერთო ხანგრძლიობა იყო 300 წელი. ამ რიგში შევიდა 14 მდინარის ჩანადენი.

თითოეული მდინარის ჩანადენის რეგულირებისათვის ა. ჰაზენმა დარეგულირების ხარისხი მიიღო $\alpha = 1 - bC$, ტოლად, სადაც $b = \text{const}$. ეს მან გააკეთა შემდეგი მოსაზრებებით. α სიდიდე არის დარეგულირების ხარისხი, ხოლო $(1 - \alpha)$ წარმოადგენს ჩანადენის იმ ნაწილს, რომელიც დაურეგულირებელი რჩება. როგორც ჩანადენის მოდულური კოეფიციენტიც ვადახარა ნორმიდან, ისე ეს სიდიდე დამოკიდებულია ჩანადენის ცვალებადობის ხარისხზე, ე. ი. C , სიდიდეზე. თუ მას C , სიდიდის პროპორციულად მივიჩნევთ, მაშინ შეიძლება მივიღოთ, რომ $1 - \alpha = bC$, სადაც b არის პროპორციულობის კოეფიციენტი; აქედან, სხვადასხვა მდინარის შესადარებლად გვექნება

$$\alpha = 1 - bC.$$

მუდმივი b სიდიდისათვის ა. ჰაზენმა მიიღო მნიშვნელობანი:

$$b = 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5.$$

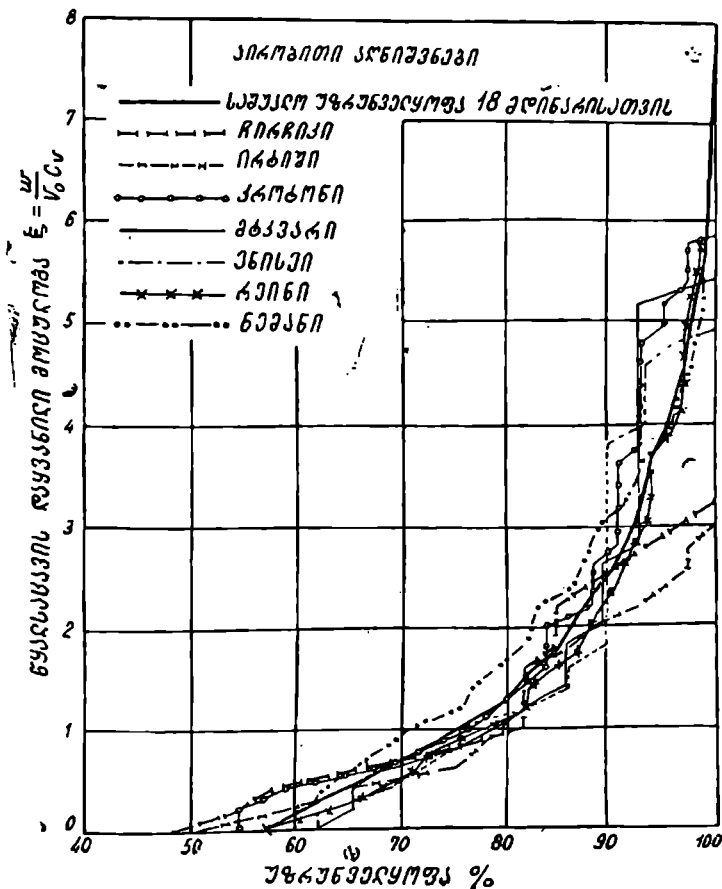


ნახ. 79. წყალსაცავის მოცულობის მრავალწლიური რეგულირების გაანგარიშების გრაფიკი ა. ჰაზენის მიხედვით.

სხვადასხვა მდინარისათვის, როდესაც $b = \text{const}$ მან გამოთვალა α და რეგულირების გაანგარიშება აწარმოვა მოყვანილი მოცულობის გამოსათვლელად. ა. ჰაზენის მიერ მიღებული შედეგები მოცემულია 79-ე ნახაზზე, სადაც ე. წ. „ალბათობის ბაღეში“ ტეხილი წირები იძლევა მისი გაანგარიშების უშუალო შედეგებს, ხოლო წრფეები კი— ξ -ის საშუალო მნიშვნელობებს, რომლებიც ავტორისაგან გაანგარიშებისათვისაა რეკომენდებული.

თუ მოცემული მდინარისათვის ცნობილია $V_0 = 10 \cdot 10^9$ მ³ და $C_0 = 0,25$, მაშინ $b = 0,4$ -სათვის მივიღებთ $a = 1 - 0,4C_0 = 0,9$. ჩანადენის რეგულირების ხარისხისათვის $\alpha = 0,9$ და დარეგულირებული ჩანადენის 95%-ით უზრუნველყოფისათვის ა. ჰაზენის ეს გრაფიკი იძლევა $\xi = 2,5$. ასეთი რეგულირებისათვის წყალსაცავის საჭირო მოცულობა იქნება:

$$W = \xi C_0 V = 2,5 \cdot 0,25 \cdot 10 \cdot 10^9 = 6,25 \cdot 10^9 \text{ მ}^3.$$

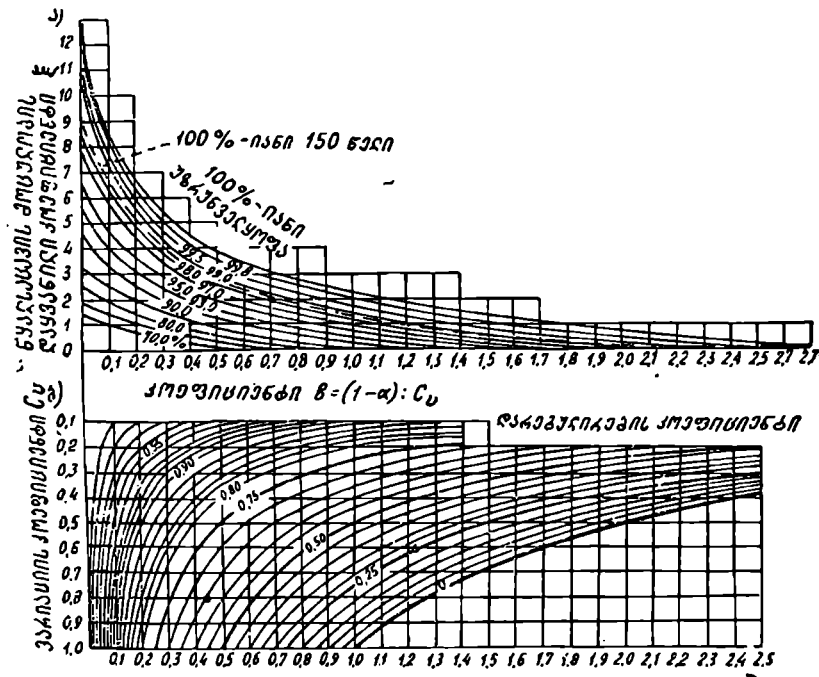


ნახ. 80. წყალსაცავის საჭირო მოცულობის გრაფიკი სხვადასხვა უზრუნველყოფისა და დარეგულირების $a = 1 - 0,2C_0$ კოეფიციენტის დროს.

ა. ჰაზენმა სხვადასხვა მდინარეების ჩანადენი განალაგა ნებისმიერი რიგით. ეს იძლეოდა წყალუხვი და წყალმცივრე წლების თავისუფალ თანმიმდევრობას, რაც წყალსაცავის მოცულობის განსასაზღვრავად მთავარია. მდინარეების ჩანადენის სხვანაირად განლაგების დროს, შესაძლებელი იყო სხვა შედეგი მიგველო.

გ. პ. ივანოვმა 18 მდინარისათვის დაამუშავა წლების ისეთი რიგი, რომლის საერთო ხანგრძლიობა იყო 1000 წელი. მათ რიცხვში 16 მდინარე საბჭოთა კავშირისაა და 2 უცხოეთისა— რაინი და კროტონი (აშშ).

თითოეული მდინარისათვის ინტეგრალური მრუდის მიხედვით ჩატარებული იყო რეგულირება სხვადასხვა ვარიანტებით, ე. ი. $b = \frac{1-\alpha}{C_r}$ სიდიდის სხვადასხვა მნიშვნელობისა და სხვადასხვა უზრუნველყოფისათვის ისაზღვრებოდა წყალსაცავის საჭირო ξ მოცულობა ერთეულებში (ერთეულად მიჩნეული იყო $C_r V_0$). მიღებული შედეგებით იგებოდა საჭირო მოცულობათა გრაფიკები. მე-80 ნახაზზე მოცემულია ეს მრუდები მხოლოდ ზოგიერთი მდინარისათვის.

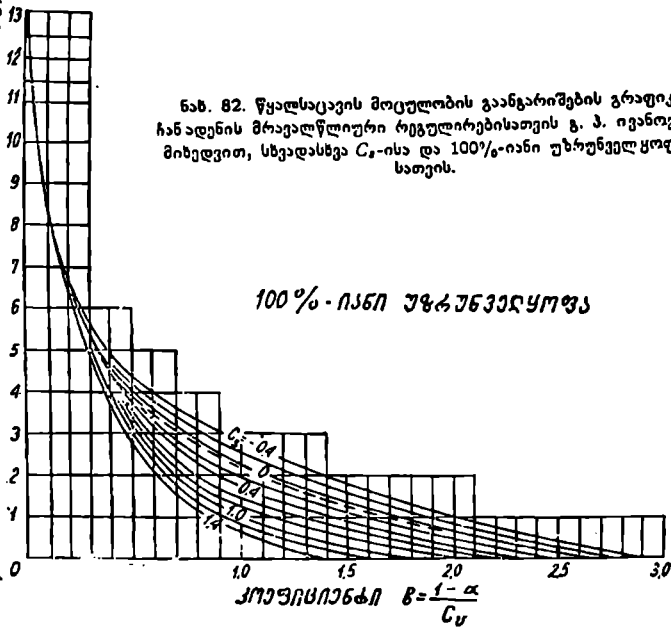


ნახ. 81. წყალსაცავის მოცულობის განაგარიშების გრაფიკი ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირებისათვის გ. პ. ივანოვის მიხედვით.

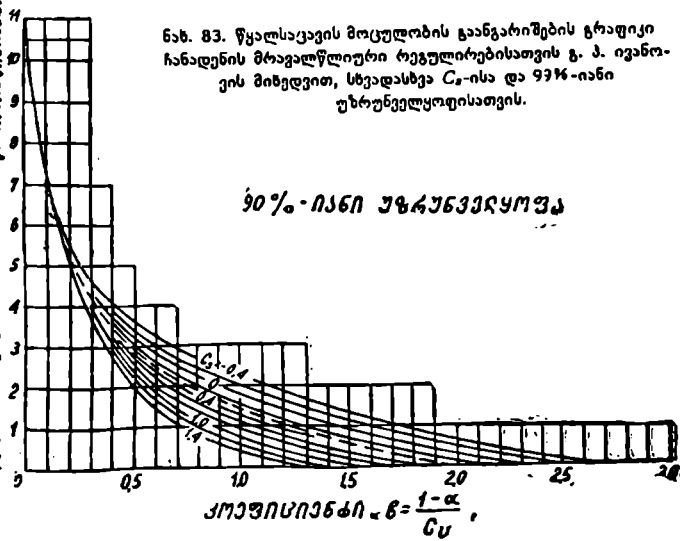
შემდეგ, ყველა მდინარისათვის b და ξ ერთისა და იმავე მნიშვნელობების დროს ინაგარიშეს საშუალო უზრუნველყოფა 1000-წლიანი პერიოდისათვის. ამით საერთო რიგის შედეგის თანმიმდევრობაში ისპობოდა თვითნებობა. ამის შედეგადაა მიღებული 81, ა ნახაზზე გამოსახული მრუდები. ეს მრუდები იძლევა წყალსაცავის დაყვანილი ξ მოცულობის დამოკიდებულებას b სიდიდისაგან დარეგულირებული ჩანადენის უზრუნველყოფის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

ვინაიდან $b = \frac{1-\alpha}{C_r}$, ამიტომ გამარტივებისათვის 81, ბ ნახაზზე მოცე-

ზადასახის მოსალოდინე დასავალი მოსალოდინე



ზადასახის მოსალოდინე დასავალი მოსალოდინე



მულია გრაფიკი b სიდიდის მოსაძებნად, მოცემული α და C_s სიდიდეების მიხედვით.

ზემოთ მოყვანილი მაგალითი ამ გრაფიკების მიხედვით გადაწყდება შემდეგნაირად. 81, ბ გრაფიკზე, როდესაც $C_s = 0,25$ და $\alpha = 0,9$ ვლებულობთ, რომ $b = 0,4$. 81, ბ ნახაზი 95%-იანი უზრუნველყოფისათვის იძლევა $\xi = 2,3$. წყალსაცავის მოცულობა

$$\omega = 2,3 \cdot 0,25 \cdot 10 \cdot 10^9 = 5,75 \cdot 10^9 \text{ მ}^3.$$

შემდეგ თავის შრომებში გ. პ. ივანოვმა გაითვალისწინა აგრეთვე ასიმეტრიის C_s კოეფიციენტის გავლენა.

82—84 ნახაზებზე მოცემულია გრაფიკები, რომლების მიხედვითაც მოიძებნება წყალსაცავის დაყვანილი ξ მოცულობა

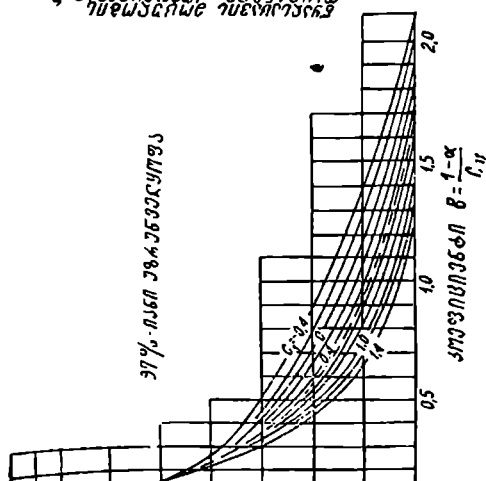
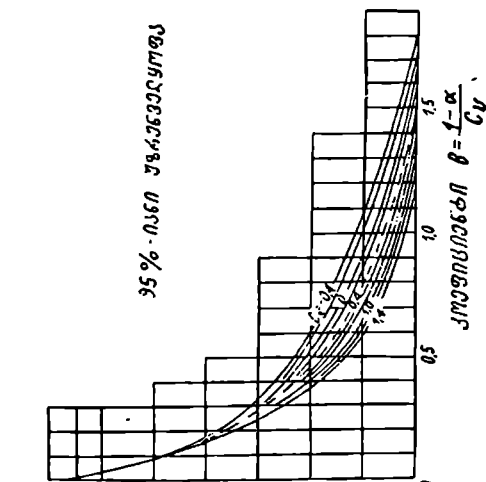
C_s და $b = \frac{1-\alpha}{C_s}$ სიდიდეებისა და უზრუნველყოფის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

წყალსაცავის მიღებულ მოცულობას, მრავალწლიური რეგულირების შემთხვევაში, უნდა დაემატოს წლიური რეგულირებისათვის აუცილებელი მოცულობა ω_f ; იგი განისაზღვრება იმ წლისათვის აგებული ინტეგრალური მრუდის დახმარებით, რომლის ჩანაღენი

$$V = \alpha V_0.$$

თუ გ. პ. ივანოვის გრაფიკებს გამოვიყენებთ

ტებითი შესწორებანი.



ნახ. 84. წყალსაცავის მოცულობის განზარმობის გრაფიკი ჩანაღენის მრავალწლიური რეგულირებისათვის ბ. პ. ივანოვის მიხედვით, სხვადასხვა C_s -ისა და α და 95%-იანი უზრუნველყოფისათვის.

ნახ. 81. წყალსაცავის მოცულობის განზარმობის გრაფიკი ჩანაღენის მრავალწლიური რეგულირებისათვის ბ. პ. ივანოვის მიხედვით, სხვადასხვა C_s -ისა და α და 95%-იანი უზრუნველყოფისათვის.

C_s სიდიდის დიდი მნიშვნელობების დროს, მაშინ საჭიროა შევიტანოთ დამატებითი შესწორებანი.

წყალსაცავიდან წყლის ფილტრაცია შეიძლება მოხდეს:

- ა) წყალსაცავის ტაფობიდან, ე. ი. მისი ფსკერიდან და ფერდობებიდან,
- ბ) კაშხალის საძირკვლის ქვემოდან და
- გ) კაშხალის თვით ტანიდან და საკეტების არასაკმარისი გამკვრივებიდან.

ფილტრაციის სიდიდე ფსკერიდან და ფერდობებიდან და აგრეთვე საძირკვლის ქვემოდან, დამოკიდებულია გრუნტის თვისებებზე. კარგი წყალშეუღწევი კლდოვანი ქანების, მკერივი თიხებისა და საიმედო თიხნაროვანი გრუნტის შემთხვევაში წყლის დანაკარგი შედარებით დიდი არ იქნება. უფრო ტუდი მდგომარეობაა, როდესაც წყალსაცავის ეს ადგილები შედგება ბზაროვანი კლდეებისა და წყალშეღწევადი გრუნტებისაგან, რომლებიც არ იქნებიან დატული წყალშეუღწევი სპეციალური საფარით. წყლის დაკარგვის მხრივ დიდ საშიშროებას წარმოადგენს ფილტრაცია ისეთ წყალშეღწევად შრეებში, რომლებიც წყალს აძლევენ გასასვლელს მეზობელი მდინარის აუზში. განსაკუთრებით საშიშია ქვიჩები, რომლებიც შეიცავენ თაბაშირს ან ანჰიდრიდებს; ესენი, თავის მხრივ, წყალში იხნებიან და ამრიგად ქმნიან დიდი ხერელების გაჩენის საშიშროებას ნიადაგში.

ანალოგიურ შემთხვევებში, ფილტრაციული დანაკარგების სიდიდე შეიძლება იმდენად დიდი იყოს, რომ იძულებული გავხდეთ უარი ვთქვათ წყალსაცავის მოწყობაზე ან მივიღოთ ძვირად ღირებული ზომები წყალსაცავის ყველა ხერელის ამოსავებად, მაგალითად, თიხნაროვანი შრეებით მათი გადახურვის გზით და ა. შ.

თუ არსებული გრუნტის თვისებები დიდი ფილტრაციის საშიშროებას იწვევს, მაშინ ზოგჯერ მიმართავენ წყალსაცავის მთელი ტაფობის ხელოვნურ დაფარვას თიხნაროვანი გრუნტით (კოლმატაცია).

თუ წყალსაცავის მოცულობა დიდია, დასარეგულირებელ მოცულობასთან შედარებით, მაშინ წყლის დანაკარგები საერთო ჩანადერთან შედარებით შეიძლება დიდ სიდიდეს შეადგენდეს. მაგალითად, ფილტრაციული დანაკარგები Cold Spring-ის (აშშ) წყალსაცავში შეადგენდა, სხვადასხვა წლებში წლიური ჩანადენის 9—22%-ს, ხოლო Deer Flat-ის წყალსაცავში კი იგი ექსპლოატაციის პირველ წლებში 61—86%-ს შეადგენდა.

დროის განმავლობაში წყალსაცავში ფილტრაციაზე დანაკარგები მცირდება დალექვის გამო (ბუნებრივი კოლმატაცია) და აგრეთვე იმის გამო, რომ გრუნტი იელენება წყლით და გრუნტის წყლის დონე მატულობს, ე. ი. მცირდება ფილტრაციული ნაკადის დაწნევა.

წყალსაცავმა Deer Flat-მა მოგვცა ფილტრაციის შემდეგი შემცირება წლებისა და მიხედვით, გამოსახული წყლის შრის სიმაღლით:

წლები	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917
ფილტრაცია მმ/დღე-ღამე	32	24	25	12	11	10	8	5	4

ფილტრაციული დანაკარგების გამოთვლა საკმაოდ გართულებულია. შედარებით უფრო ადვილად შეიძლება ვიანგარიშოთ ფილტრაცია კაშხალის საძირკვლის ქვეშ ან მიწის კაშხალის ტანში იმ მეთოდებით, რომლებსაც კიღრაელთა იძლევა. ფილტრაციის გაანგარიშება წყალსაცავის ტაფობიდან საკმაოდ ძნელია, ვინაიდან ჩვეულებრივ ზუსტად არ არის ცნობილი ფილტრა-

ციის შესაძლო გზები და ყველა იმ ქანის თვისებები, რომლებსგანაც წყალსაცავის ტაფობი შედგება. თუ საერთო გეოლოგიური მოსაზრებანი წინასწარმეტყველებენ დიდ ფილტრაციას, მაშინ საჭიროა მოვაწყოთ წყალსაცავის ნიადაგის დაწვრილებითი ჰიდროგეოლოგიური შესწავლა და გაბურღულ კებში საცდელი ფილტრაციის შესწავლის საფუძველზე შევეცადოთ გამოვარკვიოთ წყლის გაჟონვის რაოდენობრივი ზომები. დაწვრილებითი გამოკვლევები აგრეთვე გვიჩვენებს გზებს გაჟონვის წინააღმდეგ ხელოვნური ზომების მისაღებად. აორთქლებას შეუძლია გამოიწვიოს წყლის დიდი რაოდენობის დანაკარგები, განსაკუთრებით არც თუ ღრმა წყალსაცავებში, რომლებსაც დიდი აორთქლების ზედაპირი აქვთ და კარგად თბებიან მზის სხივებით. ზედაპირის ერთეული ფართობიდან აორთქლების სიდიდე, დალტონის კანონის მიხედვით, დამოკიდებულია ჰაერის ტენიანობის დეფიციტზე, ე. ი. $E - e$ სხვაობაზე, სადაც E გაჯერების ზღვარია, ე. ი. წყლის იმ აორთქლის მაქსიმალური წნევაა, რომლითაც გაჯერებულია გარემო მოცემულ ტემპერატურაზე, ხოლო e — წყლის აორთქლის ნამდვილი წნევა ჰაერში, ე. ი. აბსოლუტური ტენიანობა. აორთქლების შრის სისქე შეიძლება მივიღოთ ცდების საშუალებით სპეციალურ ხელსაწყოში, რომელსაც საორთქლებელს უწოდებენ.

ასეთი საორთქლებელი წარმოადგენს წყლიან ქურქელს. ამ ხელსაწყოს დააკურებენ წყალსაცავის ზედაპირზე წვიმსაზომ ხელსაწყოსთან ერთად. აორთქლების შრის სიდიდე მიიღება როგორც აორთქლებული წყლისა და წვიმსაზომში გაზომილი ნალექების ჯამი. მაგრამ საორთქლებლის მიერ მიღებული შედეგი დამოკიდებულია მასში არსებული წყლის ტემპერატურაზე, რის გამოც საჭიროდ თვლიან მიღებული შედეგის გამრავლებას ე. წ. რედუქციულ კოეფიციენტზე. ეს კოეფიციენტი ნაკლებად არის შესწავლილი; იგი შეიძლება გამოკვლეული ყოფილიყო საორთქლებლისა და წყალსაცავის ზედაპირებიდან აორთქლების სიდიდითა შედარებით, ვინაიდან საორთქლებელში წყლის ზედაპირის მცირე ფართობისა და მცირე მოცულობის გამო, მახინჯდება შედეგები. პრაქტიკულად, ვინაიდან არა გვაქვს მონაცემები, რედუქციული კოეფიციენტის სიდიდე იძულებული ვართ ერთის ტოლი ავიღოთ, ე. ი. აორთქლების სიდიდე ავიღოთ მხოლოდ ხელსაწყოს მიხედვით.

თუ არა გვაქვს უშუალო ცდების მონაცემები, მაშინ აორთქლების შრის სისქე შეიძლება განესაზღვროთ მეიერიის ფორმულით, რომელიც აგებულია დალტონის შემდეგ კანონზე

$$z = (E - e)(15 + 3v), \quad (10)$$

სადაც z , E და e გამოსახულია მილიმეტრებში, ხოლო v არის ქარის საშუალო სიჩქარე მ/სეკ.-ში. წვერი $(15 + 3v)$ შეიცავს ცდებით მიღებულ კოეფიციენტებს და იძლევა შესწორებას ქარის გავლენის გამო. ფორმულა (10) მოცემულია არც თუ ღრმა წყალსაცავებისათვის, რომლებიც დაკული არ არიან ქარისაგან. თუ წყალსაცავი დაკულია ქარისაგან, მაშინ ქარის გავლენა აორთქლებაზე შემცირდება და კარგად დაკული წყალსაცავისათვის შეიძლება მივიღოთ, რომ $v = 0$.

აორთქლება გამოითვლება ყოველთვიურად. ამისათვის (10) ფორმულაში ყველა სიდიდე აიღება საშუალო სიდიდეების მიხედვით ერთ თვეში, E გამოითვლება ცხრილებით ჰაერის მთელი თვის საშუალო ტემპერატურის მიხედვით. მეიერიის ფორმულა, როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, კარგ შედეგებს იძლევა. ზამთარში, როდესაც წყალსაცავი დაფარულია ყინულით, აორთქლება

წყდება. წყლის დანაკარგები წყალსაცავიდან აორთქლებზე მიღებულია როგორც აორთქლებათა სხვაობა წყალსაცავის ზედაპირიდან და ხმელეთის იმ ზედაპირიდან, რომელიც ითარება წყლით წყალსაცავის შექმნის შემდეგ.

ხმელეთის ზედაპირიდან აორთქლების შრე გამოითვლება როგორც ნალექების წლიური შრისა და ჩანადენის შრის სხვაობა, ე. ი.

$$z = h - x.$$

აორთქლების სიდიდე წყალსაცავისა და ხმელეთის ზედაპირებიდან სხვადასხვა წლებში სხვადასხვაა. თუ მოცემულია უახლოესი მეტეოროლოგიური სადგურის დაკვირვებანი: ნალექების საშუალო სიდიდე, საშუალო ტემპერატურა, ჰაერის ტენიანობა და ქარის ძალა, აგრეთვე თუ გვეცოდინება ჩანადენის სიდიდე, შეიძლება გამოვთვალოთ წყალსაცავის ზედაპირიდან და ხმელეთიდან აორთქლების შრეების სისქე, რომელთა სხვაობა იძლევა დაკარგული წყლის შრის სისქეს. თუ წყალსაცავის ზედაპირის ფართობს გაემატა დაკარგული წყლის შრის სისქეზე, შეიძლება მივიღოთ აორთქლებზე დაკარგული წყლის მოცულობა.

თუ წყალსაცავად გამოყენებულია ბუნებრივი ტბა, მაშინ ბუნებრივ მდგომარეობაში აორთქლების სიდიდე უკვე მიღებულია მხედველობაში ჩანადენის გაანგარიშების დროს. ამიტომ საჭიროა განისაზღვროს მხოლოდ დამატებითი აორთქლება ტბის ზედაპირის ფართობის ნაზრდიდან, რომელიც მიიღება დონის აწევის გამო. თუ დონის აწევა უმნიშვნელოა, მაშინ დამატებითი აორთქლების სიდიდე ძალიან მცირეა, რის გამოც შეიძლება მისი უქუცვლება¹.

§ 37. წყალსაცავის მოცულობის მარონომიური შემჩნევა

წყალსაცავის მოცულობა სწრაფად იზრდება, თუ გავადიდებთ მის მარეგულირებელ თვისებებს. 35-ე პარაგრაფში ჩვენ დავინახეთ, რომ მდ. რაინის ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირებისათვის, როდესაც დარეგულირების კოეფიციენტი $\alpha = 1,0$ საჭიროა წყალსაცავის მოცულობა $w = 1,91V_0$, სადაც V_0 იყო საშუალო მრავალწლიური ჩანადენის მოცულობა. როდესაც დარეგულირების კოეფიციენტი $\alpha = 0,95$, მაშინ საჭირო მოცულობა მცირდება $0,66V_0$ -მდე ე. ი. 2,9-ჯერ. მთლიანი დარეგულირებისაკენ მიახლოება (ე. ი. როდესაც $\alpha = 1$) ჩვეულებრივ შეიძლება მიღწეულ იქნეს დიდი დანახარჯების შედეგად. მოვიყვანოთ პრაქტიკიდან აღებული კიდევ ერთი მაგალითი.

მდინარის ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირებისათვის გამოყენებულია ტბა. წყალსაცავის შესაქმნელად მისი დონე აწეულია კაშხალით.

მე-11 ცხრილში მოცემულია წყალსაცავის მოცულობა ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირებისათვის, სხვადასხვა დარეგულირებული ხარჯების შემთხვევაში; წლიური რეგულირებისათვის ეს მოცულობანი გადიდებული უნდა იქნენ $40 \cdot 10^6$ მ³-ით. ამავე ცხრილში ნაჩვენებია კაშხალის აუცილებელი სიმაღლე სათანადო მოცულობის შესაქმნელად.

ცხრილიდან ჩანს, რომ წყალსაცავის მოცულობის მნიშვნელოვანი შემცირებაც კი მცირე გავლენას ახდენს დარეგულირებული ჩანადენის შემცირებაზე.

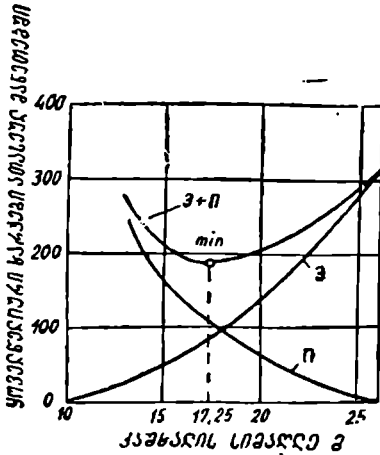
¹ ნაკადის რეგულირება დანაკარგების მხედველობაში მიღებით განხილულია შრომაში: И. П. А. А. Королев, Метод регулирования стока при учете вредных потерь. Материалы по гидрологии, гидрографии и водным силам СССР, XII, вып. 1932.

დარეგულირებული ხარჯი მ ³ /სეკ	დარეგულირების კოეფიციენტი	წყალსაცავის მოცულობა			კაშხალის აუცილებელი სიმაღლე, მ
		10 ⁶ მ ³		%	
		მრავალწლიური	სრული	სრული	
3,49	1,000	159,4	199,4	100	26
3,42	0,973	107,0	147,0	73,7	21
3,33	0,946	66,0	106,0	53,1	16
3,17	0,901	41,5	81,5	40,8	13

წყალსაცავის დაპროექტების დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს ზღვრული, ეკონომიურად ხელსაყრელი მოცულობის სიდიდის დადგენას. განვმარტოთ ეს წინა მაგალითზე.

კაშხალის სიმაღლე—26 მ უზრუნველყოფს ჩანადენის სრულ მრავალწლიურ რეგულირებას. კაშხალის უფრო მცირე სიმაღლის დროს, დარეგულირების ხარისხი ერთზე ნაკლებია და ხდება ჩანადენის ნაწილის გადაგდება

მისი ენერჯის გამოუყენებლად. თუ ჰიდროელსადგურის დაწნევა 500 მ-ის ტოლია, მაშინ დარეგულირებული ხარჯის უმნიშვნელო შემცირებაც კი გამოიწვევს ენერჯის დიდ დანაკარგს. აქ წყალსაცავი არის ზედა, ამიტომ მისი კაშხალის სიმაღლე და წყალსაცავში ღონეების ცვალებადობა არ გამოიწვევს დაწნევის ცვალებადობას, 85-ე ნახაზზე Π მრუდი იძლევა ყოველწლიურად დაკარგული ენერჯის ღირებულებას კაშხალის სიმაღლის მიხედვით. ენერჯია აქ შეფასებულია 2 კაბ./კვტ-სთ, ე. ი. იმ ენერჯის ფასად, რომელმაც დაკარგული ენერჯია უნდა შეეცვალოს. როდესაც კაშხალის სიმაღლე $B=26$ მ, მაშინ ენერჯის დანაკარგი არ არსებობს, ე. ი. $\Pi=0$.



ნახ. 85. წყალსაცავის კაშხალის ხელსაყრელი სიმაღლის განგარიშება.

კაშხალის ღირებულება იზრდება მისი სიმაღლის ზრდასთან ერთად. ღირებულების გამოსარკვევად კეთდება ესკიზური პროექტები და კაშხალის სხვადასხვა სიმაღლეებისათვის სამუშაოთა მოცულობის მიხედვით მათი ღირებულება ირკვევა ხარჯთაღრიცხვით. მაგრამ კაშხალის ღირებულება, რომელიც ერთდროულ კაპიტალდამანდებას წარმოადგენს, შეუძლებელია წყლის გადაგდებით გამოწვეულ ზარალს შევადაროთ. ამიტომ 85-ე ნახაზზე გამოსახულია Σ მრუდი, რომელიც წლიურ საექსპლუატაციო ხარჯებს გამოსახავს კაშხალის სხვადასხვა სიმაღლისათვის. ამ ხარჯებში შედის კაშხალის ამორტიზაციის, მისი კაპიტალური და მიმდინარე შეკეთების, მომსახურების და ა. შ. ხარჯები (დაწვრილებით ამის შესახებ იხილეთ VII თავში). გამარტივებისათვის 85-ე ნახაზზე მოყვანილია არა

სრული საექსპლოატაციო ხარჯები, არამედ კაშხალის სიმაღლის (დაწეხული 10 მეტრიდან) გაზრდით გამოწვეული ხარჯების ნაზრდები.

მრუდი 3+II წარმოადგენს წლიური საექსპლოატაციო ხარჯებისა და წლიური დაკარგული ენერჯიის ღირებულების ჯამს, ე. ი. წყალსაცავის ექსპლოატაციის საერთო საექსპლოატაციო ანარიცხებს. ამ მრუდს აქვს მინიმუმი, როდესაც კაშხალის სიმაღლე არის 17,25 მ. ამრიგად, ამ კონკრეტულ შემთხვევაში, კაშხალის სიმაღლე 17,25 მ წარმოადგენს ეკონომიურად ყველაზე უფრო ხელსაყრელს.

განხილულ მაგალითში ჩვენ მხედველობაში ვიღებდით ენერჯიის გამოშვების გადიდებას მხოლოდ წყალსაცავის მოცულობის გაზრდით. დარეგულირებული ხარჯების ზრდა, გარდა ენერჯიის გამოშვებებისა, ხელს უწყობს მინიმალური სიმძლავრის ზრდას. თუ ჰიდროელსადგური ენერგეტიკულ სისტემაში მუშაობს სხვა სადგურებთან ერთად, მაშინ მისი სიმძლავრის გადიდება სხვა, უმთავრესად, თბოსადგურებზე სიმძლავრის შემცირების საშუალებას იძლევა.

ამ შემთხვევაში კაშხალის სიმაღლისა და წყალსაცავის მარეგულირებელი მოცულობის გაზრდით იზრდება კაშხალის ღირებულება, მაგრამ მცირდება სისტემის თბოსადგურების ღირებულება. ამიტომ 3 მრუდი უნდა წარმოადგენდეს კაშხალის საექსპლოატაციო ანარიცხებს, მაგრამ მას უნდა გამოაკლდეს თბოსადგურებზე მათი სიმძლავრის შემცირებით გამოწვეული საექსპლოატაციო ხარჯების ეკონომია. ცხადია, კაშხალის ეკონომიურად ყველაზე ხელსაყრელი სიმაღლე ამ დროს უფრო მეტი გამოვა. უკანასკნელის განსაზღვრის დროს აუცილებელია მხედველობაში გვკონდეს შეგუბებით გამოწვეული დატბორვის ღირებულება.

დანადგარის დაწესება და სიმძლავრე

§ 38. დაწესების ცვალებადობის გამოწვევები მიზეზები

დანადგარის სიმძლავრეზე, გარდა წყლის ხარჯის ცვალებადობისა, გავლენას ახდენს აგრეთვე მისი დაწესების ცვალებადობაც.

დაწესების ცვალებადობის მიზეზები შეიძლება იყოს:

1. ზედა ბიეფის დონის ცვალებადობა საკუთარი წყალსაცავის მქონე სადგურის წყალსაცავში ჩანადენის რეგულირების დროს;
2. ზედა ბიეფის დონის ცვალებადობა წყალმეტობის ხარჯის გატარების დროს; მაგალითად, შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ზედა ბიეფის აწევას, თუ წყალმეტობის ხარჯი არ გადის კაშხალის ხერხელებში ან მის წყალსაშებზე.
3. ქვედა ბიეფის დონის ცვალებადობა მდინარის წყლის ხარჯის ცვალებადობის გამო. მომატებული ხარჯები მდინარეში გადის უფრო მეტი სიღრმეების დროს, რომლებიც განისაზღვრებიან სადგურში არსებული წყლის ხარჯის გრაფიკით. მდინარეში მცირე ხარჯები კი გადის უფრო დაბალი დონეების დროს.

4. სადგურის ზედა და ქვედა ბიეფების დონეების ცვალებადობა დღეღამური რეგულირების ხარჯზე მისი მუშაობის დროს, როდესაც დატვირთვა სწრაფად იცვლება და ა.ქ.შ. ამ შემთხვევაში ჰიდროელსადგურის ტურბინებში რეგულირებული ხარჯის შეცვლა, ზედა და ქვედა ბიეფებში დანადგარის ახლოს იწვევს დონის აწევას ან დაწევას, რომელიც შემდეგ ტალღისებურად ვრცელდება ბიეფში.

დონეების ცვალებადობა ბიეფში შეიძლება მოხდეს ნელა ან ჩქარა. მდინარის ჩანადენის წლიური ცვლილება იწვევს წყლის დონის ნელ ცვლილებას მდინარეში. ასევე ნელა იცვლება დონე წყალსაცავში ჩანადენის წლიური რეგულირების დროს. პირიქით. დონეების ცვალებადობა დღეღამური რეგულირების დროს უფრო სწრაფად ხდება.

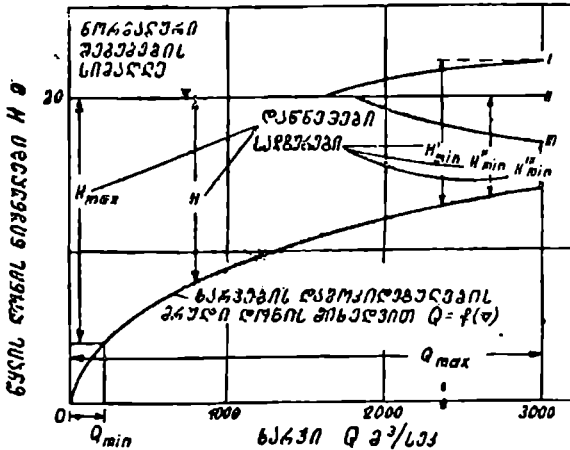
დროის მიხედვით ბიეფების რეჟიმის ნელი ცვლილების შემთხვევაში ყოველ მოცემულ მომენტში დონეების მდგომარეობა შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც მუდმივი. ბიეფების რეჟიმის სწრაფი ცვლილების დროს იძულებული ვართ ანგარიში გავუწიოთ ნაკადის დაუმყარებელ რეჟიმს, რაც, საკმაოდ ართულებს ბიეფების დონეების გამოთვლას მოცემული დროის მომენტში.

§ 39. დაწესების წლიური ცვალებადობა ხარჯის ცვალებადობასთან დაკავშირებით

პირველ რიგში განვიხილოთ დაწესების ცვალებადობა ისეთ სადგურებში, რომლებიც საკუთარი წყალსაცავით არ ახდენენ ჩანადენის რეგულირებას. ასეთი სადგურისათვის ჩანადენის რეჟიმი შეიძლება იყოს დაურეგულირებელი ან დარეგულირებული ზედა, ე. ი. მისგან დაცილებული წყალსაცავით. ამ შემ-

თხვევაში ზედა ბიეფის დონეს ვინარჩუნებთ მუდმივ ნორმალურ ნიშნულზე მთელ საშუალო დონისეულ პერიოდში, როდესაც მთელი ხარჯი გადის ჰიდროელსადგურის ტურბინებში.

ქვედა ბიეფი ცვალებადობს სადგურის წყლის ხარჯის მიხედვით, მიჰყვება რა ხარჯების ჩვეულებრივ მრუდს, რომელიც ყოველთვის შეგვიძლია მივიღოთ ჰიდროელსადგურის კეთილი მოთავესებული წყალსაზომი საგუშავგოდან. ეს გრაფიკი ყინულსაგან თავისუფალი მდინარის კალაპოტისათვის იქნება სრულიად განსაზღვრული და ერთნიშნა, ე. ი. ხარჯის ყოველ მნიშვნელობას ექნება ქვედა ბიეფის მხოლოდ ერთი ნიშნული, თუ ეს ბიეფი არ იტბორება ქვედა დანადგარით. ზამთრის პირობებში, თუ მდინარის ზედაპირი იყინება, ქვედა ბიეფის დონის დამოკიდებულება წყლის ხარჯისაგან სხვა იქნება, ვინაიდან ამ დროს გამტარუნარიანობა კლებულობს მდინარის ყინულით დაფარვისა და ყინულების დაგროვების გამო თვით კალაპოტში; ქვედა ბიეფის ერთისა და იმავე დონის შემთხვევაში ზამთარში უფრო ნაკლებ წყლის ხარჯს გაატარებს მდინარე, ვიდრე ზაფხულში. ერთი და იგივე ხარჯი



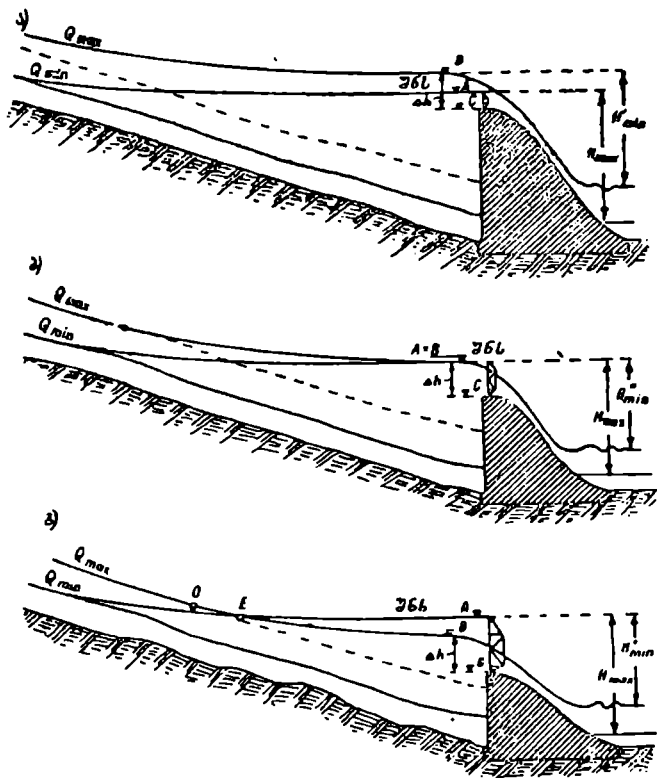
ნახ. 86. ზედა და ქვედა ბიეფების დონეების დამოკიდებულება წყლის ხარჯისაგან.

ზამთარში გაივლის უფრო მაღალი დონით, ვიდრე ზაფხულში. ამის გამო, ზამთრის პერიოდში ხდება დაწნევის რამდენადმე შემცირება. ხშირად, როგორც ცნობილია, ზამთარში არ შეიძლება მივიღოთ წყლის ხარჯსა და დონეს შორის ერთნიშნა დამოკიდებულება, ვინაიდან ამ პერიოდში იცვლება ყინულის საფარის სისქე, წარმოიშვება ყინულების ღრობებით დაგროვება, თოში და ა. შ., რის გამოც მდინარის კალაპოტის გამტარუნარიანობა ყოველთვის იცვლება. ასეთ შემთხვევებში გაანგარიშებისათვის მიღებულია ზოგიერთი მიხედვითი საშუალო დამოკიდებულება დონეებსა და ხარჯებს შორის. ამ დროს, წყლის ხარჯი, აღებული თავისუფალი კალაპოტის გრაფიკიდან (მოცემული დონის მიხედვით) მრავლდება ერთზე ნაკლებ კოეფიციენტზე. ამრიგად, შეიძლება აკებულ იქნეს ხარჯების გასაშუალებელი საზამთრო მრუდი. ხარჯების საზამ-

თრო შემცირების კოეფიციენტის სიდიდე აიღება საზამთრო ხარჯების უშუალო გაზომვის ანალიზიდან და იგი შეიძლება იყოს ან მუდმივი მთელი ზამთრის განმავლობაში, ან სხვადასხვა—ზამთრის სხვადასხვა თვეებისათვის.

ხარჯის შემცირების კოეფიციენტის სიდიდე იცვლება 0,7-დან 0,5-მდე და შეიძლება იყოს უფრო ნაკლებიც (განსაკუთრებული არახელსაყრელი პირობებისათვის უდრის 0,3—0,4).

86-ე ნახაზზე აგებულია ზედა და ქვედა ბიეფების დონეების ხარჯისაგან დამოკიდებულების მრუდი, ღია არხის შემთხვევაში.



ნახ. 87. წყალმეტრების გატარების სამი მეთოდი.

ზედა ბიეფის დონის შეცვლა დამოკიდებულია წყალმეტრების გატარების მეთოდებზე. თითოეული დანადგარის პირობების მიხედვით შეიძლება ავირჩიოთ წყალმეტრების ხარჯების გატარების შემდეგი სამი მეთოდიდან ერთი რომელიმე.

I მეთოდი (ნახ. 87, ა) კაშხალის ზედა ბიეფში ვინარჩუნებთ დატბორვის ნორმალურ დონეს A ნიშნულით მანამ, სანამ მდინარის წყლის ხარჯი არ აღემატება სადგურისა და კაშხალის ჯამურ გამტარუნარიანობას ფა-

რების სრული ვალების შემთხვევაში. თუ მდინარის ხარჯი გაიზრდება ამ საზღვრის ზემოთ, მაშინ იწყება დონის აწევა წყალსაშვის ქიშკი და უდიდესი ხარჯის დროს იგი მიაღწევს B ნიშნულს. ამ შემთხვევაში წყალსაშვების ქიშის C ნიშნული აირჩევა იმ ანგარიშით, რომ ნიშნულთა სხვაობა $B-C$ იყოს გადადენილი წყლის Δh შრის ტოლი, რომელიც უზრუნველყოფს მაქსიმალური ხარჯების გატარებას. ფარების სიმაღლე ამ შემთხვევაში Δh -ზე ნაკლები გამოდის.

ამ მეთოდით, გადიდებული ხარჯების გატარების დროს (ზედა ბიეფის დონის მომატებისას), რამდენადმე მცირდება სადგურის დაწნევის დაცემა, რომელსაც ადგილი აქვს წყალმეტობის პერიოდში ქვედა ბიეფის აწევის გამო. თუ კაშხალს აქვს ყრუ წყალსაშვები და არა აქვს ფარის საკეტები, მაშინ დონის მომატება ზედა ბიეფში იწყება წყლის იმ ხარჯის დროს, რომელიც აღემატება სადგურის გამტარუნარიანობას, ხოლო მაქსიმალური ხარჯის დროს ზედა ბიეფში მოხდება დონის საკმაოდ აწევა.

წყალმეტობის პერიოდში ზედა ბიეფის დონის მომატების გამო, ნაპირები საკმაოდ დაიტბორება; დატბორვის შემცირება შესაძლებელია, თუ გამოვიყენებთ წყალმეტობის გატარების II მეთოდს.

II მეთოდი (ნახ. 87, ბ). ვინარჩუნებთ ზედა ბიეფის მუდმივ A ნიშნულს და წყალმეტობის გატარება ხდება დამატებითი შეტბორვის გარეშე. ამ შემთხვევაში წყალსაშვების ქიშის C ნიშნული შერჩეული უნდა იქნეს ისე, რომ წყალმეტობის სრული ხარჯის გავლა მოხდეს A ნიშნულის შენარჩუნებით, ე. ი. გადადენილი წყლის საკმარის Δh სიმაღლე მაქსიმალური ხარჯის დროს A და C ნიშნულთა სხვაობის ტოლი უნდა იყოს. ფარების საანგარიშო სიმაღლე ამ შემთხვევაში, ცხადია, იქნება Δh , ე. ი. უფრო მეტი ვიდრე წინა შემთხვევაში.

ამ მეთოდით დატბორვის სიდიდე მცირდება, მაგრამ წყალმეტობის გავლის დროს მაინც იქნება ადგილი წყლის დონის აწევას ბიეფში, ვინაიდან დატბორვის მრუდი დინების ზემოთ აიწევს მით უფრო დახრილად, რაც მეტი წყალი გაივლის მდინარეში.

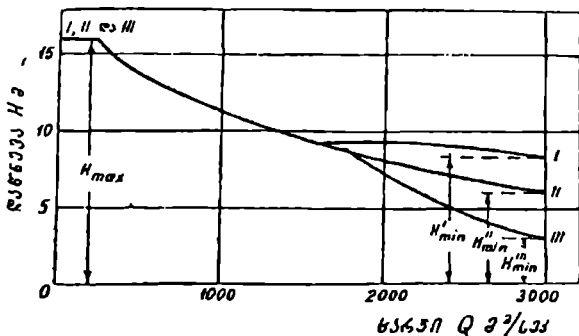
III მეთოდი (ნახ. 87, გ). თუ ზედა ბიეფში არის ძვირფასი ობიექტები (ნოკიერი მიწები, ნაგებობანი და ა. შ.), რომელთა დატბორვა სასურველი არ არის თუნდაც წყალმეტობის დროსაც, მაშინ საკმარისა ბიეფის B ნიშნული დავწიოთ ნორმალური შეტბორვის ნიშნულზე ქვემოთ. წყალსაშვების ქიში ამ შემთხვევაში დაწეული უნდა იქნეს იმ C ნიშნულამდე, რომელიც უზრუნველყოფს მაქსიმალური ხარჯის გატარებას გადადენილი Δh სისქის შრით, ე. ი. C ნიშნული განისაზღვრება პირობიდან: $\Delta h = B - C$. ამ დროს ფარების სიმაღლე იქნება Δh -ზე მეტი, ე. ი. უფრო მეტი, ვიდრე I და II მეთოდებით წყალმეტობის გატარების დროს, ვინაიდან იგი განისაზღვრება ნორმალური A დონისა და წყალსაშვების ქიშის ნიშნულთა სხვაობით. დაწნევის დაკარგვა დიდი ხარჯების დროს ამ შემთხვევაში უფრო მეტი იქნება, ვიდრე წინა განხილულ ორ შემთხვევაში.

შეტბორვის მრუდი წყალმეტობის ხარჯების დროს უფრო ციცაბოდ აიწევა დინების მიმართულებით, ვიდრე საშუალო დონისეული ხარჯების დროს; რომელიმე E წერტილში შეტბორვის ორივე წირი გადიკვეთება; ამრიგად, კაშხალიდან E წერტილამდე დიდი ხარჯების შეტბორვის დროს დონე იქნება უფრო დაბალი, ვიდრე საშუალო დონისეული პერიოდის დონე.

86-ე ნახაზზე გამოსახულია დონის ცვალებადობის ხასიათი ზედა ბიეფში

წყალმეტობის ხარჯის სამივე მეთოდით გატარების შემთხვევაში და ისინი აღნიშნულია ციფრებით I, II და III.

ზედა და ქვედა ბიფების ნიშნულთა სხვაობა იძლევა დანადგარის დაწნევის სიდიდეს Q ხარჯების მიხედვით. ეს დამოკიდებულება მოცემულია 88-ე ნახაზზე. დერივაციული დანადგარის შემთხვევაში ბიფების დონეთა სხვაობით რომ სადგურის დაწნევა მივიღოთ, საკიროა მას გამოაკლდეს წნევის დანაკარგი დერივაციაში, რომლის სიდიდე მის წყლის ხარჯზეა დამოკიდებული.



ნახ. 88. დანადგარების დაწნევის დამოკიდებულება წყლის ხარჯისაგან:

§ 40. სიმძლავრის ცვლილება დაწნევისა და ხარჯის ფაქტორული ცვლილების დროს

წყალდენის სიმძლავრე H დაწნევისა და Q ხარჯის დროს შეადგენს

$$P_{\text{წყ}} = 9,81 QH \text{ კვტ.}$$

წელიწადის წყალმცირე პერიოდში, როდესაც Q ხარჯი მცირეა, დაწნევას აქვს მაქსიმალური სიდიდე. ხარჯის მატებასთან ერთად დაწნევა მცირდება, მაგრამ გაცილებით უფრო ნელა, ვიდრე ხარჯი იზრდება; ამის შედეგად, წყალდენის სიმძლავრე მატულობს. თუ მაქსიმალური ხარჯის შესაბამისი მინიმალური დაწნევა საკმაოდ დიდია, მაშინ სიმძლავრე მუდამ მატულობს და თავის მაქსიმუმს აღწევს უდიდესი ხარჯის დროს.

არის შემთხვევა, როდესაც ხარჯის მატებასთან ერთად დაწნევა ეცემო ნულამდე, თუკი ხარჯების გატარების შემთხვევაში ქვედა ბიფის დონე ზედა ბიფის დონემდე აიწევს. ამას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს დიდ მდინარეში მოთავსებული ძალიან დაბალწნევიანი დანადგარის შემთხვევაში, თუ ეს მდინარე ხასიათდება წყალმეტობის მაღალი დონით, ასე, მაგალითად, მდ. ვოლგაზე (ქ. იაროსლავლთან 100 მ³/სეკ საშუალო დონისეულ პერიოდში, ხოლო 11600 მ³/სეკ წყალმეტობის პერიოდში) წყალმეტობის დროს ბუნებრივი დონე აიწევს 11,3 მ-ით. აქ რომ ავაგოთ ჰიდროელსადგური ზედა ბიფის 12,2 მ მეტბორვით, მაშინ წყალმეტობის დროს ამ სადგურის დაწნევა დაეცემა 0,9-მდე და თუ შეგუბების სიმალეს უფრო შევამცირებდით, მაშინ სადგური მთლიანად დაკარგავდა დაწნევას.

ამ შემთხვევაში წყალდენის სიმძლავრე წყალმეტობის დროს ნულამდე დაეცემა. სიმძლავრის ცვლილების ხასიათი ხარჯის ზრდასთან ერთად მო-

ცემულია 89-ე ნახაზზე. აქ აგებულია სიმძლავრის მრუდი მზარდი ხარჯით, იმ დაშვებით, რომ დაწნევა Q_2 ხარჯის დროს ნულამდე დაეცემა. Q -სა და H -ის თითოეული მნიშვნელობისათვის მოცემულია წყალდენის სიმძლავრის წყვეტილი წირი, აგებული იმ დაშვებით, რომ სადგურის დაწნევა (მაქსიმალური) რჩება მუდმივი.

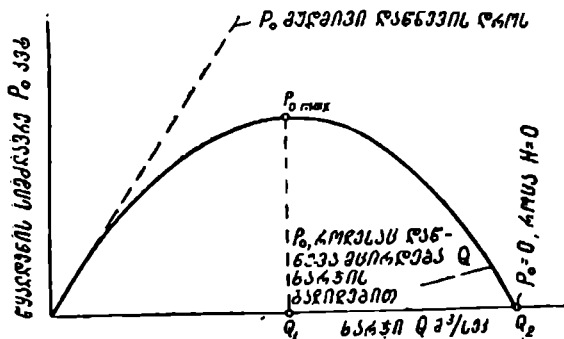
რომელიც Q_1 ხარჯისათვის სიმძლავრე მიაღწევს მაქსიმუმს, ხოლო Q ხარჯის შემდეგი ზრდით სიმძლავრე დაიწყებს კლებას და იგი ნულზე დავა, როდესაც $Q = Q_2$.

თუ მდინარის მაქსიმალური Q_{max} ხარჯი მეტია, ვიდრე Q_2 , მაშინ ყველა იმ ხარჯისათვის, რომლებიც მეტია Q_2 -ზე, სიმძლავრე იქნება ნული.

თუ მაქსიმალური ხარჯი მოთავსებულია Q_1 -სა და Q_2 -ს შორის, მაშინ Q_1 -ზე მეტი ხარჯის დროს სიმძლავრე დაიკლებს, მაგრამ იგი არასდროს არ გახდება ნული.

დაბოლოს, თუ $Q_{max} < Q_1$, მაშინ ნაკადის მატებასთან ერთად მოიმატებს მისი სიმძლავრეც.

პირველი ორი შემთხვევა დამახასიათებელია დონის დიდი ცვალებადობის მდინარეებზე მოთავსებული დაბალდაწნევიანი დანადგარებისათვის.



ნახ. 89. წყალდენის სიმძლავრის დამოკიდებულება ხარჯისაგან ცვალებადი დაწნევის დროს, რომელიც ნულამდე ეცემა.

მესამე შემთხვევას აღვიღოთ აქვს საკმაოდ მაღალდაწნევიან დანადგარებში, ვინაიდან აქ ქვედა ბიეფის აწევა იწვევს დაწნევის მცირე დაკარგვას და არასდროს არ შეიძლება მდინარეს ჰკონდეს ისეთი დიდი ხარჯი, რომ ქვედა ბიეფის აწევით გაკრეს დანადგარის დაწნევა.

ყველა ზემოთქმული ეხება წყალდენის სიმძლავრეს. ტურბინის ლერძზე კი შეიძლება მივიღოთ სიმძლავრე:

$$P = 9,81 Q H \eta \text{ კვტ.}$$

სადაც η ტურბინის მქკ-ია.

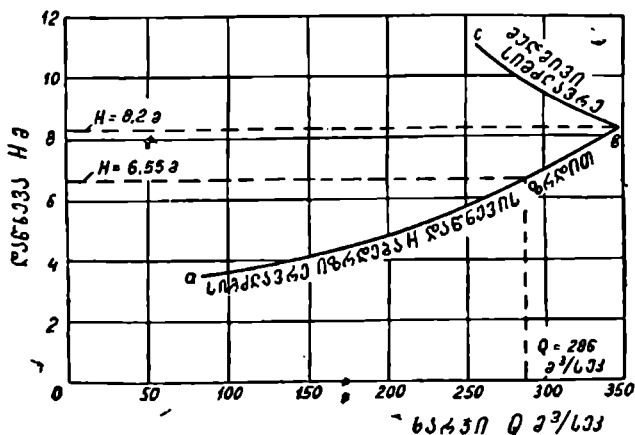
იმისათვის, რომ დაუჭვივრდეთ როგორ იცვლება ტურბინის მქკ Q ხარჯისა და H დაწნევის ცვლადი სიდიდეების დროს, საჭიროა ვისარგებლოთ ტურბინის უნივერსალური მახასიათებლით. ჩვენი მიზნებისათვის გამოსაყენებელია ე. წ. საექსპლოატაციო უნივერსალური მახასიათებელი, რომელიც 90-ე ნახაზზეა გამოსახული. ამ ნახაზზე P და H კოორდინატთა ლერ-

ბულ მაქსიმალურ ხარჯს. ამისათვის სიმძლავრის შეზღუდვის abc წირზე ავი-
ლოთ მთელი რიგი წერტილები და თითოეული წერტილისათვის განვსაზღვროთ
 H დაწნევის, P სიმძლავრისა და q მქკ-ის მნიშვნელობები. ტურბინის მაქსი-
მალური გამტარუნარიანობა გამოითვლება ფორმულით:

$$Q = \frac{P}{9,81 H \eta} \text{ მ}^3/\text{სეკ.}$$

91-ე ნახაზზე გამოსახულია abc წირი, სხვადასხვა H -ისა და Q -სათვის, რო-
მელიც ტურბინის გამტარუნარიანობის მახასიათებელს წარმოადგენს. მისი ab
უბანი შეესაბამება უნივერსალური მახასიათებლის ab უბანს, ე. ი. ტურბინის
სიმძლავრის შეზღუდვის წირს. ამ უბანზე Q იზრდება H დაწნევისა და ტურ-
ბინის სიმძლავრის ზრდასთან ერთად. bc უბანი შეესაბამება გენერატორის
მულმივ სიმძლავრეს. აქ Q ხარჯი მცირდება დაწნევის ზრდასთან ერთად, ვი-
ნაიდან ტურბინის სიმძლავრე მუდმივია. b წერტილი განსაზღვრავს ტურბინის
მაქსიმალურ გამტარუნარიანობას იმ პირობით, თუ იგი ავითარებს გენერა-
ტორისათვის საკურო სიმძლავრეს შესაძლო უმცირეს დაწნევაზე ($H=8,2$ მ).

ახლა წარმოვიდგინოთ, რომ ჰიდროელსადგურში დადგმულია ტურბინე-
ბი, რომლებსაც ასეთი მახასიათებლები აქვთ. სადგურის H დაწნევის შემცე-



ნახ. 91. ტურბინის მაქსიმალური გამტარუნარიანობის მრული
სხვადასხვა დაწნევის დროს.

რება მდინარის ხარჯის გადიდებით მოცემულია 92-ე ნახაზზე. სადგურის
უდიდესი დაწნევა $H_{max}=11$ მ შეესაბამება წყლის უმცირეს ხარჯს $Q=$
 $=200$ მ³/სეკ. უმცირეს დაწნევას $H_{min}=3$ მ შეესაბამება წყლის ხარჯი
 $Q_{max}=3300$ მ³/სეკ.

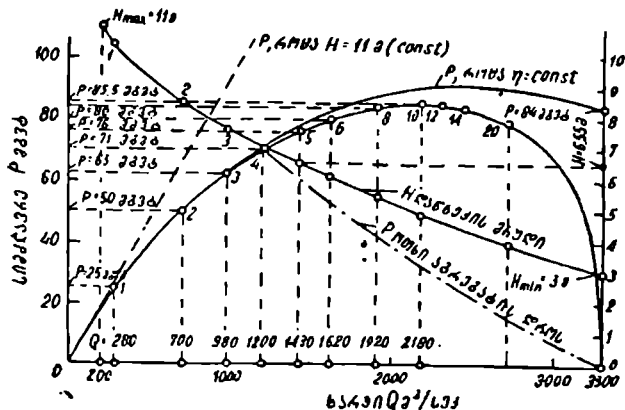
რომ დაწნევა $H_{max}=11$ მ ყველა ხარჯის დროს დარჩენილიყო მუდმივი,
მაშინ მუდმივი მქკ-ის შემთხვევაში ჰიდროელსადგურის სიმძლავრე გაიზრდებოდა
ხარჯის პროპორციულად და იგი გაჰყვებოდა წყვეტილი ხაზებით გატარებულ
წრფეს.

პირველი მიახლოებით, ტურბინის მქკ მივიღოთ მუდმივად (მაგალითად,
მისი საშუალო მნიშვნელობა), მაშინ თუ სიმძლავრეს გამოეთვლით ფორმულით:

$P=9,81QH\eta$, მივიღებთ P სიმძლავრის დამოკიდებულებას მიდინარის Q ხარჯისაგან, რომელიც იმავე ნახაზზეა ნაჩვენები. ამ გრაფიკის მიხედვით მაქსიმალურ ხარჯს $Q_{max}=3300$ მ³/სეკ და დაწინევს $H_{min}=3,0$ მ შეესაბამება სიმძლავრე $P=84$ მგვტ; ეს არ არის სწორი, ვინაიდან სინამდვილეში უნივერსალური მახასიათებლიდან (ნახ. 90) ჩანს, როდესაც $H=3$ მ, ტურბინის სიმძლავრე ძალიან დაბალი მქცის გამო ნულამდე ეცემა. ამიტომ რამდენი ტურბინაც არ უნდა იყოს ჰიდროელსადგურში სულერთია მისი სიმძლავრე იქნება ნული.

თუ გვაქვს უნივერსალური მახასიათებელი, შეიძლება გავიგოთ ცვლადი მქც; ამ მიზნისათვის საჭიროა გამოვთვალოთ სადგურის სიმძლავრეები სხვადასხვა Q ხარჯისა და მისი შესაბამისი H დაწინევისათვის, სადაც მქც-ის მნიშვნელობა აღებული უნდა იქნეს დაწინევების მიხედვით, უნივერსალური მახასიათებლის სიმძლავრის შეზღუდვის წიარზე. მაშინ მიღებული P სიდიდეებით შეიძლება აგებულ იქნეს სიმძლავრის ნამდვილი დამოკიდებულება ხარჯისაგან.

როგორც 92-ე ნახაზის ორი მრუდის შედარებიდან ჩანს, საშუალო მქც-ით გამოთვლილი სიმძლავრე მარცხენა მხარეზე შედარებით ახლოსაა ნამ-



ნახ. 92. ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის წყლის ხარჯისაგან დამოკიდებულების მრუდი.

დელიდან. მრუდები სიმძლავრის მაქსიმუმის არეში იშლება და მიდის სრულიად განსხვავებულად. თუ გამოვიყენებთ ტურბინის გამტარუნარიანობის მახასიათებელს (ნახ. 91), შეიძლება განვსაზღვროთ ტურბინების რიცხვი ნებისმიერი ხარჯისა და სიმძლავრისათვის.

ასე, მაგალითად, როდესაც $Q=1430$ მ³/სეკ, ხოლო $H=6,55$ მ 91-ე ნახაზით მოვებნით, რომ ამ დაწინევის დროს ტურბინის გამტარუნარიანობა უდრის 286 მ³/სეკ. ამრიგად, მთელი ხარჯის გასატარებლად საჭირო ტურბინების რიცხვი არის

$$\frac{1430}{286} = 5.$$

როდესაც $Q=1430$ მ³/სექ, სიმძლავრე გამოდის $P=76$ მგვტ, ე. ი. თითოეული ტურბინა $\frac{76}{5}=15,2$ მგვტ სიმძლავრეს იძლევა.

92-ე ნახაზზე პატარა წრეებით აღნიშნულია წერტილები, რომლებიც შეესაბამებიან ერთი, ორი, სამი და ა. შ. ტურბინების რიცხვს, როდესაც ისინი მუშაობენ სრული დატვირთვით და მაქსიმალური გამტარუნარიანობით (ტურბინების რიცხვი წრეებთან აღნიშნულია ციფრებით).

მიღებული გრაფიკი ძალიან საგულისხმოა. იგი საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

1. დაწნევის მნიშვნელოვანი ცვალებადობის დროს დანადგარის სიმძლავრე დიდი ხარჯების შემთხვევაში შეიძლება უფრო ადრე დაეცეს ნულამდე, ვიდრე თვით დაწნევა გახდებოდეს ნული. საკმარისია დაწნევა დაეცეს H_0 -მდე, რომ ტურბინის სიმძლავრე გახდეს ნულის ტოლი.

2. თუ ნაკადის მაქსიმალური ხარჯი ვერ აღწევს იმ ზღვარს, რომლის დროსაც დაწნევა ნულამდე დაეცემა, მაშინ დანადგარი ინარჩუნებს ზოგიერთ სიმძლავრეს. თუ შესაძლებელია ხარჯი, რომელიც აღემატება ამ ზღვარს, მაშინ მთელი იმ პერიოდის განმავლობაში ჰიდროელსადგური გაჩერდება, ვინაიდან მისი სიმძლავრე ნულის ტოლი გახდება.

3. დიდი დაწნევების შემთხვევაში დაწნევის ფარდობითი დაცემა წყალმეტობის დროს მცირეა და ჰიდროელსადგური მუშაობს მზარდი სიმძლავრით ხარჯის ზრდასთან ერთად, ე. ი. 92-ე ნახაზის მრუდის მარცხენა აღმავალ შტოზე.

4. არსებობს სიმძლავრის მაქსიმუმი, რომელიც შეუძლია მოგვეცეს ჰიდროელსადგურმა გარკვეული ხარჯის დროს. განხილულ მაგალითში ასეთი სიმძლავრეა 85,5 მგვტ და იგი მიიღება 2180 მ³/სექ ხარჯის დროს, არჩეული ტიპის 10 აგრეგატზე. მეტი სიმძლავრის მიღება, აგრეგატების როგორი რიცხვიც არ უნდა ავილოთ, შეუძლებელია, ვინაიდან იმაზე მეტი ხარჯი ვიდრე ამას ატარებს 10 ტურბინა, როგორც ნახაზიდან ჩანს, იწვევს სიმძლავრის დაცემას.

აგრეგატების დიდი რიცხვი შეიძლება ხელსაყრელი იყოს დიდი ხარჯების დროს; იგი უფრო მეტ გამტარუნარიანობას იძლევა, ვიდრე 10 აგრეგატი, მაგრამ ვერ გაადიდებს სიმძლავრეს.

5. თუ დაწნევის მნიშვნელოვანი ცვალებადობის დროს გავადიდებთ დადგმული აგრეგატების რიცხვს, მაშინ მხოლოდ პირველი აგრეგატები მოგვეცემენ სრულ სიმძლავრეს. დამატებითი აგრეგატების შეყვანა მუშაობაში მოგვეცემს სიმძლავრის უფრო ნაკლებ მატებას. 92-ე ნახაზზე ჩანს, რომ I და II აგრეგატები იძლევა 25 მგვტ-ს თითოეული; მესამე — სიმძლავრეს ზრდის 13 მგვტ-ით, მეოთხე — 8 მგვტ-ით და ა. შ. მეცხრე და მეთექვსმეტი აგრეგატები პრაქტიკულად სიმძლავრეს არ ზრდიან.

ჩვენი მაგალითის საილუსტრაციოდ მე-12 ცხრილში მოყვანილია ყოველი დამატებითი აგრეგატის როლი სადგურში. მეორე აგრეგატი იძლევა სრულყოფილ სიმძლავრეს დაწნევის დაცემის მაკომპენსირებელი წყლის ხარჯის გადღების შედეგად. ეს შესაძლებელია, რადგან პირველი ორი აგრეგატი მუშაობს გენერატორით სიმძლავრის შეზღუდვის წირის ფარგლებში მაშინ, როდესაც დაწნევის ვარდნის დროს მათ შეუძლიათ თავისი გამტარუნარიანობის გადღობა. სამი აგრეგატი უკვე იძლევა თითოეული აგრეგატის ზღვრულ

აგრეგატების რიცხვი	1	2	3	4	5	6	8	10
წყლის ხარჯი მ ³ /სეკ	280	700	980	1200	1430	1620	1920	2180
სიმძლავრე მგვტ	25	50	63	71	76	80	84	85,5
სიმძლავრის ზრდა უკანასკნელი აგოგატის დამატების შედეგად	25	25	13	8	5	4	<2	<0,75
ერთი აგრეგატის სიმძლავრე მგვტ	25	25	21	17,8	15,2	13,3	10,5	8,55
წყლის ხარჯი ერთ აგრეგატზე მ ³ /სეკ	280	350	326	300	286	270	240	218

სიმძლავრეს სულ 21 მგვტ-ს დადგენილი 25 მგვტ-ის მაგვრად და ა. შ.

6. ყველა შემთხვევაში ნათქვამიდან ცხადია, რომ აგრეგატთა რიცხვის მეტისმეტად გაზრდა არ არის ხელსაყრელი. ჩვეულებრივ ხელსაყრელი არაა ნაკადის მაქსიმალურ სიმძლავრემდე მისვლა, ვინაიდან მაშინ ს.კირია აგრეგატთა დიდი რიცხვი, რომლებიც სადგურის სიმძლავრეს თითქმის არ გაადიდებენ. სწორი იქნება, თუ შევჩერდებით მრუდის მარცხენა აღმავალ შტოზე, ე. ი. ჩვენ მაგალითში ოთხ-ხუთ ან, როგორც მაქსიმუმში, ექვს აგრეგატზე.

დავუშვათ, რომ ჩვენ ავირჩიეთ ოთხი აგრეგატი, რომლებიც 71 მგვტ სიმძლავრეს იძლევიან, თუ მათში გაეატარებოდა 1200 მ³/სეკ წყლის ხარჯს. ხარჯის შემდეგი ზრდით ტურბინების გამტარუნარიანობა მცირდება და მათი სიმძლავრე იწყებს კლებას. მაგალითად, 1920 მ³/სეკ გამოსაყენებლად საჭიროა რვა ტურბინა (ნახ. 92). ოთხი აგრეგატი გაატარებს ამ ხარჯის მხოლოდ ნახევარს, ხოლო დანარჩენი წყალი უნდა გადაიღვაროს სათავეზე. სადგურის სიმძლავრე იქნება ორჯერ ნაკლები, ვიდრე რვა აგრეგატის შემთხვევაში. ე. ი. 42 მგვტ. ამრიგად შეიძლება გამოვთვალოთ სადგურის სიმძლავრე ოთხი აგრეგატისა და ნებისმიერი ხარჯის შემთხვევაში და ავავოთ სადგურის სიმძლავრის მრუდი, რომელიც 92-ე ნახაზზე წყვეტილი ხაზითაა აღნიშნული.

§ 41. ხადგურის მუშაობის რეჟიმის გამოკვლევა წყლის განმავლობაში

წინა პარაგრაფში გარჩეული იყო სადგურის მუშაობის პირობები ცვლადი ხარჯისა და დაწნევის დროს. აქ ჩვენ არ გვიანტერესებდა მისი მუშაობის ამა თუ იმ რეჟიმის ხანგრძლიობა, რომელსაც ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს. ჩვეულებრივ, დიდი ხარჯები, რომლებიც იწვევენ დაწნევისა და სიმძლავრის დაქვემდებარებას, ხოლო ზოგჯერ სადგურის გაჩერებასაც კი, გრძელდება შედარებით ხანმოკლე პერიოდში. სხვადასხვა რეჟიმის ხანგრძლიობის შესასწავლად შეიძლება მივმართოთ ხარჯების ხანგრძლიობის, ანუ უზრუნველყოფის მრუდს დროის განხილულ პერიოდში.

თუ გვაქვს Q ხარჯების უზრუნველყოფისა და დანადგარის H დაწნევის ხარჯისაგან დამოკიდებულების მრუდები, შეიძლება ავავოთ დაწნევის უზრუნველყოფის მრუდი (ნახ. 93). ამ აგების დროს, დაწნევის თითოეულ მნიშვნელობას მიეწერება იგივე უზრუნველყოფა, რაც აქვს მის შესაბამის ხარჯს. ამრიგად, უზრუნველყოფის ყოველ მნიშვნელობას შეესაბამება ერთსა და იმავე დროში აღებული ხარჯი და დაწნევა.

გამოვთვალოთ რა წყალდენის სიმძლავრეს ხარჯისა და დაწნევის ერთდროული მნიშვნელობებისათვის, შეიძლება ავავოთ წყალდენის P_0 სიმძლავრის

მხასიათებელზე აღნიშნოთ შემდეგი დამახასიათებელი წერტილები და მათი შესაბამისი დაწვევები (ნახ. 90):

1) წერტილი a და მისი შესაბამისი H_0 დაწვევა, რომლის დროსაც ტურბინის სიმძლავრე უდრის ნულს;

2) წერტილი b და მისი შესაბამისი H_1 დაწვევა, რომლის დროსაც ტურბინა ავითარებს დადგენილ სრულ სიმძლავრეს გენერატორის მიხედვით.

მაშინ, ყველა H_1 -ზე მეტი დაწვევისათვის ტურბინას შეუძლია მოგვეცეს დადგენილი სრული სიმძლავრე; როდესაც დაწვევა იცვლება H_1 -დან H_0 -მდე, მაშინ ტურბინას შეუძლია განავითაროს სრულ სიმძლავრეზე ნაკლები შეზღუდული სიმძლავრე, რომელიც განისაზღვრება უნივერსალური მახასიათებლის ex წირით. როდესაც დაწვევა $H \leq H_0$, მაშინ ტურბინის სიმძლავრე იქნება ნული (სადგური გაჩერდება).

ახლა აღნიშნოთ უზრუნველყოფის გრაფიკზე „ტურბინის სიმძლავრე დაწვევით“ და განესაზღვროთ c გი შესაბამისი უზრუნველყოფის თითოეული მნიშვნელობისათვის. 93-ე ნახაზზე „სიმძლავრე დაწვევით“ მოცემულია ერთი, ორი, სამი და ოთხი ტურბინისათვის, ერთი ტურბინის სიმძლავრის გადამრავლებით მათ რაოდენობაზე.

სიმძლავრე, რომელსაც ავითარებს ტურბინა დაწვევის მიხედვით, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ხანგრძლივ პერიოდში მხოლოდ იმ პირობით, თუ იგი უზრუნველყოფილ იქნება მისი შესაბამისი წყალდენის ხარჯით. წლის განმავლობაში შეიძლება იყოს სამი პერიოდი. ვნახოთ როგორ ხასიათდებიან ისინი, თუნდაც ორი ტურბინის შემთხვევაში.

I პერიოდი შეესაბამება წყალდენის სიმძლავრეს მინიმალურიდან 50 მგვტ-მდე (ორი ტურბინის დადგენილი სიმძლავრე). ამ პერიოდში დაწვევა $H > H_1$ -ზე და ტურბინებს შეუძლიათ დაწვევის მიხედვით განავითარონ დადგენილი სრული სიმძლავრე, მაგრამ იგი უზრუნველყოფილი არ იქნება წყლის ხარჯით; ეს არის ხარჯების დეფიციტის პერიოდი (ნახ 93).

II პერიოდი უზრუნველყოფილია ხარჯებითა და დაწვევებით $H > H_1$ -ზე. ამ პერიოდში სადგურიდან შესაძლებელია მივიღოთ დადგენილი სრული სიმძლავრე 50 მგვტ. ეს პერიოდი ნორმალური ექსპლოატაციის პერიოდი ა.

III პერიოდი ხასიათდება დიდი ხარჯებითა და დაწვევებით $H < H_1$ -ზე, რის გამოც სადგურის სიმძლავრე ეცემა დადგენილ სიმძლავრეზე დაბლა. ამ პერიოდს შეიძლება დავარქვათ დაწვევის დეფიციტის პერიოდი. დაწვევის დეფიციტის პერიოდში, უმცირესი დაწვევის დროს, სიმძლავრე მინიმუმამდე ეცემა. 93-ე ნახაზზე უმცირესი დაწვევა $H_{min} = H_0 = 3,0$ მ, რის შედეგადაც სიმძლავრე ნულამდე ეცემა.

სიმძლავრის გრაფიკი, რომელიც აგებულია ორი ტურბინისათვის, ნახაზზე გამოსახულია მსხვილი წირით.

დადგმული ტურბინების დიდი რიცხვის დროს შეიძლება არ არსებობდეს ნორმალური მუშაობის პერიოდი (მაგალითად, სამი და ოთხი ტურბინის შემთხვევაში), ვინაიდან სრული სიმძლავრე არასოდეს არ შეიძლება განვითარდეს ხარჯის ან დაწვევის არასაკმარისობის გამო.

თუ გარკვეულ პერიოდში H დაწვევა ეცემა H_0 დაწვევაზე დაბლა, მაშინ იწვევა IV პერიოდი, სადგურის გაჩერების პერიოდი.

ტურბინების მიერ გამოძეუებული სიმძლავრის გრაფიკის ფართობი, ცხადია, გამოსახავს ენერგიის გამოძეუებას. 93-ე ნახაზზე პირველი ტურბინა

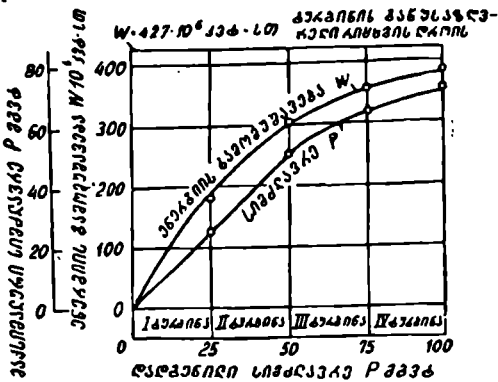
ნის გამომუშავება გამოსახულია W_1 ფართობით; W_2 , W_3 და W_4 ფართობები შესაბამისად არის მეორე, მესამე და მეოთხე ტურბინების დამატებითი გამომუშავებანი, ხოლო W_{5-10} — შემდეგი ექვსი ტურბინის გამომუშავება (ხუთიდან ათამდე). დარჩენილი დაშტრიხული ვიწრო ზოლი გამოსახავს გამომუშავების განსხვავებას აგრეგატების ათი და უსასრულოდ დიდი რიცხვის შემთხვევაში. ეს გრაფიკი კარგად გამოსახავს ზემოთ გამოთქმულ მოსაზრებას იმის შესახებ, რომ შემდეგ დადგმული ყოველი ტურბინა ნაკლებად ხელსაყრელია როგორც დამატებითი სიმძლავრის, ისე დამატებითი ენერჯის გამომუშავების მხრივ.

მე-13 ცხრილით შეიძლება ერთმანეთს შევადაროთ თითოეული ტურბინის მიერ მოცემული ეფექტი.

ცხრილი 13

ტურბინების ნომერი	I	II	III	IV	V—X
დადგენილი სიმძლავრე მგვტ . .	25	25	25	25	6×25
მის მიერ გამომუშავებული ენერჯია 10° კვტ-სთ	190	115	50	30	35
მისი დამატებითი სიმძლავრე მგვტ	25	25	13	8	14,5
დადგენილი სიმძლავრის გამოყენების საათების რიცხვი	7600	4600	2000	1200	200 (საშუალო 6 ტურბინისათვის)

94-ე ნახაზზე გამოსახულია გამომუშავებისა და დადგენილი სიმძლავრის ზრდის გრაფიკი ტურბინების რიცხვის მიხედვით.



ნახ. 94. ჰიდროელსადგურის სიმძლავრისა და გამომუშავების დამოკიდებულება აგრეგატების რიცხვისაგან.

§ 42. სადგურის მუხისი და ხანმოკლე სიმძლავრეები

აღრე განხილული იყო სადგურის მუშაობის დამყარებული რეჟიმი, ე. ი. ეგულისხმობდით, რომ ნაკადის ხარჯი, მისი შესაბამისი დონეები და აგრეთვე დანადგარის დაწნევა დროის ხანგრძლივ პერიოდში მუდმივ მნიშვნელობას ინარჩუნებდნენ (ყოველ შემთხვევაში ერთი ან რადენიმე დღე-ღამის განმავ-

ლობაში მინც). ჩვენ ვგულისხმობდით აგრეთვე, რომ წლის განმავლობაში ხარჯისა და დაწნევის ცვლილება იმდენად ნელი იყო, რომ ბიფეების ღონეები ხარჯების ცვლილების დროს, ასწრებდა გაჰყოლოდა ზემოთ დადგენილ დამოკიდებულებას ხარჯებსა და ღონეებს შორის.

ამ წესით გაანგარიშებული სადგურის სიმძლავრე არის ხანგრძლივი და შეესაბამება მუშაობის დამყარებულ რეჟიმს.

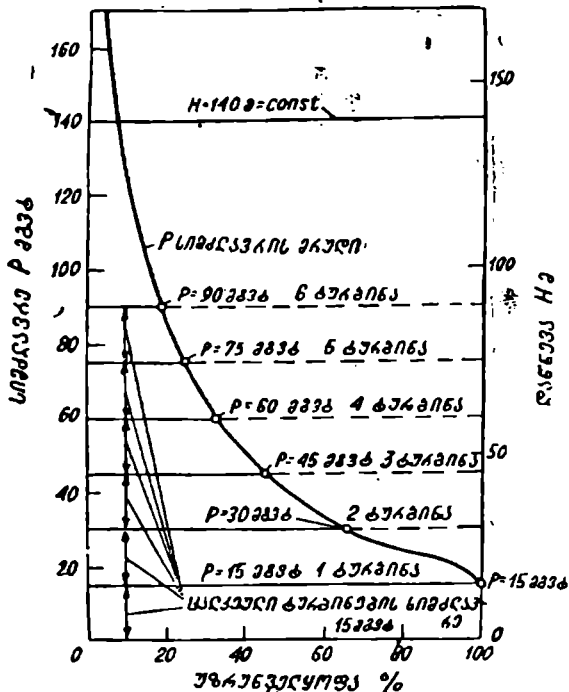
დღელამური რეგულირების დროს შესაძლებელია ხარჯის სწრაფი ცვლა, მაგალითად, როდესაც სადგური ფარავს დატვირთვის პიკებს ან როდესაც პიკებიდან გადადის ნორმალურ გრაფიკზე. ხარჯების ასეთი სწრაფი ცვლილების

დროს, ბიფეებში წარმოიშვება ღონეების დაუმყარებელი ცვალებადობა, რის გამოც ბიფეების ღონეები და დაწნევები არ გამოიხატება წინა პარაგრაფში გამოყვანილი დამოკიდებულებებით.

ამ პარაგრაფში ჩვენთვის საინტერესოა სადგურის დატვირთვის უეტრად მომატება. საერთოდ, დღელამურ რეგულირებას, ცხადია, შეიძლება ადგილი ჰქონდეს „ხარჯების დეფიციტის“ პერიოდში, ვინაიდან დანარჩენ შემთხვევაში ნაკადის ხარჯი მეტია ტურბინის გამტარუნარიანობაზე. სადგური ამ დროს მუშაობს სრულ შესაძლო დაწნევის სიმძლავრეზე და დღელამური რეგულირება საჭირო არ არის.

დაეუშვათ, რომ სადგური მუშაობს „ხარჯის დეფიციტის“ პერიოდში და ავითარებს ნაკადის სიმძლავრის შესაბამის ხანგრძლივ სიმძლავრეს; ვთქვათ, ეს სიმძლავრე არის 33 მგვტ, რომელიც 80%-იანი უზრუნველყოფისაა (ნახ. 93). მაშინ, ცხადია, ორი ტურბინა უნდა მუშაობდეს არასრულ სიმძლავრეზე. ამ დროს დაწნევა საკმაოდ დიდი და უდრის 9,5 მ, რომელიც გრაფიკზე 1 წერტილით არის აღნიშნული. ხანგრძლივი, ე. ი. სადგურის საშუალო დღელამური სიმძლავრე ტოლია $P=33$ მგვტ როგორც ეს წინათ იყო ნაჩვენები.

ახლა დაეუშვათ, რომ ორივე ტურბინა უეტრად ადიდებს თავის სიმძლავრეს დაწნევით განსაზღვრულ ზღვრამდე, ე. ი. 50 მგვტ-მდე და, გარდა



ნახ. 95. ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის უზრუნველყოფა მდგრადი დაწნევით (I ტიპი.)

ამისა, სრული სიმძლავრით მიეფერათ ქსელს მესამე ტურბინაც. სამ ტურბინას, დაწინეის მიხედვით, შეუძლია მოგვეცეს 75 მგვტ სიმძლავრე. სიმძლავრის მყისი გადიდება შესაძლებელია იმიტომ, რომ ქვედა ბიეფის დონე ხარჯის შომატებასთან ერთად უცებ არ აიწეებს. ამის შემდეგ, გადიდებული ხარჯის გამო, ქვედა ბიეფის დონე თანდათან იწყებს მატებას, ხოლო დანადგარის დაწინევა კი კლებას. სანამ ეს დაწინევა არ დაეცემა H_1 სიდიდემდე, მანამ ტურბინას კიდევ შეუძლია განავითაროს თავისი დადგენილი სიმძლავრე. როდესაც იგი H_1 -ზე ნაკლები გახდება, ტურბინის სიმძლავრე დაწინეის მიხედვით შემცირდება. ამრიგად, ტურბინის სიმძლავრე დაწინეის მიხედვით არის მყისი სიმძლავრე, რომელიც შეიძლება მოკლე დროში განვითარდეს. ცხადია, სამი ტურბინის სრული გამტარუნარიანობით ხანგრძლივი მუშაობის შედეგად მათი სიმძლავრე დაეცემა 63 მგვტ-მდე (ნახ. 93), რომელიც განისაზღვრება სიმძლავრის გრაფიკისა (რომელიც აგებულია ტურბინების ნებისმიერი რიცხვისათვის და მხედველობაშია მიღებული ტურბინების მქც) და დაწინეის მიხედვით სიმძლავრის გრაფიკის გადაკვეთით. ეს, როგორც ზემოთ იყო ნათქვამი, არის ხანგრძლივი სიმძლავრე. იგი მიიღება მას შემდეგ, რაც ქვედა ბიეფის დონე მიუახლოვდება დამყარებულ მდგომარეობამდე. ამრიგად, სამ ტურბინას შეუძლია მოგვეცეს:

1) „მყისი სიმძლავრე“ 75 მგვტ;

2) „ხანმოკლე სიმძლავრე“ ქვედა ბიეფის დონის ცვალებადობის პერიოდში 75 დან 63 მგვტ-მდე და

3) „ხანგრძლივი სიმძლავრე“ 63 მგვტ მას შემდეგ, რაც ქვედა ბიეფში ახალი დონე დამყარდება. ამ სიმძლავრეს აგრეგატები მოგვეცემენ მთელი დროის განმავლობაში, სანამ მათ სრული დატვირთვა ექნებათ.

63 მგვტ-ის ქვემოთ სიმძლავრე დაეცემა მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ქვედა ბიეფში ხარჯი გახდება უფრო მეტი, ვიდრე სამი ტურბინის გამტარუნარიანობაა, ე. ი. თუ გადიდება მდინარის ჩანადენი და ზედმეტი წყალი გაშვებული იქნება სათაფიდან. ამას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს დიდი ხარჯების დროს, როდესაც ხანგრძლივი სიმძლავრე კლებას იწყებს; მაგრამ ამას ჩვენ შემთხვევაში ადგილი არ ექნება, ვინაიდან შევთანხმდით, რომ წყალდენს აქვს ისეთი ხარჯი და სიმძლავრე, რომელიც 80%-იან უზრუნველყოფას შეესაბამება. სიმძლავრის გადიდებას კი შესაძლებლად ვთვლით მხოლოდ დღესდღეობის რეგულირების დროს ზედა ბიეფში დაგროვილი წყლის მარაგის გამოყენების ხარჯზე. ზედა ბიეფის ზომებს აქ ვვულისხმობდით იმდენად დიდს, რომ მხედველობაში არ ვიღებდით მისი დონის დაცემას, ვთვლიდით რა მას მუდმივად.

ანალოგიურად, ოთხ ტურბინაზე უეცარი დატვირთვის აღების დროს შეიძლება მივიღოთ:

1) მყისი სიმძლავრე 100 მგვტ;

2) ხანმოკლე სიმძლავრე, რომელიც დაეცემა 100-დან 71 მგვტ-მდე და

3) ხანგრძლივი სიმძლავრე 71 მგვტ.

სულ სხვა პირობებშია I და II ტურბინა. მათი მყისი სიმძლავრე იგივეა რაც ხანგრძლივი სიმძლავრე. მაგალითად, ორი ტურბინა მიიღებს რა 50 მგვტ სიმძლავრის დატვირთვას, შეუძლია ეს დატვირთვა ხანგრძლივად შეინარჩუნოს, ვინაიდან დაწინეის შემცირების შემთხვევაში ისინი განაგრძობენ დადგენილი სიმძლავრის შენარჩუნებას მიმმართველი აპარატის დამატებითი ვალდებით.

აგრეგატის დადგენილი სიმძლავრე შეიძლება შევინარჩუნოთ მანამდე, სანამ დაწინევა არ დაეცემა H_1 -ზე დაბლა. 93-ე ნახაზზე გამოსახული გრაფი-

კით 42%-იან უზრუნველყოფას შეესაბამება დაწნევა $H=H_1=8,2$ მ და სიმძლავრე $P=54$ მგვტ. ცხადია, რომ იმ პერიოდში, როდესაც ნაკადის სიმძლავრე 54 მგვტ-ზე მეტია, სადგურს შეუძლია მიიღოს და ხანგრძლივად შეინარჩუნოს სიმძლავრე 54 მგვტ-მდე. დიდი სიმძლავრეები მას შეუძლია აიღოს მხოლოდ მოკლე დროში, რომლის ხანგრძლიობა განისაზღვრება დანადგარის ბიეფებში დაუმყარებელი მოძრაობისა და მისი დაწნევის ცვალებადობის რთული გაანგარიშებით.

§ 43. ჰიდროელსადგურების დაწყობა სიმძლავრის მდგრადობის მიხედვით

სადგურის სიმძლავრისა და დაწნევის ზემოხსენებული ცვალებადობა, სხვადასხვა სადგურებზე სხვადასხვა ზომისაა, ამიტომ ყველა დანადგარი შეიძლება შემდეგ სამ ტიპად იქნეს დაყოფილი მათი უმცირესი დაწნევის მიხედვით.

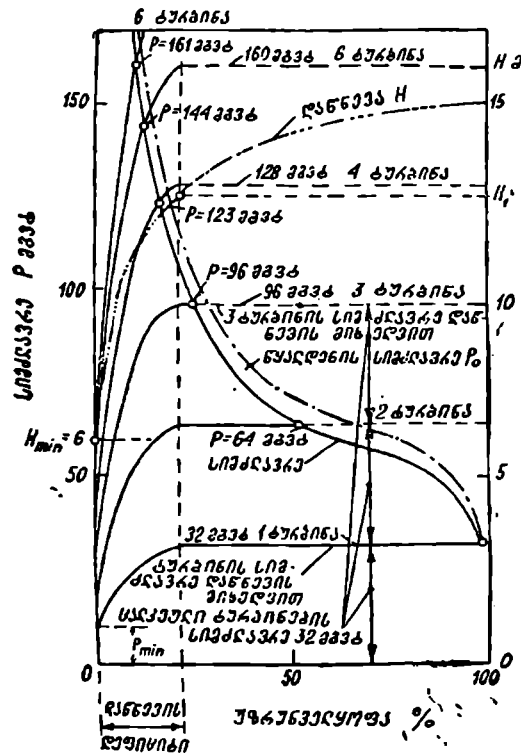
I ტიპი — $H_{min} = H_1$ (დაწნევა არასდროს არ ეცემა H_1 -ზე დაბლა). ეს სადგურები დაწნევისა და სიმძლავრის მიხედვით არის მდგრადი. მათ მაღალი და საშუალო დაწნევის სადგურები მიეკუთვნება.

სადგურების ეს ტიპი ხასიათდება შემდეგოთვსებებით:

1) ტურბინების სიმძლავრე დაბალი დაწნევების პერიოდში არ მცირდება (იხ. გრაფიკი 95-ე ნახაზზე, რომელზედაც არ არის „წნევის დეფიციტი“-ის პერიოდი);

2) ყველა ტურბინას მინიმალურ დაწნევაზე ერთდროულად მუშაობის დროს შეუძლია განავითაროს თავისი სრული სიმძლავრე;

3) ჰიდროელსადგურს ნებისმიერ დაწნევაზე შეუძლია მიიღოს და ხანგრძლივად შეინარჩუნოს ნებისმიერი დატვირთვა თავისი დადგენილი სიმძლავრის ფარგლებში, თუ იგი უზრუნველყოფილი იქნება წყლის აუცილებელი ხარჯით.

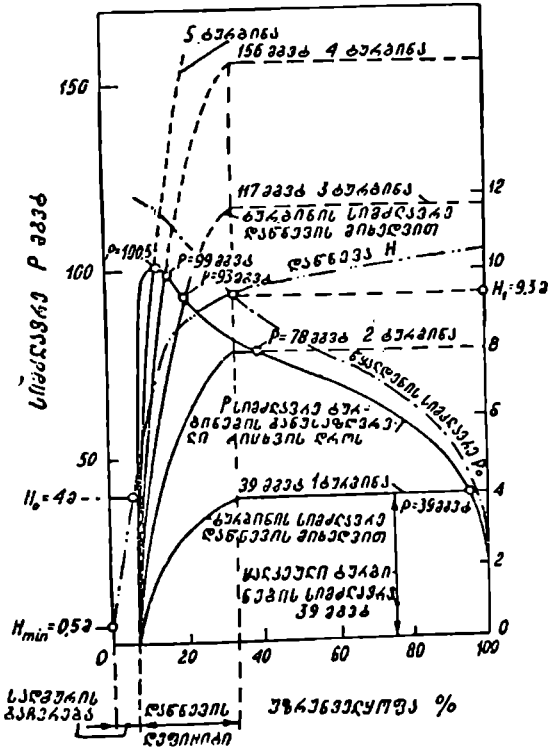


ნახ. 96. ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის უზრუნველყოფა ცვლადი დაწნევით (II ტიპი).

II ტიპი — $H_2 > H_{min} > H_0$ (დაწნევა ეცემა H_1 -ზე დაბლა, მაგრამ არასდროს არ შემცირდება H_0 -მდე); ესენი არიან ცვლადი დაწნევის სადგურები, რომელთა სიმძლავრეები დაბალი დაწნევის დროს მცირდება, მაგრამ არასდროს ნულის ტოლი არ გახდება (ნახ. 96).

ამ ტიპის სადგურების თვისებები შემდეგია;

- 1) ტურბინების სიმძლავრე დიდი ხარჯებისა და დაბალი დაწნევის დროს დადგენილ სიმძლავრესთან შედარებით შიშვდება;
- 2) სადგურის ხანგრძლივი სიმძლავრე ნაკლებია მის მყის სიმძლავრეზე.



ნახ. 97. ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის უზრუნველყოფა დაწნევის სწრაფად შემცირების დროს (III ტიპი).

III ტიპი — $H_{min} \leq H_0$ (დაწნევა ეცემა H_0 -ზე დაბლა). ამ სადგურების სიმძლავრე ეცემა ნულამდე, დაწნევის H_0 -ზე დაბლა დაცემის დროს. ეს სადგურები ძალიან დიდი ხარჯების დროს ჩერდება (ნახ. 97).

დანარჩენ შემთხვევაში მათ აქვთ II ტიპის სადგურების თვისებები.

§ 44. წლის განმავლობაში სადგურების მუშაობის გამოკვლევა ჯდა ბიუროს დონის ცვალებადობის დროს

ჰიდროელსადგურების სიმძლავრის ცვალებადობის ყველა შემთხვევაში განხილული საკითხი წყალდენის რეჟიმის ცვლილების დროს შესწავლილი იყო ან ზედა ბიუროს დონის მუდმივობის, ან მისი ისეთი ცვალებადობის დროს, რომელიც დამოკიდებულია ნაქადის ხარჯზე (მაგალითად, წყალმეტრის გატარების დროს). ამ შემთხვევაში ზედა და ქვედა ბიუროების დონეების მდგომარეობა

დამოკიდებულია მხოლოდ წყლის ხარჯზე. ეს შესაძლებლობას იძლეოდა სიმძლავრის რხევის ამოცანა გადაგვეწყვიტა როგორც ხარჯის ერთნიშნა ფუნქცია.

თუ ჰიდროელსადგურის ზედა ბიეფი გამოყენებულია საკუთარ წყალსაცავად ნაკადის რეგულირებისათვის, მაშინ მისი დონე იცვლება აესების ან დაკლის პერიოდში და არ არის დამოკიდებული სადგურის მიერ გამოყენებული ხარჯის სიდიდეზე. სხვა სიტყვებით, გამოყენებული ხარჯის თუნდაც მუდმივობის დროს, ზედა ბიეფის დონე შეიძლება შემცირდეს ან გადიდდეს თავისი ცვალებადობის ამპლიტუდის ფარგლებში.

ასეთი ჰიდროელსადგურებისათვის უკვე არ შეიძლება დავამყაროთ რაიმე განსაზღვრული დამოკიდებულება დაწნევისა და ხარჯს შორის.

ჰიდროელსადგურის მუშაობის ანალიზი ცვლადი ხარჯისა და დაწნევის დროს ამ შემთხვევაში საჭიროა ჩატარდეს დაწნევის, ხარჯისა და სიმძლავრის ცვალებადობის წლიური ქრონოლოგიური გრაფიკების საშუალებით, ვინაიდან უზრუნველყოფის მრუდებით სარგებლობა უკვე შეუძლებელია.

ასეთი გამოკვლევის მაგალითი ნაჩვენებია 98-ე ნახაზზე, სადაც მოცემულია ასეთი გრაფიკების აგება მდ. ვოლგაზე დაპროექტებული ჰესის ერთ-ერთი ვარიანტისათვის.

დანადგარის წყალსაცავი გამოყენებულია ჩანადენის წლიური რეგულირებისათვის შემდეგი სქემით. გაზაფხულზე წყალსაცავი ივსება უმალეს ნიშნულამდე 82.0 მ და ეს დონე მუდმივია მანამ, სანამდე მდ. ვოლგას ხარჯები არ დაეცემა 900 მ³/სეკ-მდე, ე. ი. იმ ხარჯამდე, რომელიც საჭიროა ნაოსნობის სიღრმისათვის ჰიდროელსადგურის ქვემოთ (ნახ. 98, ა და დ).

ნაოსნობის პერიოდის განმავლობაში წყლის მუდმივ ხარჯს ინარჩუნებენ, რის გამოც წყალსაცავში წყლის დონე არ ეცემა 80,0 მ-ზე დაბლა, რომ ამით არ შემცირდეს ნაოსნობისათვის საჭირო სიღრმე ზედა ბიეფში. ნაოსნობის პერიოდში ხარჯი შეადგენს 900 მ³/სეკ, რაც უზრუნველყოფს ნორმალურ ნაოსნობას ქვედა ბიეფში.

1957 წლის შემოდგომის წყალმეტობა ნოემბერში რამდენადმე აესებს წყალსაცავს ისე, რომ ნაოსნობის ბოლოს მასში წყლის ნიშნული აღწევს 80,2 მ. ზამთარში ამ დონეს ინარჩუნებენ თებერვლის ბოლომდე — მარტის დასაწყისამდე. დარეგულირებული ხარჯი ზამთარში მცირდება 600 მ³/სეკ-მდე. წყალსაცავის დანარჩენი მოცულობა 78,0 ნიშნულამდე იხარჯება მეორე წყალმეტობამდე, ე. ი. აპრილის დასაწყისამდე, რომლის შემდეგ იწყება წყალსაცავის აესება წყალმეტობის ხარჯზე. შეიძლება წყალსაცავი დაგვეცალა თანაბრად ზამთრის განმავლობაში, რაც მოგვეცემდა ზამთრის ხარჯის გადიდებას, მაგრამ ამ დროს ენერჯის გამომუშავება შემცირდებოდა დაწნევის შემცირების შედეგად.

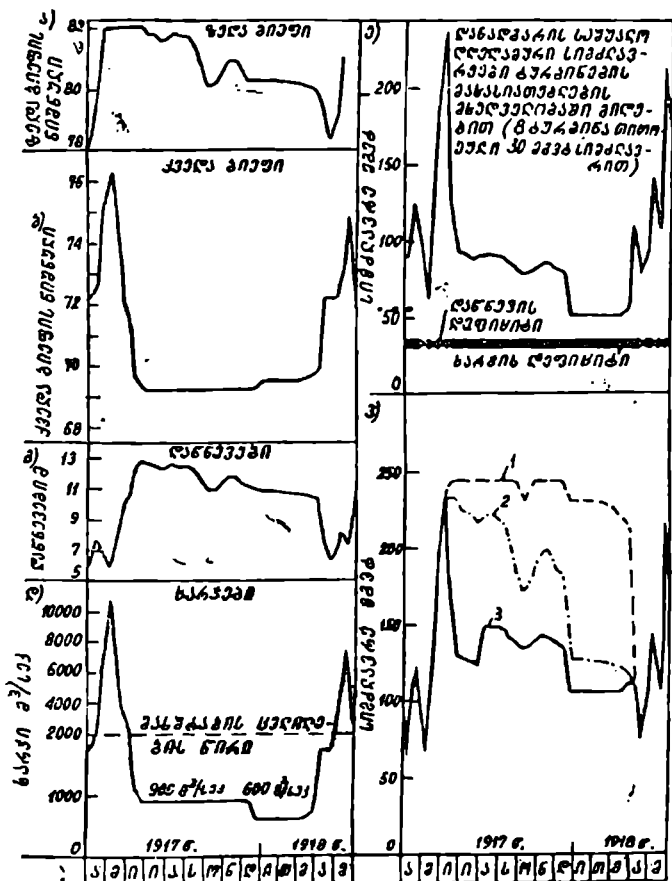
98-ე ნახაზის ა და დ გრაფიკებზე მოცემულია ზედა ბიეფისა და დარეგულირებული ხარჯების ცვალებადობა, ხოლო 98, ბ ნახაზის გრაფიკზე — ქვედა ბიეფის დონის ცვალებადობა, რომელიც შეესაბამება წყლის დარეგულირებულ ხარჯს და ავებულია ხარჯის მრუდით სადგურის კვეთში ღია არხისათვის, როდესაც იგი თავისუფალია ყინულისაგან და ზამთრის მრუდით, გაყინვის პერიოდისათვის.

ზედა და ქვედა ბიეფების ნიშნულთა სხვაობა იძლევა სადგურის დაწნევის სიდიდეს, რომლის ცვალებადობის გრაფიკი მოცემულია 98-ე ნახაზზე.

დავუშვათ, რომ სადგურში დგას რვა ტურბინა თითოეული 30 მეგვტ სიმძლავრით.

თუ ტურბინის მახასიათებელს გამოვიყენებთ, შეიძლება ავაგოთ სადგურის საშუალო დღელამური სიმძლავრის გრაფიკი (ნახ. 98, ე), რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$F = 9,81 Q H \eta \text{ კვტ.}$$



ნახ. 98. ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის, წყლის ხარჯისა და ზედა და ქვედა ბიუჯეტების დონეების წლიური ცვალებადობის გრაფიკები.

თუ ამ გამოთვლით მიღებული სიმძლავრე აღემატება რვა ტურბინის სიმძლავრეს, მაშინ სიმძლავრის სიდიდე აიღება ტურბინების მიხედვით (დაწინების დეფიციტის პერიოდი).

საშუალო დღელამური სიმძლავრეების წლიური გრაფიკის ფართობი იძლევა ენერჯის წლიურ გამოშვებებს.

გარდა დღელამური საშუალო სიმძლავრისა, საინტერესოა 98, ე გრაფიკზე მოცემული სიმძლავრე.

1. მყისი სიმძლავრე დაწინებით, ე. ი. ის სიმძლავრე, რომელიც შეიძლება მოგვეცეს სადგურმა დატვირთვის უცრალ მომატების დროს მოკლე

დროში (ნახევარ საათამდე). ეს სიმძლავრე ახასიათებს ამ სადგურის უნარს შეასრულოს სიმძლავრის მყისი მარაგის როლი ენერგოსისტემის სხვა სადგურების ავარიის შემთხვევაში. დროთა განმავლობაში, ქვედა ბიეფის დონის აწვევის ან შესაძლებელია ზედა ბიეფის დონის დაწვევის გამო, ეს სიმძლავრე შეიძლება შემცირდეს ცნობილ ზღვრამდე, ე. ი. ხანგრძლივ სიმძლავრემდე (ნახ. 98, ვ, 1 წირი).

2. ჰიდროელსადგურის ხანგრძლივი სიმძლავრე. სადგურს შეუძლია ეს სიმძლავრე განავითაროს ხანგრძლივად, თუ იგი იმუშავებს ყველა რვა ტურბინის სრულ გაღებაზე. ამ დროს დამყარდება ისეთი დაწნევა, რომელიც შესაბამება ზედა ბიეფის დონის მდებარეობას და ქვედა ბიეფის იმ დონეს, რომელიც ტურბინებში გატარებული ხარჯის შესაბამისია. თუ ტურბინის გამტარუნარიანობის მახასიათებელს გამოვიყენებთ, ეს სიმძლავრე შეიძლება გავზომოთ შერჩევით. ხანგრძლივი სიმძლავრე ახასიათებს სადგურის უნარს მიიღოს ხანგრძლივი მომატებული დატვირთვები—მისი პიკები, რომლებიც გრძელდებიან რამდენიმე საათს ან გადიდებული დატვირთვები სხვა სადგურის ავარიის შემთხვევაში (ნახ. 98, ვ, 2 წირი).

3. სიმძლავრე, რომელიც მონაწილეობს ენერგოსისტემის პიკების დაფარვაში. ეს სიმძლავრე განისაზღვრება (იხ. თავი IX, §62) სადგურის მოსალოდნელი დღელამური დატვირთვის გრაფიკიდან ყოველდღიურად (ნახ. 98, ვ, 3 წირი).

წყლის დიდი ხარჯების პერიოდში, ცხადია, ყველა რვა ტურბინა შეიძლება მთლიანად იყოს დატვირთული და მთელი დღე-ღამის განმავლობაში მუშაობდეს მაქსიმალური გამტარუნარიანობით, ე. ი. შეუძლია მონაწილეობა მიიღოს დატვირთვების გრაფიკის დაფარვაში მთელი თავისი ხანგრძლივი სიმძლავრით, რომელიც ამავე დროს უდრის საშუალო დღელამურ სიმძლავრეს. სიმძლავრის მყისი მომატება ამ დროს შეუძლებელია. გრაფიკზე ეს გამოიხატება ყველა ხაზის ერთმანეთზე დამთხვევით, რაც შესაბამება სადგურის მონაწილეობას დატვირთვის გრაფიკის დაფარვაში.

დანარჩენ დროში სადგურის ხანგრძლივი სიმძლავრისა და მისი დატვირთვის პიკის სიმძლავრეთა სხვაობა წარმოადგენს თავისუფალ სიმძლავრეს. ეს სიმძლავრე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც ენერგოსისტემის მარაგი. ამავე დროს მანქანების ნაწილი შეიძლება გაჩერდეს დათვალეობის ან შეკეთების მიზნით.

განხილულ მაგალითში სადგურის მონაწილეობა დატვირთვის პიკების დაფარვაში ნაოსნობის პერიოდში შეზღუდული იყო იმ პირობით, რომ მთელი დღე-ღამის განმავლობაში მდინარეში აუცილებლად უნდა ყოფილიყო მუდმივი ხარჯი არანაკლებ 900 მ³/სეკ-ისა ისე, რომ არ დაგვეშვა დღელამური რეგულირება. ამ მინიმუმის შესაბამისი სიმძლავრე არ შეიძლებოდა გამოყენებული ყოფილიყო გრაფიკის პიკის დასაფარავიდ (დღელამური რეგულირების შეზღუდვა ნაოსნობის მოთხოვნილებით). ამიტომ ნაოსნობის პერიოდში თავისუფალი სიმძლავრე განსაკუთრებით დიდია. ნაოსნობის შეზღუდვების არარსებობის დროს სადგურის მონაწილეობა დატვირთვების პიკების დაფარვაში შეიძლებოდა ძალიან დიდი ყოფილიყო.

ზამთრის პერიოდში (იანვარი-მარტი), როდესაც საშუალო დღელამური სიმძლავრე უდრის 51 მგვტ-ს, სადგურის მაქსიმალური დატვირთვა აღწევს 105 მგვტ-ს და გამოყოფენებული სიმძლავრე რჩება 20 მგვტ-მდე. ამ დროს ნაოსნობის პირობებით დღელამური რეგულირების შეზღუდვას ადგილი არა აქვს.

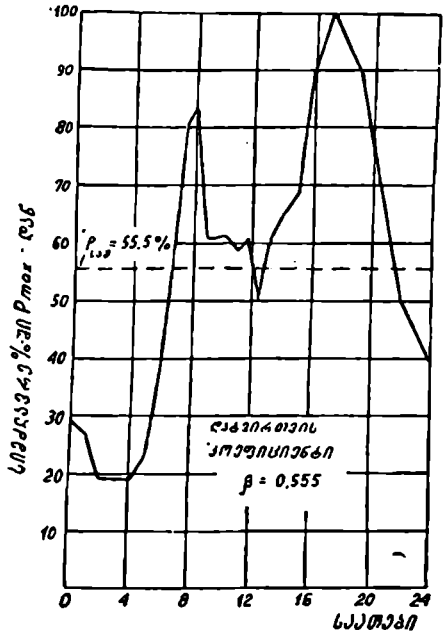
წყლის ხარჯების დღელამური რეგულირება

§ 45. მენაგის მოხმარება და დატვირთვის გრაფიკები

ჰიდროელსადგურის მიერ დღე-ღამეში გამომუშავებული ენერგია განისაზღვრება წყალდენის საშუალო დღელამური $P_{\text{წ}}'$ სიმძლავრით და, ცხადია, 24 P_წ ტოლია. თუ ენერგიით მომარაგებული რაიონის დატვირთვა დღე-ღამის განმავლობაში მუდმივია, მაშინ ჰიდროელსადგურიდან მოთხოვნილი იქნებოდა მუდმივი სიმძლავრე; ამ შემთხვევაში ჰიდროელსადგურს უნდა ემუშავა დღე-ღამის განმავლობაში მუდმივი სიმძლავრით, რომელიც ნაკიდის საშუალო დღელამური სიმძლავრის ტოლი იქნებოდა თუ, რასაკვირველია, ეს უკანასკნელი არ გადააპარბებს სადგურში დადგმული აგრეგატების სიმძლავრეთა ჯამს. წყალზე პერიოდში, როდესაც წყალდენის სიმძლავრე ჰიდროელსადგურის დადგენილ სიმძლავრეზე მეტია, ჰიდროელსადგურს შეეძლო ემუშავა მთელი თავისი სიმძლავრით 24 საათის განმავლობაში და ზედმეტი წყალი გაეშვა მდინარეში ტურბინების გარეშე.

სინამდვილეში ენერგიის მოხმარება დღე-ღამის განმავლობაში ცვალებადია. დატვირთვის ეს ცვალებადობა გამოსახულია მისი დღელამური გრაფიკით. ჩვენ არ შევჩერდებით დატვირთვის გრაფიკების აგების მეთოდებზე, რომლებიც მოყვანილია სპეციალურ სახელმძღვანელოებში, მაგრამ აღვნიშნავთ მხოლოდ მის ზოგიერთ თვისებას.

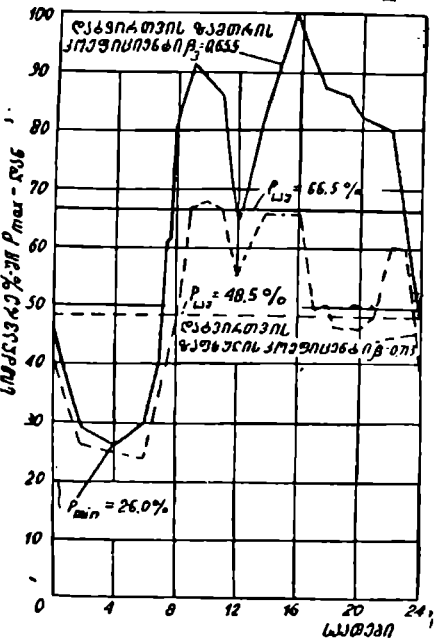
ენერგიის ყველა მომხმარებელი შეიძლება დაეყოთ შემდეგ სამ კატეგორიად:



ნახ. 99. დიდი ქალაქის დღელამური დატვირთვის გრაფიკი. ცხადად ჩანს განათების ჰიკური დატვირთვები

1. მუდმივი მომხმარებლები, რომელთა მოთხოვნილება ელექტროენერგიაზე წლის განმავლობაში მუდმივია. ამ კატეგორიას მიეკუთვნება სამრეწველო საწარმოთა უმეტესი ნაწილი, რომლებიც ენერგიას მთელი წლის განმავლობაში თანაბრად ხარჯავენ. ასეთი მომხმარებლების დატვირთვის გრაფიკი თითქმის მუდმივი რჩება წლის ყველა სამუშაო დღეში.

2. სეზონური მომხმარებლები, რომელთა დატვირთვის სეზონური ხასიათი აქვს, ე. ი. იგი ჩნდება წელიწადის გარკვეულ პერიოდში. ასეთი მომხმარებლებია, მაგალითად, მხოლოდ მორწყვის პერიოდში მომუშავე ტუბური დანადგარები ან ტორფის გადამმუშავებელი ქარხნები, რომლებიც ენერგიას მოითხოვენ მხოლოდ ზაფხულში ტორფის დამუშავების დროს, სასოფლო-სამეურნეო დატვირთვის ზოგიერთი სახე, მაგალითად, ლეწვა და ა. შ.



ნახ. 100. დიდი სამრეწველო ცენტრის დამუშავების ზამთრისა და ზაფხულის დღეები.

3. სეზონურად ცვლადი დატვირთვის მომხმარებლები; ასე, მაგალითად, სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტების გადამმუშავებელ საწარმოთა ზოგიერთი დარგი, საგარეუბნო რკინიგზა, წყალმომარაგება და განსაკუთრებით, განათება.

განათების დატვირთვა ძალიან ცვალებადია დღე-ღამისა და წლის განმავლობაში იმისდა მიხედვით, თუ როგორია ამინდი, როდის ამოდის და ჩადის მზე, როგორია მრეწველობისა და ცხოველბობის მუშაობის ხასიათი და ა. შ.

99—104 ნახაზებზე მოყვანილია დატვირთვის ტიპობრივი გრაფიკები სხვადასხვა რაიონებისათვის, მსხვილი სამრეწველო და დასახლებული პუნქტებისათვის. ზამთრის დღის დატვირთვის ტიპობრივი გრაფიკი სამრეწველო რაიონებისათვის, ჩვეულებრივ, ხასიათდება ორი მაქსიმუმით (პიკებით) და ორი მინიმუმით. დღის მინიმუმი დაახლოებით 12 საათზე შეესაბამება შესვენების პერიოდს სამრეწველო საწარმოებში; ამ დროს მცირდება აგრეთვე განათების დატვირთვა. ღამის მინიმუმი უფრო ღრმა და ხანგრძლივია, ვიდრე დღისა; იგი გამოწვეულია ყველა სახის დატვირთვის შეწყობით, მრეწველობის უმეტეს საწარმოთა შეჩერებით, ტრამვის, ტროლეიბუსისა და მეტროს მუშაობის შეჩერებით, განათების გამორთვით და ა. შ.

დილისა და საღამოს მაქსიმუმი გამოწვეულია უმთავრესად სამრეწველო და განათების დატვირთვების მომატებით. განათების დატვირთვა იძლევა მკვეთრ პიკებს. ნათელ დღეებში დილით ეს დატვირთვა ეცემა და წარმოქმნის ხან-

მოკლე პიკს. სალამოს წვეტიანი პიკების დაცემა გამოწვეულია ერთცვლიანი საწარმოების მუშაობის დამთავრებით; დატვირთვის ეს ცვლა კარგად არის ნაჩვენები ჩვენი ქვეყნის ერთ-ერთი ქალაქის ზამთრის დღის დატვირთვის გრაფიკზე (ნახ. 101).

ზაფხულში ენერჯის მოხმარება განათებისათვის მცირდება, ვინაიდან კლებულობს განათების ხანგრძლიობა და განათების მაქსიმუმის დრო გადაინაცვლებს. დღის განათების პიკები ქრებიან გაზაფხულზე, სალამოს განათების მაქსიმუმი კი გადაადგილდება უფრო გვიან საათებში. გაზაფხულის პიკს აქვს არა ორი, არამედ სამი პიკი—დღისა და ღამისა, გამოწვეული სამრეწველო დატვირთვით (სიდიდით კი ისინი თითქმის ტოლნი არიან) და სალამოს პიკი, რომელიც იწყება შემოღამებასთან ერთად. თუ ზამთრის სალამოს განათების პიკი 60° განედზე დეკემბრის მოღრუბლულ დღეებში 15—16 საათზე იწყება, ზაფხულში იგი გადაადგილდება 22—23 საათზე (ივნისი და ივლისი); შემოდგომაზე კი, პირიქით.

უფრო სამხრეთ განედებზე, სადაც დღესა და ღამეს შორის განსხვავება ზაფხულსა და ზამთარში უფრო ნაკლებია ვიდრე ჩრდილოეთში, ზამთრისა და ზაფხულის დატვირთვის გრაფიკებს შორის განსხვავება უფრო ნაკლებად იგრძნობა.

დატვირთვის გრაფიკები ხასიათდება შემდეგი პარამეტრებით. აღნიშნოთ გრაფიკის პიკის სიმძლავრე P_{max} -ით (ნახ. 100), ენერჯის რაოდენობა დღე-ღამეში, რომელიც გრაფიკის ფართობით იზომება— W სიდიდით. დატვირთვის გრაფიკის საშუალო დღელამური სიმძლავრე $P_{საშ}$ განისაზღვრება როგორც მუდმივი სიმძლავრე, რომელიც 24 საათის განმავლობაში W ენერჯის იგივე გამომუშავებას მოგვცემს, ე. ი.

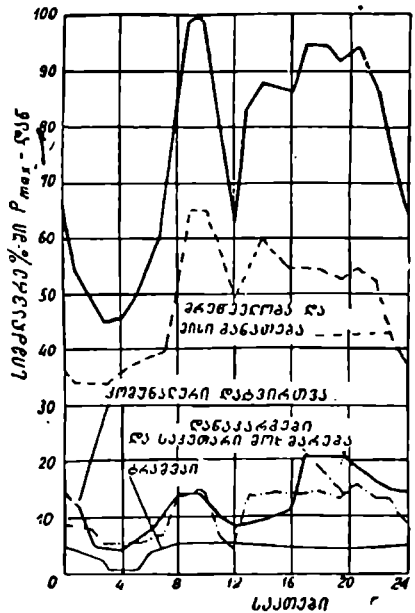
$$W = 24 P_{საშ}$$

ფარლობას

$$\beta = \frac{P_{საშ}}{P_{max}}$$

ვუწოდოთ მოცემული გრაფიკის დღელამური დატვირთვის კოეფიციენტი. ცხადია, შეიძლება დავწეროთ

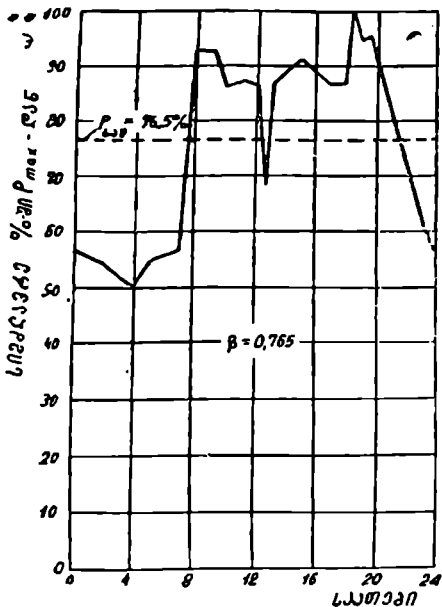
$$W = 24\beta P_{max}$$



ნახ. 101. დღელამური დატვირთვის გრაფიკი მოხმარებელთა ჯგუფად დაყოფით.

რაც უფრო თანაბრად ნაწილდება ენერჯის მოხმარება დღე-ღამეში, მით უფრო მეტია β კოეფიციენტის სიდიდე. ის გრაფიკები, რომლებსაც დიდი β აქვთ იწოდებიან მკვერივ გრაფიკებად (ნახ. 103). რაც მკვერივია გრაფიკი, მით უფრო მეტი ენერჯის რაოდენობა შეიძლება მივაწოდოთ მოხმარებლებს იმავე P_{max} სიძძავერის დროს და მით უფრო ხელსაყრელია ასეთი გრაფიკები სადგურისათვის.

როგორც აღვნიშნეთ, განათების დატვირთვა ხასიათდება შედარებით ხანმოკლე და მკვეთრი, წვეტიანი პიკებით, ე. ი. განათების დატვირთვის



ნახ. 102. სამრეწველო რაიონის დღელამური დატვირთვის გრაფიკი.

გრაფიკს აქვს ძალიან მკირე β კოეფიციენტი. სამრეწველო დატვირთვა კი ხასიათდება უფრო მაღალი β კოეფიციენტით; ამ დატვირთვიდან ორცვლიან საწარმოებს აქვს უფრო მაღალი β კოეფიციენტი, ვიდრე ერთცვლიანს; სამცვლიანი საწარმოსათვის კი ეს კოეფიციენტი გაცილებით მეტი იქნება. ყველაზე უფრო მაღალი, ერთთან ახლო, β კოეფიციენტი აქვს ე. წ. ენერგოტევალი საწარმოების დატვირთვის გრაფიკებს, ე. ი. ცელულოზის მუდმივმოქმედ ფაბრიკებს. მეტალურგიულ და ელექტროკიმიურ ქარხნებს (ალუმინის, ფეროშენადნობის, სპილენძის ან თუთიის ელექტროლიზისა და კიმიური სასუქების ქარხნები).

მრავალ რაიონულ ენერგოგაერთიანებაში შედის მთელი რიგი სხვადასხვა მოხმარებლები, სადაც განათება წარმოადგენს აუცილებელ შემადგენელ ნაწილს.

მთელი რიგი ხელოვნური

ლონისძიებებიდან, რომლებიც დატვირთვის კოეფიციენტს ამაღლებენ, შეიძლება აღვნიშნოთ შემდეგი:

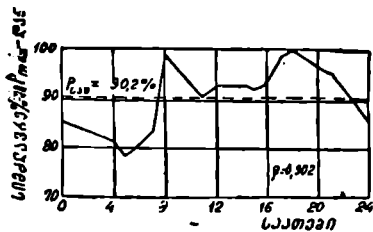
1. სამუშაო საათების გადაწევა წინ, რის შედეგადაც სამრეწველო საწარმოები მუშაობას იწყებს და ამთავრებს ადრე, მზის დროსთან შედარებით. ამიტომ სალამოს მაქსიმუმი გადაინაცვლებს უფრო დაგვიანებულ დროში, როდესაც სამრეწველო დატვირთვა დაცემას იწყებს; ამის შედეგად დატვირთვის ჯამური მაქსიმალური სიდიდე კლებულობს.

2. სამუშაოს დაწყებისა და დამთავრების საათების გადანაცვლება რაიონის სხვადასხვა საწარმოებში. ამის შედეგად სამრეწველო დატვირთვის ხანგრძლიობა მატულობს, ხოლო მისი მაქსიმუმი მკირდება.

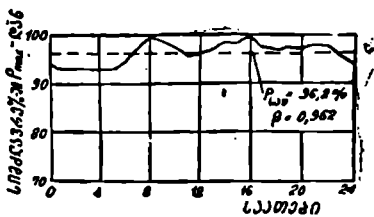
3. სამრეწველო საწარმოებში შესვენების საათების შენაცვლება, რითაც მკირდება დღის მინიმუმის სიღრმე.

4. გარდა ამისა, მრეწველობისათვის ხშირად დგება კალენდარი, რომლის მიხედვით ცალკეული ქარხნებისა და ფაბრიკების დასვენების დღეები თანაბრად ნაწილდება მთელი კვირის განმავლობაში. ამით შეიძლება მივაღწიოთ ყოველდღიური მაქსიმუმის შემცირებას და კვირა დღის დატვირთვის მომატებას.

თუ შევადარებთ, ერთი მხრივ, მოსკოვისა და ლენინგრადის და, მეორე მხრივ, დასავლეთ ევროპის მსხვილი სამრეწველო ცენტრების დატვირთვის გრაფიკებს, ჩვენ დაინახავთ მკვეთრ განსხვავებას ამ გრაფიკების სიმკვრივე-



ნახ. 103. მსხვილი გაერთიანების (მეტალურ-გიჟული და ქვანახშირის მრეწველობის) დღელამური დატვირთვის გრაფიკი.

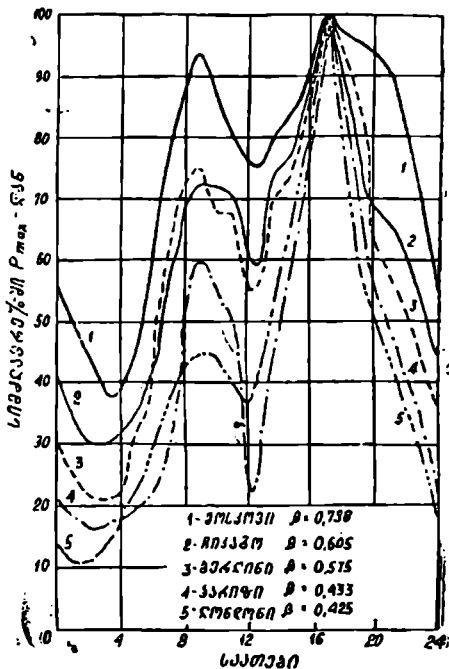


ნახ. 104. ელექტროტექნიკური მრეწველობის დღელამური დატვირთვის გრაფიკი.

ში. განსაკუთრებით დაბალი β კოეფიციენტი აქვს პარიზის დატვირთვის გრაფიკს, სადაც დიდ როლს ასრულებს განათების დატვირთვა (რეკლამა).

105-ე ნახაზზე მოცემულია დატვირთვის გრაფიკები მსოფლიოს მსხვილი ქალაქებისათვის ისეთ მასშტაბში, რომ მათ მაქსიმუმებს აქვს ერთი და იგივე მნიშვნელობანი (100%). ყველაზე უფრო მკვრივია მოსკოვის დატვირთვის გრაფიკი. გრაფიკის ღამის ჩავარდნის სიღრმე განისაზღვრება დღელამური მინიმალური სიმძლავრით: $P_{min} = \alpha P_{max}$ კოეფიციენტი β , ჩვეულებრივ, შეადგენს 0,25—0,40; რაც უფრო მეტია იგი, მით მკვრივია გრაფიკი, ე. ი. მით მეტია β .

ჰიდროელსადგური იშვიათად მუშაობს განცალკევებულ მომხმარებელზე. დიდი ჰიდროელსადგურები თავის ენერჯიას აწვდის რაიონულ ენერჯოსისტემას, რომელშიაც მუშაობს მაღალძაბვიან ქსელში გაერთიანებული რამდენიმე ელექტროსადგური. მაგალითისათვის შეიძლება დავასახელოთ ლენინგრადის ენერჯოსისტემა (ლენენერგო), რომელშიაც შედის ჰიდრო-და თბოსადგურები; გამოირკვეა, რომ ამ ენერჯოსისტემაში ჰიდროელსადგურების სიმძლავრე ნაკლებია ვიდრე დატვირთვის გრაფიკის მაქსიმუმში, ამიტომ ჰიდროელსადგურებს შეიძლება დაეთმოს დატვირთვის გრაფიკის ნებისმიერი ნაწილი.



ნახ. 105. მსოფლიოში უდიდესი ქალაქების ზამთრის დღელამური დატვირთვის გრაფიკების შედარება.

დატვირთვის გრაფიკში შეიძლება გავარჩიოთ სამი ნაწილი:

1) გ რ ა ფ ი კ ი ს ბ ა ზ ი ს ი, ანუ გრაფიკის ის ნაწილი, რომელიც დღე-ღამის P_{min} მინიმალური სიმძლავრის ქვემოთ არის მოთავსებული. გრაფიკის ამ ნაწილში დატვირთვა მუდმივია მთელი 24 საათის განმავლობაში;

2) გ რ ა ფ ი კ ი ს შ უ ა ნ ა წ ი ლ ი (ნახევრად პიკური ნაწილი), რომელიც მოთავსებულია მინიმალურსა და $P_{საა}$ საშუალო დღელამურ სიმძლავრეთა შორის.

3) გ რ ა ფ ი კ ი ს პ ი კ უ რ ი ნ ა წ ი ლ ი, ე. ი. ის ნაწილი, რომელიც მოთავსებულია საშუალო დღელამური სიმძლავრის ზემოთ.

თუ ჰიდროელსადგურის მთელი სიმძლავრე მოთავსდება დატვირთვის გრაფიკის ბაზისში, მაშინ ასეთ ჰიდროელსადგურს შეუძლია იმუშაოს მუდმივი სიმძლავრით მთელი 24 საათის განმავლობაში. ჰიდროელსადგურები, რომლებიც გრაფიკის შუა ან პიკურ ნაწილში მუშაობენ, არ შეიძლება უზრუნველყოფილ იქნეს მუდმივი დატვირთვებით მთელი დღე-ღამის განმავლობაში. იმისდა მიხედვით აქვს თუ არა ჰიდროელსადგურს წყალსაცავი დღელამური რეგულირებისათვის და როგორი მოცულობისაა ეს წყალსაცავი, შეიძლება მივცეთ მას დატვირთვის გრაფიკის ესა თუ ის ნაწილი. თუ ჰიდროელსადგურს არა აქვს წყალსაცავი და დღელამურ რეგულირებაზე მუშაობის შესაძლებლობა, მაშინ მას ყოველთვის უნდა მივცეთ დატვირთვის გრაფიკის ის ნაწილი, რომელშიაც უზრუნველყოფილია მისი სიმძლავრისა და გამომუშავებული ენერჯიის სრული გამოყენება დღე ღამის ყველა საათში, ე. ი. უნდა მივცეთ დატვირთვის გრაფიკის ბ ა ზ ი ს ი. ამ დროს, ცხადია, მას შეუძლია განავითაროს წყალდენის სიმძლავრის ტოლი სიმძლავრე მქკ-ის მხედველობაში მიღებით; აღენიშნათ ეს სიმძლავრე $P_{ფ-თი}$. თუ რომელიმე დღეს სიმძლავრე $P_{ფ}$ მცირეა დადგენილ $P_{ფ}$ სიმძლავრეზე, ე. ი. ყველა მანქანის ჯამურ სიმძლავრეზე, მაშინ ($P_{ფ} - P_{ფ}$) სიმძლავრის ნაწილი რჩება გამოუყენებელი. ჰიდროელსადგურის დადგენილი სიმძლავრის სრული გამოყენება შეიძლება მხოლოდ წყალუხვ პერიოდში, როდესაც წყალდენის სიმძლავრე ჰიდროელსადგურის დადგენილ სიმძლავრეზე ნაკლები არ იქნება, ე. ი. $P_{ფ} \geq P_{ფ}$.

თუ ამ დროს $P_{ფ}$ სიმძლავრე მეტია, ვიდრე დატვირთვის გრაფიკის P_{min} სიმძლავრე, მაშინ ჰიდროელსადგური შესძლებს არა მარტო დატვირთვის ბაზისის მოხსნას, არამედ გრაფიკის გარკვეული ნაწილის დაფარვასაც, რომელიც P_{min} -ის ზემოთ იქნება მოთავსებული. დატვირთვის მინიმუმის საათებში, ამ შემთხვევაში, იძულებული ვართ დაეკარგოთ წყლის ენერჯიის ნაწილი. ეს დანაკარგები უფრო მეტი იქნება, თუ ასეთ ჰიდროელსადგურს მიეცემოდით გრაფიკის მხოლოდ პიკურ ნაწილს.

ჰიდროელსადგურს, ბაზისზე მუშაობის დროს, შეუძლია სისტემას მისცეს წყალდენის სიმძლავრე, მაგრამ არა-უმეტეს $P_{ფ}$ -სი (რაც თავისთავად ცხადია). სიმძლავრის დანარჩენი ნაწილი, ე. ი. ($P_{max} - P_{ფ}$) უნდა უზრუნველყოფილ იქნეს სისტემის სხვა სადგურებით. წლის ყველაზე უფრო წყალმცირე დღეს წყალდენი უზრუნველყოფს უმცირეს $P_{ფ min}$ სიმძლავრეს. ამრიგად, სიმძლავრის დანარჩენი ნაწილი, ე. ი. ($P_{max} - P_{ფ min}$) უნდა იყოს სისტემის სხვა სადგურების სიმძლავრე, რომელიც საკიროა მაქსიმალური დატვირთვის უზრუნველსაყოფად. ამის გამო, სისტემაში უნდა იყოს (რეზერვის ჩაუთვლელად) სიმძლავრე არანაკლები:

ა) ჰიდროელსადგურზე .

P_e ,

ბ) სხვა სადგურებზე .

$P_{max} - P_{\text{წმინ}}$

ჯამში კი $P_{max} + P_e - P_{\text{წმინ}}$.

ვინაიდან $P_e > P_{\text{წმინ}}$, ამიტომ სისტემის ჯამური სიმძლავრე უნდა იყოს გრაფიკის მაქსიმალურ P_{max} დატვირთვაზე მეტი ($P_e - P_{\text{წმინ}}$) სიდიდით.

ეს მდგომარეობა გვიჩვენებს, რომ ჰიდროელსადგურებმა, რომლებსაც არა აქვთ დღელამური რეგულირების უნარი, არ არის ხელსაყრელი იმუშაონ ბაზისზე, ვინაიდან ეს გამოიწვევს:

1) სისტემის სადგურების სიმძლავრეების გაზრდას ზათი დატვირთვის მაქსიმუმზე მეტად და

2) წყლისა და ენერჯიის დაკარგავს დატვირთვების მინიმუმის პერიოდში, როდესაც წყალდენის სიმძლავრე $P_{\text{წმინ}}$.

წყლის დაკარგვა დატვირთვის მინიმუმის საათებში შეიძლება თავიდან ავიცილოთ მხოლოდ დღელამური რეგულირებით. დატვირთვის მინიმუმის საათებში დაგროვილი ზედმეტი წყალი შეიძლება გამოვიყენოთ მაქსიმალური დატვირთვების პერიოდში; თუ მას ტურბინებში გავატარებთ, შეიძლება მივიღოთ დამატებითი სიმძლავრე, რომლითაც დაეფარავთ გრაფიკის პიკებს. ამ შემთხვევაში, ჰიდროელსადგურს შეუძლია სისტემას მისცეს ისეთი სიმძლავრე, რომელიც მეტი იქნება წყალდენის საშუალო დღელამური $P_{\text{წმინ}}$ სიმძლავრეზე. ეს გამოიწვევს სიმძლავრეების შემცირებას სისტემის სხვა სადგურებზე, ვინაიდან მათი ჯამური სიმძლავრე ამ შემთხვევაში იქნება ($P_{max} - P_1$), მაშინ როდესაც დღელამური რეგულირების უქონლობის შემთხვევაში მათზე საჭირო იყო ($P_{max} - P_{\text{წმინ}}$).

აქ P_1 -თი აღნიშნულია ჰიდროელსადგურის მიერ დღელამური რეგულირების დროს დროულრეგულირებადი სიმძლავრე წყალმციბრე დღეში, როდესაც ნაკადის დღელამური საშუალო სიმძლავრე ტოლია $P_{\text{წმინ}}$. ამ დროს, თუ წყალსაცავის მოცულობა საკმარისია დატვირთვის მინიმუმის საათებში გამოუყენებელი წყლის დასაგროვებლად, მაშინ ამ მარაგის მთელი ენერჯია შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დატვირთვის მაქსიმუმის საათებში. ამრიგად, ამ შემთხვევაში, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს წყალდენის მთელი ენერჯია დღელამეში, ე. ი. $24P_{\text{წმინ}}$ -ს, მაშინ როდესაც დღელამური რეგულირების გარეშე დაგროვებით მისი ენერჯიის ნაწილს, რომელიც 107-ე ნახაზზე დამტრისხული ფართობითაა მოცემული დღელამური გრაფიკის ჩაეარდნის არეში.

ზემოთ თქმულის თანახმად ცხადია, რომ დღელამური რეგულირების დროს უნდა მივიწრაფოდეთ არა მარტო იმისაქენ, რომ არ დაეკარგოთ ენერჯიის გამოუმუშავება, არამედ უნდა მივალწიოთ სადგურის სიმძლავრის გადიდებას მაქსიმალური დატვირთვების პერიოდში. ამით ჩვენ შევამტირებთ დადგენილ სიმძლავრეს სისტემის სხვა სადგურებში. ამიტომ უნდა გადაწყდეს ჰესის სიმძლავრისა და მისი გამოუმუშავების უხელსაყრელისი მონაწილეობის ამოცანა სისტემის დატვირთვის გრაფიკის დაფარვაში.

§ 46. დატვირთვის დღელამური მარაგის განაწილების მართვა

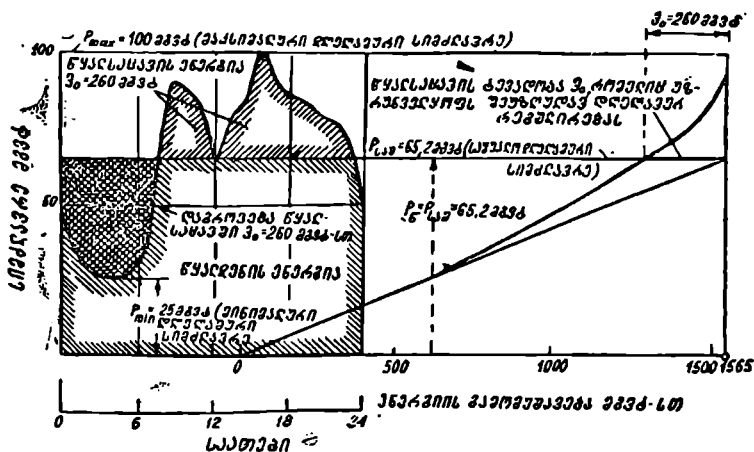
წინა პარაგრაფში დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად ხელსაყრელია დატვირთვის გრაფიკის ე. წ. განაწილების მართვის გამოყენებაზე დამყარებული გრაფიკული მეთოდი. ეს მეთოდი საშუალებას გვაძლევს სწრაფად და ადვილად მოვძებნოთ დატვირთვის გრაფიკის ის ნაწილი, რომელიც ჰიდროელსადგურს უნდა მიეცეს დასაფარავად. ამ მეთოდის თვალსაჩინოება

გავაგრძელოთ OB წრფე C წერტილამდე; ცხადია, მისი აბსცისები სიმ-
ძღავრის ყოველი მნიშვნელობისათვის წარმოადგენს ენერჯის იმ გამომუშა-
ვებას, რომელიც შეუძლია მოგვეცეს ამ სიმძღავრემ 24 საათის განმავლობაში.

10 წერტილიდან დაეშვათ მართობი $10A$. აბსციის OA მონაკვეთი
მასშტაბში მოგვეცემს დატვირთვის გრაფიკის დღელამურ გამომუშავებას, რო-
მელიც ამ გრაფიკის W ფართობის ტოლია. OC წრფისა და $10A$ მართობის
გადაკვეთაზე მდებარე C წერტილი განსაზღვრავს იმ სიმძღავრეს, რომელზე-
დაც სადგურს 24 საათის განმავლობაში რომ ემუშავა, მოგვეცემა ენერჯის
 OA გამომუშავებას. ეს გამომუშავება სადგურის ნამდვილი გამომუშავების ტო-
ლი იქნება. ამრიგად, AC ორდინატა თავის სიდიდით დატვირთ-
ვის გრაფიკის საშუალო დღელამური $P_{სა}$ სიმძღავრის ტო-
ლია. 106-ე ნახაზზე $P_{სა} = 65,2$ მგვტ. გრაფიკის დატვირთვის კოეფიციენტი

$$\frac{P_{სა}}{P_{max}} = \beta = \frac{65,2}{100} = 0,652.$$

დატვირთვის გრაფიკის საშუალო დღელამური სიმძღავრის შესაბამისი
 EDC წრფე გამოყოფს გრაფიკის პიკს მისი შუა ნაწილისაგან. გაანალიზების
შრუდსა და OBC წრფეს შორის მოთავსებული DC მონაკვეთი ($\beta_0 = 260$ მგვტ-
სთ) სიდიდით ტოლი იქნება იმ გამომუშავებისა, რომელსაც FH სიმძღავრე



ნახ. 107. შეუზღუდავი დღელამური რეგულირება.

იძლევა, ე. ი. დატვირთვის გრაფიკის პიკური ნაწილის გამომუშავებისა. ვინა-
იდან $P_{სა}$ არის დატვირთვის გრაფიკის საშუალო დღელამური სიმძღავრე,
ამიტომ გრაფიკის ნაწილის ფართობი, რომელიც $P_{სა}$ სიდიდეზე ზემოთ მდებ-
არეობს, და აგრეთვე გრაფიკის ყველა ჩავარდნის ფართობების ჯამი, რომ-
ლებიც $P_{სა}$ სიდიდეზე ქვემოთ მდებარეობენ, ერთმანეთის ტოლი უნდა იყოს.

თუ მოცემულ დღეში წყალდენის საშუალო დღელამური სიმძღავრე იქ-
ნება $P'_{გ} = P_{სა}$, მაშინ ჩავარდნების საათებში გამოუყენებელი წყლის დაგრო-
ვებით ჩვენ მივიღებთ β_0 ენერჯის მარაგს წყალსაცავში (ნახ. 107). სწორედ

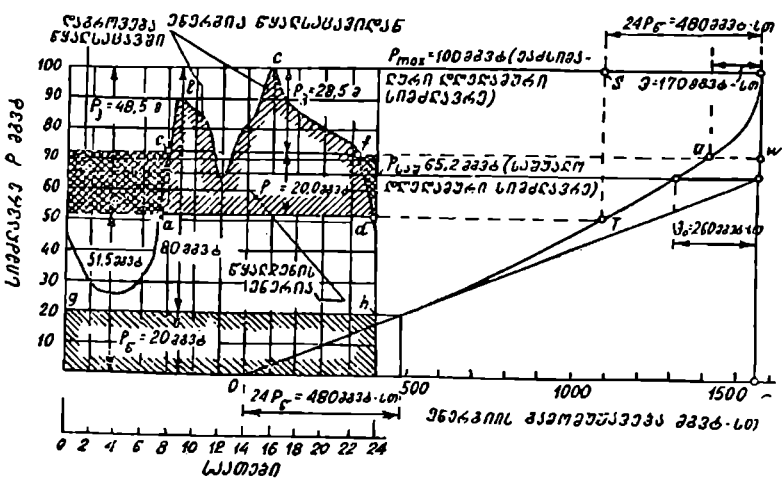
ენერჯის ეს რაოდენობა უნდა გამოუმუშავდეს გრაფიკის პიკის პერიოდში იმ გამომუშავების დამატებით, რომელსაც წყალდენა იძლევა. იმ შემთხვევაში, როდესაც ჰიდროელსადგურს აქვს დადგენილი სიმძლავრე $P_g \geq P_{max}$, შეიძლება უზრუნველვეყო ენერჯის მთელი მოხმარება დატვირთვის გრაფიკის მიხედვით და განავითაროთ პიკის დროს P_{max} სიმძლავრე; ამ დროს გამოყენებული იქნება წყალდენის მთელი გამომუშავება $24P_g = 24P_{სა}$.

განხილული შემთხვევა არის დატვირთვის გრაფიკის მთლიანი დაფარვის შემთხვევა ჰიდროელსადგურის სიმძლავრითა და გამომუშავებით. თუ წყალდენის სიმძლავრე $P_g < P_{სა}$ მაშინ, ცხადია, სრული დაფარვა შეუძლებელია. წყალსაცავში დაგროვილი წყალი ამისათვის საკმარისი არ იქნება. მცირე იქნება აგრეთვე მოხმარებული მოცულობაც.

ეს იმას ნიშნავს, რომ Q_0 წარმოადგენს ენერჯის რაოდენობის მაქსიმალურ სიდიდეს, რომელსაც უნდა იძლეოდეს წყალსაცავი დატვირთვის პიკზე. თუ წყალსაცავის მოცულობა იქნება საკმარისი ან მეტი, ვიდრე ეს საჭიროა Q_0 ენერჯის რაოდენობის უზრუნველსაყოფად პიკში, მაშინ ჩვენ გვექნება შეუზღუდავი დღელამური რეგულირების შემთხვევა. თუ წყალსაცავს ექნება ნაკლები მოცულობა, მაშინ მოცულობის სიდიდე შეზღუდავს დღელამური რეგულირების შესაძლებლობას.

§ 47. ჩანადრის შეუზღუდავი დღელამური რეგულირება

განვიხილოთ სადგურის მუშაობა შეუზღუდავი დღელამური რეგულირების შემთხვევაში, როდესაც წყალდენის სიმძლავრე $P_g < P_{სა}$. ვთქვათ, დატ-



ნახ. 108. სადგურის გამომუშავებათა განლაგება დატვირთვის გრაფიკზე შეუზღუდავი დღელამური რეგულირების დროს (წყალმცირე დღე)

ვირთვის გრაფიკს (ნახ. 108) აქვს $P_{max} = 100$ მგვტ, $P_{სა} = 65.2$ მგვტ და წყალდენის სიმძლავრე $P_g = 20$ მგვტ. თუ ჰიდროელსადგურს არ ექნებოდა დღელამური რეგულირების საშუალება, მაშინ მას უნდა დათმობოდა დატვირთვის

გრაფიკის ბაზისი, სადაც შეედლებოდა მუშაობა $P_{\Phi} = 20$ მგვტ სიმძლავრით, მთელი დღე-ღამის განმავლობაში; მაშინ შესაძლო გამომუშავება იქნებოდა $24P_{\Phi} = 480$ მგვტ-სთ. მაქსიმუმის საათებში საჭირო გახდებოდა სისტემის სხვა სადგურებში გვექონოდა სიმძლავრე $P_{\text{მ.ს.}} - P_{\Phi} = 100 - 20 = 80$ მგვტ.

დატვირთვის გრაფიკის რაც უფრო მაღალ ნაწილს მოხსნის ჰიდროელ-სადგურის მოცემულ დღე-ღამეში გამომუშავების დროს, მით უფრო მეტი სიმძლავრის განვითარება შეუძლია მას პიკების შემთხვევაში. შეუზღუდავი დღე-ღამური რეგულირება საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ ჰიდროელსადგურის გამომუშავება მთლიანად, დატვირთვების ყველაზე უფრო მაღალ პიკებზე.

გადეზომოთ სრული დღელამური გამომუშავება $24P_{\Phi} = 480$ მგვტ-სთ გაანალიზების მრუდის ზედა წერტილის მარცხნივ (ნახ. 108). მიღებული წერტილიდან გავატაროთ ST ვერტიკალი ანალიზური მრუდის გადაკვეთამდე. ST მონაკვეთის სიდიდე განსაზღვრავს იმ სიმძლავრეს, რომელიც შეუძლია განავითაროს ჰიდროელსადგურმა, როდესაც იგი დაფარავს გრაფიკის ზედა ნაწილს, ე. ი. $abcfd$ ფართობს.

გადეზომოთ ad წირიდან ზემოთ წყალდენის სიმძლავრის სიდიდე $P_{\Phi} = 20$ მგვტ და გავატაროთ $efua$ წირი, რომელიც ჰიდროელსადგურის მიერ აღებული დატვირთვის გრაფიკის ნაწილს გაყოფს ორ ნაწილად. ენერჯის ის მარაგი, რომელიც დაგროვდება წყალსაცავში ჰიდროელსადგურზე დატვირთვის შემცირების პერიოდში, ნახაზზე ნაჩვენებია დაშტრიებული ბაზის ფართობით. გაანალიზების მრუდზე ეს ენერჯია იზომება მონაკვეთის $ua = \Theta = 170$ მგვტ-სთ სიდიდით. მისი ტოლიდელი ფართობის ნაწილი $ebcf$ მოიხსნება გრაფიკის პიკზე; ისიც აგრეთვე ტოლია $\Theta = 170$ მგვტ-სთ, ე. ი. საკმაოდ ნაკლებია, ვიდრე $\Theta_0 = 260$ მგვტ-სთ; საერთო სიმძლავრე, რომელიც ჰიდროელსადგურს შეუძლია განავითაროს, ტოლი იქნება $ST = P_1 = 48,5$ მგვტ, რომელთაგან სიმძლავრე $P_{\Phi} = 20$ მგვტ, რომელიც გრაფიკის $acfd$ ფართობს მოხსნის, შექმნილია მდინარის გამდინარე წყლისაგან, ხოლო $P_1 = 28,5$ მგვტ, რომელიც გრაფიკის პიკს მოხსნის, მიღებულია დღელამური რეგულირების აუზის ხარჯზე.

გრაფიკის დანარჩენი ნაწილი, რომელიც ad წირის ქვემოთ მდებარეობს, ე. ი. შუა ნაწილი და მთელი ბაზისი, დაფარული უნდა იქნეს სისტემის სხვა სადგურებით, რომელთა საერთო სიმძლავრე უნდა იყოს:

$$P_{\text{მ.ს.}} - P_1 = 51,5 \text{ მგვტ.}$$

ამრიგად, ჰიდროელსადგურის მუშაობის გადატანა გრაფიკის ბაზისიდან მის პიკზე ისე, რომ მთლიანად იყოს გამოყენებული მისი დღელამური გამო-მუშავება საშუალებას გვაძლევს, განხილულ მაგალითში, შევამციროთ სისტემის სხვა სადგურების სიმძლავრე 80-დან 51,5 მგვტ-მდე, ე. ი. ჰიდროელსადგურის დამატებითი პიკური სიმძლავრის სიდიდით, რომელიც ჩვენს მაგალითში 28,5 მგვტ-ის ტოლია.

ამავე მაგალითზე შეიძლება დავრწმუნდეთ იმაში, რომ, თუ წყალდენის სიმძლავრე $P_{\Phi} < P_{\text{ს.ა.}}$, მაშინ დატვირთვის გრაფიკის პიკზე გამომუშავებული ენერჯის რაოდენობა $\Theta < \Theta_0$, ე. ი. ნაკლებია გრაფიკის პიკის მთლიანად დასაფარავად საჭირო ენერჯის რაოდენობაზე; ჩვენს შემთხვევაში $\Theta = 170$ მგვტ-სთ, ხოლო $\Theta_0 = 260$ მგვტ-სთ.

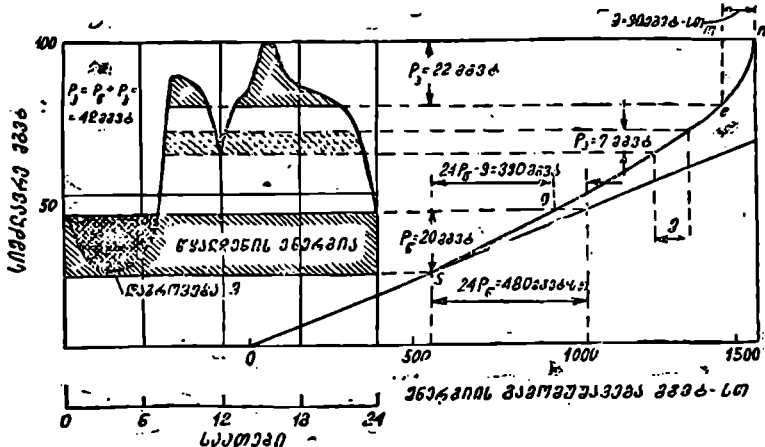
უნდა შევნიშნოთ აგრეთვე ის მდგომარეობა, რომ წყალსაცავიდან მიღებული ენერჯის Θ რაოდენობა გრაფიკის პიკების დასაფარავად, არ გამო-სახავს წყალსაცავის გამოყენებული მოცულობის სიდიდეს. მართლაც, წყალ-საცავი დღე-ღამის განმავლობაში ორჯერ იესება და ორჯერვე იხარჯება მის-

გან წყალი. ძირითადად ავსება ხდება ლამის მინიმალური დატვირთვის დროს (ნახ. 108); შემდეგ, დილის მაქსიმალური დატვირთვის დროს იხარჯება დაგროვილი ენერჯის გარკვეული ნაწილი, რომელიც შემდეგ ნაწილობრივ შეივსება დღის მინიმალური დატვირთვის დროს. წყალსაცავის მთელი მარაგის გამოყენება ხდება დატვირთვის მაქსიმუმის საღამოს საათებში. წყალსაცავის ორმაგად გამოყენების შედეგად, მისი მოცულობა შეიძლება იყოს მ სიდიდებზე ნაკლებიც კი, მაგრამ მას ორი პიკის დროს შეუძლია მოგვეცეს მ ენერჯია, რომელიც წყალსაცავის მოცულობას აღემატება.

§ 48. ჩანადრის დღელამური რეგულირება წყალსაცავის შიგულდული მოცულობის შემთხვევაში

ახლა დავუშვათ, რომ წყალდენის სიმძლავრე $P_f = 20$ მგვტ, ე. ი. ისეთივეა როგორც წინა პარაგრაფში განხილულ მაგალითში იყო, ხოლო წყალსაცავის მოცულობა საკმაოდ მცირეა და მასში ენერჯიის მარაგი შეადგენს მხოლოდ $\Theta = 90$ მგვტ-სთ (ნახ. 109).

განალიზების მრუდის ზედა n წერტილის მარცხნივ გადავზომოთ მ სიდიდე აბსცისათა ღერძის მასშტაბში და გავტაროთ m ვერტიკალი გაანა-



ნახ. 109. ჰიდროელსადგურის გამომუშავებათა განლაგება დატვირთვის გრაფიკზე, როდესაც წყალსაცავის მოცულობა შეზღუდულია (წყალმცირე დღე).

ლიზების მრუდის e წერტილში გადაკვეთამდე. ეს წერტილი განსაზღვრავს პიკურ სიმძლავრეს $m = P_p = 22$ მგვტ, რომელიც შეიძლება დაითაროს ზედა ბიფის მოცემული მოცულობის დროს. ენერჯიის ის რაოდენობა, რომელსაც ჰიდროელსადგური მოგვეცემს ამ პიკზე, განისაზღვრება გაანალიზების მრუდის მონაკვეთით $\Theta = 90$ მგვტ-სთ.

ამრიგად, ენერჯიის Θ რაოდენობა გროვდება წყალსაცავში და შემდეგ იგი იხარჯება დამატებით P_p პიკური სიმძლავრისა და დამატებით ენერჯიის გამომუშავებაზე. წყალდენის დღელამური ენერჯიის ნარჩენი, ე. ი. $24P_f - \Theta = 480 - 90 = 390$ მგვტ-სთ, ჰიდროელსადგურმა უნდა გამოიმუშაოს წყლის ბუნებრივი ხარჯის გამოყენებით, უოველგვარი რეგული-

რების გარეშე, ე. ი. მან უნდა განავითაროს ის სიმძლავრე, რომელიც აქვს წყალდენს $P_f = 20$ მგვტ. ამისათვის ჰიდროელსადგურს უნდა დაეთმოს დღე-ღამური დატვირთვის გრაფიკის ის შრე, რომელიც უზრუნველყოფს $24 P_f$ — ენერჯის გამომუშავებას P_f სიმძლავრის დროს. ასეთი შრე შერჩევით მოიძებნება გაანალიზების მრუდზე, რომელზედაც ამ პირობას აკმაყოფილებს q და s წერტილებს შორის მოთავსებული უბანი, ვინაიდან ამ წერტილებს ორდინატთა სხვაობა, ე. ი. შრის სიმძლავრე უდრის P_f -ს, ხოლო მათი აბსცისათა სხვაობა, ე. ი. გამომუშავებული ენერჯია ტოლია $24 P_f$ — მ (ნახ. 109). ცხადია, ღამის დაწვეის გრაფიკის ფართობის ნაწილი (ბადისებურად დაშტრიხული) სწორედ მ სიდიდის ტოლია; იგი გამოსახავს წყალდენის დღეღამური ენერჯის იმ ნაწილს, რომელიც არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დატვირთვის გრაფიკის მიხედვით და ინახება წყალსაცავში პიკური დატვირთვის დასაფარავად. სრული სიმძლავრე, რომელსაც ჰიდროელსადგური უდიდესი დატვირთვის დროს იძლევა ტოლია: $P_1 = P_f + P_3 = 20 + 22 = 42$ მგვტ; აქედან $P_f = 20$ მგვტ სიმძლავრე გამომუშავდება წყლის ბუნებრივ ხარჯზე, ე. ი. „გამდინარე წყალზე“ რეგულირების გარეშე, ხოლო $P_3 = 22$ მგვტ კი არის დამატებითი პიკური სიმძლავრე, რომლის სიდიდე განისაზღვრება წყალსაცავის მოცულობით $V = 90$ მგვტ-ს (წყალსაცავის შეუზღუდავი მოცულობის დროს ჩვენ მივიღებთ $P_3 = 28,5$ მგვტ). დახარჩენი სიმძლავრე $P_{max} - P_1 = 100 - 42 = 58$ მგვტ და აგრეთვე ენერჯის გამომუშავება დატვირთვის გრაფიკის დაუშტრიხავი ფართობის ფარგლებში უზრუნველყოფილი უნდა იყოს სისტემის დანარჩენი სადგურებით.

აქ უნდა შევნიშნოთ, რომ, როდესაც ჩვენ ვლაპარაკობთ სისტემის სხვადასხვა სადგურებზე, ისინი შეიძლება იყოს როგორც ჰიდროელსადგურები, ისე თბოსადგურებიც. მაგრამ ამ ჰიდროელსადგურებს, თავის მხრივ, წლის წყალმციკრე პერიოდში შეუძლიათ დაიკავონ გრაფიკის პიკი, თუკი მათ აქვთ დღეღამური რეგულირების აუზი. ამიტომ ზემოთ თქმული სამართლიანია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ, გარდა განხილული ჰიდროელსადგურისა, სისტემაში გაერთიანებულია მხოლოდ ისეთი თბოსადგურები, რომლებსაც შეუძლიათ მუშაობა გრაფიკის ნებისმიერ ნაწილში; წინააღმდეგ შემთხვევაში შეიძლება გარკვეული შეზღუდვა გაჩნდეს. ასე, მაგალითად, თუ, გარდა თბოსადგურებისა და განხილული ჰიდროელსადგურისა, სისტემაში არის ჰიდროელსადგური, რომელსაც აქვს აგრეთვე დღეღამური რეგულირების საშუალება, მაშინ წყალმციკრე პერიოდში დატვირთვის გრაფიკის პიკი შეიძლება დაეთმოს ორივე ჰიდროელსადგურს ერთად. პიკის გაყოფა მათ შორის შეიძლება მოვახდინოთ სხვადასხვა მეთოდით. ეს საკითხი დაწერილებით განხილულია IX თავში.

თუ დატვირთვის გრაფიკის ისეთი განაწილებებს დროს, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მაქსიმალური დატვირთვის პერიოდში, სადგურის მიერ განვითარებული სიმძლავრე უფრო ნაკლები გამოვა, ვიდრე მათი დადგენილი სიმძლავრე, ე. ი. $P_1 < P_e$, მაშინ სადგურში წარმოიშვება ზედმეტი სიმძლავრე. თუ $P_1 > P_e$, მაშინ ეს იმას ნიშნავს, რომ გრაფიკის შესაბამისი ნაწილი არ იქნება მოხსნილი ჰიდროელსადგურის მიერ. სიმძლავრის ის ნაწილი, რომელიც მუშაობს ჩანადენის დარეგულირების გარეშე, ე. ი. P_f არ შეიძლება შემცირებულ იქნეს, ვინაიდან ამ დროს გაჩნდება წყლის დანაკარგები, რომლის გაშვება მოგიხდება ტურბინების გარეშე. სათანადო შემცირებას მოითხოვს დამატებითი პიკური სიმძლავრე, რომელიც მიიღება დღეღამური რეგულირების წყალსაცავში დაგროვილი წყლის ენერჯის ხარჯზე. ამ შემთხვე-

ვაში ჰიდროელსადგურს უნდა დაეთმოს გრაფიკის პიკის ის ნაწილი (ან მისი შუა ნაწილი), სადაც ჩვენ განკარგულებაში არსებული სიმძლავრე, ე. ი. $P_3 = P_6 - P_7$ გამოიმუშავებს წყალსაცავით დაგროვილ მ ენერჯიას. ამ დროს დადგენილი სიმძლავრე მთლიანად იქნება გამოყენებული.

ასე, მაგალითად, თუ ჰიდროელსადგურის დადგენილი სიმძლავრე $P_6 = 27$ მგვტ, მაშინ განხილულ მაგალითში $P_6 - P_7 = 27 - 20 = 7$ მგვტ და პიკი 22 მგვტ სიმძლავრით არ შეიძლება მოხსნილ იქნეს ჰიდროელსადგურის მიერ. მას შეუძლია მოხსნას დატვირთვის ნაწილი 7 მგვტ სიმძლავრისა და ენერჯიის მ $= 90$ მგვტ-სთ გამოიმუშავებით, რომელიც 109-ე ნახაზზე გრაფიკის შრეში ნაჩვენებია წყვეტილი წირებით.

§ 49. ენერჯიის დანაკარგები დღელამური რეგულირების დროს

აქამდე ჩვენ ყველგან ვგულისხმობდით, რომ დღელამური რეგულირების დროს წყალდენის მიერ გამოიმუშავებული ენერჯია მუდმივი რჩება. ეს არ არის მთლიანად სწორი. დღელამური რეგულირება წარმოებს იმ წყლის მარაგის ხარჯზე, რომელიც დღელამური რეგულირების აუზში გროვდება. დატვირთვის გრაფიკის პიკზე მუშაობის ბოლოს, აუზში წყლის სასარგებლო მოცულობა დაიხარჯება და მისი დონე დაიწევს. გრაფიკის პიკზე მუშაობის მთელ პერიოდში წარმოებს დანადგარის ზედა ბიეფის დონის თანდათანობითი დაცემა. აუზის ავსების მთელ პერიოდში დონე მატულობს და ავსების შემდეგ არსებული დონე აღდგება. ზედა ბიეფის ცვალებადობა და მის მიერ გამოწვეული დაწნევის ცვალებადობა დამოკიდებულია დღელამური რეგულირების აუზის ფართობზე—რაც ნაკლებია მისი ფართობი, მით მეტია დაწნევის ცვალებადობა.

დღელამური რეგულირების დროს, დაწნევის შემცირების გამოწვევებზე მეორე მიზეზს წარმოადგენს ქვედა ბიეფის დონის ცვალებადობა. თუ ჰიდროელსადგური მუშაობდა დღელამური რეგულირების გარეშე, მაშინ ქვედა ბიეფის დონე დღე-ღამის განმავლობაში იმ სიმალღეზე იქნებოდა, რომელიც შეესაბამება მდინარის ბუნებრივი ხარჯის სიდიდეს იმავე დროში. დატვირთვის პიკის გავლის პერიოდში სადგურში გაივლის ხარჯი, რომელიც ბუნებრივ ხარჯზე მეტი იქნება, რაც გამოიწვევს ქვედა ბიეფის დონის მატებას. დატვირთვის მინიმუმის საათებში, როდესაც წყალსაცავი წყალს აგროვებს, სადგურის მიერ გატარებული ხარჯები მცირდება და ქვედა ბიეფის დონე ეცემა შესაბამის ბუნებრივ დონეზე დაბლა, რაც ადიდებს დანადგარის დაწნევას. მაგრამ დატვირთვის პიკის დროს დაბალ დაწნევაზე გაივლის დიდი ხარჯები, რაც იწვევს ენერჯიის უფრო მეტ დანაკარგს, ვიდრე მოვიგებთ ენერჯიის გამოიმუშავებაში დაწნევის მომატების გამო, როდესაც ხარჯები მცირეა. ამის შედეგად დღე-ღამის განმავლობაში მიიღება ენერჯიის გამოიმუშავების დანაკარგი.

დღელამური რეგულირების დანაკარგის მნიშვნელობა განსაკუთრებით იგრძნობა დაბალდაწნევიან დანადგარებში, როდესაც ბიეფების დონეების ცვალებადობა დაწნევასთან შედარებით საკმაოდ დიდია. ამ დანაკარგებმა შეიძლება ენერჯიის დღელამური გამოიმუშავების 3—5%-ს მიაღწიოს. თუ ეს ასეა, მაშინ შეიძლება წარმოიშვას დღელამური რეგულირების შეზღუდვის, ე. ი. წყალსაცავის გამოყენებული მოცულობის შემცირების საკითხი. ამით, უხადია, შემცირდება ჰიდროელსადგურის სიმძლავრე დატვირთვის მაქსიმუმის პერიოდში, მაგრამ გაიზარდება მისი გამოიმუშავება.

დანადგარებში, რომელთა დაწვევა მეტია 50—100 მ-ზე, ეს დანაკარგები იმდენად მცირეა, რომ შეიძლება მათ ანგარიში არ გავუწიოთ. მათ შეუძლიათ საგრძნობი დანაკარგები გამოიწვიონ მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც რეგულირებისათვის გამოყენებულია წყლის სარკის მცირე თარობისა და მარეგულირებელი პრიზმის დიდი სიმაღლის მქონე აუზი.

§ 50. ჩანადენის დღეღამური კაპულირებით გამოწვეული ბიფეფის დონეების ცვალებადობის ხასიათი

დღეღამური რეგულირება სხვა სახეების რეგულირებისაგან იმით განსხვავდება, რომ წყლის ხარჯების ცვლილება ხდება ძალიან სწრაფად, ამიტომ დანადგარის როგორც ზედა, ისე ქვედა ბიფეფებში წყლის მოძრაობა ლეზულობს დაუმყარებელ ხასიათს.

სადგურის დატვირთვის მატების დროს, ე. ი. ტურბინებში წყლის ხარჯის გაზრდით, ხდება:

ა) სადგურთან ახლოს ზედა ბიფეფის დონის დაწვევა, რომელიც შემდეგ ვრცელდება ზემოთ, დინების საწინააღმდეგოდ, დონის დაწვევის ტალღის სახით (ე. წ. უარყოფითი ტალღა). სადგურებისათვის დამატებითი წყლის ხარჯი მიიღება ზედა ბიფეფში დაგროვილი წყლის მოცულობის ხარჯზე, რომელიც თავისუფლდება დაწვევის ტალღის გავლის დროს.

ბ) სადგურთან ახლოს ქვედა ბიფეფის დონის აწვევა, გამოწვეული ზედა ბიფეფიდან გამომდინარე წყლის დამატებითი მოცულობით.

დროთა განმავლობაში დონის ეს აწვევა გავრცელდება ქვემოთ, დინების მიმართულებით, დონის აწვევის დადებითი ტალღის სახით, რომელიც აესებს მდინარის კალაპოტს.

ცხადია, რომ დროის ყოველ მომენტში წყლის ის მოცულობა, რომელიც გამოედინება ზედა ბიფეფიდან, იწვევს მისი დონის დაწვევას, ჩაედინება ქვედა ბიფეფში და მოთავსდება დონის აწვევის ტალღის მოცულობის თარგლებში.

ამრიგად, სადგურის დატვირთვის გადიდების შედეგად ზედა ბიფეფის დონე დაიწვევს და ქვედა ბიფეფის დონე კი აიწვევს; ამით სადგურის დაწვევა მცირდება.

სადგურის დატვირთვის შემცირებით შებრუნებული სურათი მიიღება.

ა) ზედა ბიფეფში ხდება დონის აწვევა; რომელიც შემდეგ ვრცელდება დინების საწინააღმდეგოდ დადებითი ტალღის სახით. ამ ტალღის სახეობებში თავსდება ზედმეტი წყლის ის მოცულობა, რომელიც სადგურის ტურბინებში არ გადის;

ბ) ქვედა ბიფეფში წარმოიქმნება დონის დაწვევა, რომელიც გავრცელდება ქვემოთ, დინების მიმართულებით დონის დაწვევის ტალღის სახით (ე. ი. უარყოფითი ტალღის სახით), რომლის მოცულობა იქნება წყლის იმ მოცულობის ტოლი, რომელიც შეკავებულია ზედა ბიფეფში.

დანადგარის დაწვევა დატვირთვის შემცირების შემთხვევაში ამის შედეგად გაიზრდება.

სადგურის დატვირთვის შეცვლის დროს, დონის ცვალებადობა უფრო მეტია დანადგარის ქვედა ბიფეფში. ზედა ბიფეფის დიდი სიგანის გამო, აქ დონე

დენის $v(h+z)$ მოცულობის წყალს, რომელიც არხში დაიქვრის 1—1 და 2—2 კვეთებს შორის მოთავსებულ z_0 მოცულობას. ამრიგად,

$$v(h+z) = z_0 v_0,$$

ან, სხვანაირად,

$$v = \frac{z_0 v_0}{h+z}. \quad (11)$$

ეს განტოლება არის უწყვეტობის კანონის შედეგი. ახლა გამოვიყენოთ მოძრაობის რაოდენობის ცვლილების კანონი. 1—2 კვეთებს შორის მოთავსებული წყლის მასა ტოლია

$$\frac{\gamma}{g} h \omega_0,$$

სადა γ არის 1 მ³ წყლის წონა.

ერთი სექუნდის განმავლობაში ეს მასა ღებულობს მოძრაობის რაოდენობის ნაზრდს:

$$\frac{\gamma}{g} v h \omega_0.$$

მოძრაობის რაოდენობის ეს ცვლილება მიღებულია მოქმედი ძალების იმპულსის ხარჯზე, ე. ი. 1—1 და 2—2 კვეთების ჰიდროდინამიკურ წნევათა სხვაობის ხარჯზე. ეს სხვაობა ტოლია:

$$\frac{\gamma(h+z)^2}{2} - \frac{\gamma h^2}{2} = \gamma \left(hz + \frac{z^2}{2} \right).$$

თუ მოძრაობის რაოდენობის ცვლილებას გავუტოლებთ ძალთა იმპულსს ერთეულ დროში, მაშინ მივიღებთ:

$$\gamma \left(hz + \frac{z^2}{2} \right) = \frac{\gamma}{g} h \omega_0 v,$$

ანუ

$$z + \frac{z^2}{2h} = \frac{v \omega_0}{g}.$$

თუ შევიტანთ v სიჩქარის მნიშვნელობას (11) განტოლებიდან, მივიღებთ:

$$z + \frac{z^2}{2h} = \frac{z \omega_0^2}{g(h+z)},$$

საიდანაც

$$\omega_0^2 = gh \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{z}{h} + \frac{z^2}{2h^2} \right).$$

თუ $\frac{z}{h}$ მცირე სიდიდეა, მაშინ შეიძლება $\frac{z^2}{2h^2}$ მხედველობაში არ მივიღოთ და საბოლოოდ მივიღებთ

$$\omega_0 = \sqrt{gh \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{z}{h} \right)} = \sqrt{gh \left(1 + \frac{3}{4} \cdot \frac{z}{h} \right)}. \quad (12)$$

ტალლის χ სიმაღლე შეიძლება გამოვთვალოთ უწყვეტლობის მე-(11) განტოლებიდან

$$\chi = \frac{sh}{\omega_0 - \nu} \quad (13)$$

თუკი χ სიდიდე მცირეა, მაშინ

$$\omega_0 = \sqrt{gh} \quad (14)$$

ეს უკანასკნელი განტოლება მიღებული იყო ლაგრანჟის მიერ მცირე ამპლიტუდის ტალღებისათვის.

ჩვენ მიერ მოძებნილი ω_0 სიდიდე წარმოადგენს ტალლის გავრცელების სიჩქარეს უძრავ წყალში. ეხლა დავუშვათ, რომ არხში წყალი მოძრაობს ტიხარისაკენ ν სიჩქარით, ხოლო თვით ტიხარი კი უძრავია. ცხადია, მოვლენა იქნება იგივე, მაგრამ ახლა ω_0 იქნება ფარდობითი სიჩქარე წყლის მიმართ. ტალლის აბსოლუტური სიჩქარე კი იქნება

$$\omega = \omega_0 - \nu = \sqrt{gh} \left(1 + \frac{3}{4} \cdot \frac{\chi}{h} \right) - \nu.$$

ამ ω სიჩქარით იმოძრაეებს ტალღა, რომელიც წარმოიშვება არხში წყლის ν სიჩქარით მოძრაობის დროს, თუ ტიხარი უეცრად ჩეშვება არხში. ამ შემთხვევაში ტალღა იმოძრაეებს დინების საწინააღმდეგოდ.

სრულიად იგივე მოვლენა იქნება, თუ ჰიდროელსადგური უეცრად მოხსნის თავის დატვირთვას და ტურბინაში შემავალი წყლის ზერელები დაიკეტება. ზედა ბიეფში გაჩნდება დონის აწევის ტალღა, რომელიც გავრცელდება ზემოთ $\omega = \omega_0 - \nu$ სიჩქარით, დინების საწინააღმდეგოდ.

წყლის მიწოდების შეწყვეტის გამო, ქვედა ბიეფში, ცხადია, წარმოიშვება დონის დაწევის ტალღა, რომელიც გავრცელდება ქვემოთ, დინების მიმართულებით $\omega = \omega_0 + \nu$ სიჩქარით, ვინაიდან ამ შემთხვევაში ω_0 ფარდობით სიჩქარეს აქვს იგივე მიმართულება რაც დინებას.

პირიქით, თუ ჰიდროელსადგური უეცრად გაზრდის წყლის ხარჯს, მაშინ მის ზედა ბიეფში წარმოიშვება უარყოფითი ტალღა, რომელიც მოძრაობს დინების საწინააღმდეგოდ $\omega = \omega_0 - \nu$ სიჩქარით, ხოლო ქვედა ბიეფში ჩნდება დადებითი ტალღა, რომელიც იწვევს დონის აწევას და ვრცელდება დინების მიმართულებით $\omega = \omega_0 + \nu$ სიჩქარით.

როდესაც ტალღა უარყოფითია, ω_0 სიჩქარის გამოთვლისათვის χ უნდა იყოს უარყოფითი. ამრიგად, უარყოფითი და დადებითი ტალღების გავრცელების სიჩქარე იქნება სხვადასხვა, თუნდაც სიღრმე იყოს ერთნაირი.

ჩვენ (12) და (13) ფორმულების გამოყენების დროს გამოვიდით იმ დაშვებიდან, რომ მოძრავი წყალი უეცრად ჩერდება. შეიძლება ეს ფორმულები განვაზოგადოთ დინების სიჩქარის ნაწილობრივი შემცირების ან გადიდების შემთხვევისათვისაც. (13) ფორმულა წარმოადგენს უწყვეტლობის კანონის შედეგს. მისი პრიციპული $sh = q$, სადაც q არის წყლის ხარჯი არხის ერთეულ სიგანეზე და

$$\chi = \frac{q}{\omega_0 - \nu} = \frac{q}{\omega}.$$

როდესაც არხის სიგანე არის b და წყლის სრული ხარჯი $Q = qb$, მაშინ

$$\chi = \frac{Q}{\omega b}.$$

ცხადია, $Q = \alpha b$ გამოსახავს იმ მოცულობაში დაგროვილი წყლის რაოდენობას, რომელშიც ვრცელდება ტალღა 1 სექუნდის განმავლობაში. თუ ნაკადის გადაკეტვა ხდება არა მთლიანად, არამედ ნაწილობრივ, მაშინ Q_0 პირვანდელი ხარჯი შემცირდება რაღაც Q_1 სიდიდემდე, ე. ი. $\Delta Q = Q_0 - Q_1$ სიდიდით. ცხადია, ამ შემთხვევაში უწყვეტობის პირობა უნდა დაიწეროს ასე:

$$\Delta Q = \alpha b a,$$

ანდა

$$\alpha = \frac{\Delta Q}{b a}. \quad (16)$$

დანადგარში ხარჯის შემცირების დროს, α სიდიდე ზედა ბიეფში იქნება დადებითი. ხოლო ქვედა ბიეფში—უარყოფითი. ხარჯის გადიდების დროს კი ნიშნები იქნება შებრუნებული.

ტალღის a სიჩქარე დამოკიდებულია ნაკადის h სიღრმეზე, დინების v სიჩქარესა და, ნაწილობრივ, ტალღის α სიმაღლეზე. უკანასკნელის გავლენა ტალღის სიჩქარეზე უფრო ნაკლებია ვიდრე h სიღრმისა და v სიჩქარის გავლენა. ზედა ბიეფში ტალღა მოძრაობს დინების საწინააღმდეგოდ, რაც ამცირებს მისი გავრცელების სიჩქარეს მაშინ, როდესაც ქვედა ბიეფში იგი მოძრაობს დინების მიმართულებით და, მაშასადამე, უფრო დიდი სიჩქარით (ეს მსჯელობა სწორია ბიეფების ერთისა და იმავე სიღრმეების შემთხვევაში).

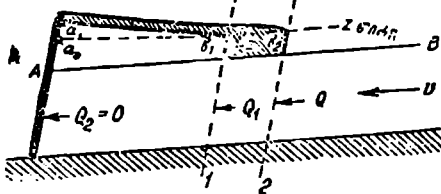
თუ კაშხალთან მდებარე დანადგარში დღელამური რეგულირებისათვის გამოყენებულია ზედა ბიეფი, მაშინ, მისი დიდი სიღრმის გამო, ტალღის ფარდობითი სიჩქარე ზედა ბიეფში მეტია ვიდრე ქვედაში, სადაც სიღრმე მცირეა.

ტალღის α სიმაღლის სიდიდეზე, გარდა a სიჩქარისა, გადამწყვეტ გავლენას ახდენს კალაპოტის b სიგანე. თუ ზედა შეგუბებულ ბიეფში სიგანე საკმაოდ დიდია, ვიდრე ქვედაში, როგორც ამას ადგილი აქვს მდინარის ჩვეულებრივ დანადგარებში, მაშინ ტალღის სიმაღლე ზედა ბიეფში გაცილებით უფრო ნაკლები იქნება, ვიდრე ქვედაში. ამის გამო, მდინარის დაბალდაწევრიან დანადგარებში დღელამური რეგულირებით გამოწვეული ენერჯის დანაკარგი მეტადაა დამოკიდებული ქვედა ბიეფის დონის ცვალებადობაზე.

აქამდე ჩვენ ვიხილავდით პორიზონტალურ არხში დაუმყარებელ მოძრაობას ხახუნის ძალების მხედველობაში მიუღებლად. სინამდვილეში ხახუნის გამო, ნაკადს ექნება გრძივი ქანობი, რაც ართულებს ამოცანას. წყლის ზედაპირის ქანობის დროს, სადგურთან პირველ მომენტში გაჩენილი დონის აწევა შემდგომში განაგრძობს ზრდას ისე, რომ ტალღის საზღვრებში წყლის დონე ლებულობს 111-ე ნახაზზე ნაჩვენებ ფორმას. აქ დონის მდგომარეობა ნაჩვენებია დროის ორი t_1 და t_2 მომენტისათვის.

ვთქვათ, რომ სადგურის გაჩერებით გამოწვეული ტალღა მოძრაობს a სიჩქარით და ერთ სექუნდში გადის 1 და 2 კვეთებს შორის მანძილს. ტალღის საზღვრის მარჯვნივ მოძრაობა არ დარღვეულია და არხში გაივლის ხარჯი, რომელიც გადიოდა სადგურის გაჩერებამდე. ტალღის საზღვარზე ეს ხარჯი სწრაფად მცირდება Q_1 სიდიდემდე. ხარჯთა სხვაობა ($Q - Q_1$) ავსებს ტალღის მოცულობას 1-დან 2 კვეთამდე; 1 კვეთის შემდეგ გადის Q_1 ხარჯი. ამ ხარჯით მოტანილი წყლის მოცულობა სადგურსა და 1 კვეთს შორის დონეს ას-

წევს a_1b_1 , მდგომარეობიდან a_2b_2 მდგომარეობამდე. წყლის ხარჯი კი 1 კვეთიდან, სადაც იგი უდრის Q_1 -ს, სადგურთან ეცემა $Q_2=0$ -მდე. ვინაიდან ამ უბანზე არსებობს წყლის მოძრაობა, a_2b_2 ზედაპირი არ შეიძლება იყოს ჰორიზონტალური; მას ექნება ქანობი დინების მიმართულებით, თუმცა ეს ქანობი იქნება ძალიან მცირე. ტალღის გავრცელების სიჩქარის განსაზღვრისათვის



ნახ. 111. დადებითი ტალღის გავრცელება არხში ფსკერის გრძივი ქანობის შემთხვევაში.

განისაზღვრება a_1 , a_2 და a . შ. წერტილებით. ტალღა იმოძრაავებს და თავისი ფრონტით მოხაზავს გზას, რომელიც ნახაზზე წყვეტილი წირითაა ნაჩვენებში. ამ გზას ფორკეიმერი უწოდებს z წირს, ვინაიდან მისი სიმაღლე პირველადი დონიდან განისაზღვრება z სიმაღლით. პროფ. ი. ვ. ეგიაზაროვი მას „ტალღურ საზღვარს“ უწოდებს.

თუ დანადგარის არხს ან ბიფეს აქვს ძალიან დიდი სიგრძე, მაშინ ტალღას შეუძლია შეუფერხებლად გავრცელდეს ბიფესის გასწვრივ. მისი გადაადგილების მიხედვით, ის მოცულობა, რომელიც უნდა შეავსოს Q ხარჯმა თანდათან გაიზარდება დონის აწევის გამო, ხოლო ტალღის სიმაღლე კი უნდა შემცირდეს.

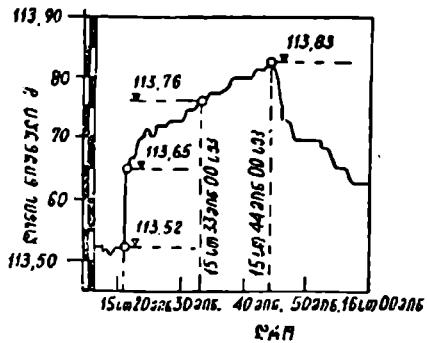
თუ სადგური მოთავსებულია დერივაციული არხის ბოლოში, რომელიც მდინარის დატბორილი ბიფეიდან იკვებება, მაშინ არხში წარმოშობილი ტალღა მიაღწევს არხის სათავეს რომელიმე z სიმაღლით. თუ ამ დროს მდინარის დატბორილ ბიფეს ძალიან დიდი სიგანე აქვს, მაშინ მასში არ შეიძლება დონის შესამჩნევი მატება მოხდეს. ამის გამო, არხში წარმოშობილი ტალღა არ უნდა გაქრეს. ეს იმას ნიშნავს, რომ განიერი ბიფესის არსებობა არხის სათავეში იწვევს დონის დაწევას; იგი სილიდით არხში დადებითი ტალღის გატარებით წარმოშობილი დონის აწევის ტოლი იქნება. ამრიგად, განიერი ბიფეი მოძრაობის რეჟიმის ახლად დარღვევის წყაროდ იქცევა, რაც გამოიხატება არხის სათავეში დონის დაწევის უარყოფითი ტალღის წარმოქმნაში. ეს ახალი, უარყოფითი ტალღა დაიწყებს მოძრაობას არხში ზემოდან ქვემოთ და დასწევს აწეულ დონეს; მაგრამ, სანამ უარყოფითი ტალღა არ მიაღწევს სადგურამდე დონის აწევა მასთან კიდევ გრძელდება. იგი შეწყდება უარყოფითი ტალღის მოსვლის მომენტიდან, რომელიც მოახდენს დონის დაწევას სადგურთან.

სადგურთან დონის ასეთი ცვალებადობის სურათი კარგად ჩანს 112-ე ნახაზზე. აქ მოცემულია დონის ცვალებადობის მსგეღელობა ერთ-ერთი სადგურის არხში. იგი აღებულია ნატურიდან, დატვირთვების ნაწილობრივი მოხსნის დროს. არხში საწყისი ხარჯი შეადგენდა $68,4 \text{ მ}^3/\text{სეკ.ს.}$ ამ დროს დონის ნიშნული იყო $113,52 \text{ მ.}$ 15 საათსა 20 მინუტსა და 30 სეკუნდზე მოხდა დატვირთვის ნაწილის მოხსნა, რის გამოც სადგურის მიერ გამოყენებული

დარჩება იგივე (15) განტოლება, მაგრამ უწყვეტობის განტოლება კი შეიცვლება, ვინაიდან გაჩერებული წყალი ავსებს ტალღის სხვა მოცულობას.

სადგურთან პირველ მომენტში მოხდება დონის აწევა a_0A ტალღის z სიმაღლით, შემდეგ კი გრძელდება დონის თანდათანობითი აწევა, რომელიც დროის ყოველი მომენტისათვის

წყლის ხარჯი შეეცირდა 35,0 მ³/სექ-მდე. პირველ მომენტში სადგურთან გაჩნდა დადებითი ტალღა $\tau=0,13$ მ სიმალით, რომელმაც გამოიწვია დონის აწევა 113,65 მ ნიშნულამდე. ტალღა მოძრაობდა არხში დინების საწინააღმდეგოდ საშუალო სიჩქარით 5,94 მ/სექ. არხის სიგრძე გაიარა 12 მიწუტსა და 30 სექუნდში, ე. ი. სათავეს მიაღწია 15 საათსა და 30 მიწუტში. ამ მომენტში სადგურთან დონემ აიწია 113,76 მ ნიშნულამდე. უარყოფითი ტალღა მოვიდა სადგურთან 15 საათსა 44 მიწუტსა და 30 სექუნდში, ე. ი. ვალაზე დახარჯა 11 მიწუტი და 30 სექუნდი. ამრიგად, უკუტალღა, რომელიც მოძრაობდა დინების მიმართულებით, უფრო ნაკლებ დროში მოვიდა, ვიდრე პირდაპირი ტალღა. უარყოფითი ტალღის საშუალო სიჩქარე იყო 6.46 მ/სექ. უარყოფითი ტალღის დაბრუნების დროში დონე სადგურთან განაგრძობდა მატებას და მისი მოსვლის მომენტში მიაღწია 113,83 მ ნიშნულს, რის შემდეგ უარყოფითმა ტალღამ გამოიწვია დონის დაწევა სადგურთან.



ნახ. 112. დონის ცვალებადობა ჰიდროელსადგურის სადაწნეო აუზში დატვირთვის შემცირებისას.

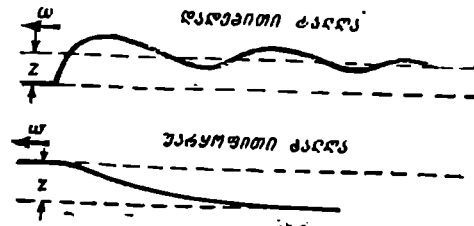
თუ ბიეფის სივანე ძალიან დიდია არხის სივანესთან შედარებით, მაშინ არხიდან ბიეფში გადადის შემცირებული სიმაღლის ტალღა. ამრიგად, ბიეფში იმობრავებს შემცირებული სიმაღლის ტალღა, ხოლო არხის სათავეში კი წარმოიქმნება შემცირებული სიმაღლის უარყოფითი ტალღა, ვინაიდან იგი ახლა უკვე აბათილებს პირველადი ტალღის არა მთელ სიმაღლეს არხში, არამედ მხოლოდ მის ნაწილს.

ანალოგიურად მიმდინარეობს მოვლენა სადგურთან უარყოფითი ტალღის წარმოქმნის შემთხვევაში, როდესაც სადგური აღიდებს წყლის ხარჯს. უარყოფითი ტალღა მოძრაობს არხში ისე, რომ სადგურთან პირველ მომენტში წარმოიშვება დონის სწრაფი დაცემა, რომლის სიმაღლე უარყოფითი ტალღის სიმაღლის ტოლია; შემდეგ კი დონის დაწევა გრძელდება უფრო ნელა მანამ, სანამ ზემოდან არ მოვა ფართო ბიეფიდან ანარეკლი დადებითი ტალღა. ამ მომენტიდან დონის შემცირება წყდება და იწყება მისი აწევა.

დადებითი და უარყოფითი ტალღის გრძელ პროფილებს შორის, როგორც ცდაზე დაკვირვება გვიჩვენებს, არსებითი განსხვავებაა. დადებით ტალღას აქვს მკვეთრად გამოხატული მრუდე ფრონტი, რომელიც წყდება ტალღის წინა ნაწილში (ნახ. 113). ტალღის წინ ჩნდება წინა ზვირთი, რომლის სიმაღლე, ბაზენის ცდების მიხედვით, უსიდიდეს შემთხვევაში 1,5-ჯერ აღემატებოდას. მოწინავე ზვირთის, ანუ ტალღის თხემის შემდეგ ზედაპირს აქვს ტალღისებური ხასიათი, რომელიც ქრება ტალღის თხემიდან გარკვეულ მანძილზე. უარყოფით ტალღას არ აქვს ასე მკვეთრად გამოსახული ფრონტი. ტალღის წინა ნაწილი ხასიათდება ძალიან მკვეთრად დაქანებული ფრონტით, ე. ი. ტალღა წინიდან იწყება მდოვრე დაწვევით. სადგურთან დონის სწრაფი დაწევა ხდება ხარჯის გაზრდის პირველ მომენტში, შემდეგ მიდის რა არხში ეს

ქანობი თანდათან მცირდება. დადებითი ტალღის თხემზე კი ამის მსგავსი რამ არ არის შემჩნეული (ნახ. 113).

ზემოთ განხილული იყო დაუმყარებელი მოძრაობის მოვლენა სადგურის ხარჯის სწრაფად (მყისი) შეცვლის დროს. ხარჯის ასეთი ცვლილება მიიღება მთელი ან ნაწილობრივი დატვირთვის უეცრად მოხსნის დროს, რასაც შეიძლება აღვიღო ჰქონდეს ავარიის შემთხვევაში. სხვა სადგურებზე ავარიის დროს, ჰიდროელსადგურმა შეიძლება უეცრად აილოს ის დატვირთვა, რომელიც მოხსნა სხვა სადგურის დაზიანებულმა აგრეგატებმა. სისტემის ნორმალურად



ნახ. 113. დადებითი და უარყოფითი ტალღების გრძელი პროფილი.

მუშაობის დროს, დღელამური რეგულირების ჰიდროელსადგური დატვირთვის მაქსიმუმის პერიოდში თანდათან ზრდის თავის სიმძლავრეს, ხოლო მაქსიმუმის გავლის შემდეგ კი ამცირებს. სიმძლავრის ეს ცვლილება, ე. ი. იმ წყლის ხარჯის ცვალებადობა, რომელსაც ჰიდროელსადგური იყენებს, უფრო ნელია. დატვირთვის გადიდება

ან მისი შემცირება შეიძლება გაგრძელდეს 1—2 საათის განმავლობაში. ამ შემთხვევაში, ჩვენ ვერ შევამჩნევთ ტალღებს დანადგარის ბიფეში, ამ რხევის გამოთვლის ამოცანა კიდევ უფრო რთულდება, ვინაიდან ჰიდროელსადგურის ხარჯის უწყვეტი ცვალებადობა ზედა და ქვედა ბიფეში იწვევს დონის უწყვეტ ცვალებადობას, ე. ი. თითქოს ერთმანეთს მისდევდეს ახალი და ახალი იმპულსები, რომლებიც ბიფეების დონეების ცვალებადობას იწვევენ.

ტალღები, რომლებიც ჩნდებიან ხარჯის უეცრად შეცვლის დროს, იწოდებიან „წყვეტილ ტალღებად“. ხარჯების თანდათან შეცვლის დროს ჩნდება მდოვრე მოხაზულობის ე. წ. „გრძელი ტალღები“, რომლებსაც უფრო გაშლილი მოხაზულობა აქვთ.

ამ წიგნის ფარგლებში შეუძლებელია გაანგარიშების ყველა მეთოდის განხილვა, რომლებიც მიღებული და გამოყენებული აქვთ სხვადასხვა ავტორებს. ყველაზე უფრო სრულყოფილია ს. ა. ხრისტიანოვიჩის გადაწყვეტა¹. საინჟინრო პრაქტიკაში გამოყენებულია ინგ. ნ. მ. ბერნადსკის მეთოდი, რომელიც იხილავს დაუმყარებელ მოძრაობას სადგურის დღელამური რეგულირების დროს². ამ დარგში ბევრი შრომები აქვს გამოქვეყნებული პროფ. ი. ვ. ეგი-აზაროვს³.

პროფ. მ. დ. ჩერტოუსოვს⁴ აქვს ამოცანის მიახლოებითი გადაწყვეტა.

¹ იხ. კრებული „Некоторые волные вопросы механики сплошной среды“, სსრკავშირის მეცნიერებათა აკადემიის გამოცემა, 1938.
² Н. М. Бернадский, Речная гидравлика, ее теория и методология, 1933 და აგრეთვე Н. А. Ржанецкий, Речная гидравлика, ნაწ. II, 1936.
³ И. В. Егнатов, Гидроэлектрические силовые установки, ნაწ. I და II, და აგრეთვე „Известия научно-исследовательского института гидротехники“, ტომი XVII და XIX, 1936.
⁴ „Известия научно-исследовательского института гидротехники“, ტომი XIX, 1936.

დატვირთვის მოხსნის შემთხვევაში, სადგურთან დონის მაქსიმალური აწევის განსაზღვრისათვის.

ბიფეებში დაუმყარებელი მოძრაობის საკითხი დღელამური რეგულირების შემთხვევაში წარმოადგენს ჰიდრაულიკის ყველაზე უფრო მნიშვნელოვან საკითხს ჰიდროელსადგურის დაპროექტების დროს. დღემდე არ გვაქვს ისეთი გადაწყვეტა, რომელიც თავისი სიმარტივით დააკმაყოფილებს საინჟინრო პრაქტიკას.

§ 51. ჩანადენის კვირეული რეგულირება

საშუალო დონისეულ პერიოდში, როდესაც ხარჯის ცვლებადობა შედარებით მცირეა და მდინარეს აქვს დამყარებული რეჟიმი, წყალდენის სიმძლავრე კვირის განმავლობაში შეიძლება თითქმის მუდმივი იყოს. ენერჯის მოხმარება კი კვირის განმავლობაში ასე თუ ისე საგრძნობლად იცვლება. როგორც წესი, სისტემის დატვირთვა კვირა დღეებში მცირდება, დანარჩენ დღეებში კი მან შეიძლება რაიმე ცვლილება განიცადოს. ამასთან დაკავშირებით ხელსაყრელია კვირის ზოგიერთ დღეს არ გამოვიყენოთ ენერჯის სრული გამოუმუშავება, რომლის მოცემა წყალდენს შეუძლია და წყლის ნაწილი დაეგროვოს წყალსაცავში. ამრიგად შექმნილი ენერჯის მარაგი შეიძლება დახარჯულ იქნეს კვირის დანარჩენ დღეებში, როდესაც ენერჯის გამოუმუშავება ჰიდროელსადგურში მეტი იქნება, ვიდრე ამის მოცემა შეუძლია წყალდენს კვირეული რეგულირების გარეშე.

კვირეულ რეგულირებას შეუძლია გარკვეული ეფექტის მოცემა ენერჯის სისტემისათვის. თუ დატვირთვის შემცირება კვირა ახ სადღესასწაულო დღეებში იმდენად დიდია, რომ წყალდენის მიერ მოცემული ენერჯის სრული გამოუმუშავების გამოყენება შეუძლებელია, მაშინ თუ ამ დღეებში დაეგროვებთ წყალს, შემდეგ დღეებში უფრო დიდი დატვირთვების დროს, შეიძლება მივიღოთ ენერჯის დიდი გამოუმუშავება. თუ არ გვექნებოდა კვირეული რეგულირება ენერჯის ნაწილი იმ დღეებში, როდესაც დატვირთვები ცოტაა, დაიკარგებოდა.

თუ ამის გამო ჰიდროელსადგური მუშაობს დღელამური რეგულირებით და დაგროვილი ენერჯია შეიძლება გამოუმუშავებულ იქნეს მაქსიმალური დატვირთვის დროს, მაშინ ამ შემთხვევაში შეიძლება მიღწეულ იქნეს ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის საკმაოდ გაზრდა დიდი დატვირთვის დღეებში. ამ მდგომარეობამ შეიძლება გვაიძულოს მოვაწყოთ კვირეული რეგულირება იმ შემთხვევაშიაც კი, თუ ჰიდროელსადგურის მთელი გამოუმუშავება შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მცირე დატვირთვის დღეებშიაც. კვირეული რეგულირების შედეგად ენერჯის გამოუმუშავება კვირის განმავლობაში არ იზრდება, მაგრამ შეიძლება გავზარდოთ სიმძლავრე იმ დღეებში, რომლებშიაც ამას განსაკუთრებული საჭიროება მოითხოვს.

ზოგ შემთხვევაში შეიძლება სასურველი იყოს კვირის ცალკეულ დღეებში სისტემის სხვა სადგურზე გამოუმუშავების შემცირება ან გაზრდა. კვირეული რეგულირებით მომუშავე ჰიდროელსადგური ამის საშუალებას იძლევა, ვინაიდან იგი მაშინ გაადიდებს გამოუმუშავებას, როდესაც სხვა სადგურში საჭიროა მისი შემცირება და, პირიქით. ასე, მაგალითად, სადღესასწაულო დღეებში სისტემის საერთო დატვირთვა შეიძლება შემცირდეს იმდენად, რომ ერთმა ჰიდროელსადგურმა დაფაროს სისტემის მთელი მოთხოვნილება მისა-

წყალსაცავის მარაგის ხარჯზე. მაშინ, ამ დღეებში, თბოსადგურები შეიძლება გაეაჩეროთ და შეიძლება გაწარმოოთ შეკეთების ზოგიერთი სამუშაო. შემდგომში, ჰიდროელსადგურმა უნდა შეამციროს თავისი გამომუშავება და შეაგსოს დახარჯული მარაგი წყალსაცავში, ხოლო ამ დროს თბოსადგურები მაქსიმალურად გაზრდიან თავის გამომუშავებას.

წყალსაცავის კვირეული დაცლისა და ავსების ციკლი ყოველთვის უნდა დამთავრდეს წყალსაცავის ავსებით მის უმაღლეს ნიშნულამდე, თუ იგივე აუზი ერთსა და იმავე დროს არ არის გამოყენებული წლიური რეგულირებისათვის. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში კვირეული მოცულობა შეადგენს აუზის მთელი მოცულობის უმნიშვნელო ნაწილს და იგი, ცხადია, არ შეიძლება ავსებულ იქნეს უმაღლეს ნიშნულამდე, თუ კვირეული რეგულირება წარმოებს უკვე ნაწილობრივ დაკლილი წყალსაცავით.

წყალსაცავის გამოყენებას კვირეული რეგულირებისათვის თან არ უნდა სდევდეს სადგურის დაწნევის დიდი დაკლება წყალსაცავის დონის დამუშავების დროს, ვინაიდან ამას შეუძლია ენერჯის საერთო გამომუშავება შეამციროს.

ჰიდროელსადგურის ენერგოეკონომიური მაჩვენებლები

§ 52. ელექტროენერჯის გამოყენება წელიწადში

ეკონომიური ეფექტის განსაზღვრისათვის საჭიროა ვიცოდეთ ჰიდროელსადგურის ძირითადი სიდიდეები, რომლებზედაც დამოკიდებულია მისი მუშაობის ეკონომიურობა; ასეთებია: დადგენილი სიმძლავრე, ენერჯის წლიური გამომუშავება, ნაგებობათა ღირებულება და სადგურის ექსპლოატაციის ხარჯები.

ჰიდროელსადგურის დადგენილი სიმძლავრე არის სრულიად განსაზღვრული სიდიდე და მასში დადგმულ აგრეგატთა სიმძლავრეების ჯამის ტოლია. ენერჯის წლიური გამომუშავების სიდიდე კი, განსაკუთრებით მაშინ როდესაც არა გვაქვს მდინარის ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირების საშუალება, შეიძლება ყოველწლიურად იცვლებოდეს. აქიტომ უნდა შეეთანხმდეთ როგორ განსაზღვროთ ჰიდროელსადგურის ენერჯის წლიური გამომუშავება.

ენერჯის წლიური გამომუშავება დამოკიდებულია წლის განმავლობაში გამოყენებული ჩანადენის სიდიდეზე. ეკონომიური ეფექტის შეფასებისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ წლიური გამომუშავების საშუალო მნიშვნელობა. პროექტირების პრაქტიკაში ეს სიდიდე განისაზღვრება:

1) როგორც ენერჯის საშუალო წლიური გამომუშავება მთელი რიგი წლების განმავლობაში (რაც უფრო სწორია) ან

2) როგორც რომელიმე წლის გამოყენება, რომელიც მიღებულია საშუალო საანგარიშო წელიწადად. ეს საშუალო საანგარიშო წელი აირჩევა სხვადასხვა მეთოდით.

თუ დაპროექტების დროს გვაქვს მთელი რიგი წლების ჰიდროლოგიური დაკვირვებები, მაშინ უფრო სწორი იქნება ენერჯის გამომუშავების განსაზღვრა ყველა არსებული წლისათვის. თუ ამ სიდიდეს გავყოფთ დაკვირვების წელთა რიცხვზე, მივიღებთ საშუალო წლიურ გამომუშავებას მთელი რიგი წლებისათვის. ეს სიდიდე ყველაზე უფრო სწორად ახასიათებს ჰიდროელსადგურის ენერგეტიკულ ეფექტს და იგი მიღებული უნდა იყოს მისი ეკონომიური ეფექტურობის განსაზღვრის საფუძვლად.

მაგრამ ზოგჯერ ანგარიშების შესამცირებლად, მთელი რიგი წლების საშუალო წლიური გამომუშავების სიდიდის მაგივრად, განსაზღვრავენ მეორე სიდიდეს, სახელდობრ, საშუალო საანგარიშო წლის გამომუშავებას. ამ შემთხვევაში მთელი რიგი წლებიდან, რომლებზედაც არსებობს ჰიდროლოგიური მონაცემები, არჩეული უნდა იქნეს ისეთი წელი, რომლის გამო-

მუშავება შეძლებისამებრ ახლოს იქნება მრავალწლიურ საშუალო გამომუშა-
ვებასთან.

ცხადია, მაშინვე დაგვებაძება აზრი, რომ ასეთ საშუალო წელიწადად
არჩეული უნდა იქნეს ის წელი, რომლის ჩანადენი ახლოს იქნება საშუალო
წლიურ ჩანადენთან, ე. ი. საშუალო მრავალწლიურ ჩანადენთან ან სხვა სიტყ-
ვებით რომ ვთქვათ, ისეთი წელიწადი უნდა ავირჩიოთ, რომლის წლიური ჩა-
ნადენის მოდულური კოეფიციენტი ახლოს იქნება ერთთან. ეს მსჯელობა საპარ-
თლიანია, თუ ჰიდროელსადგურს ექნება ჩანადენის წლიური რეგულირების სა-
შუალება, ე. ი. როდესაც ჩანადენის გამოყენების კოეფიციენტი მაღალი იქნება
(ახლოს იქნება ერთთან). ამ დროს გამოყენებული იქნება მთელი ან თითქმის
მთელი ჩანადენი. ამ ჩანადენის სიდიდე საკმაოდ ზუსტად შეესაბამება წლიურ
გამომუშაებას. თუ ნაკადი ცუდად არის დარეგულირებული და გაზაფხულის
წყალმეტობის საგრძნობი ნაწილი არ იქნება გამოყენებული ჰიდროელსადგურ-
ში, მაშინ წლიური ჩანადენის სიდიდე არ არის საკმარისი იმისათვის, რომ
ვიმსჯელოთ ამ წლის გამომუშაება რამდენად ახლოსაა საშუალოსთან. მართლაც,
ჩანადენის განაწილება წლის სხვადასხვა დროში შეიძლება იყოს სრულიად
სხვადასხვა; მაგალითად, წლიური ჩანადენი, რომელიც ახლოსაა საშუალო
მრავალწლიურთან გაზაფხულის პერიოდში შეიძლება იყოს საშუალოზე უფრო
ნაკლები, ხოლო საშუალო დონისეული პერიოდის ჩანადენზე მეტი. ვინაიდან
საშუალო დონისეული პერიოდის ჩანადენი შეიძლება მთლიანად იქნეს გატა-
რებული ჰიდროელსადგურში, ცხადია, მისი გამომუშაება საშუალოზე მეტი
იქნება. პირიქით, თუ საშუალო საანგარიშო წლის საშუალო დონისეული პე-
რიოდის ჩანადენი საშუალო მრავალწლიურ ჩანადენზე ნაკლებია, ხოლო წყალ-
მეტობის ჩანადენი კი საშუალო მრავალწლიურზე მეტი, მაშინ (ვინაიდან
წყალმეტობის ჩანადენი ჰიდროელსადგურში გამოყენებულია მხოლოდ ნაწი-
ლობრივ) სადგურის გამომუშაება ნაკლები იქნება საშუალო მრავალწლიურ
გამომუშაებაზე, თუმცა ამ წელიწადში მთელი ჩანადენი საშუალო მრავალწლი-
ური ჩანადენის ტოლი იქნება. ამიტომ მცირედ დარეგულირებული ან დაუ-
რეგულირებელი ჩანადენის¹ და ჩანადენის გამოყენების კოეფიციენტის შედა-
რებით ნაკლები სიდიდის დროს არჩეული უნდა იქნეს ისეთი საანგარიშო
წელი, რომელსაც ერთსა და იმავე დროს ექნება წყალმეტობისა და საშუა-
ლო დონისეული პერიოდის ჩანადენები, საშუალო მრავალწლიური, წყალმცი-
რე და საშუალო დონისეული პერიოდის ჩანადენების ტოლი. აგრეთვე, ხში-
რად, ჩანადენის მიხედვით საშუალო წლის მაგივრად საანგარიშო წელიწადად
ღებულობენ იმ წელიწადს, რომლის ჩანადენი უზრუნველყოფილია მრავალ-
წლიურ რეგვი 50%-ით. ეს წელი ჩვეულებრივ ახლოს არის საშუალო ჩანადენის
წელთან.

ზოგჯერ, რეალური საშუალო წლის მაგივრად ირჩევენ ფიქტიურ სა-
შუალო საანგარიშო წელს. ასეთი წლის ჰიდროგრაფი ისე უნდა იქნეს
აგებული, რომ წლის ცალკეული პერიოდების (თვეები, დეკადები, ანდა დღე-
ღამეც კი) ჩანადენი საშუალო მრავალწლიური ჩანადენის ტოლი იყოს ამავე
პერიოდში. ასეთი წელი არ არის რეალური. კერძოდ, ასეთი წლის უმცირეს
ხარჯს ან სიმძლავრეს არა აქვს არავითარი რეალური აზრი და გამოსახავს

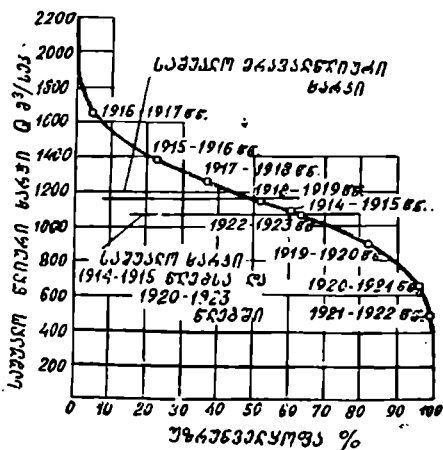
¹ ე. ი. სეზონური ჰიდროელსადგურებისათვის

მხოლოდ რაიმე საშუალო ხარჯს (ან სიმძლავრეს) მოცემულ კალენდარულ დროში. სინამდვილეში კი სხვადასხვა წლის მინიმალური ხარჯი შეიძლება არსებობდეს სხვადასხვა კალენდარულ დროში, ამიტომ ყველა მინიმალური ხარჯის საშუალო სიდიდე არ იქნება საშუალო ფიქტიური წლის მინიმალური ხარჯის ტოლი. იგივე შეიძლება ითქვას მაქსიმალურ ხარჯებზედაც და ა. შ.

საშუალო ფიქტიური წლის მიხედვით გამოთვლილი ენერჯიის გამომუშავება უფრო მეტი გამოდის, ვიდრე საშუალო გამომუშავება მრავალწლიურ პერიოდში. მართლაც, საშუალო ფიქტიური წლის ჰიდროგრაფის ყოველდღიური ხარჯები წყალუბვი, საშუალო და წყალმციკრე წლების ხარჯების საშუალოარითმეტიკულს წარმოადგენს. ენერჯიის გამომუშავების გაანგარიშების დროს ვთვლით, რომ ჰიდროელსადგური იყენებს ყველა იმ ხარჯს, რომლებიც არ აღემატებიან მის სრულ გამტარუნარიანობას. ამიტომ შეიძლება ცალკეულ დროში ფიქტიური წლის ჰიდროგრაფის მიხედვით აღებული წყლის ხარჯი გამოყენებულ იქნეს ჰიდროელსადგურის მიერ მაშინ, როდესაც ზოგიერთ წყალუბვ წელში იგი შეიძლება აღემატებოდეს ჰიდროელსადგურის გამტარუნარიანობას და მისი ნაწილი არ იქნება გამოყენებული. ენერჯიის ნამდვილი საშუალო გამომუშავება ამ პერიოდში უფრო ნაკლები იქნება, ვიდრე ფიქტიური წლის ჰიდროგრაფის მიხედვით გამოთვლილი ენერჯიის რაოდენობა.

ზემოთქმულის საფუძველზე არ შეიძლება რეკომენდებულ იქნეს საშუალო ფიქტიური წლის გამოყენება ენერჯიის გამომუშავების განსაზღვრისათვის. საშუალო რეალური წელი უკეთეს შედეგებს იძლევა.

საშუალო საანგარიშო წლის გამოყენების დროს, ზოგჯერ ამ წლის მიხედვით გამოთვლილი ენერჯიის გამომუშავებაში შეაქვთ შესწორებანი, რომ ამით იგი მიიყვანონ მრავალწლიური პერიოდის საშუალო სიდიდემდე. მაგალითად, თუ არჩეულ საანგარიშო წელს აქვს 0,95-ის ტოლი მოდულური კოეფიციენტი, მაშინ ეს იმას ნიშნავს, რომ მისი ჩანადენი შეადგენს ნორმის, ე. ი. საშუალო მრავალწლიური ჩანადენის 0,95-ს. გულისხმობენ, რომ მისი გამომუშავება აგრეთვე შეადგენს საშუალო მრავალწლიური გამომუშავების 0,95-ს. ამიტომ საანგარიშო წლის გამომუშავება უნდა გაეყოთ 0,95-ზე.



ნახ. 114. ქ. იაროსლავლთან მდ. ვოლგას საშუალო წლიური ხარჯების განაწილების შედარება 9 საანგარიშო წლის და მრავალწლიური პერიოდისათვის (საანგარიშო პერიოდის შერჩევისათვის).

ჩანადენის რეგულირების გაანგარიშების დროს, მუშაობის შემცირების მიზნით ხანგრძლივი მრავალწლიური პერიოდის ნაცვლად (რომელზედაც დააკვირება არსებობს) სარგებლობენ უფრო ხანმოკლე წლების რიგით. წლების

ეს რიგი თავისი ჩანადენის მიხედვით ახლოს უნდა იყოს საშუალო მრავალწლიურ ჩანადენთან და შეძლებისდაგვარად უნდა შეიცავდეს ყველაზე უფრო წყალუხვ და წყალმცირე წლებს. 114-ე ნახაზზე მოყვანილია საანგარიშო პერიოდის შერჩევის მაგალითი მდ. ვოლგასათვის ქ. რიბინსკთან. არჩეულ ჰიდროლოგიურ წლებს 1914—1915-დან 1922—1923-მდე აქვთ საშუალო ხარჯი, რომელიც 8%-ით უფრო ნაკლებია, ვიდრე საშუალო მრავალწლიური ხარჯი. ამაში შეყვანილია ყველაზე უფრო წყალმცირე 1921—1922 და ყველაზე უფრო წყალუხვი 1915—1917 წლები. ჩანადენი შერჩეული 9 წლის მიხედვით თანაბრად არის განაწილებული მრავალწლიური პერიოდის უზრუნველყოფის მრუდზე.

შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ამ პერიოდისათვის ენერჯის განომუშავება საშუალო მრავალწლიურთან შედარებით 8%-ით ნაკლებია.

მრავალწლიური რეგულირებისათვის საანგარიშო პერიოდის შერჩევის დროს იგი აუცილებლად უნდა შეიცავდეს ყველაზე უფრო არახელსაყრელ წყალმცირე პერიოდს, რომელიც განსაზღვრავს წყალსაცავის აუცილებელ მოცულობას.

§ 53. დადგენილი კილოვატის ღირებულება

ჰიდროელსადგურის ეკონომიურობის ერთ-ერთ ყველაზე უფრო ხმარებულ მაჩვენებელს წარმოადგენს დადგენილი სიმძლავრის ერთი კილოვატის ღირებულება, რომელიც მიიღება სადგურის ყველა ნაგებობისა და მოწყობილობის საერთო ღირებულების მის დადგენილ სიმძლავრეზე გაყოფით.

დანადგარის ერთი კილოვატის ღირებულება დიდადაა დამოკიდებული ადგილობრივ პირობებზე და სხვადასხვა სადგურებისათვის შეიძლება დიდ საზღვრებში იცვლებოდეს. იმ დანადგარებისათვის, რომელთა დაწნევა მხოლოდ კაშხალით იქმნება, ამ კაშხალის ღირებულებამ შეიძლება საგრძნობლად იმოქმედოს დადგენილი კილოვატის ღირებულებაზე. მდინარის კვეთის სიგანე, რომელზედაც კაშხალია აგებული, ამ შემთხვევაში არსებით როლს ასრულებს. კაშხალით შეტბორვისას მდინარის მცირე ქანობის შემთხვევაში (მაგალითად, ბარის მდინარეების დროს) შეიძლება მივიღოთ ისეთი დატბორვა, რომ მასთან დაკავშირებულმა ფულადმა ხარჯებმა საგრძნობლად გააღიძვოს დადგენილი კილოვატის ღირებულება. ასე, მაგალითად, მდ. ვოლგაზე დანადგარისათვის დატბორვის ღირებულება აღწევს სადგურის საერთო ღირებულების 15—25%. დატბორვით გამოწვეული ხარჯები კიდევ უფრო მეტია (30—40%) ბარის ისეთი მდინარეებისათვის, რომელთა კაშხალები ქმნიან დიდ წყალსაცავებს.

დერივაციული დანადგარების დადგენილი კილოვატის ღირებულება დიდადაა დამოკიდებული მდინარის გამოყენებული უბნის გრძივ ქანობზე. რაც მეტია მდინარის ვარდნა, მით მეტია დერივაციის ერთეულ სიგრძეზე მოსული დაწნევა და მით უფრო მცირეა ერთი კილოვატის ღირებულება. ბევრი დანადგარი მთიან რაიონებში ხასიათდება კილოვატის ძალიან მცირე ღირებულებით იმის გამო, რომ მათი დერივაცია იყენებს მდინარის წყალვარდნილებს და დიდ ქანობებს მდინარის მოკლე მანძილზე. 14-ე ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთი ასეთი ცნობა რამდენიმე ჰიდროელსადგურისათვის.

დანადგარის ღირებულებაზე დიდ გავლენას ახდენს აგრეთვე მისი ნაგებობების ქვეშ ნიადაგის გეოლოგიური პირობები. კარგი კლდოვანი გრუნტის შემთხვევაში, დადგენილი კილოვატის ღირებულება საგრძნობლად ეცემა. პი-

ქვეყნები	დანადგარის სახელწოდება	დერივაციის სახე	დერივაციის სიგრძე	დაწნევა	
				ა	მ/კმ
გერმანია	ტიოგინგი მდ. ინახე	არხი	22,8	31,0	1,36
"	შუა ინარი, ოთხდანადგარიანი კასკადი .	"	53,7	83,8	1,56
"	მარგარეტენტბერგი მდ. ალცხე	"	14,4	41,5	2,88
ირლანდია	შანონი	"	11,6	31,0	2,68
შვეიცია	ტროლზ; ტანი	"	1,35	30,5	22,60
"	პორიუსი	ჯვირაბი	2,1	51,0	27,10
ესპანეთი	სეროსი	არხი	27,0	60,0	2,22
შეიქარია	ლიოზნი	ჯვირაბი	4,1	330,0	80,5
"	კლსტერს-კიუბლისი	ჯვირაბი	10,5	356,0	34,0

რიქით, რბილი გრუნტი, რომელიც მოითხოვს ნაგებობების ქვეშ სპეციალური საძირკვლების მოწყობას, ფილტრაციის წინააღმდეგ ღონისძიების ჩატარებას და აგრეთვე გამაგრებას, იწვევს მისი ღირებულების საგრძნობლად გადიდებას.

გარდა ამისა, დადგენილი კილოვატის ღირებულება დამოკიდებულია პროექტირების დროს შერჩეულ დადგენილი სიმძლავრის სიდიდეზე. თუ ჰიდროელსადგურმა უნდა იმუშაოს დატვირთვის გრაფიკის პიკების დასაფარავად, მაშინ მისი სიმძლავრე უფრო მეტი სიდიდისა უნდა შეირჩეს ვიდრე მაშინ, თუ იგი გათვალისწინებული იქნებოდა საბაზისო მუშაობაზე.

დანადგარის ზოგიერთი ელემენტი არ იცვლება, თუ ჰიდროელსადგურის სიმძლავრეს გადადიდებთ ან შევამცირებთ, რის გამოც ამ ნაგებობების ღირებულება უცვლელი რჩება. ნაგებობებისა და მოწყობილობის სხვა ნაწილები ძვირდება დაახლოებით სიმძლავრის პროპორციულად. ნაგებობებს, რომლებიც იძლევიან ჰიდროელსადგურის ღირებულების მუდმივ ნაწილს, ეკუთვნის: 1) კაშხალი და მისი მოწყობილობა (ფარები, მათი მექანიზმები და სხვ.), 2) დატბორვის ღირებულება, 3) მოწყობილობანი თევზსავალებისა, ტრესავალებისა და ნაოსნობისათვის და ა. შ. 4) სადგურის შენობის ზოგიერთი ელემენტი და მათი მოწყობილობა, 5) მისასვლელი გზები, 6) სადგურის პერსონალის საცხოვრებელი სახლები¹ და ა. შ.

ტურბინების, გენერატორებისა და აგრეთვე თვით სადგურის შენობის ღირებულება იზრდება მისი სიმძლავრის თითქმის პროპორციულად.

დერივაციის ღირებულება აგრეთვე ძალიან არის დამოკიდებული სადგურის სიმძლავრეზე, ე. ი. სადგურის მიერ მოთხოვნილი წყლის ხარჯზე. მაგრამ, მიუხედავად ამისა, დერივაციული ნაგებობების ღირებულებაშია ც შეიძლება მოიძებნოს მუდმივი ნაწილი.

თუ პროექტირებისა და ხარჯთაღრიცხვის გაანგარიშებით განვსაზღვრავთ სადგურის დადგენილი სიმძლავრის სხვადასხვა ვარიანტის ღირებულებას², მაშინ სიმძლავრესა და ღირებულებას შორის ჩვეულებრივ გამოდის წრფივი დამოკიდებულება და საკმაო სიზუსტით იგი შეიძლება გამოვსახოთ ასე:

$$A = aP + A_0,$$

¹ სადგურის პერსონალის კომუნალური მეურნეობის სიდიდე სადგურის სიმძლავრეზე დამოკიდებულია.

² ე. ი. წინასწარ აღებული სადგურის უცვლელ სქემაზე, როდესაც $H=Const$ ვცვლით წყლის ხარჯს, ე. ი. სიმძლავრეს.

სადაც A არის სრული ღირებულება, A_0 —მისი მუდმივი ნაწილი და aP — ღირებულების ის ნაწილი, რომელიც სიმძლავრის პროპორციულია. პროპორციულობის a კოეფიციენტს დამატებითი კილოვატის ღირებულება ეწოდება. თუ დანადგარის სიმძლავრეს გავზრდით ერთი კილოვატით, მაშინ ეს დამატებითი კილოვატი დაჯდება a მანეთი.

დანადგარის ერთი კილოვატის ღირებულება მიიღება საერთო A ღირებულების გაყოფით P სიმძლავრეზე:

$$\frac{A}{P} = a + \frac{A_0}{P}.$$

ამრიგად, ერთი კილოვატის ღირებულება დამატებითი კილოვატის ღირებულებისა და ერთ კილოვატზე მოსული მუდმივი ღირებულების ნაწილის ჯამის ტოლია. რაც მეტი იქნება სადგურის არჩეული სიმძლავრე, მით უფრო ნაკლები იქნება მისი დადგენილი კილოვატის ღირებულება.

ამიტომ ხელსაყრელი არ არის ჰიდროელსადგურის ძალიან მცირე სიმძლავრის არჩევა, მაგალითად, მისი შეზღუდვა ისეთი სიდიდით, რომელიც უზრუნველყოფილი იქნება წლის ყველაზე წყალმცირე დღეებშიაც კი (100%-ანი უზრუნველყოფა). ამ შემთხვევაში დადგენილი კილოვატის ღირებულება იქნებოდა ძალიან მაღალი.

§ 54. ქუთაისი კაპიტალდაგანდგმანი ენერჯის ერთ კილოვატ-საათზე და ჰიდროელსადგურის ენერჯის თვითღირებულება

ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის ზრდა იძლევა გამომუშავებული ენერჯის ნაზრდის შემცირებას. დიდი სიმძლავრის დროს, ერთი კილოვატის ღირებულება გამოდის ნაკლები, ე. ი. დანადგარის ეკონომიურობის ეს მაჩვენებელი უზრუნველდება. თუ ავირჩევთ დიდ სიმძლავრეს, მაშინ ენერჯის გამო-მუშავება სიმძლავრის გადიდების გამო, არც თუ ისე დიდად გაიზრდება. ამის გამო, ერთი კილოვატი სიმძლავრის ღირებულების გარდა, აკადემიკოს ბ. ე. ვედენევის მიერ შემოღებული იქნა ეკონომიურობის მეორე მაჩვენებელი, სახელდობრ, ენერჯის წლიური გამომუშავების ერთ კილოვატ-საათზე კაპიტალდაბანდების ღირებულება, რომელიც მიიღება დანადგარის ღირებულების გაყოფით გამომუშავებული ენერჯის რაოდენობაზე (საშუალო წლისათვის), ე. ი. $\frac{A}{W}$, სადაც W არის ენერჯის წლიური გამო-მუშავება კილოვატ-საათებში.

ყველაზე უფრო ხელსაყრელი ჰიდროელსადგურებისათვის კაპიტალდაბანდება ერთ კილოვატ-საათზე იცვლება 25-დან 50 კაპიკამდე. ღირებულება 50 კაპიკიდან ერთ მანეთამდე შეიძლება კიდევ ჩაეთვალოთ ხელსაყრელად, მაგრამ ერთი მანეთიდან 1,5 მანეთამდე კილოვატ-საათის ღირებულების დროს დანადგარი უნდა ჩაითვალოს ძვირად ღირებულად, თუმცა იგი კიდევ მისა-ღებია, თუ მოცემულ რაიონებში არ შეიძლება მოინახოს უფრო იაფი ენერჯის წყარო (ფასები 1936 წლისაა).

ჰიდროელსადგურის ეკონომიურობის ყველაზე უფრო არსებით მაჩვენებელს წარმოადგენს გამომუშავებული ენერჯის თვითღირებულება. ენერჯის თვითღირებულება მიიღება ყველა საექსპლუატაციო წლიური ხარჯის გაყოფით ენერჯის წლიურ გამო-

მუშავებაზე კი ლოვატ-საათებში და იგი წარმოადგენს ერთი კილოვატ-საათი ენერჯის გამომუშავებისათვის საჭირო დანახარჯებს.

ჰიდროელსადგურის წლიური საექსპლოატაციო ხარჯები იყოფა ორ გგუფად:

1) არაპირდაპირი საქსპლოატაციო ხარჯები, რომლებიც უშუალოდ არ არის დაკავშირებული ენერჯის გამომუშავებასთან და

2) პირდაპირი საექსპლოატაციო ხარჯები, რომლებიც საჭიროა ენერჯის გამომუშავებისათვის.

არაპირდაპირი საექსპლოატაციო ხარჯები შედგება იმ ანარიცხებისაგან, რომლებსაც სადგურის ადმინისტრაცია ყოველწლიურად რიცხავს ამორტიზაციისა და კაპიტალური შეკეთების ფონდში.

ჰიდროსადგურის ყველა ელემენტი, ე. ი. ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი, ლითონის კონსტრუქციები, ტურბინები, გენერატორები, ელექტრომექანიკური და მექანიკური დანადგარები და ა. შ. დროთა განმავლობაში ცედება და უეარჯისი ხდება. ცალკეული მოწყობილობის გამძლეობის დრო სხვადასხვაა. მოცემული დანადგარის ღირებულება მისი გამძლეობის პერიოდში გამომუშავებული ენერჯის ღირებულებაში შედის როგორც შემადგენელი ნაწილი. თუ, მაგალითად, სადგურის ტურბინას შეუძლია იარსებოს 25 წელი, მაშინ მისი ღირებულების 1/25-დი ნაწილი, ე. ი. 4% შეტანილი უნდა იქნეს ყოველწლიურ საექსპლოატაციო ხარჯებში. ჰიდროელსადგურმა ყოველწლიურად უნდა გადაარიცხოს ამ ტურბინის ღირებულების 4% ამორტიზაციის ფონდში. საამორტიზაციო ფონდის დაგროვება წარმოადგენს მართივით აღწარმოების პროცესს.

ჰიდროდანადგარის ზოგიერთი ელემენტი ძლებს თითქმის ნუღმივად, ე. ი. მისი ამორტიზაციის დრო ძალიან დიდია. მაგალითად, გვირაბი მოპირკეთების გარეშე ძლებს უფრო დიდხანს, მაგრამ ეს გვირაბიც დაკარგავს თავის მნიშვნელობას, თუ სადგურის მთელი ნაგებობა მწყობრიდან გაშვია. ამიტომ გვირაბის ღირებულებაც უნდა იქნას განაწილებული ენერჯის იმ რაოდენობაზე, რომელსაც გამოიმუშავებს ჰიდროელსადგური დანარჩენი დანადგარების ამორტიზაციის დროში, ე. ი. იმ კაპიტალური ნაგებობის ამორტიზაციის დროში, რომელიც უფრო ბანგამძლეა, იმ ანგარიშით, რომ ნაკლებად ხანგამძლე ნაწილები ამ პერიოდში აღდგება მათი ამორტიზაციის ანარიცხების ხარჯზე. ასეთ ხანგამძლე ნაგებობას წარმოადგენს კაშხალი.

ამ მოსაზრებით, ხარჯები, რომლებიც დაკავშირებულია მიწების დატბორვასა და დატბორილი საწარმოებისა და საცხოვრებელი სახლების გადატანასთან და ა. შ. უნდა ემორჩილებოდეს ამორტიზაციას ამავე დროში.

ნაგებობებისა და მანქანების ფიზიკურ გაცვეთაზე დამოკიდებული ამორტიზაციის ვადის მაგვირად, ზოგჯერ, ლებულობენ ე. წ. მორალური გაცვეთის ვადას, რომელიც ჩვეულებრივ უფრო ნაკლებია, ვიდრე ფიზიკური ამორტიზაციის ვადა. მანქანის მორალური გაცვეთის დრო შეიძლება დადგეს მაშინ, როდესაც ტექნიკის წინსვლის შედეგად გაჩნდება უფრო ხელსაყრელი მანქანა, რომლის გამოყენება შეიძლება უფრო ხელსაყრელი იყოს, ვინაიდან მან შეიძლება მოგვეცეს პროდუქციის ერთეულზე მასალის ნაკლები კუთარი ხარჯი ან შეამციროს ადამიანის ფიზიკური შრომის რაოდენობა და ანით გაზარდოს შრომის ნაყოფიერება. ასე, მაგალითად, ორთქლის ქვაბებისა და ორ-

თქლის ტურბინების ტექნიკაში უფრო მაღალი წნევისა და ტემპერატურის გამოყენების შედეგად მცირდება სათბობის ხარჯი ენერჯის გამოშვებების ერთ კილოვატ-საათზე; შეიძლება ხელსაყრელი აღმოჩნდეს ძველი, მაგრამ ფიზიკურად ჯერ კიდევ გაუცვეთაი ტურბინის შეცვლა ახლით, რაც შეამცირებს სათბობის ხარჯს. ტექნიკის სწრაფი განვითარების შედეგად ასეთი მორალური გაცვეთის ვადა გაცილებით უფრო ხანმოკლეა, ვიდრე ფიზიკური გაცვეთისა და ამიტომ ამორტიზაციის დროც უფრო ხანმოკლეა.

ჰიდროელექტრულ დანადგარებში არ შეიძლება მოიძებნოს ისეთი ნაწილი, რომელიც მორალური გაცვეთით გამოვა მწყობრიდან. ჰიდრონაგებობანი, თუ ისინი ფიზიკურ უვარგისობამდე არ მივლენ, ყოველთვის ასრულებენ თავის მოვალეობას; მექანიზმები, რომლებიც დანიშნულია ენერჯის გამოსამუშავებლად, ე. ი. ტურბინა და გენერატორი საკმაოდ სრულყოფილი არიან და აქვთ მაღალი მქკ, ამიტომ ჰიდროელსადგურებისათვის ყოველთვის მიღებულია ფიზიკური ამორტიზაციის ვადა.

დროებითი დანიშნულების ჰიდროელსადგურებისათვის ზოგჯერ იძულებული ვართ შევამციროთ ამორტიზაციის დრო. თუ წინასწარ ცნობილია, რომ ჰიდროელსადგური გამოყენებული უნდა იქნეს განსაზღვრული დროის განმავლობაში, ხოლო შემდეგ იგი საჭირო არ იქნება, მაშინ, ცხადია, იგი აღნიშნულ დროში ამორტიზებული უნდა იქნეს. ამ შემთხვევაში ამორტიზაციის პროცენტი მატულობს დროის შესაბამისად. მაგალითად, დროებითი ჰიდროელსადგური, რომელიც აშენებულია დიდი ჰიდროელსადგურის მშენებლობის ენერჯით მომარაგებისათვის, მისი აშენების შემდეგ შეიძლება წყლით დაიფაროს დიდი ჰიდროელსადგურის კაშხალით დატბორვის შედეგად. თუ მშენებლობის ვადა იქნება 4 წელი, მაშინ პატარა ჰიდროელსადგური ამორტიზებული უნდა იქნეს ამ დროისათვის და ყოველწლიური საამორტიზაციო ანარიცხები მიაღწევს მისი ღირებულების 25% -ს¹.

გარდა ამორტიზაციისა, საჭიროა აგრეთვე ყოველწლიურად გამოიყოს ყველა ნაგებობისა და მოწყობილობის ღირებულების გარკვეული პროცენტი, რომელიც საჭიროა კაპიტალური შეკეთების წარმოებისათვის. ცალკეულ ელემენტებზე გამოყოფილი თანხის რაოდენობა დამოკიდებულია მათი გაცვეთის ხარისხისა და შეკეთების ვადებზე.

კაპიტალურია შეკეთება მაშინ, როდესაც იგი დაკავშირებულია დიდი მოცულობის სამუშაოებთან. ეს შეკეთება წარმოებს რამდენიმე წელიწადში

¹ ამ განმარტებაში არ შეიძლება დაეთანხმოთ პროფ. ა. ა. მოროზოვს. ჩვენში, სოციალისტურ ქვეყანაში, არ უნდა არსებობდეს ისეთი დამხმარი ნაგებობანი, რომლებიც მორალურად ცვდებიან. მხარდობ მათხოვიანობა, კერძოდ წარმოების საშუალებებზე, ამის საშუალებას არ იძლევა. მიუხედავად პრაქტიკისა. საქართველოში ხრამქესი აშენდა დაშაშაქსის ენერჯის ბაზაზე, მაგრამ ხრამქესის აშენების შემდეგ დაშაშაქსი კი არ დაგვინგრევიდა ან წყლით კი არ დაგვიფარია, არამედ ჩვენმა მთაერობამ იგი გადასცა მასთან ახლოს მდებარე კოლმეურნეობებს მუდმივ სარგებლობაში, ჩვენი სოციალისტური სოფლების ელექტროფიკაციისათვის. ჩვენში, როგორც წესი, დამხმარე ნაგებობანი არ უნდა მოხდეს ძირითადი ჰიდროელსადგურის სათავე კანონის დატბორვის არეში და თუ ეს აუცილებლობით იქნება გამოწვეული, იგი ისე უნდა დაპროექტდეს, რომ მისი გადატანა ყოველთვის შეიძლებოდეს. ასეთ პირობებში დამხმარე ნაგებობების ამორტიზაციის დრო უნდა განისაზღვროს მისი ფიზიკური გაცვეთის ვადით და მშენებლობას გადახდეს ამორტიზაციის მხოლოდ ნაწილი, დანარჩენი კი უნდა აანაზღაუროს იმ დაწესებულებამ, რომელსაც დამხმარე საწარმო მუდმივ სარგებლობაში გადაეცა. საკითხის ასეთი გადაწყვეტა შესაბამება სოციალისმის პრინციპებს და უზრუნველყოფს, ერთი მხრივ, მშენებლობის გაიფხვას, მეორე მხრივ, მექანიზმებისა და დანადგარების ბოლომდე გამოყენებას.

ერთხელ და დაკავშირებულია ძირითადად დანადგარებისა და მსხვილი ნაწილების აღდგენასა და გამოცვლასთან; ასე, მაგალითად, კაპიტალური შეკეთების დროს შეიძლება მოხდეს ტურბინის ძირითადი ნაწილების გამოცვლა (ტურბინის მუშა თელის ფრთები ან მთელი მუშა თვალი), გენერატორის გრაგნილების გადახვევა, კაშხალის წყალსაცემი ნაწილის გამოცვლა, ყრილი კაშხალის ეკრანის შეცვლა, დერეფაციის ნაწილობრივი ან მთლიანი მოპირკეთება და ა. შ.

კაპიტალური შეკეთებანი შეიძლება დაკავშირებულ იქნეს მთელი სადგურის ან მისი აგრეგატის ნაწილის გაჩერებასთან. კაპიტალური შეკეთებისათვის საჭირო თანხები, ჩვეულებრივ, ისე დიდია, რომ ის არ ეტევა სადგურის წლიური ხარჯების ჩვეულებრივ ჩარჩოებში და მათთვის საჭირო ხდება სახელმწიფოს სპეციალური კრედიტი. კაპიტალური შეკეთების ყოველწლიური ანარიცხების მიზანს წარმოადგენს შემდგომი ათვისებისათვის ფონდების შექმნა; ვინაიდან ეს ანარიცხები ყოველწლიურად თანაბარია, ამიტომ კაპიტალური შეკეთების ღირებულება თანაბრად ნაწილდება გამომუშავებული ენერჯის ღირებულებაზე.

მე-15 ცხრილში მოცემულია ჰიდროელსადგურის ნაგებობებისა და მოწყობილობის ამორტიზაციის ვადები და ყოველწლიური ანარიცხების სიდიდეები პროცენტებში მათი კაპიტალური ღირებულებიდან. საკვლეო სამუშაოებისა და დაპროექტების ღირებულება, აგრეთვე, დამხმარე სამუშაოებისა და სამშენებლო დანადგარების ღირებულება და სხვ., განაწილებული უნდა იქნეს ჰიდროდანადგარის ცალკეულ ნაგებობებზე მათი ღირებულების პროპორციულად და შეტანილი უნდა იყოს მისში.

ც ხ რ ი ლ ი 15

ნაგებობათა და მოწყობილობათა ელემენტების დასახელება	ამორტიზაციის ვადები წლების მიხედვით	ყოველწლიური ანარიცხები ღირებულებიდან %	
		ამორტიზაციაზე	კაპიტალურ შეკეთებაზე
1. ბეტონის, რიწის, ქვყარილი კაშხალები და სხვა მასიური ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი .	50—100	1—2	0,25—0,50
2. ხის კაშხალები	20—25	4—5	2—3
3. მიწის დამბები	50—100	1—2	0,5
4. არხები	50	2	0,5—1,0
5. გვირაბები	50—100	1—2	0,25—0,5
6. ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ლითონის კონსტრუქციები	25	4	1,0—1,5
7. ჰიდროელსადგურის შენობა	50	2	0,5
8. ტურბინები და გენერატორები, ელექტროტექნიკური დანადგარები	20—25	4—5	2
9. ლითონის მილსადენები	25	4	1
10. ხის მილსადენები	20	5	2
11. ელექტროგადამცემი ხაზები ლითონის ანთებზე	20—25	4—5	3
12. სასამსახურო კვანძის შენობები	50	2	1,0—1,5

მე-15 ცხრილი შედგენილია ანარიცხების საშუალო ნორმით, რომელიც ჩვეულებრივ მიღებულია დაპროექტების პრაქტიკაში. ეს ცხრილი შეიძლება განვიხილოთ როგორც საორიენტაციო მაჩვენებელი დაპროექტებისათვის.

ვინაიდან ამორტიზაციის ვადა ბეტონისა და მინის ჰიდროტექნიკური ნაგებობებისათვის შეიძლება მიღებული იყოს დიდი, ვიდრე ლითონის ან ხის კონსტრუქციებისა და მექანიზმებისათვის, ამიტომ ანარიცხების ნორმები მათ-

თვის სხვადასხვა გამოდის. მიწების დატბორვისა და მიწებზე არსებულ ნაგებობებზე დამოკიდებული დანახარჯები, ანაზღაურებული უნდა იქნეს ყველაზე უფრო ხანგაძმლე კაპიტალური ნაგებობების ამორტიზაციის ვადებით (კაშხალები, გვირაბები და ა. შ.).

გამოვთვლით რა ყოველწლიური არაპირდაპირი საექსპლოატაციო ხარჯების რაოდენობას (ამორტიზაციისა და კაპიტალური შეკეთების ხარჯები), შეიძლება გამოვთვალოთ ხარჯების საშუალო პროცენტი მთელი ხარჯების გაყოფით ნაგებობის ღირებულებაზე. ხარჯების საშუალო პროცენტის სიდიდე დამოკიდებულია დანადგარებისა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ღირებულებათა ფარდობაზე. მთელი ღირებულების რაც უფრო მეტი ნაწილი მოდის ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე, მით უფრო ნაკლები გამოდის არაპირდაპირი ხარჯების პროცენტი. ჩვეულებრივ ეს საშუალო პროცენტი მერყეობს 2,5-დან 3,5¹/₁₀₀-მდე; განსაკუთრებულ შემთხვევაში აღწევს 4 და მეტ პროცენტს, მაგალითად, როდესაც ჰიდროელსადგური იგება საირიგაციო არხის გამზადებულ წყალგარდნისზე და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ღირებულება არ შედის მის ღირებულებაში.

იმისათვის, რომ დაცულ იქნეს ერთგვაროვნება საექსპლოატაციო ხარჯების გამოთვლებში, ჰიდროენერგოპროექტის¹ მიერ გამოცემულია სპეციალური ინსტრუქცია, რომელშიაც მოცემულია როგორც პირდაპირი, ისე არაპირდაპირი საექსპლოატაციო ხარჯების ნორმები.

ჰიდროელსადგურის პირდაპირი საექსპლოატაციო ხარჯების ნორმები შედგება:

1. სადგურის მუდმივი პერსონალის ხელფასისაგან,
2. მიმდინარე შეკეთების ხარჯებისაგან,
3. საკუთარ მოხმარებაზე დახარჯული ელექტროენერგიის ღირებულებისაგან,
4. სადგურის საერთო და სხვა ხარჯებისა და.
5. იმ დამატებითი ხარჯებისაგან, რომლებიც გამოწვეულია სადგურის მუშაობის სპეციფიკური პირობებით.

სადგურის მუდმივი პერსონალის ხელფასი განისაზღვრება სადგურის საშტატო უწყისით და მოცემული რაიონის სატარიფო განაკვეთით. საშტატო უწყისში შედის: ა) სადგურის ადმინისტრაციული და საინჟინრო ტექნიკური პერსონალი, ბ) ადმინისტრაციული სამმართველოს მოსამსახურენი, გ) ვახტისა (მორიგე) და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მეთვალყურე პერსონალი, დ) შემკეთებელი სახელოსნოების მუშები, ე) დამხმარე პერსონალი (ტრანსპორტის, კავშირგაბმულობის, გათბობის, შენობისა და სადგურის ტერიტორიის მომვლენები და ა. შ.) და ვ) არაკვალიფიციური და დროებითი მუშების გარკვეული რაოდენობა.

ვახტის პერსონალის რაოდენობა განისაზღვრება ოთხივე ცვლისათვის. დროებითი სამუშაო ძალა, რომელიც საჭიროა შეკეთების საჭიროებისათვის, შტატში არ შედის, ვინაიდან მისი ღირებულება შეტანილია შეკეთების ხარჯებში.

საშტატო უწყისის მიხედვით გამომუშავებული ხელფასის რაოდენობას უნდა დაეძატოს:

¹ აშემად ჰიდროენერგოპროექტის ინსტიტუტი.

1.. დანამატები სანარდო და უაფარიო მუშაობისათვის. ეს თანხა შეიძლება გათვალისწინებულ იქნეს ძირითადი ხელფასის 2%-ის რაოდენობით.

2. დანარიცხები ხელფასზე (დამატების ჩათვლით) იმ რაოდენობით, რაც გათვალისწინებულია შესაბამისი კანონით (სოცდაზღვევა, ანარიცხები კულტურონდში და სხვ.).

3. ხარჯები შრომის დაცვასა და უსაფრთხოების ტექნიკაზე.

ამ სამი ანარიცხის თანხა შეადგენს საშტატო ძირითადი უწყისის დაახლოებით 30%-ს.

საპროექტო მოცემულობისათვის, ზემოთ აღნიშნულ ინსტრუქციაში, სადგურის პერსონალის რაოდენობის განსასაზღვრავად მოცემულია მე-16 ცხრილი.

ცხრილი 16

სადგურის სიმძლავრე მგვტ .	5	10	25	50	100	150	250	500
პერსონალის რაოდენობა	50	60	90	110	125	130	140	175

ჰიდროელსადგურის მიმდინარე შეკეთება უნდა წარმოებდეს განუწყვეტლივ, მთელი ექსპლოატაციის პერიოდში და მდგომარეობს:

ა) ჰიდროელსადგურის ნაგებობებისა და მოწყობილობის ყველა შემჩნეული უწყესრიგობის მიმდინარე შეკეთებაში. ასეთი შეკეთება სრულდება სადგურის აგრეგატის გაუჩერებლად ან ჰიდრონაგებობების ნაწილის მოქმედების შეუჩერებლად; შეკეთების ამ კატეგორიას ეკუთვნის კონსტრუქციების, შენობის კედლების, სახურავისა და ა. შ. შეღებვის ყოველგვარი სახე.

ბ) გეგმიან-გამაფრთხილებელ დათვალიერებასა და შეკეთებაში, რომელიც წინასწარ განსაზღვრულ ვადებში წარმოებს და მდგომარეობს ნაგებობისა და მექანიკური მოწყობილობის ნაწილების დათვალიერებაში. საჭიროების შემთხვევაში ეს მოწყობილობანი ნაწილობრივ დაიშლებიან ტურბინის, გენერატორისა და სხვათა ნაწილების მდგომარეობის შესამოწმებლად, რომლებიც მათი მუშაობის შემთხვევაში მიუწვდომელი არიან დათვალიერებისათვის; აუცილებლობის შემთხვევაში წარმოებს ყველა საჭირო შესწორება და გაცვეთილი ნაწილების ახლით შეცვლა; ამ მიზნით, ცალკე მანქანები შეიძლება გაჩერდეს რიგრიგობით თავისი შეკეთების ვადებში.

გ) ავარიულ შეკეთებაში, ე. ი. იმ დაზიანების შესასწორებლად, რომელიც გამოწვეულია ავარიით ან ბუნების ძალების მოქმედებით—მძაფრი წყალმეტობით, ყინულის დიდი ხერჯილით და ა. შ. დიდ ავარიას შეუძლია გამოიწვიოს კაბიტალური შეკეთების აუცილებლობაც.

ყველაზე მეტ გაცვეთასა და ყოველგვარი სახის დაზიანებას განიცდის შემდეგი მექანიზმები: ტურბინები, გენერატორები, მათი დამხმარე აპარატურა, აგრეთვე, ფარის საკეტების ამწევი მექანიზმები და სხვა, ხოლო ნაგებობებში—მათი ის ნაწილები, რომლებიც განიცდიან წყლის, ყინულისა და მონატანის დიდი სიჩქარეების გავლენას, ე. ი. კაშხალის წყალსაცემი და წყალსაშვები, მათი საკეტები, მოპირკეთება და ა. შ.

ჰიდროენერგოპროექტის ინსტრუქციის მიხედვით პროექტში გათვალისწინებული უნდა იყოს ყოველ 1 კმტ სიმძლავრეზე მიმდინარე შეკეთების ღირებულება მე-17 ცხრილის მიხედვით.

ჰიდროელსადგურის მიმდინარე შეკეთების ღირებულება დადგენილ 1 კალოვარ ხიმძლავრეზე

სიმძლავრე მგვტ . ღირებულება მან./კვტ:	5	10	25	50	100	150	250	500
ა) უდროვაციო დანადგარებისათვის	21,8	18,4	10,6	7,1	5,4	4,5	3,6	3,7
ბ) დერევიციული დანადგარებისათვის	25,0	21,0	12,0	8,0	6,0	5,0	4,0	3,0

ამ თანხებში შედის შემკეთებელი პერსონალის ხელფასი, მასალებისა და სათადარიგო ნაწილების ღირებულებანი და აგრეთვე მანქანების დაზეთვისა და გაწმენდის ხარჯები.

ჰიდროელსადგურის საკუთარ მოხმარებაზე ელექტროენერგიის ხარჯი საერთოდ დიდი არ არის, განსაკუთრებით თუ მას შეედარებთ თბოსადგურის ხარჯებს. მთავარი გენერატორის ავზნებაზე მოხმარებული სიმძლავრე შეადგენს მისი სიმძლავრის 0,5—1,2%-ს დიდი სიმძლავრის დროს, ხოლო მცირე სიმძლავრის დროს კი (5 მგვტ-მდე) 0,7—1,8%-ს; დიდი რიცხვები შეესაბამება ნელმავალ გენერატორებს (60—75 ბრუნვა მინუტში), ხოლო უფრო მცირე—სწრაფმავალს, 500—600 ბრუნთა რიცხვით მინუტში. ძრავების მიერ მოხმარებული სიმძლავრე უმნიშვნელოა, ვინაიდან მუდმივად მოქმედი ძრავების რაოდენობა და მათი სიმძლავრეები ჰიდროელსადგურში შედარებით მცირეა. მუდმივად მოქმედებენ რეგულატორის ზეთის ტუმბოებისა და აგრეგატების შეზეთვის ძრავები, წყლის გამაცივებელი და, ზოგ შემთხვევაში, განაივების ძრავებიც. დღის ცვლაში, შეკეთების პერიოდში და ღამის ცვლაშიც მუშაობს სახელოსნოს ძრავები; ამწეების, ამწევი მექანიზმებისა და ა. შ. ძრავები მუშაობენ იშვიათად.

გენერატორების ავზნებაზე, ძრავების დატვირთვაზე, სადგურის განათებასა და განაივებაზე ენერგიის სრული ხარჯი შეადგენს სადგურის მთელი გამომუშავების 1—2,5%-ს. თბოსადგურებში ეს ხარჯი გაცილებით უფრო მეტია, ვინაიდან აქ ადგილი აქვს ენერგიის დიდ ხარჯს ქვაბებში მკვებავი წყლისა და ორთქლის ტურბინების კონდენსატორებში გამაცივებელი წყლის მისაწოდებლად; ზოგჯერ ეს ხარჯი იზრდება სათბობის მექანიკურად მიწოდებისა, სათბობის მომზადებისა და ნაცრის მექანიკურად მოცილების საჭიროებისათვის. საბჭოთა კავშირის თბოსადგურებში 1936 წელს ელექტროენერგიის საშუალო მოხმარება საკუთარ საჭიროებაზე შეადგენდა მათი გამომუშავების 8%-ს, იცვლებოდა რა 5-დან 12%-მდე.

ელექტროენერგიის ეს ხარჯი მოცემულ რაიონში შეფასებული უნდა იქნეს ენერგიის საშუალო ღირებულებით.

სადგურის საერთო ხარჯები შედგება დაცვის, ადმინისტრაციული (მივლინებები და სხვ.) ხარჯების, გათბობის ღირებულების, კავშირგაბმულობის, ტრანსპორტის, ჰიდრომეტრიული და მეტეოროლოგიური სამსახურის გადასახადების და სხვა ხარჯებისაგან.

ეს ხარჯები ჰიდროენერგოპროექტის ინსტრუქციის მიხედვით მოცემულია მე-18 ცხრილში.

ექსპლუატაციის დამატებითი სპეციალური ხარჯები შეიძლება იყოს:

1. მონატანთან ბრძოლის ხარჯები, თუ იგი ძალიან ბევრია და იძულებული ვართ ნაგებობების ცალკეული ნაწილები გაეწმინდოთ ნალექებისაგან;

ჰიდროელსადგურის ხაერთო ხარჯები

სიმძლავრე მგვტ	5	10	25	50	100	150	250	540
სადგურის ხაერთო ხარჯები დადგენილი სიმძლავრის 1 კვტ-ზე მაშინ თებში:								
ა) ჰიდროეკონომიკური დანადგარებისათვის	17,0	15,3	12,0	9,7	7,9	6,8	5,7	3,8
ბ) დერეფანული დანადგარებისათვის	18,3	16,8	13,2	10,7	8,7	7,5	6,3	4,2

2. თოშთან და ფსკერის ყინულთან ბრძოლის ხარჯები, თუ ზამთარში ისინი ბევრია და შეუძლიათ გამოიწვიონ გათულება სადგურის მუშაობაში;
3. მეწყერის, თოვლის ზეგების, ლეღების (რომლებიც დერეფანისა კვეთენ) და მონატანის წინააღმდეგ ბრძოლის ხარჯები;
4. მიწის დატბორვის ან დაქაობების წინააღმდეგ ხარჯები;
5. თევზის მეურნეობის უზრუნველყოფის ხარჯები და ნაგებობებში თევზების გაშვების ღონისძიებებთან დაკავშირებული ხარჯები.

ეს დამატებითი ხარჯები გამოყოფილი უნდა იქნეს განსაკუთრებულ შემთხვევებში, როდესაც ეს აუცილებელია.

მთელი წლიური საექსპლოატაციო ხარჯები შეადგენს დანადგარის ღირებულების 4—6%; აქედან არაპირდაპირი ხარჯები, ე. ი. ამორტიზაცია და კაპიტალური შეკეთება, შეადგენს წლიური საექსპლოატაციო ხარჯების დაახლოებით 40—60%-ს.

§ 55. თბოსადგურების ენერჯის თვითღირებულება

თბოსადგურებში მექანიკური და ელექტროტექნიკური დანადგარების ფარდობითი ღირებულება უფრო მეტია, ვიდრე ჰიდროელსადგურებში. თუ ჰიდროელსადგურებში ტურბინების, გენერატორების, ელექტროდანადგარების, ლითონის კონსტრუქციების და მექანიზმების ღირებულება შეადგენს დანადგარის ხაერთო ღირებულების 20—40%-ს, თბოსადგურებში დანადგარების ღირებულება აღწევს 60—70%-ს, მაშინ როდესაც მისი სამშენებლო ნაწილი შეადგენს მთელი ღირებულების 30—40%; გარდა ამისა, დანადგარების გაცვეთა და მასთან დაკავშირებული შეკეთებანი თბოსადგურში უფრო მეტია. ორთქლის ტურბინები და, განსაკუთრებით, ქვაბები განიცდის ორთქლის მაღალი წნევისა და ტემპერატურის გავლენას, ქვაბები კი (გარდა ამისა)—ცხელი საწვავი გაზების გავლენასაც. თბოსადგურების ორთქლის ტურბინები მუშაობს სიჩქარეებით 1000—1500 ბრ/მინ, რაც აგრეთვე იწვევს დიდ გაცვეთას. ამის გამო, ორთქლის დანადგარის ექსპლოატაციის დრო უფრო მოკლეა, ვიდრე ჰიდროაგრეგატებისა; ორთქლის დანადგარები მოითხოვს დიდი მოცულობის შეკეთებას, რის გამოც ანარიცხები გაცვეთასა (ამორტიზაცია) და კაპიტალურ შეკეთებაზე უფრო მეტია და აღწევს მთელი ღირებულების არანაკლებ 7—8%-ს, ნაცვლად 5,5—6%-ისა ჰიდროელსადგურებში. ჰიდროელსადგურების საშუალო ანარიცხები მთელი ნაგებობის ამორტიზაციასა და

1 კავკასიის პირობებში თოში და ფსკერის ყინული ჩნდება არა ზამთარში, არამედ შემოდგომაზე და გაზაფხულის დასაწყისში და საქმე იქამდე მიდის, რომ ზოგჯერ თოშთან აქტიური ბრძოლის დროს, სადგურის თითქმის მთელი სიმძლავრე ამ ბრძოლაზე იხარჯება.

კაპიტალურ შეკეთებაზე შეადგენს 3—3,5% -ს, მაშინ როდესაც თბოსადგურებისათვის იგი შეადგენს 5,5—6% -ს.

თბოსადგურებში გაცილებით მეტია პირდაპირი ხარჯებიც. აქ საჭიროა პერსონალის დიდი რაოდენობა, ვინაიდან თბოსადგურის შეურნეობა უფრო რთულია, განსაკუთრებით სათბობის მიწოდების, მკვებავი წყლისა, ნაცრის გატანისა და ა. შ. დანადგარების არსებობის გამო.

ტორფზე მომუშავე თბოსადგურებში მოსამსახურე პერსონალის რაოდენობა 50—150 მგეტ სიმძლავრის დროს, აღწევს 10—13 კაცს 1 მგეტ სიმძლავრეზე, ხოლო მცირე სიმძლავრის შემთხვევაში—(20 მგეტ სიმძლავრის დროს) 25 კაცამდე 1 მგეტ სიმძლავრეზე. უკანასკნელ დროს, სტახანოვური მოძრაობის, პროფესიების შეთავსებისა და მრავალჩარხული მუშაობის დანერგვის შედეგად ეს რიცხვები საკმაოდ შემცირდა. მაგალითად, ლენინგრადის სისტემაში, რომლის შემადგენლობაში უმთავრესად მსხვილი სადგურები შედის, პერსონალის რიცხვი შემცირდა 6,5 კაცამდე 1 მგეტ სიმძლავრეზე. მაგრამ ეს რიცხვიც გაცილებით დიდია ჰიდროელსადგურის პერსონალის რიცხვთან შედარებით და 100-მგეტნიანი ჰიდროელსადგურისათვის დაახლოებით 5-ჯერ მეტია. უფრო მეტი სიმძლავრის ჰიდროელსადგურებში პერსონალის კუთრი რაოდენობა კიდევ უფრო ნაკლებია. მართალია, თბოსადგურებში პერსონალის ზრდა ხდება უმთავრესად დაბალი კვალიფიკაციის ხარჯზე ისე, რომ საშუალო ხელფასი ერთ პერსონალზე თბოსადგურებში უფრო დაბალი იქნება. მიუხედავად ამისა, ხელფასის საერთო ჯამი თბოსადგურში დიდად განსხვავდება ჰიდროელსადგურის შემოთ მოყვანილი ციფრებისაგან.

თბოსადგურებში მიმდინარე შეკეთების რიცხვი აგრეთვე მეტია ქვაბების პერიოდული წმენდისა და შეკეთების საჭიროების გამო.

—თბოსადგურებში დიდ ხარჯებს იწვევს სათბობი. სათბობის ხარისხი პირველყოვლისა განისაზღვრება მისი კუთრი თბოუნარიანობით, ე. ი. სითბოს იმ რაოდენობით (იზომება დიდ კალორიებში), რომელსაც გამოყოფს 1 კგ სათბობი მისი წვის დროს. სხვადასხვა სათბობების თბოუნარიანობის დახასიათება მოცემულია მე-19 ცხრილში.

ც ხ რ ი ლ ი 19

სათბობის დასახელება	კუთრი თბოუნარიანობა კკალ/კგ	შენიშვნა
1. ნეთობი	10 000—10 500	მაღალხარისხოვანი სათბობი
2. ანტრაციტი	8000	
3. მშრალი კოქსი	7000	
4. კარგი ხარისხის ქვანახშირი	6500—7500	
5. საშუალო ხარისხის ქვანახშირი	6000—6500	საშუალოხარისხოვანი სათბობი
6. დაბალი ხარისხის ქვანახშირი	5000—6000	
7. კარგი ხარისხის მურა ნახშირი	3000—5000	დაბალხარისხოვანი სათბობი
8. საშუალო ხარისხის მურა ნახშირი	2500—3000	
9. დაბალი ხარისხის მურა ნახშირი	2000—2500	
10. მშრალი ტორფი	3000—4000	
11. ტენიანი ტორფი	2000—2500	
12. მშრალი შეშა	2500—3500	
	და მცირე	

სათბობის ხარჯი, რომელიც საჭიროა 1 კვტ-სთ ენერჯიის გამოსამუშავებლად ხასიათდება ე. წ. პ ი რ ო ბ ი თ ი ს ა თ ბ ო ბ ი ს რ ა ო დ ე ნ ო ბ ი თ, რომლის თბოუნარიანობა არის 7000 კკალ/კგ. ამრიგად, თუ ფაქტიურად იხარჯება ტორფი, რომლის თბოუნარიანობა უდრის 3500 კკალ/კგ და 1 კილოვატ-სათის

გამოსამუშავებლად საკირაა 1,2 კგ, მაშინ პირობითი სათბობის ხარჯი იქნება $1,2 \frac{3500}{7000} = 0,6$ კგ/კვტ-სთ. ერთი დიდი კალორიის (კკალ) ენერგეტიკული

ეფექტი (თუ შივილებთ მხედველობაში, რომ თბოენერგია მთლიანად გადადის ელექტროენერგიაში) ტოლია 1/860 კილოვატ-საათისა ან სხვანაირად რომ ვთქვათ, 1 კვტ-სთ 860 დიდი კალორია სითბოს ეკვივალენტურია. ასე რომ, თუ თბოსადგურში თბოენერგიის გარდაქმნა ელექტროენერგიად ხდება დანაქარგების გარეშე, მაშინ სათბობის კუთრი ხარჯი პირობითი სათბობისათვის იქნებოდა $\frac{860}{7000} = 0,123$ კგ/კვტ-სთ.

საბჭოთა კავშირის თბოსადგურებში პირობითი სათბობის რეალური ხარჯი 1939 წელს საშუალოდ შეადგენდა 0,605 კგ/კვტ-სთ. საუკეთესო სადგურებში იგი ეცემა 0,53—0,55 კგ/კვტ-სთ-მდე; ეს სადგურები მუშაობდნენ 22,4—23,2% მქკ-ით. საშუალო მქკ 0,6 კგ/კვტ-სთ კუთრი ხარჯის დროს შეადგენს 20,5%¹.

თუ სათბობის კუთრი ხარჯს გაავრავლებთ მისი 1 კგ-ის ღირებულებაზე, შივილებთ იმ სათბობის ღირებულებას, რომელიც იხარჯება 1 კვტ-სთ მისაღებად; ამ სიდიდეს ენერგიის ღირებულების სითბურ ნაწილს უწოდებენ.

უდიდესი ენერგოსისტემების გაპოქვეყნებული მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ენერგიის თვითღირებულების სითბური ნაწილი შეადგენს მის 55%-ს, ხოლო ტრანზზე მომუშავე სადგურებისათვის მერყეობს 61—67%-მდე, ადგილობრივ ნახშირზე მომუშავე სადგურებისათვის კი—31—42%-მდე, (დონბასი და ურალი).

რაც შეეხება სადგურის დანარჩენ ხარჯებს, ისინი თბოსადგურებისათვის საშუალოდ ნაწილდება ასე:

ამორტიზაცია	25,5%
ხელფასი	23%
მიმდინარე შეკეთება და მასალები	19%
სადგურის საერთო და სხვა ხარჯები	32,5%
სულ	100%

საექსპლუატაციო ხარჯების განაწილების შესადარებლად მოვიყვანთ კიდევ ვოლხოვისა და ამიერკავკასიის ჰიდროელსადგურების მაგალითებს.

	ვოლხოვის ჰესი	ამიერკავკასიის ჰესები
ამორტიზაცია	43,6%	39,7%
ხელფასი	7,1%	12,4%
მიმდინარე შეკეთება და მასალები	2,8%	4,9%
სადგურის საერთო და სხვა ხარჯები 46,5%	46,5%	43,0%
სულ	100%	100%

ხელფასის კუთრი წონა ჰიდროელსადგურში გაცილებით უფრო ნაკლებია ვიდრე თბოსადგურებში.

საინტერესოა კიდევ შევადაროთ ენერგიის ღირებულების ის ნაწილი,

¹ იხ. ტურნალი „Электрические станции“ № 2, 1938 და № 2, 1940.

რომელიც დამოკიდებულია ხელფასსა და საამორტიზაციო ანარიცხებზე

$$\left(\frac{\text{ქაპ.}}{\text{კვტ.სთ}} - \text{ში} \right).$$

	თბოსადგურებში საშუალოდ	ვოლზოვის ჰესი	ამიერკავკასიის ჰესები
ხელფასი	0,47	0,05	0,15
ამორტიზაცია	0,52	0,31	0,48

ჰიდროელსადგურებში ხელფასზე დამოკიდებული ენერჯის ღირებულებების ნაწილი 7—12-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე თბოსადგურებში.

თბოსადგურების საექსპლოატაციო ხარჯები, სათბობის ღირებულების გამოკლებით, შეადგენს სადგურის ღირებულების არანაკლებ 9—10%-ს, მაშინ როდესაც ჰიდროელსადგურისათვის ის არ აღემატება 4—6%-ს.

კაპიტალური დაბანდება 1 კვტ სიმძლავრეზე თბოსადგურებში, ჩვეულებრივ. უფრო დაბალია ვიდრე ჰიდროელსადგურებში.

ჰიდროელსადგურის ენერჯის თვითღირებულება იმის გამო, რომ მას არა აქვს სათბობის ხარჯები, უფრო ნაკლებია ვიდრე თბოსადგურის ენერჯის ღირებულება.

§ 56. დადგენილი ხიშქლავაკის გამოყენების საათების რიცხვის გავლენა ენერჯის ღირებულებაზე

შემოვიღოთ აღნიშვნები:

P_e — სადგურის დადგენილი სიმძლავრე კვტ-ში;

W — ენერჯის წლიური გამომუშავება კილოვატ-საათებში;

$$T = \frac{W}{P_e} \text{ — დადგენილი სიმძლავრის გამოყენების საათების რიცხვი;}$$

Θ — სადგურის ყველა საექსპლოატაციო ხარჯი წელიწადში სათბობის ღირებულების ჩათვლელად;

Θ_1 — ამ ხარჯების ის ნაწილი, რომელიც არ არის დამოკიდებული გამოყენების საათების რიცხვზე, ე. ი. გამომუშავებული ენერჯის რაოდენობაზე;

$\Theta_2 = k W$ — იმავე ხარჯების ნაწილი, რომელიც გამომუშავებული W ენერჯის რაოდენობის პროპორციულია.

k — იგივე 1 კილოვატ-საათზე;

δ — სათბობის კუთრი ხარჯი $\frac{\text{ქპ}}{\text{კვტ.სთ}}$ -ში;

m — პირობითი სათბობის 1 კვ-ის ღირებულება.

მაშინ, ენერჯის თვითღირებულება გამოითვლება ფორმულით

$$x = \frac{\Theta}{W} + m\delta = \frac{\Theta_1}{W} + k + m\delta. \quad (17)$$

ჰიდროელსადგურისათვის სათბობის ხარჯი არ არსებობს, ე. ი. $\delta=0$, ამიტომ აქ

$$x = \frac{\Theta_1}{W} + k.$$

Θ_2 ხარჯებში, რომელიც დამოკიდებულია გამომუშავებული ელექტროენერჯის რაოდენობაზე, შედის:

ა) შეკეთების ხარჯები, რომლებიც ნაწლობრივ დამოკიდებულა ელექტროენერჯის ჩიოდენობაზე (განსაკუთრებით თბოსადგურებში, ვინაიდან გამოყენებული საათების რიცხვის ზრდასთან ერთად ღირდება მანქანების გაცვეთა);

ბ) შესაზეთი და დასაწმენდი მასალების ხარჯების ნაწილი;

გ) ხელფასის ხარჯები იმ მუშაკებისათვის, რომლებიც მუშაობენ სათბობის მიწოდებაზე და ზოგჯერ სათბობის მომზადებაზედაც;

დ) ორთქლის ტურბინების კონდენსატორებისათვის გამაცივებელი წყლის მიწოდების ხარჯები, ვინაიდან მიწოდებული წყლის რაოდენობა დამოკიდებულია ენერჯის გამომუშავებაზე, და აგრეთვე წყლის გასაწმენდად და მოსაიზაღებლად გაწეული ხარჯები;

ე) ნაცრის გასატანად გაწეული ხარჯები, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია დახარჯული სათბობის რაოდენობაზე, ე. ი. ენერჯის გამომუშავებაზე.

ხარჯების ეს ჯამი არ შეიძლება ენერჯის გამომუშავების პირდაპირ პროპორციულად ჩავთვალოთ. ასე, მაგალითად, შეკეთების ხარჯები გამომუშავების მნიშვნელოვნად გადიდების შემთხვევაშიაც კი შედარებით ნაკლებად იზრდება. ამიტომ მიახლოებით შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ამ ხარჯების ღირი ნაწილი მუდმივი რჩება და ამიტომ იგი უნდა შედიოდეს Σ სიდიდეში, ხოლო მისი დანარჩენი ნაწილი კი იზრდება გამომუშავებული ენერჯის პროპორციულად.

ენერჯის ღირებულების (17) ფორმულაში $k+m$ სიდიდე გამოსახავს ენერჯის თვითღირებულების იმ ნაწილს, რომელიც გამომუშავების პროპორციულია; მას ენერჯის თვითღირებულების სითბურ ნაწილს უწოდებენ, თუძე სათბობის ხარჯზე დამოკიდებულია მხოლოდ m .

თბოსადგურებისათვის k სიდიდე პრაქტიკულად გაცილებით უფრო ნაკლებია, ვიდრე m , ამიტომ საორიენტაციო გაანგარიშების დროს იგი შეიძლება საერთო ხარჯებში შევიყვანოთ ან სულ არ მივიღოთ მხედველობაში.

ამრიგად გვაქვს

$$x = \frac{\Theta}{W} + m. \quad (18)$$

ჰიდროელსადგურებისათვის k სიდიდე ძალიან მცირეა, ამიტომ აქაც შეიძლება არ მივიღოთ მხედველობაში და ამრიგად ჩავთვალოთ, რომ ჰიდროელსადგურის დანახარჯები არ არის დამოკიდებული W -ზე, ე. ი. მივიღოთ, რომ

$$x = \frac{\Theta}{W}. \quad (19)$$

შემდგომში ჩვენ სიმარტივისათვის გამოვიყენებთ (18) და (19) ფორმულებს და მსჯელობის მხოლოდ სქემას მოვიყვანთ.

ენერჯის გამომუშავება შეიძლება გამოვსახოთ ასე:

$$W = P_e T.$$

სიმარტივისათვის, თუ სათბობით გამოწვეულ კუთრ ხარჯს m -ს ავლნიშნავთ b სიდიდით, მივიღებთ:

თბოსადგურებისათვის

$$x = \frac{\Theta}{P_e T} + b, \quad (20)$$

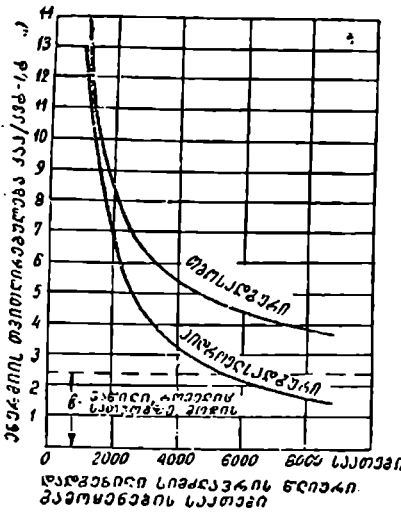
$$x = \frac{\Theta}{P_e T} \quad (21)$$

გამოყენებული საათების T რიცხვის ზრდასთან ერთად ენერჯის თვით-ლირებულება ეცემა, აქედან ჰიდროელსადგურისათვის უფრო სწრაფად, ვიდრე თბოსადგურისათვის, სადაც ამ ლირებულებაში შედის სათბობით გამო-წვეული კუთრი დანახარჯი.

ენერჯის თვითლირებულების ცვლილების სურათი გამოყენებული საათების მიხედვით მოცემულია 115-ე ნახაზზე.

ამ გრაფიკზე გამოსახულ მრუდებს სადგურის ეკონომიურ მახასიათებლებს უწოდებენ.

ენერჯის თვითლირებულების მრუდების ამ ფორმაში, სხვათა შორის, ცხადად ჩანს, რომ ენერგოტევად საწარმოებში (ალუმინის, აზოტის, ელექტროლიზური და სხვ. ქარხნები), სადაც ეკონომიური და ტექნიკური პირობების გამო, მუშაობა განუწყვეტლივ წარმოებს, რის შედეგადაც გამოყენებული საათების რაოდენობა დიდია, თბოენერჯის გამოყენება ხელსაყრელი არ არის. ამ შემთხვევაში ჰიდრაულიკური ენერჯია გაცილებით უფრო იაფია, ვიდრე სითბური. ვინაიდან ეს საწარმოები ენერგოტევად საწარმოებს წარმოადგენენ, ე. ი. ერთეულ პროდუქციაზე (სხვა საწარმოებთან შედარებით) ხარჯავენ ელექტროენერჯის დიდ რაოდენობას, ამიტომ მათთვის ენერჯის თვითლირებულების შემცირებას დიდი მნიშვნელობა აქვს. მაღალი T სიდიდის დროს სითბურ ენერჯიას შეუძლია მეტოქეობა გაუწიოს ჰიდრაულიკურს მხოლოდ ძალიან იაფი ან თითქმის მუქთი სათბობის შემთხვევაში¹.



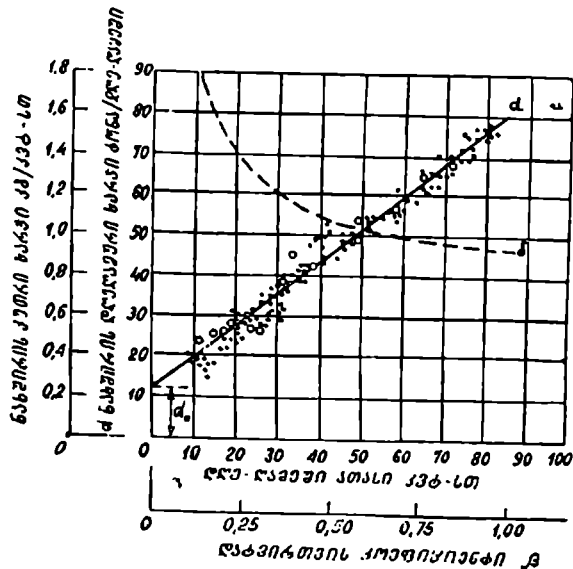
ნახ. 115. ენერჯის თვითლირებულების დამოკიდებულება დადგენილი სიმძლავრის გამოყენების საათებრივადან

§ 57. გამოყენების საათების რიცხვის გავლენა ენერჯის ლირებულების სათბობით გამოწვეულ კუთრი დანახარჯზე

ამდენ ხანს ჩვენ პირველი მიახლოებით ვთვლიდით, რომ სათბობით გამოწვეული კუთრი დანახარჯი მუდმივი სიდიდე იყო. სინამდვილეში კი ეს ასე არ არის. სათბობის კუთრი დანახარჯი დღე-ღამეში დამოკიდებულია

¹ მეურნეობის სოციალისტური სისტემის დროს ამ ორი სახის ელექტროსადგურს შორის რენტაბელობის საკითხს არ შეიძლება ავტორის მიერ ზემოთ მოყვანილი კრიტერიუმით მივუდგეთ. ჩვენში სხვადასხვა სახის საწარმოებისათვის შემთვლილია ენერჯის ლირებულების სხვადასხვა ტაჟიფი. ენერგოტევადი და სხვა მძიმე მრეწველობის დარგები ელექტროენერჯიას გაცილებით უფრო იაფად ღებულობენ ენერჯოსისტემიდან, ვიდრე სხვა საწარმოები. ამ სადგურების რენტაბელობის საკითხი წყდება სხვა ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლებით. მთარგმნელი

დღეღამური დატვირთვის კოეფიციენტზე. თუ აბსცისათა ღერძზე გადავზომავთ $24\beta P_e$ ენერჯიის დღეღამურ გამომუშავებას (სადაც β არის დღეღამური დატვირთვის კოეფიციენტი), ხოლო ორდინატათა ღერძზე სათბობის დღეღამურ d ხარჯს, ჩვენ მივიღებთ დაახლოებით წრფეს (ნახ. 116). ეს წრფე



ნახ. 116. თბოსადგურის სათბობის ხარჯის დამოკიდებულება დღეღამური გამომუშავებისაგან.

ორდინატათა ღერძს გადაკვეთს სათაფიდან d_0 მანძილით. ეს სიდიდე გამოსახავს სათბობის დღეღამური ხარჯის იმ ნაწილს, რომლის დაწვით სადგური იმუშავებს უკმ სელაზე. სათბობის ეს ჩაოდენობა იხარჯება სადგურის მუდმივი დანაკარგების დასაფარავად (იგი დატვირთვის სიდიდეზე არ არის დამოკიდებული). დამწვარი სათბობის დანარჩენი ჩაოდენობა პროპორციულად იზრდება გამომუშავებული ენერჯიის ზრდასთან ერთად. სათბობის სრული ხარჯი დღე-ღამეში შეიძლება გამოვსახოთ განტოლებით:

$$d = d_0 + \delta_0 \cdot 24\beta P_e, \quad (22)$$

სადაც δ_0 არის სათბობის კუთრი ხარჯის ის ნაწილი, რომელიც გამომუშავებული ენერჯიის პროპორციულია. ეს განტოლება პირველი მიახლოებით შეიძლება გავავრცელოთ მთელ წელიწადზედაც. სათბობის წლიური D ხარჯი შეიძლება გამოვსახოთ ანალოგიური განტოლებით:

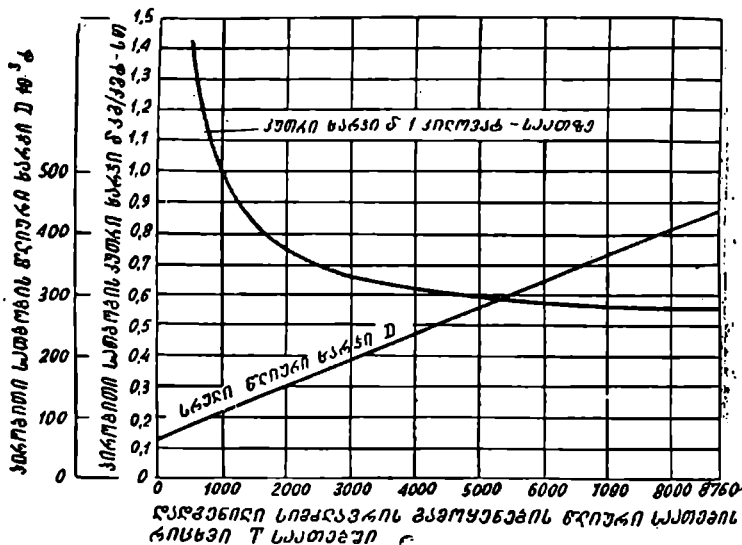
$$D = D_0 + \delta_0 W. \quad (23)$$

ვიცით რა, რომ $W = P_e T$, შეიძლება მივიღოთ სათბობის საშუალო კუთრი ხარჯი;

$$\delta = \delta_0 + \frac{d_0}{24\beta P_e} \quad (24)$$

$$\delta = \delta_0 + \frac{D_0}{P_e T} \quad (25)$$

სათბობის დღელამური კუთრი ხარჯი მით უფრო ნაკლებია, რაც უფრო მეტია სადგურის დღელამური დატვირთვის კოეფიციენტი, ხოლო სათბობის საშუალო კუთრი ხარჯი წელიწადში მით უფრო ნაკლებია, რაც მეტია დაღ-გენილი სიმძლავრის გამოყენების საათების რაოდენობა.



ნახ. 117. პირობითი სათბობის სრული და კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება გამოყენების საათებისაგან, დიდი სადგურისათვის.

აქედან გამომდინარეობს საგულისხმო დასკვნები, რომ თბოსადგურები დატვირთვის გრაფიკის პიკზე მუშაობენ სათბობის უფრო მეტი კუთრი ხარჯით, ვიდრე მის ბაზისზე მუშაობის დროს.

116-ე ნახაზზე მოცემულია სათბობის ხარჯის პირდაპირი დამოკიდებულება დღელამური გამომუშავებისაგან. ცალკეული წერტილები მიღებულია ერთ-ერთი თბოსადგურის სათბობის დღელამურ ხარჯზე პრაქტიკული დაკვირვებით, ხოლო პატარა წრეებით აღნიშნულია ხარჯის საშუალო დღელამური სიდიდეები თვეში. წრფე გვიჩვენებს დღელამური ხარჯის საშუალო მნიშვნელობას, რადგან ცალკეულ დღეებში ხდება საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრა, რომელიც გამოწვეულია გრაფიკის არაერთგვაროვანი ფორმით და სხვა შემთხვევითი მიზეზებით.

117-ე ნახაზზე მოცემულია ასეთივე დამოკიდებულება და აგრეთვე პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯის გრაფიკი 1 კილოვატ საათზე ჩვენი სამშობლოს ერთ-ერთი თბოსადგურის პრაქტიკიდან; მისი განტოლებაა:

$$\delta = 0,5 + \frac{471}{T} \text{ კმ/კვტ-სთ.}$$

117-ე ნახაზიდან ჩანს, რომ გამოყენების საათების საშუალო მნიშვნელობის დროს (4000—6000), სათბობის კუთრი ხარჯი ნაკლებად იცვლება T სიდიდის შეცვლით, რამაც უფლება მოგვცა წინა პარაგრაფში იგი მუდმივ სიდიდედ მიგველო, მაგრამ არ უნდა გავუშვათ მხედველობიდან ის, რომ მცირე T სიდიდის დროს სათბობის კუთრი ხარჯი საკმაოდ იზრდება.



ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის შერჩევა

§ 58. სიმძლავრის შერჩევის ეკონომიური დასაბუთება

თუ მოცემულ სქემაზე თანდათან გავზრდით ჰიდროელსადგურის დადგენილ სიმძლავრეს, მაშინ მისი ენერჯიის წლიური გამომუშავება დასაწყისში სწრაფად გაიზრდება და სიმძლავრის შემდეგი ზრდით მისი გამომუშავებული ენერჯიის ნაზრდი თანდათან შემცირდება. ბოლოსდაბოლოს სიმძლავრე მიაღწევს იმ საზღვრამდე, რომლის შემდეგ სიმძლავრის გაზრდა გამოიწვევს ფინანსიური ხარჯების ისეთ ზრდას, რომელსაც ენერჯიის დამატებითი გამომუშავების ღირებულება ვერ გამოისყიდის. შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ დანადგარის ეს ზღვრული სიმძლავრე ეკონომიურად ყველაზე უფრო ხელსაყრელია.

ენერჯიის გამომუშავების გარდა, ენერგეტიკული სისტემისათვის უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის სიდიდეს. ჰიდროელსადგურის ისეთ სიმძლავრეს, რომელსაც ყოველთვის შეუძლია მონაწილეობა მიიღოს სისტემის დატვირთვის პიკების დაფარვაში, ჰიდროელსადგურის უზრუნველყოფილ პიკურ სიმძლავრეს უწოდებენ.

თუ ჰიდროელსადგურს არა აქვს დღელამური რეგულირების შესაძლებლობა, მაშინ მისი უზრუნველყოფილი პიკური სიმძლავრე, ცხადია, იგივე იქნება რაც უზრუნველყოფილი საშუალო დღელამური სიმძლავრე, რომელსაც წყალმცირე დღეებში შეესაბამება წყალდენის მინიმალური P_{min} სიმძლავრე.

თუ დღელამური რეგულირება შესაძლებელია, მაშინ, როგორც წინა თავში იყო ნათქვამი, ჰიდროელსადგურს საშუალო დღელამური $P_{წინა}$ სიმძლავრის დროს, თუ იგი დატვირთვის გრაფიკის პიკზე იმუშავებს, შეუძლია მოგვეცეს სიმძლავრე $P_1 > P_{წინა}$.

შემდეგში, ჰიდროელსადგურის უზრუნველყოფილ პიკურ სიმძლავრეს აღვნიშნავთ P_1 და ვიგულისხმებთ, რომ თუ არა გვაქვს დღელამური რეგულირება, მაშინ $P_1 = P_{წინა}$, ხოლო თუ ასეთი გვაქვს, მაშინ $P_1 > P_{წინა}$ და სადგურის სიმძლავრის სიდიდე შეიძლება განეპაზღვროთ ისე როგორც ეს წინა პარაგრაფში იყო მოყვანილი (თავი VII).

118-ე ნახაზზე მოცემულია წყალდენის საშუალო დღელამური $P_{წინა}$ სიმძლავრის უზრუნველყოფის მრუდი და პიკური სიმძლავრის წირი, რომელიც $P_{წინა}$ მრუდს კვეთს იმ წერტილში, რომლის აბსცისა შეესაბამება t_0 უზრუნველყოფას. 0-დან t_0 -მდე დროის მონაკვეთში წყალდენის საშუალო სიმძლავრე $P_{წინა} > P_1$ და ეს უკანასკნელი შეიძლება უზრუნველყოფით დატვირთვის გრაფიკის ბაზისში ისე, რომ არ მივმართოთ დღელამურ რეგულერბას. დანარჩენ

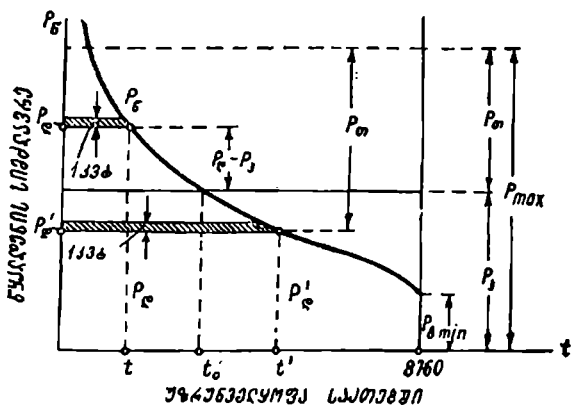
დროში $t > t_0$ -სათვის უზრუნველყოფილ სიმძლავრეს შეიძლება მივალწიოთ დღედაპური რეგულირების საშუალებით, ვინაიდან $P_E < P_1$.

თუ ჰიდროელსადგურის დადგენილ სიმძლავრეს შევარჩევთ ისე, რომ $P_E > P_1$, მაშინ ყველაზე წყალმცირე დღეს უზრუნველყოფილზე მეტი სიმძლავრე, ე. ი. $P_E - P_1$ არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს და დატვირთვის გრაფიკის P_{max} დასათარაყად საკიროა სისტემის სხვა სადგურებზე გვექონდეს სიმძლავრე:

$$P_{\sigma} = P_{max} - P_1.$$

(შემდგომში ჩვენ ვიგულისხმებთ, რომ სისტემის სხვა სადგურები არის თბოსადგურები).

ქარბი სიმძლავრე $P_E - P_1$ ნაწილობრივ ან მთლიანად გამოიყენება წელიწადის წყალუბე დღეებში და ამით განთავისუფლდება თბოსადგურის შესაბამისი სიმძლავრე. ამრიგად, უზრუნველყოფილზე მეტი, ქარბი სიმძლავრე, ე. ი. $P_E - P_1$ მთლიანად იცვლება (დუბლირებას ახდენს) მისი ტოლი თბოსადგურის შესაბამისი სიმძლავრით (ნახ. 118). ამიტომ თუ ჰიდროელსადგურის სიმძლავრეს ავიღებთ P_E -ზე მეტს, მაშინ თბოსადგურის საკირო P_{σ} სიმ-



ნახ. 118. ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის შერჩევა.

ძლავრე, რომელიც წყალმცირე დღის მოთხოვნით განისაზღვრება, არ შეიძლება შემცირებულ იქნეს. ამრიგად, ჰიდროელსადგურზე დამატებითი სიმძლავრის დადგმა, როგორც ამბობენ, „არ გააძევეს“ სისტემიდან თბოსადგურის ეკვივალენტურ სიმძლავრეს და ეკონომიურად შეიძლება გამართლებულ იქნეს მხოლოდ სეზონური გამომუშავების დამატებითი გაზრდით წელიწადის წყალუბე პერიოდში.

პირიქით, თუ ჰიდროელსადგურის დადგენილ სიმძლავრეს შევარჩევთ ისე, რომ $P'_E > P_1$, მაშინ დატვირთვის მაქსიმუმის დასათარაყად თბოსადგურის საკირო სიმძლავრე გაიზრდება და ტოლი გახდება:

$$P'_{\sigma} = P_{max} - P'_E.$$

ამ შემთხვევაში P'_E სიმძლავრეზე მეტი დამატებითი სიმძლავრის არსებობა პესში საშუალებას მოგვცემს შევამციროთ თბოსადგურის სიმძლავრე,

ე. ი. დამატებითი სიმძლავრე სისტემიდან „გააძევეს“ შესაბამის თბოსიმძლავრეს, ვინაიდან ჰესის ეს დამატებითი სიმძლავრე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დატვირთვის მწვერვალის დასაფარავად (ეს რასაკვირველია სამართლიანი იქნება მხოლოდ მანამდე, სანამ P'_e ნაკლები რჩება P_1 -ზე, ამიტომ, თუ $P'_e < P_1$, მაშინ დამატებითი კილოვატი სიმძლავრის ხარჯები გამოსყიდული იქნება არა მარტო სეზონურად გამოიშვებულ ენერჯის გადიდებით, არამედ სისტემის თბოენერჯის სიმძლავრის შემცირებითაც.

დაეუშვათ, რომ 1 კვტ დამატებითი სიმძლავრის გამოყენება იწვევს ყოველწლიურ დამატებით ხარჯებს $\Delta\mathfrak{A}$ მან./კვტ სიდიდის რაოდენობით ჰიდროსადგურში და $\Delta\mathfrak{A}_0$ მან./კვტ თბოსადგურში, ხოლო ამ სითბური ენერჯის კუთრი დანახარჯი უდრის b მან./კვტ-სთ.

P'_e -ზე (ან P'_e -ზე) მეტი დადგენილი, დამატებითი სიმძლავრის 1 კვტ იმუშავებს წლის წყალუბე პერიოდში t (ან t') საათის განმავლობაში და მოგვემს ენერჯის დამატებით გამოიშვებას t (ან t') კვტ-სთ (იხ. დაშტრიხული ფართობი 118-ე ნახაზზე). ცხადია, ამ სიდიდით შემცირდება თბოსადგურების გამოიშვებაც. დამატებითი სიმძლავრის ექსპლოატაცია გამოიწვევს ჰიდროელსადგურის ყოველწლიური საექსპლოატაციო დანახარჯების ზრდას $\Delta\mathfrak{A}$ მანეთით წელიწადში, მაგრამ შეამცირებს სათბობის დანახარჯს თბოსადგურში bt (ან bt') მანეთით წელიწადში. იმ შემთხვევაში, როდესაც $P'_e > P_1$ შეიძლება შევამციროთ თბოსადგურის სიმძლავრე და მისი საექსპლოატაციო ხარჯები $\Delta\mathfrak{A}_0$ მანეთით წელიწადში. ჰიდროელსადგურში კი დამატებითი კილოვატი შეამცირებს სისტემის ჯამურ საექსპლოატაციო ხარჯებს თუ:

$$\Delta\mathfrak{A} < bt, \text{ როდესაც } P'_e > P_1$$

და

$$\Delta\mathfrak{A} < \Delta\mathfrak{A}_0 + bt, \text{ როდესაც } P'_e < P_1.$$

ზღვარი, სადამდეც შეიძლება ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის გადიდება მიღწეული იქნება, როდესაც

$$\Delta\mathfrak{A} = bt, \text{ თუ } P'_e > P_1$$

და

$$\Delta\mathfrak{A} = \Delta\mathfrak{A}_0 + bt, \text{ თუ } P'_e < P_1.$$

ამ დროს, ცხადია, სისტემაში მიღწეული იქნება ჯამური საექსპლოატაციო ხარჯების მინიმუმი, ვინაიდან სიმძლავრის შემდეგი გაზრდით ეს ხარჯები ხელახლა იწყებს ზრდას. ამრიგად, ჰიდროელსადგურის ყველაზე უფრო ხელსაყრელი სიმძლავრე იქნება ის სიმძლავრე, რომლის უზრუნველყოფის დრო

$$t = \frac{\Delta\mathfrak{A}}{b}, \text{ თუ } P'_e > P_1 \quad (26)$$

და

$$t = \frac{\Delta\mathfrak{A} - \Delta\mathfrak{A}_0}{b}, \text{ თუ } P'_e < P_1. \quad (27)$$

სიმძლავრის შერჩევის დროს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ორ შემთხვევას:

1. (27) ფორმულით გამოთვლილი ყველაზე უფრო ხელსაყრელი სიმძლავრის უზრუნველყოფის დრო $t' > t_0$, ე. ი. მისი შესაბამისი სიმძლავრე $P'_e > P_1$. ეს იმას ნიშნავს, რომ P'_e ეკონომიურად ყველაზე უფრო ხელსაყრელია და მისი გაზრდა საჭირო არაა, მიუხედავად იმისა, რომ ამ დროს სისტემაში შეიძლება შეამცირებულყოფ თბოსადგურის სიმძლავრე (ნახ. 118).

2. მეორე შემთხვევას ადგილი ექნება, როდესაც (27) ფორმულის მრიცხველში ($\Delta\vartheta - \Delta\vartheta_0$) მცირეა და უზრუნველყოფა $i' < i_0$, ხოლო მისი შესაბამისი სიმძლავრე $P_e < P_1$ (ნახ. 118). მაგრამ ამ შემთხვევაში (27) ფორმულა აზრს კარგავს; როგორც კი დავუშვებთ ისეთ სიმძლავრეს, რომელიც მეტი იქნება P_e -ზე, სიმძლავრის ზრდა P_e -ზე მეტად უკვე არ შეამცირებს სისტემის თბოსიმძლავრეს. ეს იმას ნიშნავს, რომ ჰიდროელსადგურის დადგენილი სიმძლავრე არჩეული უნდა იყოს ყოველ შემთხვევაში P_1 -ზე არანაკლები სიდიდისა და საჭიროა (26) ფორმულით შემოწმდეს ხელსაყრელია თუ არა მისი უფრო მეტად გადიდება. თუ ამ ფორმულით მიღებული უზრუნველყოფა i უფრო ნაკლები გამოვა, ვიდრე i_0 , ეს იმას ნიშნავს, რომ ხელსაყრელია სიმძლავრის გადიდება P_1 სიდიდეზე მეტად, მაგრამ იმ P_e სიდიდემდე, რომელიც შესაბამება ჩვენ მიერ გამოთვლილ უზრუნველყოფას და ეკონომიურად ხელსაყრელია. სიმძლავრის ასეთი ზრდა, როგორც (26) ფორმულიდან ჩანს, ანაზღაურდება სათბობის ეკონომიით თბოსადგურში, ჰიდროელსადგურის სეზონური ენერჯის დამატებითი გამომუშავების ხარჯზე.

თუ $i > i_0$, მაშინ სიმძლავრის გადიდება, უზრუნველყოფილ პიკურ P_1 სიმძლავრეზე მეტად, არ იქნებოდა ხელსაყრელი და საჭიროა მივიღოთ, რომ

$$P_e = P_1.$$

ჰიდრავლიკური სიმძლავრის დამატებითი კილოვატის ყოველწლიური საექსპლოატაციო $\Delta\vartheta$ ხარჯები განისაზღვრება ამ დამატებითი კილოვატის a ღირებულებით. უკანასკნელი შეიძლება მივიღოთ ჰიდროელსადგურის ღირებულებების A_1 და A_2 ორი ვარიანტის შედარებით დადგენილი სიმძლავრის P_{e1} და P_{e2} ორი სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის.

თუ ღირებულება დადგენილი სიმძლავრის პროპორციულია (იხ. წინათავი), მაშინ

$$A_1 = A_0 + aP_{e1}$$

$$A_2 = A_0 + aP_{e2}$$

სადაც A_0 არის ღირებულების მუდმივი ნაწილი; აქედან

$$a = \frac{A_1 - A_2}{P_{e1} - P_{e2}}.$$

ვინაიდან a სიდიდე შედგება ჰიდროელსადგურის მოწყობილობისა და მისი შენობის ღირებულებისაგან, ე. ი. ისეთი ელემენტებისაგან, რომლებიც უფრო დიდ საამორტიზაციო ანარიცხებს თხოულობს, ამიტომ ამ ანარიცხების საშუალო პროცენტი დამატებით კილოვატზე იქნება მთელი დანადგარის საშუალო ანარიცხებზე მეტი.

ეკონომიურად ხელსაყრელი სიმძლავრის გაანგარიშების ზემოთ აღნიშნული მეთოდი უკულებელყოფს ერთ ძალიან საგულისხმო მდგომარეობას, რის გამოც მოითხოვს განმარტებას.

ეკონომიური ეფექტი არ შეიძლება შეფასებულ იქნეს ჰიდრო-და თბოსადგურების მხოლოდ წლიური საექსპლოატაციო ხარჯების შედარებით; საჭიროა მხედველობაში მივიღოთ აგრეთვე კაპიტალდაბანდების ის სიდიდე, რომელიც საჭიროა ჰიდრავლიკური სიმძლავრის შესაქმნელად.

შევადაროთ ორი ვარიანტი: 1) ჰიდროელსადგურში დამატებითი სიმძლავრის დაყენება იწვევს კაპიტალდაბანდებას a მან./კვტ სიდიდის რაოდენობით და 2) მის მაგივრად სითბური სიმძლავრის ერთი კილოვატის დამატებითი იხარჯება a_1 მან./კვტ, სადაც $a_1 < a$.

ექსპლოატაციის T წლის განმავლობაში დანახარჯების საერთო თანხა თითოეული ვარიანტისათვის შესდგება პირველადი კაპიტალდაბანდებისა და საექსპლოატაციო დანახარჯების ჯამისაგან T წლის განმავლობაში. პირველი (ჰიდრაულიკური) ვარიანტის შემთხვევაში დამატებითი სიმძლავრის ერთი კილოვატისათვის ეს შეადგენ $a + \Delta\mathfrak{A}T$ მან., ხოლო მეორე ვარიანტისათვის კი იგი ტოლი იქნება $a_0 + (\Delta\mathfrak{A}_0 + b_1)T$ მან. ექსპლოატაციის პირველ წლებში, ვინაიდან $a > a_0$, ჰიდრაულიკური ვარიანტი უფრო მეტი კაპიტალდაბანდებით იძლევა დანახარჯების დიდ სიდიდეს, მაგრამ დროთა განმავლობაში ეს თანხა მეორე ვარიანტში უფრო სწრაფად გაიზრდება, ვინაიდან თბოსადგურის საექსპლოატაციო დანახარჯები უფრო მეტია სათბობის ხარჯის გამო, ვიდრე ჰიდროელსადგურისათვის.

წლების იმ T_0 , რიცხვს, რომლის ბოლოს ეს ჯამური დანახარჯები ორივე ვარიანტისათვის გათანაბრდება, უწოდებენ ჰიდროელსადგურის დამატებითი სიმძლავრის გამოსყიდვის ვადას. იგი შეიძლება განვსაზღვროთ განტოლებიდან:

$$a + \Delta\mathfrak{A}T_0 = a_0 + (\Delta\mathfrak{A}_0 + b_1)T_0,$$

საიდანაც

$$T_0 = \frac{a + a_0}{\Delta\mathfrak{A}_0 + b_1 - \Delta\mathfrak{A}}.$$

T_0 წლის შემდეგ ჰიდრაულიკური ვარიანტის დიდი კაპიტალდაბანდებიანი გამოისყიდება და შემდეგში იგი უკვე ხელსაყრელი იქნება, ვიდრე სითბური ვარიანტი, მაგრამ ამ ვადის გასვლამდე მისი კაპიტალდაბანდება დროებით გამოდის მკვდარი. პირველი ვარიანტის კაპიტალდაბანდების, ე. წ. „ზედმეტი“ თანხა $a - a_0$, შეიძლება გამოყენებული ყოფილიყო სახალხო მეურნეობის სხვა დარგებში (ქარხნებისა და რკინიგზების მშენებლობა, მიწების მოარწყვა და ა. შ.). მეორე მხრივ, თუ უარს ვიტყვით პირველ ვარიანტზე და მას მეორე ვარიანტით შევცვლით, ამას მოჰყვება დაბანდების ვადახარჯვა გამოსყიდვის T_0 ვადის გასვლის შემდეგ.

ამრიგად, ვარიანტის შერჩევა დამოკიდებულია იმ გამოსყიდვის T_0 ვადის ხანგრძლიობაზე; რომელშიაც ბანდება კაპიტალი, ვიციტ რა, რომ იგი გამოისყიდება მხოლოდ ამ ვადის გასვლის შემდეგ. გამოსყიდვის ვადების სიდიდე დამოკიდებულია სახალხო მეურნეობის ეკონომიურ დონეზე მოცემულ მომენტში, სახალხო-სამეურნეო მშენებლობაში მომავალი დაბანდების მასშტაბზე, მეურნეობის სხვადასხვა დარგების ფარდობით უპირატესობაზე და ა. შ. იგი მოცემულ პერიოდში შეიძლება დადგენილ იქნეს ზემდგომი ორგანოების მიერ, რომლებიც გეგმავენ სახალხო მეურნეობას. დღემდე კიდევ არ არის დამუშავებული დასაშვები გამოსყიდვის ვადების განსაზღვრის მეთოდოლოგია და სპროექტო საქმეში იგი ჯერ კიდევ „მოსაზრებებით“ მყარდება.

თუ დავუშვებთ, რომ გამოსყიდვის ვადა მოცემულია, მაშინ ტოლობიდან:

$$a + \Delta\mathfrak{A}T_0 = a_0 + (\Delta\mathfrak{A}_0 + b_1)T_0$$

აღვიღად მიიღება (27) ფორმულის ანალოგიური საანგარიშო ფორმულა:

¹ თუ ჰიდრაულიკური სიმძლავრე არ გამოდგენის სითბურს, მაშინ მეორე ვარიანტისათვის უნდა მივიღოთ $a_0 = 0$.

$$i = \frac{\left(\Delta\vartheta + \frac{a}{T_0}\right) - \left(\Delta\vartheta_0 + \frac{a_0}{T_0}\right)}{b} \quad (27')$$

ეს ფორმულა, ცხადია, გამოსადეგია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ჰიდროელსადგურის დამატებითი სიმძლავრე სისტემიდან გამოდენის სითბურ სიმძლავრეს, ე. ი. როდესაც $i > i_0$ და $P_e < P_i$.

თუ სითბური სიმძლავრის გამოდენა არ ხდება, ე. ი. თუ $i < i_0$ და $P_e > P_i$, მაშინ ფორმულა ლებულოვს (26) ფორმულის ანალოგიურ სახეს:

$$i = \frac{\Delta\vartheta + \frac{a}{T_0}}{b} \quad (26')$$

ამრიგად, გამოსყიდვის ვადის მხედველობაში მიღებით, ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის შერჩევის დროს მეთოდითა ფორმალურად იგივე რჩება, მაგრამ თბო-და ჰიდროელსადგურების საექსპლოატაციო ხარჯების ფორმულებს უნდა დავმატოს მათი შესაბამისი კაპიტალდაბანდება გაყოფილი გამოსყიდვის ვადაზე.

შენიშნოთ, რომ (26') და (27') ფორმულებით გაანგარიშების დროს, ყველაზე უფრო ხელსაყრელი სიმძლავრის უზრუნველყოფის დრო მეტი გამოდის, ვიდრე (26) და 27) ფორმულებით, ხოლო მათი შესაბამისი სიმძლავრეები კი, ცხადია, — უფრო ნაკლები. ეს გასაგებიც უნდა იყოს, ვინაიდან კაპიტალდაბანდების გამოსყიდვის აუცილებლობა ამცირებს სიმძლავრეს.

ზემოთ მოყვანილი კაპიტალ დაბანდების გამოსყიდვის პრინციპი ყველა ენერგოეკონომიური გაანგარიშებისათვის საერთოა (არხების, მილსადენების და სხვა ჰიდრონაგებობების გაანგარიშების დროს).

§ 59. სისტემის რეზერვები

ამდენ ხანს ჩვენ არ შევხებივართ სისტემის რეზერვის საკითხებს და ვეხებოდით მხოლოდ მის მუშა სიმძლავრეს. სინამდვილეში ყოველი ენერგეტიკული სისტემა უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს სარეზერვო სიმძლავრით.

სისტემის რეზერვი შეიძლება იყოს სამი სახის:

1. საექსპლოატაციო, ანუ სადატვირთო რეზერვი, ე. ი. სიმძლავრის ის აუცილებელი მარაგი, რომელიც მიიღებს დატვირთვის უგეგმო ცვალებადობას და შემთხვევითი პიკებს, რომლებიც აღემატებიან დატვირთვის ნორმალურ, მოსალოდნელ მაქსიმუმს. თუ სისტემას არა აქვს სიმძლავრის საექსპლოატაციო რეზერვი, დატვირთვის შემთხვევითი პიკების მომენტში, სისტემაში მომუშავე სადგურების აგრეგატების ბრუნთა რიცხვი შემცირდება, რაც გამოიწვევს მათ მიერ გამოთქმული დენის სიხშირის შეცვლას. ამრიგად, სისტემაში უნდა იქნეს კარბი სიმძლავრე არა მარტო დატვირთვის მისაღებად, არამედ დენის სიხშირის სიდიდის შესანარჩუნებლადაც.

მსხვილ ენერგოსისტემაში სიმძლავრის საექსპლოატაციო რეზერვის სიდიდე უნდა შეადგენდეს დატვირთვის მაქსიმუმის დაახლოებით 5% -ს. პატ.

რა სისტემაში, დატვირთვის შემთხვევითი ცვალებადობა შეიძლება შეადგენდეს უფრო მეტ პროცენტს.

2. ავარიული რეზერვი, ე. ი. სიმძლავრის მარაგი სისტემის ერთი რომელიმე აგრეგატის ავარიის შემთხვევისათვის, რომელიც საკმარისია მწყობრიდან გამოსული სიმძლავრის შესაცვლელად. ცხადია, ავარიული რეზერვის სიმძლავრე არ უნდა იყოს სისტემის ყველაზე დიდი აგრეგატის სიმძლავრეზე ნაკლები, მაგრამ ყოველ შემთხვევაში არანაკლები 10—15%-ისა დატვირთვის მაქსიმუმადან.

ავარიის ხასიათი თავისი ხანგრძლიობით შეიძლება სხვადასხვა იყოს, დაწყებული რამდენიმე საათიდან, გათავებულ რამდენიმე დღით ან მეტით იმისადა მიხედვით, თუ როგორი სახისაა აგრეგატის დაზიანება, აუცილებელი შეკეთება და მისი შესწორება. უკიდურეს შემთხვევაში შეიძლება საჭირო გახდეს დაზიანებული მანქანის ან მისი ნაწილის დაშლა და ქარხანაში გაგზავნა შეკეთებისათვის.

მანქანის უეცარი გამოსვლა მწყობრიდან, მოითხოვს რეზერვის დაუყოვნებლივ მიერთებას, რომელიც სრულ მზადყოფნაში უნდა იყოს მუშაობისათვის, ე. ი. უნდა იყოს ბრუნვით მდგომარეობაში ავარიამდე. ასეთ რეზერვს მყისი, ანუ მბრუნავი, რეზერვი ეწოდება და იგი უზრუნველყოფილი იქნება იმით, რომ სისტემაში მომუშავე აგრეგატების სიმძლავრეების ჯამი უნდა იყოს უფრო მეტი, ვიდრე დატვირთვა, ე. ი. იმ სადგურების მანქანები, რომლებშიაც თავმოყრილია რეზერვი, უნდა მუშაობდნენ არა სრული, არამედ ნაწილობრივი დატვირთვით, რომ ამით უზრუნველყოფილი იქნეს ავარიული რეზერვი. მბრუნავი რეზერვი ასრულებს როგორც საექსპლოატაციო, ისე ავარიული რეზერვის როლს. იმ მანქანების დაუტვირთობა, რომლებიც რეზერვის ფუნქციას ასრულებენ, ზოგჯერ ხელსაყრელია, ვინაიდან როგორც ორთქლის, ისე ჰიდრაულიკურ მანქანებს მაქსიმალური მქკ აქვთ არა მაქსიმალური, არამედ რამდენამდე ნაკლები სიმძლავრის დროს (მქკ-ის მაქსიმუმი შეესაბამება უდიდესი დატვირთვის 75—90% ჰიდროტურბინებისათვის, და 85% ორთქლის ტურბინებისათვის).

ხანგრძლივი ავარია მოითხოვს არა მარტო სარეზერვო სიმძლავრის დაუყოვნებლივ შეყვანას სისტემაში, არამედ რეზერვმა უნდა უზრუნველყოს საჭირო ენერგიის გამომუშავება დროის მთელ პერიოდში, რისთვისაც თბოსადგურებში უნდა გვექონდეს სათბობის ავარიული მარაგი, ხოლო ჰიდროელსადგურებში კი—წყლის დამატებითი რაოდენობა. ამიტომ, მაგალითად, მხოლოდ დღეღამური რეგულირების სადგურს შეუძლია შეასრულოს ავარიული რეზერვის ფუნქცია მხოლოდ მოკლე დროის ავარიის პერიოდში, როცა დღეღამური რეგულირების აუზის წყლის მარაგის ხარჯზე იგი მოკლე ვადაში გაადიდებს სიმძლავრესა და ენერგიის გამომუშავებას. ხანგრძლივი ავარიის დროს, ამ მიზნისათვის საჭიროა დიდი მარაგის მქონე წყალსაცავი, ე. ი. მარაგის როლი შეუძლია შეასრულოს ჰიდროელსადგურმა, რომელსაც აქვს თუნდაც ნაწილობრივი წლიური რეგულირების აუზი. ზოგჯერ ამის შედეგად, ხანგრძლივი ავარიის შემთხვევაში, ჰიდროელსადგური, რომელიც ხანმოკლე რეზერვის როლს ასრულებს, აიღებს ავარიულ დატვირთვას დროებით ისე, რომ შემდეგ იგი შეცვალოს სხვა სადგურმა, რომელსაც შეუძლია ეს ავარიული დატვირთვა აიღოს უკვე ხანგრძლივ პერიოდში. ეს მოვალეობა შეუძლია შეასრულოს დიდი წყალსაცავის მქონე ჰიდროელსადგურმა ან სათბობის მარაგით უზრუნველყოფილმა თბოსადგურმა. ასეთ რეზერვს ხშირად ცივ რეზერვს

უწოდებენ იმიტომ რომ, თუ თბოსადგური ამ მოვალეობას შეასრულებს, მაშინ მას აქვს საკმაოდ დრო, რომ გააცხელოს ორთქლის ქვაბები, ასწიოს ორთქლის წნევა, გაახუროს ტურბინა და შემდეგ მიიღოს დატვირთვა სწრაფ-მოქმედი ხანმოკლე რეზერვიდან. ასეთი თბოსადგურის სარეზერვო აგრეგატი შეიძლება ცივ მდგომარეობაში იყოს.

3. შეეკეთების რეზერვი უზრუნველყოფს სისტემის მუშაობას, როდესაც მისი ცალკეული აგრეგატები ჩადგებიან შეკეთებაში. შეკეთება შეიძლება იყოს საგეგმო ან ავარიული. აგრეგატის ავარიული შეკეთება წარმოებს ავარიით გამოწვეული დაზიანების შემთხვევაში და შესაკეთებელი მანქანა იცვლება ავარიული რეზერვით. მაგრამ, გარდა ამისა, საჭიროა სადგურის ყველა აგრეგატი რიგრიგობით, პერიოდულად გავაჩროთ დათვლიერების მიზნით და ვაწარმოთ მათი მიმდინარე შეკეთება, გაწმენდა, ცალკეული ნაწილების გამოცვლა, მოხახუნე ზედაპირების დამუშავება და ა. შ. ასეთი შეკეთება წარმოებს წინასწარ დამუშავებული გეგმით დროის იმ პერიოდში, როდესაც აგრეგატის გაჩერებას სისტემისათვის უმცირესი ზარალი მოაქვს. შეკეთების ამ სახეს უწოდებენ გეგმიან გამაფრთხილებელს, ან უპროფილაქტიკურს, ვინაიდან მისი ძირითადი მიზანია მანქანის მდგომარეობის შემოწმება და ისეთი დაზიანების ლიკვიდაცია, რომელიც ჯერ არ იწყვეს ავარიას, მაგრამ მისი განვითარება გამოიწვევს სერიოზულ დაზიანებას და მოითხოვს წინასწარ გამაფრთხილებელ ზომებს.

წინასწარ გამაფრთხილებელი შეკეთების დროს, სისტემა მთლიანად უზრუნველყოფილი უნდა იყოს სიმძლავრით არა მარტო იმისათვის, რომ უზრუნველყოს დატვირთვა, არამედ ავარიული და საექსპლოატაციო რეზერვის შესაქმნელადაც. იმიტომ ან შეკეთებები უნდა წარმოებდეს იმ დროს, როდესაც სისტემას აქვს ქარბი სიმძლავრე (მაგალითად ზაფხულობით, როდესაც დატვირთვა კლებულობს), ან უზრუნველყოფილი უნდა იყოს შეკეთების სპეციალური რეზერვი¹.

თუ სისტემაში გვაქვს ე. წ. შემცველი სიმძლავრეები, მაშინ შეიძლება აგრეგატების ნაწილი შევაკეთოთ. მაგალითად, თუ ჰიდროელსადგურის დადგენილი სიმძლავრე მეტი იქნება, ვიდრე წყლით უზრუნველყოფა ზამთარში, მაშინ შეიძლება ზამთარში მოვახდინოთ ჰიდროელსადგურების ტურბინების ნაწილის შეკეთება. პირიქით, გაზაფხულზე, როდესაც ჰიდროელსადგურის მთელი დადგენილი სიმძლავრე უზრუნველყოფილია წყლით და მუშაობს მთელი დატვირთვით, ცხადია, სითბური სიმძლავრეების ე. წ. შემცველი ნაწილი საჭირო არ არის და შეიძლება მისი შეკეთება. ამ შემთხვევაში, შემცველი სიმძლავრე უზრუნველყოფს შეკეთების რეზერვს. იმ სისტემაში, სადაც დატვირთვის უმეტესი ნაწილი ენერგოტექვად მომხმარებლებს უპირავს მთელ წელიწადში, ზაფხულის დატვირთვის შემცირებას შეიძლება ადვილი არა ჰქონდეს ან უმნიშვნელო იყოს. თუ ამ შემთხვევაში ჰიდროელსადგურს აქვს კარგად დარეგულირებული ჩანადენი და მისი სიმძლავრე და დღელამური გამომუშავება წლის განმავლობაში მუდმივია, მაშინ ოგი, ზემოთ მოყვანილი განმარტების თანახმად, არასოდეს არ შეიძლება შევაკეთოთ, ვინაიდან მისი ყველა აგრეგატი მუშაობს წელიწადის ყოველ დროში და რომელიმე

¹ ეს საკითხი სეზონურ სადგურებში ადვილად წყდება. ამ სადგურის აგრეგატების შეკეთება წარმოებს ზაფხულსა და ზამთარში, როდესაც წყლის ხარჯი მდინარეში უზრუნველყოფს სადგურის სიმძლავრეს თუნდაც ერთი აგრეგატის გამოყლებით. მთავარწინაა

მათგანის გაჩერება გამოიწვევს წყლის გამოუყენებლობას და ენერჯის შემცირებას. ამ შემთხვევაში შეიძლება აუცილებელი იყოს ზედმეტი აგრეგატის დადგმა მანქანების შეკეთებაში ჩასაყენებლად რეზერვის შექმნისათვის.

§ 60. ჰიდროელსადგურის მუშაობის რეჟიმისა და რეზერვების გავლენა სიმძლავრის შერჩევაზე

წინა პარაგრაფში განხილული სიმძლავრის შერჩევის მეთოდი გამომდინარეობს სისტემის ენერჯის ღირებულების მინიმუმის პრინციპიდან. იგი აფასებს მხოლოდ გამოუმუშავებულ ენერჯიას, მაგრამ არ აფასებს ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის იმ როლს, რომელსაც იგი ასრულებს სისტემაში, თუნდაც ეს სიმძლავრე არ იძლეოდეს ენერჯის გამოუმუშავებას ან იძლეოდეს იმ რაოდენობით, რომელიც არ ამართლებს საექსპლუატაციო ხარჯებსაც კი. მეორე მხრივ, ეს სიმძლავრე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს არა მარტო ენერჯის გამოსამუშავებლად, არამედ სხვა მიზნებისათვისაც, მაგალითად, საჭირო რეზერვის შესაქმნელად, სისტემაში სიხშირის შესანარჩუნებლად და ა. შ. ამ შემთხვევაში შეიძლება მიზანშეწონილი იყოს ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის გადიდება იმ სიმძლავრეზე მეტად, რომელსაც ეს მეთოდი იძლევა. ამიტომ ეგრეთ წოდებული ეკონომიურად ყველაზე უკეთესი სიმძლავრე, რომელიც განსაზღვრულია სისტემის ენერჯის უმცირესი ღირებულებების პრინციპიდან, განიხილეთ უნდა იქნეს როგორც კვედა ზღვარი, რომლის ქვემოთ ჰიდროელსადგურის დადგენილი სიმძლავრე არ შეიძლება შეჩერებულ იქნეს. ამ ზღვარის ზემოთ სიმძლავრის გადიდების საკითხი გულდასმით უნდა იქნეს შესწავლილი.

განვიხილოთ სხვადასხვა რეჟიმები, რომლებშიც უნდა იმუშაოს ჰიდროელსადგურმა და შევეცადოთ შევაფასოთ მისი სიმძლავრის როლი ენერჯის სისტემის მუშაობაში. საერთოდ რომ ვთქვათ, ჰიდროელსადგურს შეუძლია იმუშაოს სხვადასხვა რეჟიმზე იმისდა მიხედვით: 1) აქვს თუ არა მას შესაძლებლობა აწარმოოს დღელამური რეგულირება და 2) დარეგულირებულია თუ არა მდინარის წლიური ჩანადენი და როგორია მისი დარეგულირების ხარისხი.

1. ჰიდროელსადგურმა, რომელსაც არა აქვს დღელამური რეგულირება, უნდა აიღოს ისეთი დატვირთვა, რომელიც წყალდენის საშუალო დღელამური სიმძლავრის ტოლია, თუ ეს სიმძლავრე არ აღემატება მის დადგენილ სიმძლავრეს. ამ სადგურს წყლის არაერთგვაროვანი მარაგის შექმნა არ შეუძლია და ამიტომ იგი ვერ შექმნის სისტემის რეზერვს თუნდაც იმ დღეებში, როდესაც მისი სიმძლავრე მოლიანად არ არის გამოყენებული წყლის სიმცირის გამო და აგრეგატების ნაწილი თავისუფალია. ეს თავისუფალი სიმძლავრე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც საკუთარი რეზერვი, ე. ი. ერთი რომელიმე აგრეგატის ავარიის შემთხვევაში შეცვალოს იგი. ეს სადგური არ არის მოხერხებული აგრეთვე ე. წ. წამყვანი სადგურის როლისათვის (წამყვანი სადგური სისტემას უნარჩუნებს სიხშირეს და უზრუნველყოფს მის საექსპლუატაციო რეზერვს, რომლის დანიშნულებაც სისტემაში შემთხვევითი დატვირთვის დაფარვა).

ამ პირობებში ისპობა მიზეზი იმისა, რომ ასეთი სადგურის სიმძლავრე გავადიდოთ ეკონომიურ სიმძლავრეზე მეტად, რომელიც ენერჯის ღირებულებით განისაზღვრება.

2. დღელამური რეგულირების ჰიდროელსადგური წყლის მცირე ხარჯების პერიოდში მუშაობს დატვირთვის გრაფიკის პიკების დასაფარავად იმ რაოდენობით, რომლის საშუალებასაც მარეგულირებელი აუზის მოცულობა იძლევა. თუ ეს მოცულობა საკმაოდ დიდია და აღემატება დღელამური რეგულირების ნორმალურ მოთხოვნილებას, მაშინ ჩვეულებრივ დღეებში გამოიყენება აუზის მარეგულირებელი პრიზმის მხოლოდ ზედა შრეები. ქვედა შრეების წყლის მარაგი ჩვეულებრივ არ იხარჯება და შეიძლება ენერჯის ავარიულ მარაგად გამოდგეს. ჰიდროელსადგური ასეთი რეგულირების არსებობის დროს, ავარიის შემთხვევაში ამ ჰიდროელსადგურს შეუძლია გააკეთოს დროის ფარგლებში გაადიდოს თავისი სიმძლავრე და ენერჯის გამომუშავება. იმისათვის, რომ ყველაზე უფრო ეფექტურად, ე. ი. უდიდესი სიმძლავრით გამოვიყენოთ ენერჯის ავარიული მარაგი, სადგურმა უნდა იმუშაოს გრაფიკის პიკებზე. თუ წყალსაცავის მარაგს შეუძლია ასეთი მუშაობა შეასრულოს რამდენიმე საათის (2—3) განმავლობაში, მაშინ ასეთ სადგურს შეუძლია სისტემისათვის ხანმოკლე რეზერვის როლი შეასრულოს. იმ შემთხვევაში, როდესაც წყალსაცავის მოცულობა დიდია ამ ჰიდროელსადგურიდან შეიძლება მივიღოთ დიდი რაოდენობის ენერჯია და იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ენერჯის ხანგრძლივი რეზერვის სახით. თუ ამ დროს სისტემაში არ არის თავისუფალი სიმძლავრე, მაშინ იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, აგრეთვე, როგორც სიმძლავრის რეზერვი.

ასეთი შესაძლებლობის არსებობის დროს, შეიძლება ვილაპარაკოთ სადგურის დადგენილი სიმძლავრის გადიდებისა და მისთვის ავარიული რეზერვის (ხანმოკლე ან ხანგრძლივი) მოვალეობის შესრულებაზე. ეს შეიძლება ხელსაყრელი იყოს, თუ ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის ერთი დადგენილი კილოვატის ღირებულება არ აღემატება თბოსადგურის სიმძლავრის ამ სიდიდის ღირებულებას, ვინაიდან ამ შემთხვევაში უფრო იაფი იქნება დამატებითი სარეზერვო სიმძლავრის დაყენება ჰიდროელსადგურებში და არა სისტემის თბოსადგურებში. თუ ეს სიმძლავრე გამოვა თბოსადგურის სიმძლავრეზე უფრო ძვირი, მაშინ იგი შეიძლება მაინც ხელსაყრელი ამოჩნდეს, ვინაიდან წყალზე პერიოდში მას გამოვიყენებთ ჰიდროელსადგურში დამატებითი ენერჯის გამომუშავებისათვის.

ჰიდროელსადგურის გამოყენება ხანმოკლე რეზერვადაც კი, საშუალებას მოგვცემს გავანთავისუფლოთ თბოსადგური ცხელი რეზერვისაგან, რომელსაც სათბობის გადახარჯვამდე მიეყვება. ამ დროს თბოსადგურში შეიძლება გვეჩინდეს სარეზერვო სიმძლავრე ცივ მდგომარეობაში, რომელიც უზრუნველყოფს სისტემის მუშაობას ხანგრძლივი ავარიის დროს მას შემდეგ, რაც ჰიდროელსადგურის ხანმოკლე რეზერვის დახარჯვით ამოიწურება წყალსაცავის წყლის მარაგი.

3. ჰიდროელსადგური, რომელსაც აქვს ჩანადენის წლიური ან მრავალწლიური რეგულირების დიდი მოცულობის წყალსაცავი, შეიძლება ძალიან კარგად იქნეს გამოყენებული ენერჯის ხანგრძლივი რეზერვად. თუ ამასთან ერთად, იგი ხასიათდება კარგი დღელამური რეგულირებით და აქვს ერთი კილოვატის საკმაოდ მცირე ღირებულება, მაშინ, როგორც ზემოთ თქმულიდან ჩანს, არსებობს საფუძველი იმისათვის, რომ გავზარდოთ მისი დადგენილი სიმძლავრე.

სადგურის მუშაობა სისტემაში ძალიან რთულია და დაკავშირებულია

მთელ რიგ ფაქტორებთან, როგორცაა გათვალისწინება თანხებში ძნელია. სიმძლავრის შერჩევის ზემოთ მოყვანილი ეკონომიური საფუძველი მხედველობაში არ იღებს ყველა ამ რთულ პირობას. ეს მეთოდი მხოლოდ სქემატურად იღებს სადგურის მუშაობას, გამოყოფს რა ყველაზე უფრო საგულისხმო ფაქტორს — ენერჯიის გამომუშავებას. დადგენილი სიმძლავრის განსაზღვრა ხდება სისტემის ენერჯიის თვითღირებულების მინიმუმის პრინციპით. თუ ავარჯებთ ენერჯიის თვითღირებულების მრუდს, როგორც ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის ფუნქციას, მაშინ ამ მრუდის მინიმუმი მოგვცემს ჰიდროელსადგურის საძიებელ სიდიდეს.

მაგრამ ყოველგვარი ფუნქცია თავისი მინიმუმის მახლობლობაში ნელა იცვლება, ამიტომ სიმძლავრის ამ სიდიდიდან ზოგიერთ გადახვევას, კერძოდ მის გადიდებას, არ შეუძლია დიდად შეცვალოს ფუნქციის მინიმუმის მნიშვნელობა, ე. ი. ენერჯიის თვითღირებულება. ამიტომ სიმძლავრის რამდენადმე გადიდებას, ენერჯიის თვითღირებულების მინიმუმის მიხედვით შერჩეულ სიმძლავრესთან შედარებით, არ შეუძლია დიდი გავლენა იქონიოს სისტემის ეკონომიკაზე. თუ დაეუშვებთ, რომ მთელ რიგ ფაქტორებს (რომლებიც არ არიან გათვალისწინებული ამ შერჩევის დროს) შეუძლია გაამართლოს სიმძლავრის ეს ზრდა, მაშინ შეიძლება სიმძლავრის გადიდებაც.

ვინაიდან აგებული სადგურის სიმძლავრის გადიდება ძალიან ძნელია, ხოლო ზოგჯერ კი თითქმის შეუძლებელიც, ამიტომ სიმძლავრის შერჩევის დროს უკეთესია არ მივმართოთ სიმძლავრის შემცირებას. ეს ყოველთვის უნდა მივიღოთ მხედველობაში განსაკუთრებით კარგი ტექნიკური მაჩვენებლების მქონე სადგურების დაპროექტების დროს (კარგი დარეგულირებული ჩანადენით, დღელამური რეგულირებით, იაფი დამატებითი კილოვატით, რეგულირების კარგი უნარით და ა. შ.), ვინაიდან ამ პირობებში დამატებითი სიმძლავრე ყოველთვის შეიძლება ეკონომიურად იქნეს გამოყენებული სისტემაში.

ჰიდროელსადგურის მუშაობა ენერგოსისტემაში

§ 61. სადგურის ენერგეტიკული მაჩვენებლები

ჰიდროელსადგურები მომხმარებლების დასაკმაყოფილებლად მხოლოდ იშვიათ შემთხვევაში მუშაობენ როგორც ცალკეული დამოუკიდებელი დანადგარები. უმეტეს შემთხვევაში ისინი მუშაობენ ენერგეტიკულ სისტემაში, რომელშიაც გარდა მოცემული ჰიდროელსადგურისა, შედის კიდევ მთელი რიგი თბო-და ჰიდროელსადგურები. ასეთი გაერთიანებული მუშაობა უფრო ხელსაყრელია, ვიდრე ჰიდროელსადგურის განცალკევებული მუშაობა, ვინაიდან წყალმცირე პერიოდში და ჰიდროელსადგურის მცირე სიმძლავრის დროს თბოსადგურები ეხმარებიან მათ სისტემის დატვირთვის აღებაში. ამიტომ დაპროექტების დროს აუცილებელია კარგად გვექონდეს წარმოდგენილი მთელი სისტემის მუშაობის პირობები და ის როლი, რომელიც დაკისრებული ექნება დასაპროექტებელ სადგურს სისტემაში. ასეთი წარმოდგენის გარეშე შეუძლებელია სწორად შეირჩეს სადგურის სიმძლავრე და დაპროექტდეს მისი ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მთელი კომპლექსი, ვინაიდან არ იქნება ნათელი მათი მუშაობის რეჟიმი.

ენერგოსისტემის შემადგენლობაში, ჩვეულებრივ, შეიძლება შედიოდეს სადგურების შემდეგი სამი ძირითადი კატეგორია:

1. ჰიდროელსადგურები (ჰესი);
2. კონდენსაციური თბოელსადგურები (კესი);
3. თბოფიკაციის ელსადგურები (თესი).

სადგურების ამ სამი კატეგორიიდან თითოეულს აქვს თავისი სპეციფიკური თავისებურებანი, რომლებიც შეიძლება გამოსახული იყოს მათი ენერგეტიკული მაჩვენებლებით. გარდა ამისა, სადგურის მუშაობის რეჟიმისა და სისტემაში მისი როლის მიხედვით, მას შეუძლია მოგვეცეს სხვადასხვა ეკონომიური ეფექტი.

ჰიდროელსადგურის ენერგეტიკული მაჩვენებლები ჩამოვთვალოთ ყველა ის ძირითადი მაჩვენებელი, რომლებიც საჭიროა ჰიდროელსადგურის რეჟიმის სწორად განსაზღვრისათვის.

1. ტურბინისა და მთელი სადგურის უნივერსალური მაჩვენებელი, რომელიც იძლევა მის მიერ განვითარებული სიმძლავრის დამოკიდებულებას დაწნევისაგან და მქკ-ის დამოკიდებულებას სიმძლავრისა და დაწნევისაგან. ზოგ შემთხვევაში, თუ დაწნევის ცვლილება დიდი არ არის, მაშინ საკმარისია გვექონდეს ტურბინებისა და მთელი სადგურის მხოლოდ მუშა მაჩვენებლები, რომლებიც იძლევიან მქკ-ის დამოკიდებულებას სიმძლავრისაგან მუშა დაწნევის დროს.

2. წყლის ხარჯის, ზედა და ქვედა ბიეფებისა და ჰესის დაწნევის ცვლილების გრაფიკები (მრავალი წლის დაკვირვებების, საანგარიშო წლის ქრონოლოგიური და ამ სიდიდეთა ხანგრძლიობის მიხედვით აგებული გრაფიკები).

3. გენერატორის მახასიათებლები, რომლებიც იძლევიან მისი მქ-ის დამოკიდებულებას სიმძლავრისაგან.

4. წყალდენის სიმძლავრის გრაფიკი (ქრონოლოგიური და ხანგრძლიობის მიხედვით).

5. წყალდენის მინიმალური უზრუნველყოფილი სიმძლავრის სიდიდე და მისი შესაბამისი P_2 მინიმალური სიმძლავრე ჰიდროელსადგურში, რომელიც შეიძლება მივიღოთ მისგან დატვირთვის გრაფიკის პიკებზე, წყალდენის მინიმალური სიმძლავრის დროს, მისი დღელამური რეგულირების შესაძლებლობის გამოყენებით (იხ. თავი VI).

6. დადგენილი P_2 სიმძლავრის სიდიდე და წყალდენის ის საშუალო დღელამური მინიმალური სიმძლავრე, რომლის დროს მთელი დადგენილი სიმძლავრე შეიძლება მთლიანად იქნეს გამოყენებული დატვირთვის გრაფიკის პიკებზე მუშაობისათვის.

7. მაქსიმალური სიმძლავრის სიდიდე, რომელიც შეუძლია განავითაროს ჰესმა წყალმეტობის დროს დაწნევის დაცემის მხედველობაში მიღებით.

8. ჰესის საშუალო დღელამური სიმძლავრის დამოკიდებულება მდინარის წყლის ხარჯისაგან, სადაც მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული დაწნევის დაცემა ხარჯების გადიდების დროს.

ამ მონაცემების გამოყენებით, ნაკადის სიმძლავრის ქრონოლოგიურ გრაფიკზე, გარდა საშუალო დღელამური სიმძლავრისა, შეიძლება გამოვსახოთ კიდევ დღელამური სიმძლავრეების მაქსიმალური სიდიდეები, რომლებსაც განავითარებს ჰიდროელსადგური გრაფიკის პიკებზე მუშაობის დროს (იხ. თავი V, § 44).

თბოსადგურის ენერგეტიკული მახასიათებლები. ვინაიდან აქ არ არის თბომურნობის ყველა დეტალის განხილვის საშუალება, ამიტომ ჩვენ ჩამოვთვლით მხოლოდ იმ მონაცემებს, რომლებიც საჭიროა ჰიდრო-და თბოსადგურების ერთობლივი ექსპლოატაციის პირობებისათვის.

კონდენსაციური თბოელსადგურების შესახებ საჭიროა ვიცოდეთ:

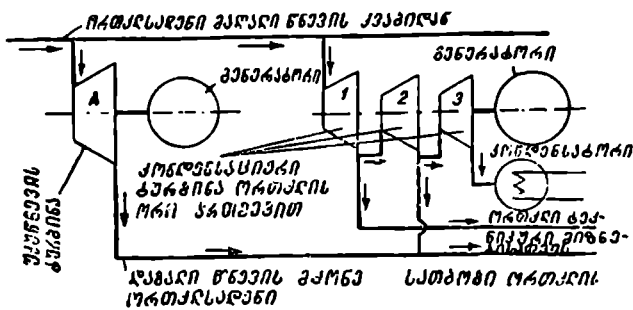
1. მისი დადგენილი სიმძლავრე, რომელიც ყოველთვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, თუ სადგურის მანქანების მდგომარეობა ნორმალურია და შეკეთებაში არ არის. ამ კონდენსაციური თბოელსადგურის ერთერთი მთავარი უპირატესობა ისაა, რომ მისი სიმძლავრე, ჰიდროელსადგურის სიმძლავრისაგან განსხვავებით, წელიწადის დროზე არ არის დამოკიდებული;

2. ამ სიმძლავრის ტექნიკური მინიმუმი, რომლის ქვემოთ არ შეიძლება ტურბინების დატვირთვა; კონდენსაციური ტურბინების გაჩერება ყოველდღე არ შეიძლება და ამავე დროს მათი დატვირთვა არ შეიძლება მაქსიმალური სიმძლავრის 25—35%⁰-ზე ნაკლები იყოს.

3. სითბური მახასიათებელი, ე. ი. სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება მისი გამოყენების საათების რიცხვისაგან.

უფრო რთული მდგომარეობაა თვისის თბოფიკაციის ტურბინებზე. ასეთი ტურბინები, გარდა ელექტროენერჯის გამომუშავებისა, იძლევა

ორთქლს გათბობისა და საწარმოო საჭიროებისათვის. არსებობს თბოეკონომიის ტურბინების ორი ტიპი: ა) უკუწნევის ტურბინები და ბ) ტურბინები ორთქლის ართმევით. 119-ე ნახაზზე მოცემულია უკუწნევის ტურბინების სქემა. ორთქლის ქვაბიდან ორთქლი ორთქლსადენებით შედის *A* ტურბინაში; გადამუშავებული ორთქლი შედის გათბობის სისტემის ორთქლსადენებში. ამრიგად, ტურბინა იყენებს მაღალი წნევის ახალი ორთქლისა და დაბალი წნევის სათბობი ორთქლის წნევათა სხვაობას. ორთქლის ხარჯი და ტურბინის სიმძლავრე განისაზღვრება გათბობის სისტემის მოთხოვნილებით. ამის გამო, სიმძლავრე და გამომუშავება მიჰყვება იძულებით გრავიტაციულ ძალას.



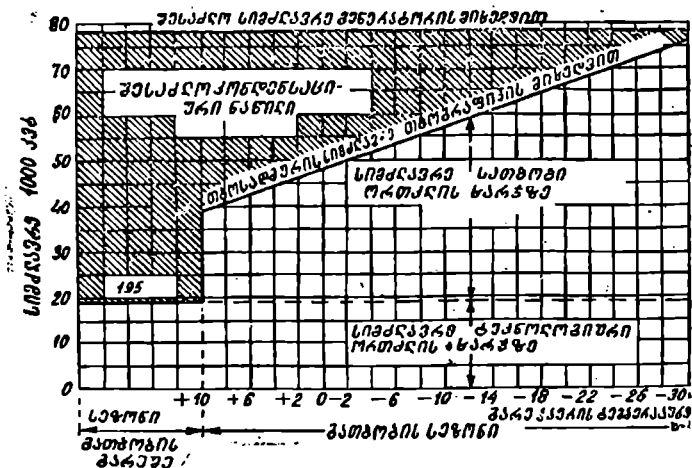
ნახ. 119. უკუწნევის ორთქლის ტურბინისა (მარცხნივ) და ორთქლის ორთმევის კონდენსაციური ტურბინის (მარჯვნივ) სქემა.

ფიქს, რომელიც განისაზღვრება სათბობი ორთქლის ხარჯის გრაფიკით. თუ მოცემულ მომენტში ელექტროენერჯის მოთხოვნილება ზეირე იქნება, მაშინ იძულებული ვართ ტურბინაში გავეუშვათ ორთქლის უფრო მცირე რაოდენობა, ვიდრე საჭიროა გათბობისათვის; ამ დროს სათბობი ორთქლის ორთქლსადენებში უმატებენ ორთქლს სპეციალური ჩედუქციური საარქველებების გავლით, ტურბინების გარეშე, სადაც ორთქლი კარგავს თავის წნევას ისე, რომ არ აწარმოებს მუშაობას. თუ, პირიქით, ენერჯია მოითხოვება მეტი, ვიდრე შეიძლება გამომუშავდეს სათბობი ორთქლის საშუალებით, მაშინ ტურბინაში გაივლის ორთქლის მეტი რაოდენობა, რომლის გადამუშავების შემდეგ იძულებული ვართ გავუშვათ იგი ატმოსფეროში.

უფრო მოსახერხებელია ტურბინები ორთქლის შუალედურ ორთმევით (იხ. იგივე 119-ე ნახაზი). ორთქლის ტურბინა, როგორც ცნობილია, შედგება მთელი რიგი მუშა თვლებისაგან, რომლებშიაც ორთქლი გადის თანმიმდევრობით და კარგავს რა წნევას, იძლევა ენერჯიას. ორთქლის ართმევა ხდება მუშა თვლების იმ საფეხურებს შორის (1-2 და 2-3), სადაც ორთქლს აქვს საჭირო წნევა. ტურბინის დანარჩენი ნაწილი (დაბალი წნევის) მუშაობს როგორც კონდენსაციური ტურბინა, უშვებს რა ორთქლს კონდენსატორში, სადაც ცივი წყლის ცირკულაციის გამო ორთქლი იქცევა წყლად და ქმნის ვაკუუმს. ამრიგად, ტურბინის მაღალი წნევის ნაწილი ორთქლის აღებამდე მუშაობს ორთქლის სრულ ხარჯზე, ხოლო მეორე, დაბალი წნევის ნაწილი ორთქლის უფრო მცირე ხარჯზე, ე. ო. ორთქლის ნარჩენზე, რომელიც დარჩა ართმევის შემდეგ. კონდენსაციური ნაწილის არსებობის შედეგად

(ე. წ. „კონდენსაციური კული“) შესაძლებელი ხდება ტურბინის სიმძლავრის რეგულირება გარკვეულ საზღვრებში, სათბობი ორთქლის ხარჯისაგან დამოუკიდებლად.

მაღალი წნევის ორთქლის საერთო ხარჯი განისაზღვრება მაღალი წნევის ტურბინის ნაწილების გამტარუნარიანობით. თუ მოცემულ მომენტში ორთქლის ართმევა არ ხდება, მაშინ მთელი ორთქლი მიდის კონდენსაციურ ნაწილში. ამ შემთხვევაში, ტურბინის სიმძლავრე უდიდესი იქნება და იგი იმუშავებს როგორც ჩვეულებრივი კონდენსაციური ტურბინა. რაც უფრო მეტი იქნება ორთქლის ართმევა გათბობისათვის, მით უფრო ნაკლები იქნება ტურბინის შესაძლო სიმძლავრე. თუ თბოფიკაციის ტურბინის გენერატორის სიმძლავრე ტურბინის უდიდესი სიმძლავრის ტოლია, მაშინ ორთქლის ართმევის დროს ეს სიმძლავრე არ იქნება გამოყენებული. თუ წინასწარ ცნობილია ორთქლის ართმევის მინიმალური სიდიდე, მაშინ გენერატორის სიმძლავრე შეიძლება აღებულ იქნეს ტურბინის იმ სიმძლავრის ტოლი, რომელსაც იგი იძლევა ორთქლის მინიმალური ართმევის შემდეგ. ამ დროს კონდენსაციური დანადგარების ზომებიც შემცირდება. დაბოლოს, გენერატორის სიმძლავრის სიდიდისა და კონდენსაციური ნაწილის მინიმალური ზღვრები შეიძლება ისეთი ავილოთ, რომლებიც შეესაბამებიან ორთქლის მთლიან ართმევას. უნდა აღვნიშნოთ, რომ ამ დროს ტურბინის დაბალი წნევის საფეხურისა და კონდენსატორის გავლით აუცილებელია ყოველთვის გაეუშვათ ე. წ. „გამოვლები ორთქლის“ გარკვეული რაოდენობა. ამ ორთქლის რაოდენობის შესაბამისად

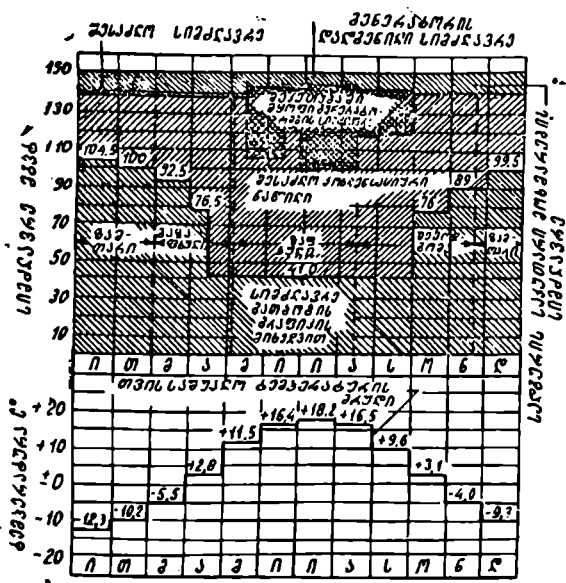


ნახ. 120. თვის სიმძლავრის გრაფიკი სათბობი ორთქლის ხარჯზე, გარე ჰაერის ტემპერატურის მიხედვით.

საკონდენსაციო ნაწილის გამტარუნარიანობა მინიმალურია, ხოლო მისი შესაბამისი სიმძლავრე არის იძულებითი სიმძლავრე, რადგან ორთქლით ყოველთვის უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს მომხმარებელი.

ორთქლი შეიძლება იხარჯებოდეს გათბობაზე, ე. ი. საცხოვრებელი სახ-

ლების საკიროებისათვის ან სიბოხ შესაქმნელად საწარმოო (ტექნოლოგიური) მიზნებისათვის (მაგალითად: კაუჩუკის, შაქრის, ცელულოზის, ხელოვნური აბრეშუმისა და ა. შ. წარმოებისათვის). ორთქლის დღელაპური ხარჯი ამ დროს შეიძლება მუდმივი იყოს ან მიჰყვებოდეს გარკვეულ გრაფიკს. ტექნოლოგიური ორთქლის დღელაპური ხარჯი წლის განმავლობაში, ჩვეულებრივ, მუდმივია (ნახ. 120), ხოლო გათბობისათვის საკირო ორთქლის ხარჯი დამოკიდებულია ჰაერის ტემპერატურაზე და იზრდება მისი შემცირების დროს. მაღალი ტემპერატურის დროს მოთხოვნილება გათბობის ორთქლზე ისპობა, რის გამოც ამ ორთქლის ხარჯზე მიღებული სიმძლავრეც ეცემა, მაგრამ ამ დროს შეიძლება გადიდდეს კონდენსაციური ორთქლის ხარჯზე მიღებული სიმძლავრე. 121-ე ნახაზზე ნაჩვენებია ერთ-ერთი საფეიქრო რაიონის თბოფიკაციის სადგურის შესაძლო სიმძლავრის გრაფიკი, სადაც ეს სიმძლავრე მოცემულია ჰაერის ტემპერატურის, წარმოების ტექნოლოგიური პროცესის, გათბობის ორთქლისა და აგრეთვე კონდენსაციური ნაწილის მიხედვით.



ნახ. 121. ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურის გრაფიკი და თვისა სიმძლავრის გრაფიკი თბოგრაფიკის მიხედვით.

ზოგჯერ, თუ ტექნოლოგიური მიზნებისათვის საკიროა უფრო მაღალი ტემპერატურის ორთქლი, ვიდრე გათბობისათვის, მაშინ ახდენენ ორთქლის ართმევას ორ შუალედში.

ამრიგად თესს, რომელიც აღტურვილია ორთქლის ართმევის ტურბინებით, თავისი მუშაობის როგორც დღელაპურ, ისე წლიურ გრაფიკზე აქვს იძულებითი სიმძლავრე, რომელიც აუცილებლად უნდა იყოს უზრუნველყოფილი დატვირთვით. ეს იძულებითი სიმძლავრე შედგება: 1) სიმძლავრისაგან, რომელიც მიღებულია ტექნოლოგიური ორთქლის ხარჯისა

და იძულებითი კონდენსაციური ნაწილისაგან, 2) სიმძლავრისაგან, რომელიც მიღებულია სათბობი ორთქლის ხარჯისაგან. იძულებითი სიმძლავრის ეს მეორე ნაწილი ზამთარში იზრდება და ზაფხულში ქრება. სიმძლავრის დანარჩენი ნაწილი, გამომუშავებული თავისუფალ კონდენსაციურ რეჟიმზე, შეიძლება მივიღოთ დღელამური გრაფიკის მიხედვით ნებისმიერ დროში.

§ 62. დღელამური დატვირთვის გრაფიკის დაზარაება

სისტემაში, სადაც მონაწილეობს სამივე კატეგორიის სადგურები, თითოეული მათგანისათვის გამოყოფილი უნდა იქნეს დღელამური დატვირთვის გრაფიკის გარკვეული ნაწილი, ამიტომ საჭიროა თითოეული სადგურის თავისებურების გათვალისწინება მათთვის ყველაზე უფრო ხელსაყრელ რეჟიმზე, ე. ი. მაღალ მქკ-ზე მუშაობისათვის, სათბობის უმცირესი ხარჯისათვის და ა. შ.

1. კონდენსაციურ თბოელსადგურებს, თუ თეორიულად ვიმსჯელებთ, თავისი დადგენილი სიმძლავრის ფარგლებში შეუძლიათ აიღონ ნებისმიერი დატვირთვა, მაგრამ ეს შესაძლებლობა შეზღუდულია მთელი რიგი პირობებით.

ა) კონდენსაციური სადგურის დღელამური დატვირთვა არ უნდა იყოს იმაზე ნაკლები, ვიდრე ეს საჭიროა ტურბინის სიმძლავრის ტექნიკური მინიმუმის უზრუნველყოფისათვის.

ბ) დიდი დროის განმავლობაში სასურველია შეძლებისდაგვარად უზრუნველვეთ ისეთი დატვირთვა, რომლის დროსაც ტურბინების მქკ იქნება უდიდესი, ე. ი. ტურბინის დადგენილი სიმძლავრის 85—90%.

გ) კონდენსაციური დანადგარის მუშაობა გრაფიკის პიკურ ნაწილზე, ე. ი. დატვირთვის მცირე კოეფიციენტით, გამოიწვევს სათბობის კუთრი ხარჯის გადიდებას, ამიტომ ხელსაყრელია მას გრაფიკის ბაზისური ან შუა ნაწილი დაეუთმოთ.

დ) დატვირთვის პიკების მოახლოების მომენტში სისტემა მოითხოვს სიმძლავრის სწრაფ ზრდას. ორთქლის ქვაბსა და მის საცეცხლეს აქვს გარკვეული „ინერცია“. დატვირთვის სწრაფი ზრდისა და მისი შესაბამისი ორთქლის ხარჯის ზრდის დროს, შესაძლებელია ტურბინას ორთქლი არ ეყოს. საცეცხლეში სათბობის გაძლიერებული მიწოდება კი გამოიწვევს გადიდებული რაოდენობით ორთქლის მიწოდებას მხოლოდ რამდენიმე ხნის შემდეგ, რომლის განმავლობაში ტურბინა ქვაბიდან წაიღებს უფრო მეტ ორთქლს, ვიდრე იქ გამომუშავდება. ეს გამოიწვევს ორთქლის წნევის დაცემას, ტურბინის ბრუნთა რიცხვის შემცირებას და სხვ. ნაადრევად სათბობის მიწოდების გაძლიერება კი გამოიწვევს ორთქლის ზედმეტ გამომუშავებას, ვიდრე ეს საჭიროა. და იძულებული ვიქნებით უქმად გავუშვათ იგი ჰაერში, ე. ი. დავკარგავთ ზედმეტ ორთქლს და სათბობს. ასევე არასასურველია დატვირთვის სწრაფი დაცემა.

აქედან გამომდინარეობს ის, რომ კონდენსაციური თბოსადგურებისათვის არ შეიძლება გამოვეყოთ დატვირთვის გრაფიკის პიკური ნაწილი: მისთვის საჭიროა გამოვეყოთ დატვირთვის ბაზისური ნაწილი და ნახევრად მწვერვალური დატვირთვა ისე, რომ ამ დატვირთვის მინიმუმი ტურბინის ტექნიკურ მინიმუმზე ნაკლები არ იყოს. დატვირთვის ზოგიერთი პიკის მოხსნა შეიძლება დავუშვათ კონდენსაციური სადგურის გადატვირთვით (დაახლოებით 10%/ით).

2. თბოელსადგურები (თესი) ძირითადად უნდა მუშაობდეს იძუ-

ლებითი გრაფიკის მიხედვით, ე. ი. უმთავრესად დატვირთვის გრაფიკის ბაზისურ ნაწილზე. თვისის სიმძლავრის კონდენსაციური ნაწილი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დატვირთვის გრაფიკის პიკური ნაწილის დასაფარავლად.

3. ჰიდროელსადგური, რომელსაც არა აქვს დღეღამური რეგულირების საშუალება, უნდა იღებდეს დატვირთვის გრაფიკის ბაზისურ ნაწილს, სადაც იგი ერთსა და იმავე სიმძლავრის დროს, მოგვეცემს უფრო მეტ გამოუმუშავებას, ვიდრე დატვირთვის პიკურ ნაწილზე მუშაობის დროს და ამრიგად, ნაკლებად დაკარგავს წყალს. ამის გამო, ჰიდროელსადგური, რომელსაც არა აქვს დღეღამური რეგულირების საშუალება არ აუმჯობესებს სისტემის მუშაობას; პირიქით, მას უჭირავს გრაფიკის ის ნაწილი, რომელიც შეიძლებისდაგვარად გამოყოფილი უნდა იყოს თბოსადგურისათვის. თუ ეს უკანასკნელი გადაყვანილი იქნება დატვირთვის გრაფიკის პიკურ ნაწილში, მაშინ ეს მიგვიყვანს სათბობის კუთრი ხარჯის გადიდებაზე და სხვა არასასურველ შედეგამდე. ლამის დატვირთვის მინიმუმის საათებში, რომ უზრუნველყოთ ენერჯის გამოუმუშავება თბოგრაფიკით ან შევინარჩუნოთ თბოსადგურის სიმძლავრის დატვირთვის ტექნიკური მინიმუმი, შეიძლება საკირო გახდეს სიმძლავრის მოხსნა ჰიდროელსადგურიდან და რადგან რეგულირების საშუალება არა გვაქვს, ამიტომ მოგვიხდება კაშხალიდან წყლის გაშვება ტურბინებში გავლის გარეშე. ამრიგად, ჰიდროელსადგურმა, რომელსაც არა აქვს დღეღამური რეგულირების საშუალება, ყოველთვის შეიძლება ვერ მოგვეცეს ის გამოუმუშავება, რომელიც წყალდენით არის უზრუნველყოფილი.

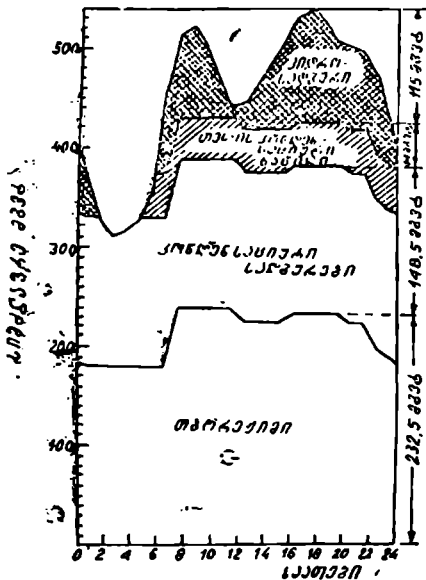
პირიქით, დღეღამური რეგულირების ჰიდროელსადგურები წარმოადგენს სისტემის თბოსადგურების სასურველ და ძვირფას თანამეწეს. ამ ჰესების გამოყენება უნდა მოხდეს უმთავრესად დატვირთვის პიკების დასაფარავლად. ჩვენ უკვე დავინახეთ, რომ პიკურ ნაწილზე მუშაობის დროს, შეიძლება საკმაოდ გაიზარდოს ის სიმძლავრე, რომელიც დატვირთვის მაქსიმუმის დაფარვაში მონაწილეობს. ჰიდროელსადგურის აგრეგატები ნებისმიერ მომენტში მზადაა დატვირთვის დასაფარავლად. განჩრებული აგრეგატი შეიძლება გაშვებულ იქნეს და დაიტვირთოს უმოკლეს დროში, 5—6 მიწუტში, ხოლო თანამედროვე ავტომატიზაციის პირობებში კი გაცილებით უფრო ადრე — 60—70 სექუნდში. ეს კი საშუალებას იძლევა ჰიდროელსადგური გამოვიყენოთ სისტემის სწრაფ მოქმედ რეზერვად. ჰიდროელსადგურის დანადგარების მუშაობით დატვირთვის პიკებზე (რის გამოც თბოსადგურები გადადის ბაზისზე) შეიძლება მათი მუშაობა გავაუმჯობესოთ, კერძოდ, შეიძლება შევამციროთ სათბობის კუთრი ხარჯი. დატვირთვის სწრაფი ზრდის მომენტში ჰესს შეუძლია მიიერთოს მზარდი დატვირთვა, რაც საშუალებას მისცემს თბოსადგურებს თანდათან გაადიდონ სიმძლავრე ისე, რომ არ მოხდეს ორთქლის წნევის სწრაფი დაცემა.

დატვირთვის ლამის მინიმუმის დროს, როდესაც საკიროა თბოსადგურების სიმძლავრის ტექნიკური მინიმუმის უზრუნველყოფა, ჰესი შეიძლება გამოიერთოს ისე, რომ მთელი დატვირთვა გადაეცეს თბოსადგურებს. ამ პერიოდში დაგროვილი წყალი გამოიყენება დატვირთვის მაქსიმუმის დროს.

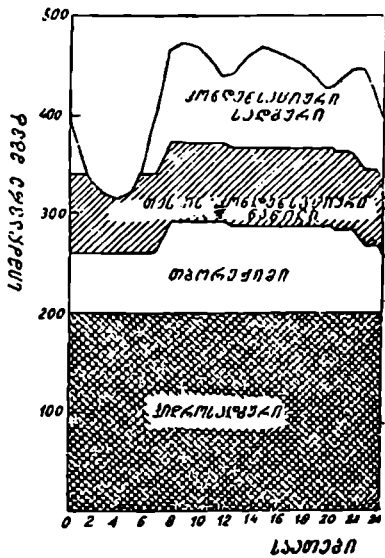
ამრიგად, დღეღამური რეგულირების ჰიდროელსადგური წარმოადგენს სისტემის მსუბუქსა და ადვილად მოძრავ ელემენტს, რომელიც უმსუბუქესს მას მუშაობას და თბოსადგურების ექსპლუატაციის მთელ რიგ საკითხებს სწვევს.

მაგრამ, წყლის დიდი ხარჯების დროს, როდესაც ჰესის სიმძლავრე უზ-

რუნველყოფილია მთელი დღე-ღამის განმავლობაში, იძულებული ვართ დაეყენოთ იგი დატვირთვის ბაზისზე, რათა არ დაეკარგოთ ენერჯიის გამომუშავება. ამ დროს თბოსადგურები უნდა გადავიდეს პიკურ სამუშაოზე, ვინაიდან ღამის მინიმუმის პერიოდში თბოსადგურებზე უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს სიმძლავრის მინიმუმი; ჰესებს ამ დროს შეიძლება დაეთმოს დატვირთვის მხოლოდ ის ნაწილი, რომელიც დარჩება თბოსადგურის „ტექნიკური მინიმუმის“ დაკმაყოფილების შემდეგ. თუ ეს დარჩენილი სიმძლავრე უფრო



ნახ. 122. თბო-და ჰიდროელსადგურებით დღელამური დატვირთვის გრაფიკის დაფარვის მაგალითი ზამთრის წყალმცირე დღეში.



ნახ. 123. თბო-და ჰიდროელსადგურებით დღელამური დატვირთვის გრაფიკის დაფარვის მაგალითი წყალმეტობის პერიოდში.

ნაკლები იქნება, ვიდრე ჰესის დადგენილი სიმძლავრეა, მაშინ მისი სიმძლავრე არ შეიძლება მთლიანად იქნეს გამოყენებული და უნდა მოხდეს წყლის იძულებითი გადაღერა უქმად, ტურბინების გარეშე.

წინა და ამ პარაგრაფში ნათქვამიდან გამომდინარეობს ჰიდრო-და თბოელსადგურებს შორის დატვირთვების განაწილების ძირითადი პრინციპები.

წყლის მცირე ხარჯების პერიოდში დატვირთვის გრაფიკის ბაზისზე უნდა იყოს:

- ა) კონდენსაციური ტურბინების სიმძლავრის ტექნიკური მინიმუმი;
- ბ) თბოსადგურების ტურბინების იძულებითი სიმძლავრე, რომელიც მიიღება გათბობისა და ტექნოლოგიური მიზნებისათვის დახარჯული ორთქლის რაოდენობის ხარჯზე. ეს სიმძლავრე დღე-ღამეში მუშაობს იმ გრაფიკზე, რომელიც შეესაბამება სითბოს მოხმარების გრაფიკს. თუ გვაქვს ტურბინები ორთქლის ართმევით, მაშინ ეს იქნება ის სიმძლავრე, რომელიც მიიღება ართმეულ

ორთქლის გავლით ტურბინაში და იმ მინიმალური რაოდენობის ორთქლით, რომელიც უნდა გავატაროთ კონდენსაციურ ნაწილში (იძულებითი სიმძლავრე).

გ) ჰიდროელსადგურს უნდა დაეთმოს დატვირთვის გრაფიკის ის ნაწილი, რომელშიაც შეძლებისდაგვარად მთლიანად იქნება გამოყენებული მისი დადგენილი სიმძლავრე და ენერჯის დღელამური გამოშვება. ამის გამო:

1) ჰიდროელსადგურებს, რომელთაც არ აქვთ დღელამური რეგულირების საშუალება (სეზონური ჰიდროელსადგურები) უნდა დაეთმოს დატვირთვის გრაფიკის ბაზისის ის ნაწილი, რომელიც დარჩება თბოელსადგურისაგან;

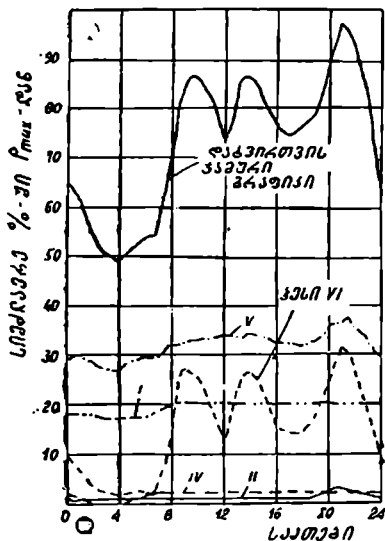
2) დღელამური რეგულირების ჰიდროელსადგურებს უნდა დაეთმოს დატვირთვის გრაფიკის ის ნაწილი, რომელშიაც გამოიყენებს რა მთელ დღელამურ გამოშვებას, განვითარებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს. წყლის ძალიან მცირე ხარჯის შემთხვევაში, გრაფიკის ეს ნაწილი იქნება დატვირთვის პიკები. ამ დროს ჰესის სიმძლავრე, რომელიც დატვირთვის პიკებს ფარავს, ე. ი. P_1 ზოგჯერ უფრო მცირე გამოდის, ვიდრე მისი დადგენილი P_2 სიმძლავრე (ნახ. 122). სიმძლავრის ნარჩენი შეიძლება ასრულებდეს მისი მარჯვის როლს ანდა გამოიყენებოდეს სისტემაში მუდმივი სინშირის შესანარჩუნებლად. მდინარის ხარჯის ზრდასთან ერთად წყალდენის საშუალო დღელამური სიმძლავრეც იზრდება. ჰესის სიმძლავრე პიკზე მუშაობის დროს იზრდება და შეიძლება P_2 -ს მიაღწიოს. წყალდენის სიმძლავრის შემდეგი ზრდის შემთხვევაში ჰესს უნდა დაეთმოს დატვირთვის გრაფიკის უფრო დიდი შრე, სადაც გამოიყენებს რა მთელ თავის დადგენილ სიმძლავრეს, დღელამეში შეიძლება მოგვეცეს ენერჯის სრული გამოშვება, ე. ი. 24 P_2 . ბოლოს, გაზაფხულზე, როდესაც წყალმეტობას აქვს ადგილი, ჰესი იძულებულია გადავიდეს ნაწილობრივ ბაზისურ დატვირთვაზე, რომ ამით მაქსიმალურად გაადიდოს თავისი გამოშვება (ნახ. 123). თუ თბოსადგურის იძულებითი ბაზისური სიმძლავრე დიდია, მაშინ შეიძლება აღმოჩნდეს რომ ღამის მინიმუმის საათებში, ჰესს არ ყოფნის დატვირთვა და იძულებული გავხდეთ წყლის ნაწილი გადავღვაროთ და დავკარგოთ ენერჯის გამოშვება. დატვირთვის გრაფიკის დანარჩენი ნაწილი დაიფარება კონდენსაციური სადგურებით (კესი) და თბოსადგურის (თესი) თავისუფალი კონდენსაციური „კულებით“.

124-ე და 125-ე ნახაზებზე ნაჩვენებია ერთ-ერთი ენერგეტიკული სისტემის სადგურების მონაწილეობა დატვირთვის გრაფიკის დაფარვაში მაისიხა და სექტემბრის თვეებში (ხუთი თბოსადგური—I, II, III, IV, V და ჰიდროელსადგური—VI). სექტემბერში წყლის მცირე ხარჯების დროს, ჰიდროელსადგური იღებს გრაფიკის პიკებს (ნახ. 124), ხოლო დატვირთვის ბაზისური ნაწილი მიცემული აქვს თბოსადგურებს. პირიქით, მაისში, წყალმეტობის პერიოდში, ჰესი მუშაობს ბაზისზე (ნახ. 125), ღინაიდან მისი დადგენილი სიმძლავრე მთლიანად უზრუნველყოფილია წყლის რაოდენობით; ამ დროს ღამის საათებში, 2-დან 7-მდე, მის გრაფიკზე არის იძულებითი ჩაყარდნა, ვინაიდან ამ საათებში უზრუნველყოფილი უნდა იყოს თბოსადგურების სიმძლავრეების ტექნიკური მინიმუმი (V); ეს იწვევს წყლის იძულებით გადაღვრას კაშხალზე. დატვირთვების პიკებს ფარავს თბოსადგურები (I და V).

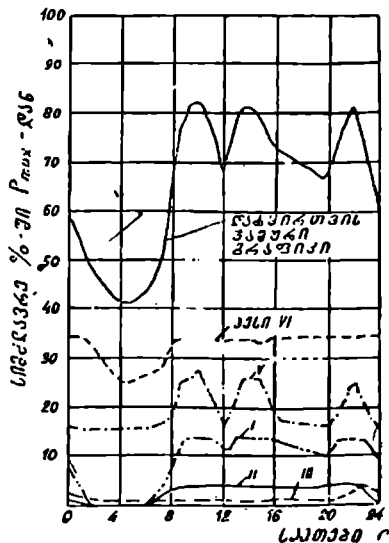
თუ სისტემაში მუშაობს არა ერთი, არამედ რამდენიმე ჰიდროელსადგური, მაშინ გრაფიკის მეტად პიკური ნაწილი დასაფარავად უნდა მიეცეს იმ ჰიდროელსადგურებს, რომლებსაც დღელამური რეგულირების უკეთესი პი-

რობები აქვთ, ე. ი. ისეთებს, რომლებსაც აქვთ რეგულირების დიდი აუზი, რეგულირების დროს ღონეების ნაკლები ცვლადობა ზედა და ქვედა ბიეფებში, ე. ი. დაწნევის ნაკლები ცვლილება და ენერჯის უფრო ნაკლები და-ნაკარგები.

თუ სადგურის ბიეფში შესაძლებელია წყლის ავარიული მარაგის შექმნა, და სადგურს აქვს თავისუფალი სიმძლავრე, მაშინ ის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სისტემის ხანმოკლე ან ხანგრძლივ ავარიულ რეზერვად, იზისდა მიხედვით, თუ რა რაოდენობის წყლის მარაგია წყალსაცავში.



ნახ. 124. სადგურების მონაწილეობა დატვირთვის დღელამური გრაფიკის დაფარვაში. წყალმცირე დღე (სექტემბერი)



ნახ. 125. სადგურების მონაწილეობა დატვირთვის დღელამური გრაფიკის დაფარვაში. წყალმეტობა (მაისი).

წ 63. სიმძლავრისა და ენერჯის ფლიუჩი ბალანსის შედგენა

დატვირთვის ფლიუჩი მსვლელობა შეიძლება გამოსახულ იქნეს დატვირთვის დღელამური მაქსიმუმებისა და ენერჯის დღელამური გამომუშავების ფლიუჩი გრაფიკებით ანდა, რაც იგივეა, საშუალო დღელამური სიმძლავრეებით, ვინაიდან ენერჯის დღელამური გამომუშავება განისაზღვრება სიდიდით $W = 24P_{\text{საშ}}$. პრაქტიკული მიზნებისათვის როგორც დაპროექტების, ისე ენერგომომარაგების საექსპლოატაციო გეგმების დასამუშავებლად, ჩვეულებრივ, საემარისია ვიცოდეთ სიმძლავრისა და ენერჯის გამომუშავების სიდიდეები თვეების მიხედვით (ყოველი თვისათვის მახასიათებელ დღეებში). პროექტების წინასწარი სტადიებისათვის შეიძლება დაეკმაყოფილდეთ კიდევ უფრო ნაკლები სიზუსტით, რისთვისაც შევარჩევთ უფრო გრძელ პერიოდებს (წლის ოთხი დროის მახასიათებელ გრაფიკებს).

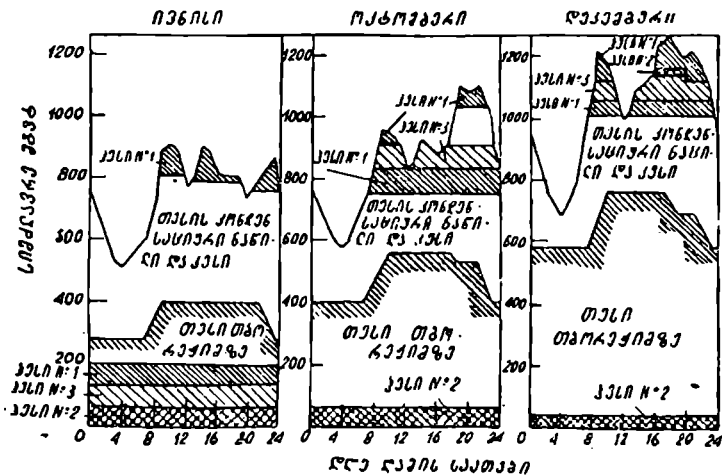
გამოვიყენებთ რა ყველა პერიოდის დამახასიათებელი დღეების დატვირთვის გრაფიკებს და გავანაწილებთ რა მასზე სისტემის ყველა სადგურს, შეიძლება გამოვთვალოთ თითოეული მათგანის ენერჯის გამომუშავება და

მათი სიმძლავრეები, რომლებიც დატვირთვის მაქსიმუმის დაფარვაში მონაწილეობს.

ჰიდროელსადგურის გამომუშავება და სიმძლავრე იცვლება ყოველწლიურად, ამიტომ წლიური გამომუშავებისა და სიმძლავრის ბალანსის შედგენის დროს წელიწადის მიხედვით საჭიროა გამოვიყენოთ არანაკლებ ორი წელი—საშუალო საანგარიშო და მინიმალური.

საშუალო წლის ბალანსი იძლევა ჰიდროელსადგურების მუშაობის საშუალო პირობების ტიპობრივ სურათს. წლები, რომლებიც წელიწადით ახლოა საშუალოსთან, ამავე დროს ხშირად მეორდებიან, ამიტომ საშუალო წლის ბალანსი სისტემაში ყველაზე უფრო ხშირი იქნება. წყალმცირე წლის ბალანსი იძლევა არახელსაყრელ სურათს იმ პირობებისა, რომლებსაც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ჰესის მუშაობაში. ვინაიდან ენერგომომარაგება უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს თუნდაც ძალიან არასასურველი პირობების დროს, ამიტომ წყალმცირე წლის ბალანსი გვიჩვენებს თუ რა გზებით, რა საშუალებებით შეიძლება მივალწიოთ ენერგომომარაგების სრულ მდგომარეობას. კერძოდ, წყალმცირე წელიწადში ენერგოსისტემის მოთხოვნილება თბოსადგურის სითბურ ენერჯისა და სიმძლავრეზე მაქსიმალურია, ამიტომ თბოსადგურების აუცილებელი სიმძლავრის სიდიდე წყალმცირე წლის ბალანსით განისაზღვრება.

ზოგჯერ საინტერესოა აგრეთვე წყალუხვი წლის ბალანსის შედგენაც. მაგალითად, როდესაც ჰიდროელსადგური დაცილებულია ენერჯის მოხმარების ცენტრს და ამ უკანასკნელს ენერჯია გადაეცემა გრძელი ელექტროგადამ-



ნახ. 126. სისტემის დატვირთვის გრაფიკი და მისი დაფარვა სამი ჰიდროელსადგურით (ივნისი, ოქტომბერი, დეკემბერი).

ცემი ხაზებით, მაშინ უდიდესი სიმძლავრეებისა და ენერჯის რაოდენობის გადაცემა ხდება სწორედ წყალუხვ წლებში. ამრიგად, წყალუხვი წლის ბალანსი აყენებს უდიდეს მოთხოვნილებებს გადამცემი ხაზების გამტარუნარიანობის შესახებ.

ჩვენი სახელმძღვანელოს მოცულობის სიმცირის გამო, განვიხილოთ

მხოლოდ სიმძლავრისა და ენერჯის ბალანსის შედგენის მეთოდი; იძულებული ვართ შევჩერდეთ მხოლოდ საერთო მითითებებზე.

ენერჯის ბალანსი. ჰესის ენერჯის გამომუშავებისათვის წელიწადის განხილულ პერიოდში (მაგალითად, თვეში) შეიძლება მივიღოთ ნაკადის გამომუშავება ჰესის დადგენილი სიმძლავრის ფარგლებში, თუ მთელი ეს გამომუშავება გამოყენებულ იქნება მომხმარებლის მიერ, მაგრამ შეიძლება მოხდეს ისე, რომ ამ გამომუშავების ნაწილი გამოუყენებელი დარჩეს დატვირთვის უქონლობის გამო. მაგალითად, ენერჯის ნაწილი შეიძლება გამოუყენებელი დარჩეს დატვირთვის გრაფიკების ღამის საათებში, თუ დატვირთვა ამ დროს ნაკლები იქნება ჰესის სიმძლავრესთან შედარებით ანდა თვით დღის დატვირთვა იქნება ნაკლები, ვიდრე შესაძლოა გამომუშავება (კვირა და უქმე დღეები). ჰესების არასრული გამომუშავება ჩანს დატვირთვის გრაფიკის დაფარვიდან და იგი ყოველთვის შეიძლება მხედველობაში მივიღოთ.

თბოსადგურების ენერჯის სასარგებლო გადაცემა განისაზღვრება სისტემაში ენერჯის საერთო მოხმარებიდან ყველა ჰიდროელსადგურის გამომუშავების გამოკლებით. თბოსადგურის გამომუშავება კი იქნება სასარგებლო გადაცემას პლუს საკუთარი მოხმარების ენერჯია.

გამომუშავების ის ნაწილი, რომელიც მიიღება თბოფიკაციის სადგურებიდან აღრიცხული უნდა იყოს ცალკე როგორც მოხმარებული ორთქლის იძულებითი გამომუშავება. ეს შეიძლება გამოვთვალოთ თბოგრაფიკის მიხედვით. თბოენერჯის დანარჩენი ნაწილი გამომუშავდება კონდენსაციური სადგურებით (კესი) და თბოელსადგურების კონდენსაციური ნაწილით. მათ შორის გამომუშავების განაწილება განისაზღვრება დატვირთვის დღელამური გრაფიკით.

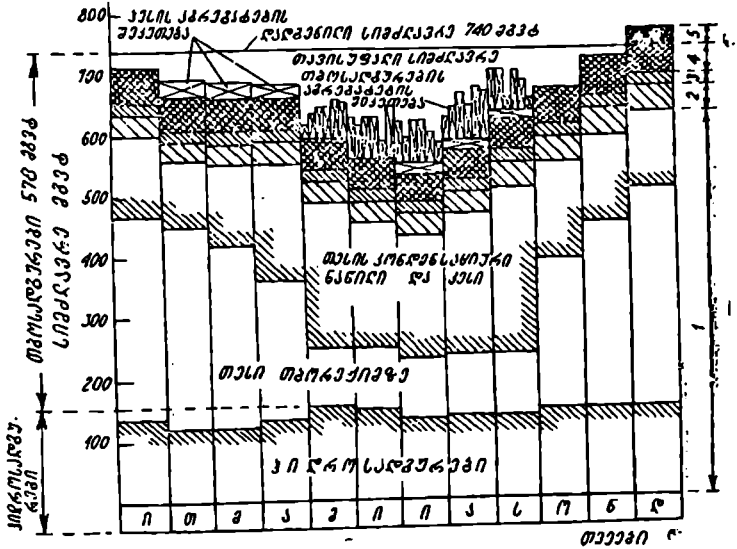
სიმძლავრის ბალანსი ივება დატვირთვის დღელამური მაქსიმუმების წლიური გრაფიკის სახით, რომელშიაც შედის სიმძლავრის დანაკარგები ქსელში სადგურებიდან მომხმარებლებამდე. ამ მრუდის ორდინატას ემატება მყისი, შესაძლო დატვირთვის შესაბამისი სიმძლავრე (საქსპლოატაციო რეზერვი) და სისტემის აგარიული რეზერვი. მიღებული ჯამური მრუდი წარმოადგენს სიმძლავრის გრაფიკს, რომელიც საჭიროა სისტემის ნორმალური მუშაობის უზრუნველსაყოფად (ნახ. 127). სისტემის ყველა სადგურის დადგენილი ჯამური სიმძლავრე განსაზღვრავს დადგენილი სიმძლავრის წირის გრაფიკზე.

თუ სადგურებიდან რომელიმეს მოცემულ პერიოდში არ შეუძლია სრული სიმძლავრით მუშაობა, მაშინ მისი სიმძლავრის დანაკლისი უნდა გამოაკლდეს დადგენილი სიმძლავრის საერთო ორდინატას. ამრიგად მივიღებთ სისტემის არსებულ სიმძლავრეს. სიმძლავრის ასეთ შემცირებას ჰიდროელსადგურზე შეიძლება ადგილი ჰქონდეს წყლის სიმცირობის გამო წყალმცირობის პერიოდში ან დაწნევის შემცირების გამო წყალმეტობის პერიოდში.

დატვირთვის დღელამური მაქსიმუმების გრაფიკის საზღვრებში განლაგდება ჰიდრო-და თბოსადგურების სიმძლავრეები, რომლებიც მონაწილეობას იღებენ დატვირთვის დაფარვაში წელიწადის ყოველ დროს. შემდეგ, დატვირთვის მაქსიმუმებსა და არსებული სიმძლავრის (რომელიც აუცილებელია სისტემის მუშაობის უზრუნველსაყოფად) მრუდებს შორის აგებენ იმ სიმძლავრეებს, რომლებიც სისტემის რეზერვის ფუნქციას ასრულებენ.

საჭირო და არსებული სიმძლავრეების ორდინატათა სხვაობა წარმოადგენს თავისუფალ სიმძლავრეს დროის ყოველ მომენტში. თავისუფალი

სიმძლავრის ფარგლებში, გრაფიკზე უჩვენებენ შეკეთებაში ჩასაყენებელ სიმძლავრებს (ცალკეული აგრეგატების მიხედვით) და შეკეთების ხანგრძლიობას. დარჩენილი თავისუფალი სიმძლავრე არ არის გამოყენებული სისტემაში. თუ სიმძლავრეები საკმარისი არ არის, მაშინ თავისუფალი სიმძლავრის მაგივრად გრაფიკზე გამომტკიცდება სიმძლავრის დეფიციტი დროის იმ პერიოდში, როდესაც არსებული სიმძლავრე მოთხოვნილ სიმძლავრეზე ნაკლებია



ნახ. 127 სისტემის სიმძლავრის წლიური ბალანსი.

1—დატვირთვის დღელამური მაქსიმუმი სამუშაო დღეში; 2—დღელამური მაქსიმუმის შესაძლო ზრდა მაქსიმალური დატვირთვით; 3—რეზერვი სიხშირის შესანარჩუნებლად (40 მგვტ); 4—სისტემის ავარიული რეზერვი (10¹/₆); 5—სიმძლავრის დეფიციტი.

იქნება. ამ დეფიციტის მოსასპობად, თუ ის ხანმოკლეა, უკიდურეს შემთხვევაში შეიძლება მოვახდინოთ რეზერვის დროებითი შემცირება, მაგრამ მცირე რეზერვით დიდხანს მუშაობა დაუშვებელია (სისტემის მუშაობის მდგრადობისათვის).

თუ დეფიციტი დიდია ანდა ხანგრძლივია, მაშინ ეს მიგვიბრუნებს სისტემაში სიმძლავრის ნაკლებობაზე, ახალი სადგურების აგების ანდა არსებული სადგურების სიმძლავრეების გადიდების აუცილებლობაზე.

126-ე და 127-ე ნახაზებზე მოცემულია დატვირთვის დაფარვის გრაფიკები და სიმძლავრეების ბალანსი მსხვილი ენერგეტიკული სისტემისათვის, რომელშიაც შედის სამი ჰიდროელსადგური: №1, №2 და №3. დაფარვის გრაფიკები ნაჩვენებია წელიწადის სამი მახასიათებელი თვისათვის—ივნისი, წყალმეტობის თვე, ოქტომბერი—შემოდგომის თვე დატვირთვების მატებით და დეკემბერი—მაქსიმალური დატვირთვების თვე, როდესაც თბოფიკაციის სადგურებს აქვს მაქსიმალური გამომუშავება და ჰიდროელსადგურებს კი—მინიმალური.

სიმძლავრის ბალანსში შესამჩნევია მცირე დეფიციტი ზამთარში, რომლის დაფარვა გამოიწვევს რეზერვის შემცირებას.

სიმძლავრის ბალანსი საშუალებას იძლევა კრიტიკულად მივუდგეთ ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის სწორად შერჩევის შეფასების საკითხს. თუ, მაგალითად, ჰიდროელსადგურის სიმძლავრე დროის გრძელ პერიოდში აღმოჩნდება თავისუფალი, ეს უკვე გვიჩვენებს, რომ სიმძლავრის სიდიდე გადაჭარბებითაა აღებული. პირიქით, შეიძლება მოხდეს ისიც, რომ ჰიდროელსადგურის სიმძლავრე გამოყენებული იყოს ყოველთვის და არ რჩებოდეს დრო შეკვთებისათვის, ხოლო ავარიული რეზერვი კი მუდამ იყოს თბოსადგურებში. ამ შემთხვევაში საჭიროა სადგურის ასარჩევი სიმძლავრე გაეადილოთ.

პესის სიმძლავრის არჩევა, ზემოთ მოყვანილი მიზეზების გამო, შემოწმებული უნდა იქნეს აგრეთვე სისტემის სიმძლავრის ბალანსის შედგენით.

ენერჯის ჰიდროელექტრიკი აპარულირება

§ 64. ჰიდროელექტრიკი აპარულირების ენერჯეტიკული „ენიზანალობა“

ჰიდროელექტრიკი აპარულირება ეწოდება ენერჯის მარაგის შექმნას მალ-
ლამდებარე აუზებში, რომლებშიაც წყალი აიწვევა ტუმბოების საშუალებით.

პირველი ტუმბოსააპარულირატორო დანადგარის სიმძლავრე იყო 550 კვტ
(შვეიცარია), მისი აუზის მოცულობა შეადგენდა 12 000 მ³, მასში დაგრო-
ვილი წყალი გამოყენებული იყო 315 მ დაწნევით და იძლეოდა 8 000 კვტ-სთ
ენერჯიას. თანამედროვე სააპარულირატორო დანადგარებს აქვს 100 მგვტ და
მეტეი სიმძლავრე, ხოლო მათი აუზის მოცულობა შეადგენს (0,5—2,0) · 10⁶ კი-
ლოვტ-საათს.

ჰიდროსააპარულირატორო დანადგარების მიზანი შეიძლება სხვადასხვა იყოს.

1. დაბალი დაწნევის ჰიდროელსადგური, რომელსაც არა აქვს კაშხალის
ზედა ბიფის საკმაო მოცულობა, მუშაობს რა დღელამური რეგულირების გა-
რეშე, დატვირთვის მინიმუმის საათებში, იძულებულია გადალეროს ზედმეტი
წყალი კაშხალზე, ტურბინებში გავლის გარეშე. ეს კარბი წყალი შეიძლება
გამოიყენოთ ენერჯის მისაღებად და მისი საშუალებით ავიყვანოთ წყალი
მალამდებარე აუზში. ენერჯის შექმნილი მარაგი შეიძლება გამოყენებულ
იქნეს დატვირთვის პიკების დროს, რისთვისაც ამ ნაგებობაზე დადგმული უნ-
და იქნეს მალალდაწნევიანი ტურბინები, რომლებიც იმუშავენ დაგროვილი
წყლის ხარჯზე.

ამ მიზნით, დაბალდაწნევიან დანადგარებზე უნდა იყოს მოწყობილი:

ა) ტუმბო წყლის აწვეისათვის, ბ) სადაწნეო მილსადენი, გ) ზედა შემნახველი
აუზი და დ) გენერატორთან მიერთებული მალალდაწნევიანი ტურბინები, რომ-
ლებიც იკვებებიან წყლით იმავე მილსადენებიდან. ტუმბო შეიძლება შეერთე-
ბული იყოს უშუალოდ დაბალი დაწნევის ტურბინასთან და მუშაობდეს იმ
საათებში, როდესაც სადგურის დატვირთვა ეცემა. შეიძლება აგრეთვე ტუმბო,
მალალდაწნევიანი ტურბინა და მისი გენერატორი ერთ ტუმბო ტუმბო
ა გ რ ე გ ა ტ ა დ შევართოთ. ამ შემთხვევაში ტუმბო მოძრაობაში მოდის გენე-
რატორით, რომელიც ამის გამო მუშაობს როგორც სინქრონული მოტორი.
ასეთი დანადგარი იწვევს ენერჯის დამატებით დანაკარგებს, ვინაიდან ენერ-
ჯია გამომუშავებული დაბალდაწნევიანი ტურბინით, ვადლის ელექტროენერ-
ჯიაში, რომელიც შემდეგ ტუმბოს ძრავას კვებავს. ტუმბოს ლირებულება კი
შეიძლება იაფი იყოს აგრეგატის დიდი ბრუნთა რიცხვის გამო.

თუ დაბალდაწნევიანი ტურბინების ბრუნთა რიცხვი მცირეა, მაშინ იძუ-
ლებული ვართ ტუმბო შევართოთ ტურბინასთან კბილანური ან სხვა ვადა-

ემით, რაც გამოიწვევს აგრეთვე ენერჯის დამატებით დანაკარგს და შესაძლებელია უფრო ხელსაყრელი იყოს ცალკეული სწრაფმავალი ტუმბური აგრეგატის დაყენება.

გარდა დღეღამური რეგულირებისა, ასეთმა დანადგარმა შეიძლება შეასრულოს კვირეული რეგულირებაც, დააგროვებს რა წყალს მცირე დატვირთვების დღეებში, ხოლო შემონახულ ენერჯიას მოგვეცემს დიდი დატვირთვის დღეებში.

თუ თანხის მცირე დანახარჯებით შეიძლება შევექმნათ საკმაოდ დიდი მოცულობის შემნახველი აუზი, მაშინ მასში შეიძლება მოვამარაგოთ ჰარბი ენერჯია, რომელსაც გამოიმუშავენ სადგურები წყალმეტობის დროს და გამოიყენებს მას წყალმცირობის პერიოდში. ამ შემთხვევაში სააკუმულატორო დანადგარი შეასრულებს წლიური რეგულირების როლს.

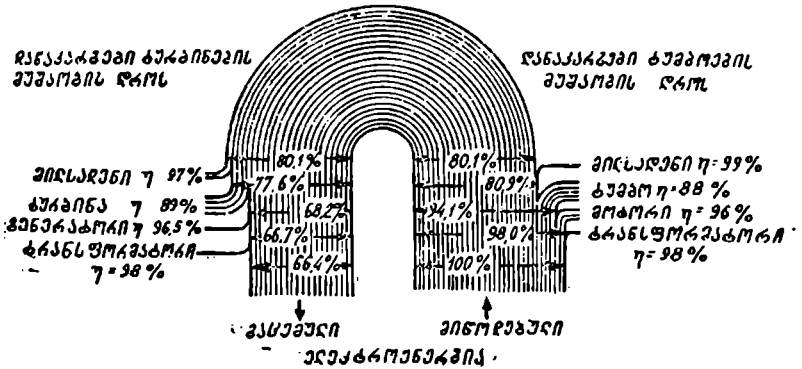
2. თუ საერთო ენერჯეტიკულ სისტემაში მუშაობს ორი ჰიდროელსადგური, რომელთაგან ერთს არა აქვს რეგულირების საშუალება, ხოლო მეორეს კი აქვს, მაშინ ამ მეორე სადგურში შეიძლება დაედგათ ტუმბური აგრეგატი, რომელიც დააგროვებს პირველი სადგურის ზედმეტ ენერჯიას (რომელიც არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მცირე დატვირთვების საათებში). დაგროვილი წყალი ამ შემთხვევაში გამოიყენება მეორე სადგურის ტურბინებში. ასეთი დაგროვება შეიძლება ძალიან ხელსაყრელი იყოს, ვინაიდან აქ გამოიყენება ნაგებობა, კერძოდ მეორე სადგურის დღეღამური რეგულირების აუზი და საკიროა მხოლოდ დაიდგას დამატებითი ტუმბური აგრეგატი.

3. მესამე ტიპს წარმოადგენს ტუმბური სააკუმულატორო დანადგარი, რომელიც არ არის დამოკიდებული ჰიდროელსადგურისაგან. ასეთ დანადგარს თავის შემადგენლობაში უნდა ჰქონდეს: ა) ზედა შემნახველი აუზი, ბ) ქვედა აუზი, გ) სადგურის შენობა ტურბოტუმბური დანადგარით და დ) სადაწნეო მილსადენი. ეს დანადგარი იკვებება ელექტროენერჯიით საერთო ენერჯეტიკული სისტემის ქსელიდან; იგი სისტემიდან ელექტროენერჯიას ღებულობს დატვირთვის მინიმუმის საათებში, ხოლო მას აძლევს ქსელს მაქსიმალური დატვირთვის დროს; მის მიერ ქსელიდან მიღებული ენერჯია შეიძლება იყოს იმ ჰიდროელსადგურის ზედმეტად გამომუშაებული ენერჯია, რომელსაც არა აქვს დღეღამური რეგულირება ანდა სისტემის თბოსადგურების მიერ დატვირთვის სიმციროს საათებში გამომუშაებული ენერჯია. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში, თბოსადგურების სიმძლავრე შეიძლება შემცირდეს იმ სიდიდით, რომელსაც იძლევა ჰიდროსაკუმულატორო დანადგარი დატვირთვების მაქსიმუმის საათებში; თბოსადგურის გამომუშაება კი დატვირთვის მინიმუმის საათებში შეტევა; ამის შედეგად თბოსადგურების დატვირთვის გრაფიკი საკმაოდ სწორდება და ამის გამო მცირდება სათბობის კუთრი ხარჯი ერთ კილოვატ-საათზე.

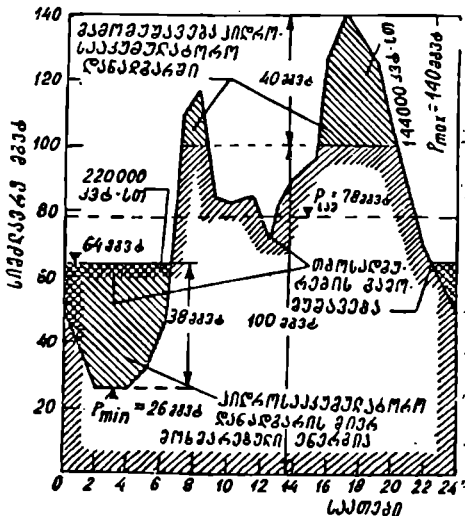
ენერჯიის დაგროვებას აუცილებლად თან სდევს დამატებითი დანაკარგები. 128-ე ნახაზზე მოცემულია ერთ-ერთი დიდი ჰიდროსაკუმულატორო დანადგარის ენერჯიის დანაკარგების დიაგრამა. წყლის აწევის დროს ყველაზე დიდი დანაკარგები მოდის ტუმბოზე, ხოლო დაგროვილი წყლის გამოყენების დროს კი—ტურბინაზე. მთელი ციკლის ჯამური მკვ შეადგენს 50—65%-ს.

129-ე ნახაზზე მოცემულია დატვირთვის გრაფიკი, რომლის დაფარვაში შონაწილეობს თბოსადგური და ჰიდროსაკუმულატორო დანადგარი. თბოსადგურის გამომუშაება ამ დროს იზრდება, ვინაიდან დატვირთვის მინიმუმის

საათებში დამატებითი გამომუშავება უფრო მეტი იქნება, ვიდრე ჰიდროსა-
აკუმულატორო დანადგარის გამოკუთხავება დატვირთვის პიკების საათებში.
129-ე ნახაზზე მოყვანილ მაგალითში ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარი იღებს
პიკურ დატვირთვის 40 მეგვტ სიმძლავრით და 144 000 კვტ-სთ გამომუშავებით.



ნახ. 128. ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარის დანაკარგისა და სასარგებლო
სიმძლავრის გრაფიკი.



ნახ. 129. ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარის მონაწილეობა
დატვირთვის გრაფიკის დაფარვაში.

ხოლო თბოსადგურების წილად რჩება 100 მეგვტ სიმძლავრე; აკუმულირების
მქც-ის 0,65 მნიშვნელობის დროს, თბოსადგურების დამატებითი გამომუშა-
ვება დატვირთვის მინიმუმის საათებში 220 000 კვტ-სთ შეადგენს.

ამის შედეგად თბოსადგურები ღებულობს დატვირთვის უფრო ხელსაყ-
რელ გრაფიკს 64 მეგვტ მინიმუმით 26-ის მაგივრად.

ამრიგად, აკუმულირების გარეშე თბოსადგურებს უნდა ჰქონოდათ $P_{\max} = 140$ მგვტ სიმძლავრე, მინიმალური დატვირთვა კი $P_{\min} = 26$ მგვტ. $\frac{P_{\min}}{P_{\max}} = 0,186$.

ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარის მიერ პიკების მოხსნის შემთხვევაში თბოსადგურისათვის ვლებულობთ $P_{\max} = 100$ მგვტ. $P_{\min} = 64$ მგვტ და $\frac{P_{\min}}{P_{\max}} = 0,64$.

გამომუშავებული ენერგია შეადგენს:

მოსმარება დატვირთვის გრაფიკის მიხედვით	1 875 000	კვტ-სთ	დღე-ღამეში
ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარი იძლევა	144 000	"	"
თბოსადგური გამოიმუშავებს	1 951 000	"	"

თბოსადგურის საშუალო დღელამური სიმძლავრე იქნება:

$$\text{აკუმულირების გარეშე } P_{\text{სა}} = \frac{1\,875\,000}{24} \approx 78\,000 \text{ კვტ.}$$

$$\text{აკუმულირების შემთხვევაში } P_{\text{სა}} = \frac{1\,951\,000}{24} \approx 81\,300 \text{ კვტ.}$$

დატვირთვის დღელამური კოეფიციენტი თბოსადგურისათვის:

$$\text{აკუმულირების გარეშე } \beta = \frac{P_{\text{სა}}}{P_{\max}} = \frac{78}{140} = 0,557,$$

$$\text{აკუმულირების შემთხვევაში } \beta = \frac{P_{\text{სა}}}{P_{\max}} = \frac{81,3}{100} = 0,813.$$

ზეორე შემთხვევაში სათბობის კუთრი ხარჯი საგრძნობლად მცირდება. თბოსადგურის გამომუშავების გადიდება უდრის: $220\,000 - 144\,000 = 76\,000$ კილოვატ-საათს ანდა საერთო ჯამის $1\,875\,000$ კილოვატ-საათის 4% -ს, ე. ი. საკმაოდ მცირეა. თუ სათბობის კუთრი ხარჯის შემცირება უფრო მეტი იქნება, ვიდრე 4% , მაშინ, მიუხედავად თბოენერგიის გამომუშავების გადიდებისა, სათბობის აბსოლუტური ხარჯი შეიძლება კიდევ შემცირდეს.

სისტემაში ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარის შეყვანა სისტემას უფრო მოქნილს ხდის და იძლევა მთელ რიგ დამატებითი უპირატესობას ექსპლოატაციის დროს.

1. დატვირთვის ყველა სწრაფი და შემთხვევითი ცვლილება შეუძლია აილოს ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარმა, რომლის ტურბინები სწრაფად და ადვილად დებულობს და ხსნის დატვირთვას.

2. ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სისტემის დიდ და მცის მარაგად, იმის გამო, რომ იგი საკმაოდ მოქნილი დანადგარია.

3. ადგილმდებარეობის კარგი პირობების შემთხვევაში აუზების მოკულობები შეიძლება გადიდდეს წყლის ავარჯული მარაგის შესაქმნელად, რომელიც უზრუნველყოფს ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარის მუშაობას იმ დროის განმავლობაში, რომელიც საჭიროა თბოსადგურის სიმძლავრის ცივი მარაგის მისაერთებლად სისტემაში.

4. თბოსადგურების დატვირთვის გრაფიკის მეტად თანაბრობის დროს, მკირდება მათი დანადგარების გაცვეთის ვადები.

5. თუ ჰიდროსააკუმულატორო დაიადგარი მოთავსებულია ენერჯის მოხმარების ცენტრის ახლოს, შეიძლება გავაიაფოთ გადამცემი ხაზი, ვინაიდან ამ შემთხვევაში არ იქნება საჭირო პიკური სიმძლავრეების გადაცემა. წყლის ასატუმბავად საჭირო ენერჯის მიწოდება კი ხდება მკირე დატვირთვების პერიოდში, როდესაც გადამცემი ხაზი მკირედაა დატვირთული.

6. ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარის მანქანები, გაჩერების ან მკირე დატვირთვების შემთხვევაში, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც სინქრონული კომპენსატორები ქსელის სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესების მიზნით.

ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარი მით უფრო ხელსაყრელია, რაც უფრო მეტ პიკებს ხსნის დატვირთვის გრაფიკიდან და რაც რფრო მკირეა მისი დადგენილი კილოვატის ღირებულება.

რაც უფრო მახვილია დატვირთვის პიკი, მით უფრო ძვირი ჯდება თბოსადგურების პიკური ენერჯია და მით უფრო ხელსაყრელია მისი შეცვლა დაგროვილი ჰიდროენერჯით. გარდა ამისა, რაც მახვილია პიკი, მით უფრო ნაკლებ ენერჯიას გადაამუშაეებს ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარი და მით ნაკლები იქნება დაგროვებასთან დაკეშირებული ენერჯის დანაკარგები და სააკუმულატორო აუზების აუცილებელი მოცულობები.

ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარის საერთო ღირებულება ეცემა მისი დაწნევის გადიდებასთან ერთად, ვინაიდან ამით მკირდება გადასატუმბი სითხის მოცულობა. ეს იწვევს მექანიკური დანადგარების გაიაფებას და მარეგულირებელი აუზების მოცულობების შემკირებას, რომელთა ღირებულება დანადგარის მთელი ღირებულების საკმაოდ დიდ ნაწილს შეადგენს. მაგრამ ძალიან დიდი დაწნეების შემთხვევაში, საგრძნობლად იზრდება მილსადენების ღირებულება. ხელსაყრელი დაწნევა მოთავსებულია 100—150 მ-მდე და მეტ ფარგლებში, მაგრამ პრაქტიკაში გვხვდება დანადგარები 100 მ-ზე ნაკლები დაწნევით, რაც არ გამოორიცხავს მათ ხელსაყრელობას.

მე-20 ცხრილში მოცემულია ზოგიერთი ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარის ძირითადი პარამეტრები.

ცხრილი 20

დანადგარის მონაკეები	დანადგარის დასახელება						
	ნიღბ-გარტა	ჰერდჟე	ბინე-ჰელმს	ლორი	შლუბე	ბლეი-ლიპი	ჰემფრ-ტ
საშუალო დაწნევა .	143	155	291	316	201	52,2	30
სიმძლავრე მგვტ	87	140	115	167	120	40	18
აუხის გამოყენებული მოცულობა 10 ⁶ მ ³	2,0	1,6	0,76	3,15	108	190	170
დაგროვილი ენერჯია 10 ⁶ კვტ-სთ	0,56	0,56	0,45	2,18	43	18	14
ხედა შეხანავ. აუხის დონის ცვალებადობა მ	9,5	18,7	18	10	30	27	20

სამ უკანასკნელ დანადგარს, რომლებიც მოყვანილია ცხრილში, შეუძლიათ შეასრულონ არა მარტო დღელამური რეგულირება, არამედ ნაწილობრივი წლიური რეგულირებაც, ვინაიდან მათ საკმაოდ დიდი აუზები აქვთ¹.

¹ რეგულირების ხანგრძლიობა (დღელამური, სეზონური, წლიური და ა. შ.) დამოკიდებულია არა მარტო აუხის მოცულობაზე, არამედ აგრეთვე დაწნევაზედაც და რაც მთავარია სისტემის სიდიდეზე. ერთი და იგივე სააკუმულატორო სადგური დიდი სისტემისათვის შეიძ-

ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარებმა საკმაოდ ფართო გამოყენება პპო-
ვეს. მაგრამ საბჭოთა კავშირის ენერგოსისტემებს ახასიათებს ძალიან მკვერი
დატვირთვის გრაფიკი, ამიტომ ასეთი გრაფიკის პიკების მოხსნა მოითხოვს
შედარებით მცირე სიმძლავრეს ენერჯის დიდი გამომუშავებით, რაც არ არის
ხელსაყრელი დაგროვებისათვის. მეორე მხრივ, დატვირთვის ეს მკვერი გრა-
ფიკები უკვე უზრუნველყოფს სითბური სიმძლავრეების კარგ გამოყენებას.
გარდა ამისა, ჩვენი ქვეყნის ბუნებრივი რელიეფი ყოველთვის არ იძლევა საკ-
მაოდ მაღალი დაწნევის შექმნის საშუალებას და იაფ წყალსაცავს ენერჯის
დაგროვებისათვის. ყველა ამ პირობის გამო, ჯერჯერობით ჩვენში არ არსებობს
პირობები ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარების ასაგებად. განზრახული
პროექტებიდან შეიძლება აღვნიშნოთ ჰიდროსააკუმულატორო დანადგარის
პროექტი ქ. მოსკოვის ახლოს¹.

ლება იყოს დღედამური რეგულირებისა, მაგრამ მცირე სისტემისათვის იგივე სადგური იქნება
სეზონური ან წლიური რეგულირების. (მთარგმნელი)

¹ იხ. თურნალი: Электростанции Стайки, № 7, 1933.

**ჰიდროტურბინების უნივერსალური
მახასიათებლები**

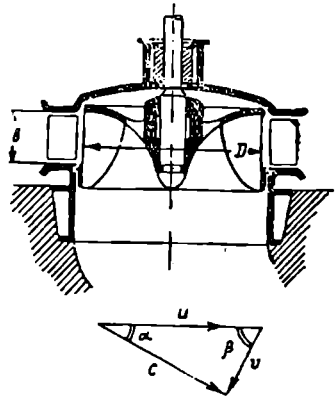
§ 65. მსგავსების კანონები (პირველი მიახლოება)

ჰიდროელსადგურის დაპროექტების თანამედროვე პირობებში ტურბინების შერჩევას დიდი მნიშვნელობა აქვს; ამ შერჩევის დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული დანადგარის როგორც საექსპლოატაციო პირობები (დაწნევის სიდიდე და მისი ცვალებადობა წლის განმავლობაში, ტურბინების სიმძლავრე და რიცხვი, ენერჯის დღეღამური გამომუშავების გრაფიკი და ა. შ.), ისე თვით ტურბინის თვისებებიც, რომლებიც გამოხატულია მისი უნივერსალური მახასიათებლით. ეს უკანასკნელი მიიღება ტურბინის მოდელის ლაბორატორიული გამოცდით და იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ყველა იმ ტურბინისათვის, რომლებიც გეომეტრიულად მოდელის მსგავსი იქნება; მაგრამ მისი გამოყენება უნდა მოხდეს მექანიკური მსგავსების იმ კანონების მიხედვით, რომლის შესწავლითაც იწყება ეს თავი.

შემდეგში ჩვენ ვიგულისხმებთ, რომ მკითხველი გაცნობილია ტურბინების კონსტრუქციასა და მათ ელემენტარულ თეორიას.

ტურბინების მუშაობა მიმდინარეობს სრულიად სხვადასხვა რეჟიმებზე, რომლებიც დამოკიდებულია მიმმართველი აპარატის მდგომარეობის შეცვლაზე (ხოლო კაპლანის ტურბინისათვის კი მუშა თვლის ფრთების მდებარეობაზედაც), დაწნევის, ბრუნთა რიცხვისა და დატვირთვის ცვალებადობაზე. ამ სიდიდეების ცვლილების გაგენით იცვლება წყლის სიჩქარის სიდიდე და მიმართულება. ნაკადის ნებისმიერ წერტილში წყლის აბსოლუტური c სიჩქარე შეიძლება დაიშალოს ბრუნვით u - და ფარდობით v სიჩქარეებად. c სიჩქარის ორ შემადგენლად დაშლა, როგორც ცნობილია, გამოისახება სიჩქარეთა დიაგრამით (ნახ. 130).

შეიძლება წარმოვიდგინოთ ტურბინის ბრუნთა რიცხვის, სიმძლავრისა და დაწნევის ისეთი ცვალებადობა მიმმართველი აპარატის (ან მუშა ფრთების,



ნახ. 130. ფრენისის ტურბინის სკემა და სიჩქარეთა დიაგრამა.

კაბლანის ტურბინებისათვის) უძრავი მდგომარეობისათვის, რომლის დროსაც სიჩქარეთა სამკუთხედის კუთხეები დარჩება უცვლელი, შეიცვლება მხოლოდ ყველა სიჩქარის სიდიდე. ამ შემთხვევაში სიჩქარეთა სამკუთხედი თავისი თავისადმი გეომეტრიულად მსგავსი დარჩება. ტურბინის რეჟიმის ასეთ ცვლილებას ჩვენ ვუწოდებთ იზოგონალურს; ამ სახელწოდებით ჩვენ ხაზს ვუსვამთ იმ გარემოებას, რომ სიჩქარეთა სამკუთხედში კუთხეები უცვლელია.

ნაკადის იზოგონალური რეჟიმის დროს მის ყოველ წერტილში სიჩქარეთა მიმართულება მუდმივი რჩება, ე. ი. სითხის ნებისმიერი წერტილის ტრაექტორია არ იცვლის თავის ფორმას; ამრიგად, ნაკადის გეომეტრიული ფორმა, რომელიც განისაზღვრება ცალკეული ნაწილაკების ტრაექტორიების ერთობლიობით, უცვლელი რჩება. ამიტომ H დაწნევის ცვლილების დროს, წყლის აბსოლუტური c სიჩქარე და მისი შემადგენლები u და v ნაკადის ნებისმიერ წერტილში შეიცვლება დაწნევის სიდიდიდან კვადრატული ფესვის პროპორციულად. სამივე სიჩქარე შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირად:

$$c = k_c \sqrt{2gH}; \quad u = k_u \sqrt{2gH}; \quad v = k_v \sqrt{2gH}.$$

k_c , k_u და k_v უწოდებენ სიჩქარის კოეფიციენტებს. ეს კოეფიციენტები მოცემული ტურბინისათვის იზოგონალური რეჟიმის დროს მუდმივი სიდიდეებია. ისინი იცვლებიან მხოლოდ სიჩქარეთა დიაგრამის კუთხეების ცვლილებით.

D დიამეტრიან მუშა თელის წრეხაზზე ბრუნვითი n სიჩქარე π ბრუნთა რიცხვთან მიწებში დაკავშირებულია გამოსახულებით:

$$u = \frac{\pi D n}{60} = k_u \sqrt{2gH},$$

საიდანაც

$$n = n_1 \frac{\sqrt{H}}{D};$$

აქ

$$n_1 = \frac{60 k_u \sqrt{2g}}{\pi} = 84,6 k_u.$$

თუ დაცულია იზოგონალობა, მაშინ n_1 კოეფიციენტი მუდმივი სიდიდეა. ასევე მარტივად შეიძლება გამოვიყენოთ დამოკიდებულება ხარჯსა და დაწნევას შორის.

წყალი შედის D დიამეტრიანი ტურბინის მუშა თელში თანაბრად მთელ მის წრეხაზზე. თუ შესავალი ხერხელის სიმაღლე არის b (ნახ. 130), მაშინ ტურბინაში შემავალი ნაკადის კვეთი იქნება იმ ცილინდრის ზედაპირის ფართობი, რომლის დიამეტრია D და სიმაღლე— b . თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ ნაკადის კვეთი შევიწროებულია მიმართველი აპარატის ფრთებით, მაშინ ნაკადის კვეთი იქნება $s = k \pi D b$, სადაც $k < 1$ (ჩვეულებრივ $k = 0,90—0,95$). თუ შევცვლით b სიდიდეს fD სიდიდით, სადაც $f = \frac{b}{D}$, მაშინ გვექნება:

$$s = k f \pi D^2.$$

ტურბინის წყლის ხარჯი მიიღება s -ის გამრავლებით აბსოლუტური სიჩქარის ნორმალურ მდგენელზე მუშა თელის წრეხაზის მიმართ, ე. ი. $c \sin \alpha$ (ნახ. 130).

ამრიგად $Q = s c \sin \alpha$,

სადაც α არის c და u ვექტორებს შორის კუთხე მუშა თელის შესასვლელის რომელიმე წერტილში.

ვინაიდან $c = k_c \sqrt{2gH}$, ამიტომ $Q = k f \pi k_c \sqrt{2g} \sin \alpha D^2 \sqrt{H}$;

აღენიშნოთ $Q_1 = k f \pi k_c \sqrt{2g} \sin \alpha$,

მაშინ გვექნება:

$$Q = Q_1 D^2 \sqrt{H}.$$

ტურბინაში გამავალი ნაკადის ჰიდრავლიკური სიმძლავრე

$$P_0 = \frac{\gamma Q H}{75} \text{ ცძ,}$$

სადაც γ არის 1 მ³ წყლის წონა. თუ ტურბინის ჰიდრავლიკური მქკ არის ϵ , მაშინ ნაკადის ზიერ ტურბინაზე გადაცემული სიმძლავრე იქნება:

$$P = \epsilon P_0 = \frac{\gamma Q H \epsilon}{75} \text{ ცძ.}$$

დაკარგული სიმძლავრე კი იქნება:

$$\Delta P = \frac{\gamma Q H}{75} (1 - \epsilon) = \frac{\gamma Q \Delta H}{75} \text{ ცძ,}$$

სადაც $\Delta H = (1 - \epsilon)H$ არის დაწნევის დანაკარგი ტურბინაში წინაღობის არსებობის გამო.

წნევის ჰიდრავლიკური დანაკარგი პირველი მიახლოებით შეიძლება სიჩქარის კვადრატის პროპორციულად ჩათვალოთ, მაშინ დაწნევის დანაკარგი ΔH შეიძლება მივიღოთ ტოლად:

$$\Delta H = \zeta \frac{c^2}{2g},$$

სადაც ζ არის წინაღობის საერთო კოეფიციენტი მთელი ტურბინისათვის, დაყვანილი c სიჩქარეზე. ვინაიდან

$$c = k_c \sqrt{2gH},$$

ამიტომ

$$\Delta H = (1 - \epsilon)H = \zeta \frac{k_c^2 2gH}{2g} = \zeta k_c^2 H.$$

საიდანაც

$$(1 - \epsilon) = \zeta k_c^2.$$

აქ ζk_c^2 არის მუდმივი სიდიდე. ჩანს, რომ ტურბინის იზოგონალურ რეჟიმზე ჰიდრავლიკური მქკ ϵ არის მუდმივი სიდიდე.

ტურბინის სასარგებლო სიმძლავრე

$$P = \frac{\gamma Q H \epsilon}{75} = \frac{\gamma Q_1 \epsilon}{75} D^2 H^{1.5} = P_1 D^2 H^{1.5},$$

სადაც $P_1 = \frac{\gamma Q_1 \epsilon}{75}$ არის აგრეთვე მუდმივი კოეფიციენტი იზოგონალური რეჟიმისათვის.

თუ ტურბინის მამბრუნ მომენტს M -ით აღვნიშნავთ, ხოლო ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეს $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ -ით, მაშინ

$$P = M\omega = \frac{2\pi n}{60} M_{\text{კგმ/სექ}} = \frac{2\pi n M}{60 \cdot 75} \text{ ცძ.}$$

ვინაიდან

$$P = P_1 D^2 H^{1.6}, \text{ ხოლო } n = n_1 \sqrt{\frac{H}{D}},$$

ამიტომ

$$M = M_1 D^3 H,$$

სადაც

$$M_1 = 716 \frac{P_1}{n_1},$$

ე. ი. მუდმივი რიცხვია.

ამრიგად, იზოგონალური რეჟიმის შემთხვევაში ტურბინის სიმძლავრე იცვლება $H^{1.5}$ -ის პროპორციულად, ხოლო მაბრუნე მომენტი H -ის პროპორციულად.

ტურბინის ნამდვილი მარგი ქმედების η კოეფიციენტი უფრო ნაკლები იქნება, ვიდრე პილრაელიკური მარგი ქმედების ε კოეფიციენტი იმ სიდიდით, რომელიც დამოკიდებულია ტურბინის მექანიკურ დანაკარგებზე (ხახუნი ქუსლებში, საკისურებში და ა. შ.) და იგი გათვალისწინებულია მარგი ქმედების მექანიკურ η კოეფიციენტში. შემდეგში ჩვენ უნდა გამოვიყენოთ ნამდვილი, ანუ სრული, მქკ $\eta = \eta_{\varepsilon}$, რომელიც მიიღება ტურბინის უშუალო გამოცდილ- ε -ის მუდმივობა შეიძლება გავრცელდეს სრული მქკ-დაც, ვინაიდან მექანიკური η მქკ ახლოსაა ერთთან და პირველი მიახლოებით შეიძლება ისიც მუდმივად მივიჩნიოთ.

ზემოთ მოყვანილი დასკვნები წარმოადგენენ ე. წ. მექანიკური მსგავსების შედეგს და იგი შეიძლება განვაზოგადოთ გეომეტრიულად ერთმანეთის მსგავს ტურბინებზე, რომლებიც ერთმანეთისაგან მხოლოდ ზომებით განსხვავდებიან. გეომეტრიული მსგავსების პირობა მდგომარეობს იმაში, რომ ამ ტურბინების ყველა წრფივი განზომილება შესაბამისად ერთმანეთის პროპორციული იქნება, ხოლო კუთხეები შექმნილი, მაგალითად, მიმართველი აპარატის ან მუშა თვლის ფრთებით და ა. შ. იქნება მუდმივი.

ასეთ გეომეტრიულად მსგავს ტურბინათა ერთობლიობას სერია ეწოდება.

ერთი სერიის ორი ტურბინის ნებისმიერი შესაბამისი წერტილების სიჩქარეთა დიაგრამის კუთხეები ტოლი იქნება, თუ ორივე ტურბინა მუშაობს ერთსა და იმავე რეჟიმზე. ამრიგად, მათი სიჩქარეთა დიაგრამები იქნება მსგავსი, სიჩქარის კოეფიციენტები შესაბამისი წერტილებში და მქკ-ბი კი—ტოლი.

ცხადია, აგრეთვე n_1 , Q_1 , M_1 , P_1 და ε კოეფიციენტები მოცემული სერიის ყველა ტურბინისათვის იქნება მუდმივი სიდიდეები. ამ კოეფიციენტების სახელწოდება შემდეგია:

- n_1 —დაყვანილი, ანუ კუთრი ბრუნთა რიცხვი;
- Q_1 —დაყვანილი, ანუ კუთრი ხარჯი;
- M_1 —დაყვანილი, ანუ კუთრი მომენტი და
- P_1 —დაყვანილი, ანუ კუთრი სიმძლავრე.

ამ კოეფიციენტების აზრი მათი ფიზიკური მნიშვნელობით განისაზღვრება. მოცემული სერიის ტურბინას, რომლის დიამეტრი $D=1$ მ და მუშაობს ერთ მეტრ დაწინევაზე, ექნება ბრუნთა რიცხვი $n=n_1$, ხარჯი $Q=Q_1$, მომენტი $M=M_1$ და სიმძლავრე $P=P_1$.

ამრიგად, n_1 , Q_1 , M_1 , P_1 კოეფიციენტები არის ტურბინის შესაბამისი

პარამეტრები დაყვანილი 1 მ დაწნევისა და 1 მ მუშა თვლის დიამეტრზე ე¹ ეს პარამეტრები ახასიათებს ტურბინის სერიის თვისებებს. გარდა ამისა, სერიის მახასიათებლად იყენებენ აგრეთვე ე. წ. სწრაფმავლობის კოეფიციენტს.

განტოლებიდან $P = P_1 D^2 H^{1.5}$ განვსაზღვროთ დიამეტრი

$$D = \frac{1}{H^{0.75}} \sqrt{\frac{P}{P_1}}$$

ჩავსვათ დიამეტრის ეს მნიშვნელობა ბრუნთა რიცხვის განტოლებაში და მივიღებთ

$$n = \frac{n_1 \sqrt{P_1} H^{1.5}}{\sqrt{P}}$$

გარდაექმნათ ეს განტოლება ასე:

$$n_1 \sqrt{P_1} = \frac{n \sqrt{P}}{H^{1.5} \sqrt{H}}$$

აქ მარჯვენა ნაწილში გვაქვს n , P და H სიდიდეები, ხოლო მარცხენაში — მუდმივი კოეფიციენტები.

მუდმივ კოეფიციენტს $n_s = n_1 \sqrt{P_1}$ უწოდებენ სერიის სწრაფმავლობის კოეფიციენტს; იგი ტოლია:

$$n_s = \frac{n \sqrt{P}}{H^{1.5} \sqrt{H}} \quad (28)$$

სწრაფმავლობის კოეფიციენტი წარმოადგენს სერიის მახასიათებელ კოეფიციენტს. იგი განსაზღვრავს დაწნევის, ტურბინის ბრუნთა რიცხვისა და სიმძლავრის ურთიერთდამოკიდებულებას. ისე როგორც სერიის ზემოთ მოყვანილი კოეფიციენტებს n_1 , P_1 და ა. შ., n_s -საც აქვს ზედმიწევნით მნიშვნელობა მხოლოდ მუშაობის მოცემული რეჟიმისათვის და იცვლება, თუ ტურბინა გადადის ახალ რეჟიმზე.

ამრიგად, ჩვენ მივიღეთ მსგავსების შემდეგი ფორმულები:

$$\left. \begin{aligned} n &= n_1 \frac{\sqrt{H}}{D}, \text{ სადაც } n_1 = 84,6 k_m; \\ Q &= Q_1 D^2 \sqrt{H}, \text{ სადაც } Q_1 = k \pi / k_i \sin \alpha; \\ M &= M_1 D^3 H, \text{ სადაც } M_1 = 716 \frac{P_1}{n_1}; \\ P &= P_1 D^2 H^{1.5}, \text{ სადაც } P_1 = \frac{\gamma Q_1 \eta}{75}; \\ \eta &= \text{const} \quad \text{და} \quad n_s = n_1 \sqrt{P_1}. \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

ამ ფორმულებში დაყვანილი კოეფიციენტები და აგრეთვე η და n_s არიან მუდმივი სიდიდეები მოცემული სერიის ტურბინებისათვის, როდესაც ისინი მუშაობენ მოცემულ იზოგონალურ რეჟიმზე.

რეაქტიული ტურბინებისათვის (ფრენისის, პროპელერიანი ან კაპლანის სისტემის) ჩვენ მიერ მოყვანილი მსგავსების ფორმულები სამართლიანია ავ-

¹ ტურბინების ძირითად პარამეტრებზე უფრო მეტი დაწვრილებითი ცნობებისათვის იხი. ამაღლობელი, ჰიდრაულიკა და ჰიდრომანქანები, ნაწ. III, საქ. პოლიტექნიკური ინსტიტუტის გამოცემა, 1958. მთარგმნელი

რეთვე აქტიური ტურბინებისთვისაც, კერძოდ პელტონის ტიპისთვისაც. დაყვანილი კოეფიციენტები ამ ტიპისათვის ღებულობს ძალიან მარტივ სახეს, რომელიც გამოსახავს მათ დამოკიდებულებას სწრაფმავლობის კოეფიციენტისაგან.

თუ შემოვიღებთ კოეფიციენტს $f = \frac{d}{D}$, რომელიც გამოსახავს ნაკადის დიამეტრის ფარდობას პელტონის მუშა თვლის საწყისი წრეხაზის დიამეტრთან (წრეხაზი, რომელიც მზებია ნაკადის ღერძისა) მივიღებთ:

$$\begin{aligned} n_1 &\approx 38 - 39 \text{ ბრ/მინ}; \\ P_1 &\approx 0,675 n_1^2 \cdot 10^{-3}; \\ n_2 &\approx 240 f. \end{aligned}$$

$f = \frac{d}{D}$ სიდიდე დამოკიდებულია მუშა თვლის კონსტრუქციაზე, ხოლო მუშა ჯამების სიდიდე კი—ნაკადის დიამეტრის სიდიდეზე. როდესაც d დიდი და D მცირე, ჯამების კონსტრუქციულად განხორციელება შეუძლებელია. ჩვეულებრივ, აქტიური ტურბინისათვის არ არის სასურველი დავუშვათ, რომ $f > \frac{1}{10} - \frac{1}{12}$. n_2 -ის უდიდესი მნიშვნელობა მიიღება¹

$$\text{როდესაც } f = \frac{1}{12}; n_2 \approx 20,$$

$$\text{როდესაც } f = \frac{1}{10}; n_2 \approx 24.$$

შედარებით უფრო მსხვილი ნაკადებისათვის η უარესდება. თუ ავიღებთ როგორც უდიდეს ზღვარს $f = \frac{1}{8}$, მაშინ მივიღებთ, რომ $n_2 = 30$.

ამრიგად, სწრაფმავლობის უდიდეს ზღვარად პელტონის ტიპის ტურბინისათვის ერთი საკმენის შემთხვევაში უნდა ჩავთვალოთ $n_2 = 20 - 25$ და როგორც მაქსიმუმი $n_2 = 30$.

§ 66. მსაბავსების კანონი (მეორე მიახლოება)

ზემოთ მოყვანილი მსაბავსების ფორმულები დამყარებულია იმ დაშვებაზე, რომ დაწნევის დანაკარგი პროპორციულია სიჩქარის კვადრატისა და გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$\Delta H = \zeta \frac{v^2}{2g},$$

სადაც კოეფიციენტი ζ არაა დამოკიდებული ტურბინის წრფივი ზომებისაგან. ორივე ეს დაშვება არ არის მთლიანად სწორი.

დაწნევის დანაკარგები გამოწვეულია ორი მიზეზით:

1. ტურბინაში ნაკადის ფორმის არასრულყოფილობით და
2. ნაკადის ხახუნით ტურბინის კედლებზე (ტურბინის ფრთები და მისი რგოლი ან ტურბინის ქვედა ნაწილი).

¹ აქ აქტორი გულისხმობს, რომ პელტონის ტურბინა არის ერთსაქმენიანი. თუ ერთ მუშა თვალზე საქმენთა რაოდენობა ერთზე მეტია, მაშინ სწრაფმავლობის კოეფიციენტის ზემოთ მოყვანილი სიდიდეები უნდა ჭამრავდეს საქმენთა რიცხვზე. მთარგმნელი

დანაკარგების პირველი სახე გამოწვეულია ადგილობრივი პირობებით ან სიჩქარის მიმართულების ცვლილებით, რის გამოც ხდება დაწნევის დაკარგვა, ანალოგიურად დაწნევის დანაკარგებისა მილსადენებში. ამ დანაკარგების სიდიდე ზუსტად სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია და მისი წინალობის კოეფიციენტი არ არის დამოკიდებული ტურბინის ზომებისაგან. რომ არა, ყოფილიყო დანაკარგები ხახუნზე, მაშინ ჩვენ მიერ გამოყვანილი მსგავსების კანონები იქნებოდა სავესებით ზუსტი და მათი შესწორება საჭირო არ იქნებოდა.

სულ სხვაგვარადაა საქმე ხახუნზე დანაკარგების მხედველობაში მიღებით. ტურბულენტური რეჟიმის დროს, დანაკარგები ხახუნზე გამოსახულია შვზის ფორმულით

$$\Delta H = \frac{Lv^2}{C^2 R},$$

სადაც L არის ნაკადის უბნის სიგრძე, რომელზედაც განისაზღვრება დაწნევის დანაკარგები, R —კვეთის ჰიდრაულიკური რადიუსი და C —ჰიდრაულიკური რადიუსისაგან დამოკიდებული კოეფიციენტი.

თუ უგულებელვყოფთ C -ს დამოკიდებულებას R -ისაგან და დავუშვებთ, რომ $C = \text{const}$, მაშინ მივიღებთ რა მხედველობაში, რომ გეომეტრიულად მსგავსი ნაკადებისათვის $\frac{L}{R} = \text{const}$, გვექნება

$$\Delta H = \zeta \frac{v^2}{2g},$$

სადაც $\zeta = \frac{2gL}{C^2 R} = \text{const}$, ე. ი. არ არის დამოკიდებული ნაკადის წრფივი ზომებისაგან, რაც წინა პარაგრაფში მიღებული იყო როგორც პირველი მიახლოება.

სინამდვილეში C დამოკიდებულია ჰიდრაულიკური რადიუსისაგან, ამიტომ ზემოთ მოყვანილ მსგავსების კანონებში აუცილებელია შესწორების შეტანა. გარდა ამისა, პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ გლუვი კედლების შემთხვევაში. როგორც ამას ადგილი აქვს ლითონის მილებში, დაწნევის დანაკარგი არ ემორჩილება კვადრატულ დამოკიდებულებას სიჩქარისაგან. ყველაზე მოსახერხებელია დანაკარგების სიდიდის გამოთვლა ფორმულით

$$\Delta H = a \frac{Lv^2}{R^m},$$

სადაც a კოეფიციენტია, რომელიც დამოკიდებულია მხოლოდ კედლების ხორკლიანობისაგან.

დაწნევის ფარდობითი დანაკარგი

$$\rho = \frac{\Delta H}{H} = \frac{aLv^2}{HR^m}.$$

შევადაროთ ორი გეომეტრიულად მსგავსი ტურბინის ფარდობითი დანაკარგი ხახუნზე. ამ ტურბინების დიამეტრები აღვნიშნოთ D_1 და D_2 ; 1 და 2 ინდექსებით კი ფორმულაში არსებული მათი შესაბამისი სიდიდეები. გეომეტრიული მსგავსების ძალით ცხადია:

1) შესაბამისი კვეთების ჰიდრაულიკური რადიუსების ფარდობა

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{D_1}{D_2};$$

2) კვეთებს შორის მანძილის ფარდობა

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{D_1}{D_2};$$

3) საშუალო სიჩქარეები ამ უბნებში დაწნევის ფარდობიდან კვადრატული ფესვის პროპორციულია, ე. ი.

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}}.$$

ვინაიდან ეს ფარდობანი სამართლიანია ორი მსგავსი ტურბინის ნებისმიერი კვეთებისათვის, ამიტომ

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{L_1}{L_2} \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^m \frac{H_2}{H_1}$$

ან

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{m-1} \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{1-\frac{n}{2}}.$$

ხარისხის მაჩვენებლები m და n შეიძლება ავიღოთ ცდების საფუძველზე

$$m=1,25 \text{ და } n=1,9,$$

მაშინ

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \sqrt[20]{\frac{H_2}{H_1}} \cdot \sqrt[4]{\frac{D_2}{D_1}}.$$

მახასიათებლის ნორმალურ არეში ტურბინის მუშაობის დროს (ე. ი. მკვ მაქსიმუმის (არეში) ჰიდრაულიკური დანაკარგები მცირეა ხახუნზე დანაკარგებთან შედარებით, ამიტომ დიდი შეცდომის დაუშვებლად შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ მთელი დანაკარგები გამოწვეულია ხახუნით.

ვინაიდან $\varepsilon = 1 - \rho$, ამიტომ შეიქცევა დაეწეროთ:

$$\frac{1-\varepsilon_1}{1-\varepsilon_2} = \sqrt[20]{\frac{H_2}{H_1}} \cdot \sqrt[4]{\frac{D_2}{D_1}}.$$

ამ ფორმულაში, პრაქტიკულად საკმაო სიზუსტით, შეიძლება შევცვალოთ ჰიდრაულიკური მკვ სრულით და მივიღებთ, რომ

$$\frac{1-\eta_1}{1-\eta_2} = \sqrt[20]{\frac{H_2}{H_1}} \cdot \sqrt[4]{\frac{D_2}{D_1}}. \quad (30)$$

ეს ფორმულა საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ ტურბინის ზომებისა და მოქმედი დაწნევის გავლენა მკვ-ზე.

აქ, მამრავლი $\sqrt[20]{\frac{H_2}{H_1}}$ შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ, თუ H_1 და H_2 ძალიან არ არიან განსხვავებული ერთმანეთისაგან. მაგალითად, როდესაც $\frac{H_2}{H_1} = 4$, მაშინ $\sqrt[20]{\frac{H_2}{H_1}} = 1,07$.

ორი მსგავსი ტურბინისათვის არა ზარტო მკვ-ები, არამედ სიჩქარის კოეფიციენტებიც ერთმანეთისაგან განსხვავებული იქნება. მართლაც, ტურბინის ძირითადი განტოლებიდან ვღებულობთ:

$$k_{u1} \cdot k_{e1} \cos \alpha_1 - k_{u2} \cdot k_{e2} \cos \alpha = \frac{\varepsilon}{2} \approx \frac{\eta}{2}.$$

ვინაიდან მსგავსი ტურბინებისათვის სიჩქარეთა სამკუთხედები მსგავსია, ე. ი. a_1 და a_2 კუთხეები თუდმივ მნიშვნელობას ინარჩუნებენ, ამიტომ η სიდიდის შეცვლასთან ერთად სიჩქარის ყველა კოეფიციენტი $\sqrt{\eta}$ -ს პროპორციულად უნდა შეიცვალოს.

ამიტომ, თუ მოდელისათვის, რომლის დიამეტრია D_0 და გამოცდილია H_0 დაწნევაზე, მივიღეთ n_1, Q_1, P_1 კოეფიციენტების მნიშვნელობანი და მკვ η_0 , მაშინ მოცემული სერიის ტურბინისათვის, რომლის დიამეტრია D და მუშაობს H დაწნევაზე, თანახმად (30) ფორმულისა, ჩვენ მივიღებთ მკვ-ის ახალ η მნიშვნელობას.

ვინაიდან $n_1 = 84,6 k_u$, ხოლო k_u იცვლება $\sqrt{\eta}$ -ს პროპორციულად, ამიტომ მოდელიდან ტურბინაზე გადასვლისას მივიღებთ კუთრ ბრუნთა რიცხვს

$$n_1 \sqrt{\frac{\eta}{\eta_0}}.$$

იმევე მოსაზრებებით შეიძლება დაეამტკიცოთ, რომ მისი კუთრი ხარჯი იქნება:

$$Q_1 \sqrt{\frac{\eta}{\eta_0}}.$$

მოდელის კუთრი სიმძლავრე $P_1 = \frac{\gamma Q_1 \eta_0}{75}$, ამიტომ მოცემული ტურბინისათვის გვექნება:

$$P_1 = \left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)^{1,5}$$

მოდელის სწრაფმავლობის კოეფიციენტი $n_s = n_1 \sqrt{P_1}$, მაშასადამე, ტურბინისათვის იგი ტოლი იქნება:

$$n_s \left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)^{1/4}.$$

ამრიგად, ზემოთ მოყვანილი მსგავსების ფორმულები მეორე მიახლოებით მიიღებს სახეს:

$$\left. \begin{aligned} n &= n_1 \frac{\sqrt{H}}{D} \sqrt{\frac{\eta}{\eta_0}} & n_s &= n_1 \sqrt{P_1} \left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)^{1,25} \\ Q &= Q_1 D^2 \sqrt{H} \sqrt{\frac{\eta}{\eta_0}} & & \\ P &= P_1 D^3 H^{1,5} \left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)^{1,5}; & 1-\eta &= (1-\eta_0) \sqrt[4]{\frac{D_0}{D}} \cdot \sqrt[20]{\frac{H_0}{H}}. \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

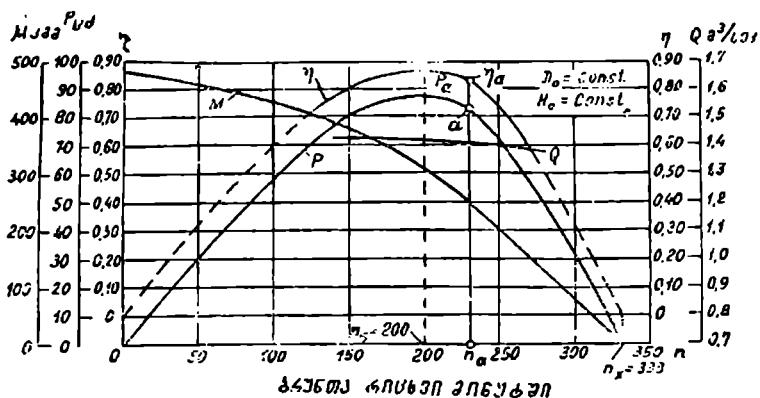
უნდა აღენიშნოთ, რომ ტურბინის მკვ-ის დამოკიდებულება წნევისა და დიამეტრისაგან სამართლიანია მხოლოდ მაქსიმალური მკვ-ის არისათვის, სადაც სრული დანაკარგები ტურბინაში შეიძლება მივიღოთ როგორც დანაკარგი ხახუნზე. თუ ტურბინა მუშაობს ნაკლებ მკვ-ზე, მაშინ დანაკარგის გაზრდა ხდება ჰიდრაულიკური დანაკარგების ზრდის ხარჯზე, ვინაიდან ამ დროს ირღვევა ნაკადის სრულყოფილი ფორმა, როქელსაც ადგილი აქვს მაქსიმალური მკვ-ის შემთხვევაში, ამიტომ ტურბინის მკვ-ის ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულება (ფორმულა 31) ამ დროს სამართლიანი არ იქნება.

§ 57. ტურბინის მახასიათებლები

ტურბინის მუშაობის მახასიათებელ ძირითად სიდიდეთა შორის ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულება წარმოადგენს საგულისხმო შედეგს; მართლაც, ერთი ტურბინიდან შეიძლება შევექმნათ ტურბინების სერია ისე, რომ მოცემული სერიის ერთხელ შექმნილი მოდელი, შეიძლება განმეორდეს სხვადასხვა ზომის ტურბინის სახით. ამრიგად, მოდელის სრულყოფისათვის საკმაო შრო-

მისა და სახსრების დახარჯვის შემდეგ შესაძლებელი გახდა შემდგომში მასზე დაყრდნობა მსგავსების კანონების დაცვით, რამაც გამოიწვია ტურბინის წარმოების გაიფხვრა.

მოცემული სერიის თვისებების გამოსარკვევად ქარხანა ატარებს მოდელების ლაბორატორიულ გამოცდას (თვლის დიამეტრი აიღება 0,2—0,5 მ ან



ნახ. 131. მთავარი უნივერსალური მახასიათებლები ფრენისის ტურბინისათვის; $D_0=0,775$ მ; $H_0=5,3$ მ; სრული გაღება.

რამდენადმე მეტი). გამოცდით მიღებული მახასიათებელი, მსგავსების კანონის ძალით, უცვლელი რჩება სერიის ყველა ტურბინისათვის, რომლებიც გეომეტრიულად მოდელის მსგავსნი არიან, მაგრამ სხვადასხვა ზომები აქვთ¹.

მოდელების ლაბორატორიული გამოცდა, ჩვეულებრივ, წარმოებს მუდმივი დაწნევისა და მიმართული აპარატის სხვადასხვა სიდიდით გაღების დროს.

დავუშვათ, რომ გამოცდა წარმოებს მიმართული აპარატის სრული გაღების დროს ($\alpha=1$). უკმ სვლაზე ტურბინა განავითარებს მისთვის შესაძლებელ უდიდეს ბრუნთა რიცხვს n_x .

დამუხრუჭების მომენტის გადიდებით ბრუნთა რიცხვი კლებულობს, მანამდე, სანამ არ მივიღწევთ ტურბინის სრულ გაჩერებას, ე. ი. $n=0$ -მდე.

ტურბინის n ბრუნთა რიცხვის დამოკიდებულება M მბრუნე მომენტისაგან ნაჩვენებია 131-ე ნახაზზე. როდესაც $n=n_x$ (ტურბინის უკმი სვლა) მომენტი $M=0$. როდესაც $n=0$ (დამუხრუჭებული ტურბინა), მაშინ M -ს აქვს უდიდესი მნიშვნელობა.

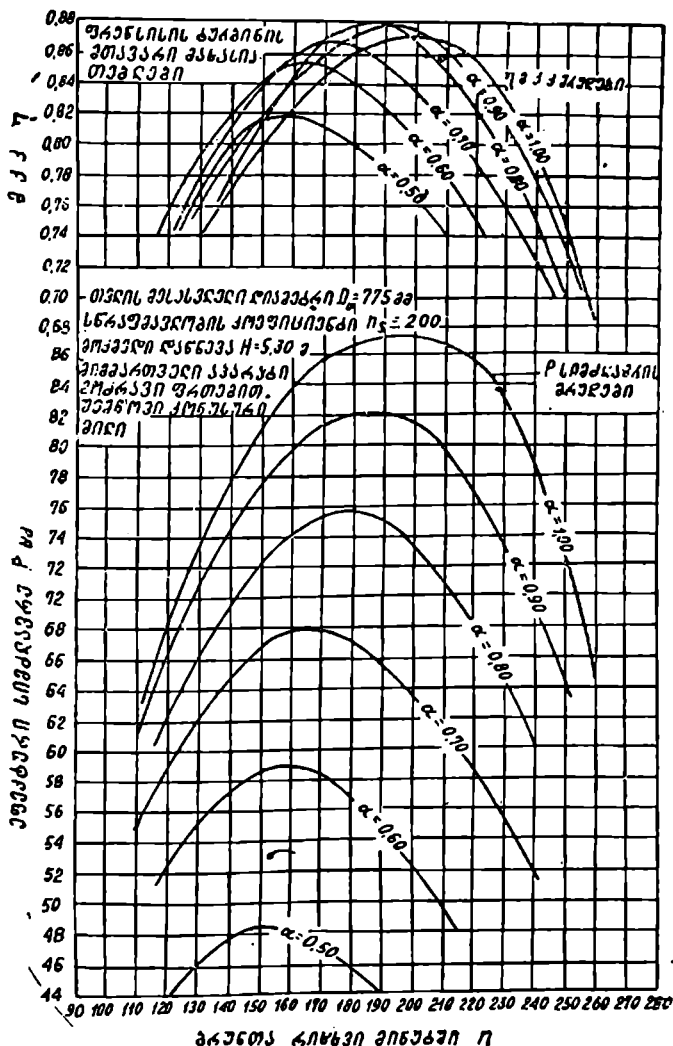
ტურბინის მიერ განვითარებული სიმძლავრე

$$P = \frac{Mn}{716} \text{ ცდ.}$$

ცხადია, სიმძლავრე განხილულ შემთხვევაში ორჯერ გახდება ნულის ტოლი: როდესაც $n=0$ (დამუხრუჭებული ტურბინა) და $M=0$ (ტურბინის უკმი სვლა). თუ M -ისა და P -ს დამოკიდებულებას n -საგან გამოვსახავთ გრაფიკულად, მაშინ მივიღებთ 131-ე ნახაზზე გამოსახულ მრუდებს. მესამე ცვლადი

¹ ეს დასკვნა მართებულია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მოდელის მახასიათებელი გამოვსახულია დაყვანილ პარამეტრებში. მთარგმნელი.

სიდიდე არის Q ხარჯი, რომელიც იმავე ნახაზზე შესაბამისი ზრუდით არის გამოსახული. მკვ შეიძლება გამოეთვალათ როგორც ფარდობა



ნახ. 132. ფრენსისის ტურბინის მთავარი მახასიათებლები: $D_0=0,775$ მ; $H_0=5,3$ მ.

$$\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{75 P}{\gamma Q H}$$

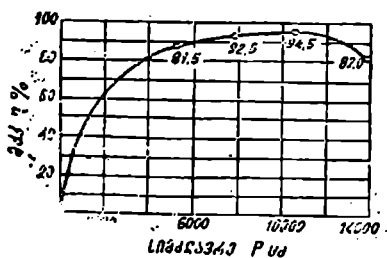
131-ე და 132-ე ნახაზებზე გამოსახულ მახასიათებლებს უწოდებენ ტურბინის მთავარ მახასიათებლებს. შეეცლით რა მიმმართველი აპარა-

ტის გაღებას, შეიძლება მივიღოთ ამ გაღების შესაბამისი მრუდების ახალი ჯგუფი.

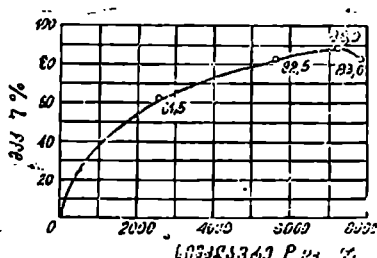
როგორც მახასიათებლებიდან ჩანს, ტურბინის სიმძლავრის მაქსიმუმს აღწევს π_0 ბრუნთა რიცხვის დროს, რომელიც ტურბინის ნორმალური ბრუნთა რიცხვს წარმოადგენს მოცემული წნევის დროს. მქკ-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა მიიღება ბრუნთა რიცხვის რამდენადმე განსხვავებული π_0 მნიშვნელობისათვის, რომელიც საკმაოდ ახლოსაა π_0 ბრუნთა რიცხვთან¹. პრაქტიკაში იხმარება მხოლოდ სიმძლავრისა და მქკ-ის მრუდები, რომლებსაც ჩვენ შემდეგში განვიხილავთ, ხოლო Q და M მრუდებს უკუვავადებთ.

მთავარი მახასიათებლების გამოყენებით, შეიძლება ავსავთ ტურბინის მუშა მახასიათებლები მუდმივი დაწნევისა და ბრუნთა რიცხვის დროს. ავირჩევთ რა ბრუნთა რიცხვს (მაგალითად, ნორმალურს) ჩვენ შეგვიძლია ამ რიცხვისათვის მიმართული აპარატის სხვადასხვა სიდიდით გაღების დროს, ავირჩიოთ სიმძლავრისა და მქკ-ის შესაბამისი სიდიდეები: ვისარგებლებთ რა ამ მონაცემებით, შეიძლება ავსავთ მქკ-ის დამოკიდებულების გრაფიკი სიმძლავრისაგან. ამ მრუდს ტურბინის მუშა მახასიათებელს უწოდებენ. იგი შეესაბამება ტურბინის მუშაობის პირობებს დანადგარზე. მუშა მახასიათებლების მაგალითები მოცემულია 133—135-ე ნახაზებზე.

რომ უფრო კარგად წარმოვიდგინოთ ტურბინის მუშაობა, უმჯობესია გამოვიყენოთ ე. წ. უნივერსალური მახასიათებელი. სხვადასხვა გაღებისათვის ავებული მთავარი მახასიათებლები იძლევა მრუდთა ოჯახს, რომლებიც მოუხერხებელია გამოყენებისათვის. მრუდთა ეს ოჯახი გამოსახავს სამ π , P და η სიდიდის ურთიერთდამოკიდებულებას (ნახ. 132). ამ დამოკიდებულების სიბრტყეზე გამოსახაზავად ყველაზე უფრო მოსახერხებელია მისი გამოსახვა პროექციის მეთოდის მიხედვით რიცხვითი ნიშნულებით. გადავზომოთ აბსცისათა ღერძზე ბრუნთა რიცხვი, ხოლო ორდინატთა ღერძზე—სიმძლავრე,



ნახ. 133. ფრენისის ტურბინის მუშა მახასიათებელი: $\pi_0=225$; $H=30$ მ;
 $n=187,5$ ბრ/მინ



ნახ. 134. ფრენისის ტურბინის მუშა მახასიათებელი $\pi_0=400$.

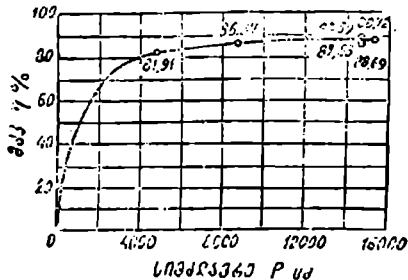
რომლებიც მიღებულია მთავარი მახასიათებლებიდან; თითოეული წერტილისათვის იქვე მივუწეროთ მქკ-ების სიდიდე, მაშინ ჩვენ მივიღებთ (ნახ. 136) მრუდთა ოჯახს სხვადასხვა გაღებისათვის შესაბამისი მქკ-ებით. თუ შევეერთებთ ტოლი მნიშვნელობის მქკ-ებს მრუდებით, ჩვენ მივიღებთ თითქმის კონცენტრიული მრუდების ერთობლიობას მუდმივი მქკ-ებით. მიღებულ

¹ ფრენისის ტურბინებისათვის π_0 ჩვეულებრივ ცოტათი მეტია π_0 -ზე.

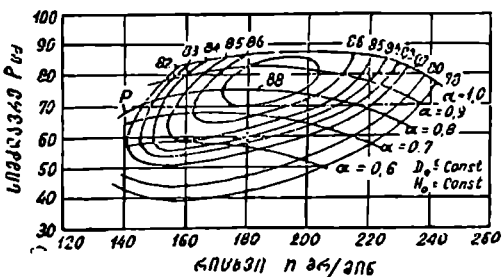
ნახაზი თავისი ფორმით მოგვაგონებს ადგილმდებარეობის გეგმას პორტოზონტალებში, რომელზედაც სიმაღლეების როლს ასრულებს η მქკ. ასეთ მახასიათებელს ეწოდება მთავარი უნივერსალური მახასიათებელი მუდმივ დაწნევაზე. იგი მოცავს ტურბინის მუშაობის ყველა შესაძლო რეჟიმს და ტურბინის თვისებების ამსახველს წარმოადგენს.

შეორე მხრივ, პრაქტიკაში დანადგარზე მომუშავე ტურბინა ავტომატური რეგულატორით მუდამ ინარჩუნებს მუდმივ ბრუნთარიცხვს, მაშინ, როდესაც დანადგარის დაწნევა საგრძნობლად იცვლება. ამიტომ სასურველია უნივერსალური მახასიათებლის გამოსახვა სხვაგვარად, სახელდობრ, მისი აგება მუდმივი ბრუნთარიცხვისა და ცვალებადი დაწნევის შემთხვევაში. ამის გაკეთება შესაძლებელია ახალი ცდების ჩატარებლად მუდმივ დაწნევაზე აღებული მახასიათებლის გადაანგარიშებით (მსგავსების ფორმულებით).

ამ გადაანგარიშებასთან ერთად ჩვენ ვუჩვენებთ, თუ როგორ შეიძლება მოცემული დიამეტრის მქონე ტურბინის მოდელზე ცდებით მიღებული მახა-



ნახ. 135. კელტონის ტურბინის მუშა მახასიათებელი: $n_r=26,5$; $H=278$ მ; $n=250$ ბრ/მინ



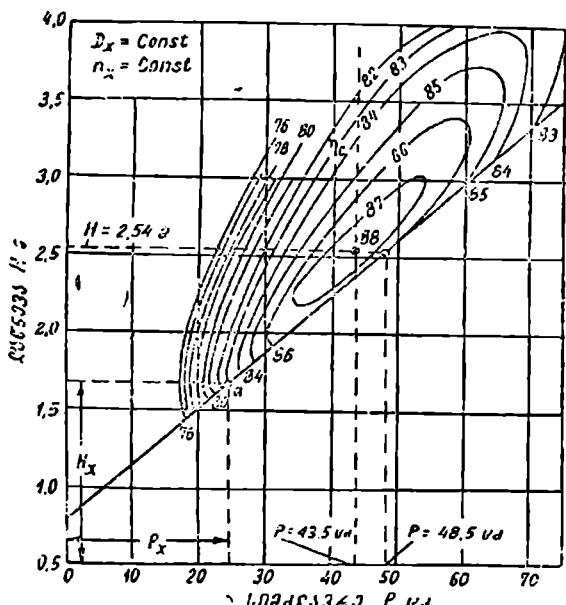
ნახ. 136. ფრენსისის ტურბინის მთავარი უნივერსალური მახასიათებელი მუდმივი დაწნევის დროს: $H_0=5,3$ მ; $D_0=0,775$ მ.

სიათებლის გადაანგარიშება სხვა დიამეტრის, მაგრამ იმავე ტიპის ტურბინისათვის.

დავუშვათ, რომ ცნობილია D დიამეტრიანი მოდელის მთავარი მახასიათებელი, რომელიც გამოსახავს P -სა და η -ს დამოკიდებულებას ბრუნთარიცხვისაგან, რომელიც აღებულია რომელიმე გალებასა (მაგალითად, $\alpha=1$) და დაწნევაზე (ნახ. 132). ავიღოთ რომელიმე ნებისმიერი მნიშვნელობა $n=n_0$, რომელსაც შეესაბამება სიმძლავრე P_0 და $\eta=\eta_0$.

საქირაო აიგოს იმავე სერიის, ე. ი. გეომეტრიულად მოდელის მსგავსი, მაგრამ D_0 დიამეტრისა და მუდმივი n_r ბრუნთარიცხვის მქონე და ცვლად დაწნევაზე მომუშავე ტურბინის უნივერსალური მახასიათებელი.

დავეუშვათ, რომ ტურბინა მუშაობს n_2 ბრუნთა რიცხვით, რომელიც, ჩვენთვის ჯერ უცნობ H_x დაწნევაზე, მაგრამ მისი რეჟიმი იმ მოდელის რეჟიმის იზოგონალურია, რომელიც n_1 ბრუნთა რიცხვს შეესაბამება, ე. ი. ორივე ტურბინის სიჩქარეთა სამკუთხედი გეომეტრიულად ერთმანეთის მსგავსია. ამ დროს, ტურბინისა და მოდელის შქკ. პირველი მიახლოებით ერთნაირია და ორივე მანქანისათვის უდრის η_x -ს. მოვძებნოთ H_x დაწნევის ის სიდიდე, რომლის დროსაც ეს პირობა იქნება დაცული.



ნახ. 137. ფრენისის ტურბინის საექსპლუატაციო მახასიათებელი მუდმივი ბრუნთა რიცხვის დროს: $n_2=104$ ბრ/მინ; $D_x=1,0$ მ.

ვინაიდან მოდელისა და ტურბინის რეჟიმი, პირობის თანახმად, იზოგონალურია, ამიტომ n_1 და P_1 დაყვანილი კოეფიციენტების მნიშვნელობა ორივე ტურბინისათვის ერთნაირი იქნება.

დავეწეროთ მსგავსების განტოლება ორივე ტურბინისათვის. D_0 დიამეტრიანი მოდელი H_0 დაწნევაზე იძლევა ბრუნთა რიცხვს

$$n_0 = n_1 \frac{\sqrt{H_0}}{D_0}.$$

D_x დიამეტრიანი ტურბინა H_x დაწნევის დროს იმავე რეჟიმზე მუშაობით იძლევა ბრუნთა რიცხვს

$$n_x = n_1 \frac{\sqrt{H_x}}{D_x},$$

საიდანაც

$$\frac{n_x}{n_0} = \sqrt{\frac{H_x}{H_0}} \cdot \frac{D_0}{D_x},$$

ანუ

$$H_x = H_0 \left(\frac{n_x}{n_0} \right)^2 \left(\frac{D_x}{D_0} \right)^2.$$

ამრიგად, იმისათვის, რომ D_x დიაპეტრიანმა ტურბინამ იმუშაოს მოთხოვნილ რეჟიმზე, რომელსაც შეესაბამება მქც η_a და ბრუნთა რიცხვი n_x , მან უნდა იმუშაოს იმ H_x დაწნევაზე, რომელიც დააკმაყოფილებს მიღებულ განტოლებას.

$$\text{მოღელის სიმძლავრე } P_x = P_1 D_0^2 H_0^{1.5};$$

ტურბინის სიმძლავრე იქნება:

$$P_x = P_1 D_x^2 H_x^{1.5}.$$

მეორე ტოლობის გაყოფით პირველზე მივიღებთ:

$$\frac{P_x}{P_a} = \left(\frac{D_x}{D_0}\right)^2 \left(\frac{H_x}{H_0}\right)^{1.5}$$

თუ ჩავსვამთ H_x -ის მნიშვნელობას მივიღებთ:

$$P_x = P_a \left(\frac{D_x}{D_0}\right)^2 \left(\frac{n_x}{n_a}\right)^3$$

ახალი უნივერსალური მახასიათებლისათვის n_x ბრუნთა რიცხვის მუდმივობის დროს, ცვალებადი იქნება სიმძლავრე და დაწნევა, ამიტომ მივიღებთ რა კოორდინატთა ლერძებად P სიმძლავრეს (აბსცისათა ლერძი) და H დაწნევას (ორდინატთა ლერძი), ავაგებთ n წერტილს, რომელიც შეესაბამება P_x და H_x სიდიდეთა მიღებულ მნიშვნელობებს. ამ წერტილს უნდა მიუყურებოდ მქც-ის η_a მნიშვნელობა (ნახ. 137).

ასეთივე გამოთვლა შეიძლება ვაწარმოოთ მოღელის სხვა ბრუნთა რიცხვებისათვის $n = n_b$; $n = n_c$ და ა. შ. გადაანგარიშების შედეგად უკვე ახალ უნივერსალურ მახასიათებელზე მივიღებთ წერტილებს a, b, c და ა. შ., მაგრამ მუდმივი ბრუნთა რიცხვისათვის $n_x = \text{const}$, როდესაც $\alpha = 1$ (137-ე ნახაზზე არ არის ნაჩვენები).

ამ წერტილებში მქც-ის მნიშვნელობები შესაბამისად იქნება η_a, η_b, η_c და ა. შ., რომლებიც მიიღებიან მთავარი მახასიათებლიდან.

გადაანგარიშება ყველაზე უფრო მოსახერხებელია ვაწარმოოთ 21-ე ცხრილის სახით.

ანალოგიურად გადავიანგარიშებთ მთავარ მახასიათებლებს ყველა გაღებისათვის, რომლებსთვისაც ჩავატარეთ გამოცდები; მაშინ ჩვენ მივიღებთ

ცხრილი 21

ს რ უ ლ ი გ ა ლ ე ბ ა $\alpha=1,0$					
მ ო დ ე ლ ი					
ი მ ა ე ე ს ე რ ი ის ტ უ რ ბ ი ნ ა					
დიაპეტრი $D_0 = \text{const}$ დაწნევა $H_0 = \text{const}$		დიაპეტრი $D_x = \text{const}$		ბრუნთა რიცხვი $n_x = \text{const}$	
n	P	H_x		P_x	
	P_a	$H_0 \left(\frac{n_x}{n_a}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_x}{D_0}\right)^2$		$P_a \left(\frac{n_x}{n_a}\right)^3 \cdot \left(\frac{D_x}{D_0}\right)^2$	
	P_b	$H_0 \left(\frac{n_x}{n_b}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_x}{D_0}\right)^2$		$P_b \left(\frac{n_x}{n_b}\right)^3 \cdot \left(\frac{D_x}{D_0}\right)^2$	
	P_c	$H_0 \left(\frac{n_x}{n_c}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_x}{D_0}\right)^2$		$P_c \left(\frac{n_x}{n_c}\right)^3 \cdot \left(\frac{D_x}{D_0}\right)^2$	

მთელ რიგ მახასიათებლებს და თუ ერთსა და იმავე მნიშვნელობის მქ-ებს შევადრებთ, მივიღებთ უნივერსალურ მახასიათებელს მუდმივი n_x ბრუნთა რიცხვისა და მუდმივი D_x დიამეტრისათვის (ნახ. 137).

საინტერესოა აღინიშნოს ის გარემოება, რომ $P=f(n)$ (ნახ. 131) მთავარი მახასიათებლის მრუდე წირის მეგვიერად 137-ე ნახაზზე ვლებულობთ თითქმის წრფეს, რომელიც გამოსახავს $P=f(H)$ დამოკიდებულებას. ეს მდგომარეობა პირველად შემჩნეული იყო პროფ. ბ. ა. ბახმეტევის მიერ, როდესაც იგი აწარმოებდა იმ ტურბინის მახასიათებლის გადაანგარიშებებს, რომელიც მან გამოისცადა პოლიტექნიკური ინსტიტუტის პილოტექნიკურ ლაბორატორიაში.

137-ე ნახაზზე გამოსახულია მხოლოდ ერთი წირი $\alpha=1$ -სათვის და მუდმივი მქ-ის წირები ყოველ 1%-ზე, რაც უმთავრესად უფრო საჭიროა პრაქტიკისათვის.

უნივერსალური მახასიათებელი, რომელიც აკებულია D_x დიამეტრისა და მუდმივი n_x ბრუნთა რიცხვის მქონე მუშა თელისათვის, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ამ სერიის ყველა ტურბინისათვის, რომლებსაც ნებისმიერი D_y დიამეტრი და მუდმივი n_y ბრუნთა რიცხვი აქვს.

ცხადია, რომ თუ პირველი ტურბინის მახასიათებლის რომელიმე α წერტილს მოცემული n_n მნიშვნელობისათვის შეესაბამება H_x დაწნევა და P_x სიმძლავრე, მაშინ მეორე ტურბინისათვის, რომელსაც იგივე მქ აქვს, H_y დაწნევა და P_y სიმძლავრე შეიძლება გამოვთვალოთ მსგავსების ფორმულებით.

მართლაც, თუ ჩვენს ტურბინას, რომლის დიამეტრია D_x მოდელად ჩავთვლით, მაშინ D_y დიამეტრიანი ახალი ტურბინისათვის შეგვიძლია დაწვროთ, რომ მახასიათებლის ნებისმიერი წერტილისა და კერძოდ α წერტილისათვის სამართლიანი იქნება ფარდობები:

$$\left. \begin{aligned} \frac{H_y}{H_x} &= \left(\frac{n_y}{n_x}\right)^3 \left(\frac{D_y}{D_x}\right)^2 \\ \frac{P_y}{P_x} &= \left(\frac{n_y}{n_x}\right)^5 \left(\frac{D_y}{D_x}\right)^3 \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

ან, თუ $\frac{n_y}{n_x}$ და $\frac{D_y}{D_x}$ ფარდობებს შევცვლით მუდმივი კოეფიციენტებით:

$$v = \frac{n_y}{n_x}; \quad \delta = \frac{D_y}{D_x},$$

მივიღებთ

$$\frac{H_y}{H_x} = v^3 \delta^2; \quad \frac{P_y}{P_x} = v^5 \delta^3, \quad (33)$$

ე. ი. თუ შევცვლით P აბსცისათა ღერძის მასშტაბს v^5 -ზე და H ორდინატთა ღერძისას $v^3 \delta^2$ -ზე გამრავლებით, ჩვენ მივიღებთ P_y -ის და H_y -ის ახალ მნიშვნელობებს ისე, რომ არ მოგვიხდება მახასიათებლის ხელახლა გადახაზვა. მახასიათებელი ახალდანაყოფებიანი ღერძებით სამართლიანი იქნება ტურბინისათვის, რომლის დიამეტრია D_y და ბრუნთა რიცხვი n_y .

მაგალითი: 137-ე ნახაზზე მოცემულია იმ ტურბინის მახასიათებელი, რომლისთვისაც $D_x=1,0$ მ და $n_x=100$ ბრ/მინ. განვსაზღვროთ მახასიათებლის კოორდინატთა ღერძების მასშტაბური კოეფიციენტები ტურბინისათვის, რომ-

ლის დიამეტრია $D_p=2,0$ მ და ბრუნთა რიცხვი $n_p=50$ ბრ/მინ.

ამ შემთხვევაში გვექნება:

$$v = \frac{50}{100} = 0,5; \quad \delta = \frac{2,0}{1,0} = 2,0.$$

ახალი ტურბინის მახასიათებლის ლერძების მასშტაბური კოეფიციენტები იქნება:

დაწნევის ლერძისათვის

$$v^2 \delta^3 = 0,5^2 \cdot 2,0^3 = 1,0;$$

სიმძლავრის ლერძისათვის

$$v^2 \delta^3 = 0,5^2 \cdot 2,0^3 = 4,0.$$

მაშასადამე, თუ ტურბინა დიამეტრით $D_z=1,0$ მ და ბრუნთა რიცხვით $n_z=100$ ბრ/მინ იძლევა მქკ-ის უდიდეს მნიშვნელობას $\eta=88\%$ -ს იმ შემთხვევისათვის, როდესაც $H=2,54$ მ და $P=43,5$ ცდ, მაშინ ახალ ტურბინას დიამეტრით $D_p=2,0$ მ და ბრუნთა რიცხვით $n_p=50$ ბრ/მინ ექნება იგივე მქკ $\eta=88\%$, თუ იგი იმუშაებს $H_p=2,54 \cdot 1=2,54$ მ დაწნევაზე და განავითარებს სიმძლავრეს $P_p=43,5 \cdot 4=174,0$ ცდ.

პირველი ტურბინა იმავე დაწნევაზე $H=2,54$ მ, სრული გაღების დროს, განავითარებს უდიდეს სიმძლავრეს $48,5$ ცდ. მეორე ტურბინა იმავე დაწნევაზე, სრული გაღების დროს, მოგვცემს $P_p=48,5 \cdot 4=194,0$ ცდ.

ამრიგად, ჩვენ მიერ მიღებული მახასიათებელი არის სერიის მახასიათებელი და არა მარტო მოდელის მახასიათებელი. ტურბინის დიამეტრისა და ბრუნთა რიცხვის ცვლასთან ერთად იცვლება მახასიათებლის კოორდინატთა ლერძების მასშტაბები, ხოლო თვით მახასიათებელი უცვლელი რჩება.

სერიის მახასიათებლის გამოყენებისათვის მოხერხებულია გამოცდის შედეგები გადავითვალოთ და მახასიათებელი ავაგოთ, როდესაც $D=1,0$ მ და $n=100$ ბრ/მინ.

მაშინ ნებისმიერი ტურბინისათვის, რომლის დიამეტრია D_p და ბრუნთა რიცხვი— n_p , ლერძების გადაანგარიშების კოეფიციენტები იქნება:

$$v = \frac{n_p}{100}; \quad \delta = D_p.$$

§ 68. უნივერსალური მახასიათებლის ტიპები

უნივერსალური მახასიათებლის გამოყენება არ განისაზღვრება მხოლოდ ზემოთ მოყვანილი მაგალითებით.

უნივერსალური მახასიათებელი იძლევა მქკ-ის დამოკიდებულებას ტურბინის D დიამეტრის, H დაწნევის, n ბრუნთა რიცხვისა და P სიმძლავრისაგან. ეს დამოკიდებულება შეიძლება გამოვსახოთ როგორც ფუნქცია

$$\eta = f(D, H, n, P);$$

ამ ფუნქციის გრაფიკული აგებისათვის სიბრტყეზე η გამოვსახეთ წირთა ოჯახით როგორც ორი დამოუკიდებელი ცვლადის ფუნქცია, რომლებიც გადაზომილი იყვნენ ორ კოორდინატთა ლერძზე. დანარჩენი ორი ცვლადი კი წარმოდგენილი იყო, როგორც მუდმივი სიდიდეები ჩვენ მიერ წინასწარ შერჩეული მნიშვნელობებით.

ბუნებრივია, მაგალითად, ტურბინის დიამეტრი ჩათვალთ მუდმივად ე. ი. ავაგოთ მახასიათებელი მოცემული სერიის ტურბინისათვის წინასწარ მოცემული დიამეტრით. შემდეგ, მაგალითად 136-ე ნახაზზე დაწნევა მიღებულია მუდმივად და მკვ გამოსახულია როგორც P -სა და n -ის ფუნქცია, ე. ი. $\eta = f(n, P)$.

პირიქით, 137-ე ნახაზზე მუდმივად აღებულია დიამეტრი და ბრუნთა რიცხვი, ხოლო მკვ აგებულია როგორც H -ისა P -ს ფუნქცია

$$\eta = f(H, P).$$

შეგნიშნოთ, რომ (როგორც დაერწმუნდით) ერთი მახასიათებელი შეიძლება მივიღოთ მეორიდან მსგავსების ფორმულების საფუძველზე, გადაანგარიშების გზით, ვინაიდან ეს მახასიათებლები არსებითად გამოსახავენ აღნიშნულ სიდიდეებს შორის ერთსა და იმავე ფიზიკურ დამოკიდებულებას, მაგრამ სხვადასხვა გრაფიკული ფორმით.

ასეთი გრაფიკული გამოსახულება შეიძლება მოვიფიქროთ ძალიან ბევრი, ნებისმიერად მივცემთ რა ორ ნებისმიერ ცვლადს მუდმივ მნიშვნელობებს; ამრიგად, ერთი მახასიათებელიდან მსგავსების ფორმულების საფუძველზე, გადაანგარიშების გზით, შეიძლება მივიღოთ მეორე მახასიათებელი.

გარდა ამისა, η -სა და P -ს მაგივრად შეიძლება შემოვიტანოთ ცვლადები η და Q , ვინაიდან ყოველთვის შეიძლება გამოეთვალოთ ხარჯი, რომელიც შეესაბამება η -სა და P -ს. ასევე შეიძლება მახასიათებელიდან მთლიანად გამოვრიცხოთ მკვ, თუ შევიტანთ P და Q ცვლადებს და ა. შ. ამ მეთოდით შეიძლება მოვიფიქროთ უნივერსალური მახასიათებლის ათეული ტიპი, მაგრამ ყველა მათგანი გამოსახავს ზემოთ მოყვანილ ცვლად სიდიდეთა შორის ერთსა და იმავე ურთიერთ კავშირს, რომელიც, თავის მხრივ, განისაზღვრება ტურბინის მოცემული სერიის კონსტრუქციული თავისებურებით და გრაფიკულად გამოსახავს მათ მუშაობას ყველა შესაძლო რეჟიმზე.

ჩვენ შევიჩრდებით მხოლოდ ყველაზე უფრო საკირო და პრაქტიკაში გაერთილებული უნივერსალური მახასიათებლების განხილვაზე. ასეთ ტიპებად ითვლებიან:

1. მთავარი უნივერსალური მახასიათებელი, რომლისათვისაც

$$D = \text{const} \text{ და } H = \text{const}.$$

ეს მახასიათებელი გამოსახავს დამოკიდებულებას:

$$\eta = f(n, Q),$$

ან გამოსახება ასე (ნახ. 136)

$$\eta = f(n, P).$$

2. საექსპლოატაციო უნივერსალური მახასიათებელი, რომლისთვისაც

$$D = \text{const} \text{ და } n = \text{const}.$$

ეს მახასიათებელი გამოსახავს დამოკიდებულებას (ნახ. 137):

$$\eta = f(H, P).$$

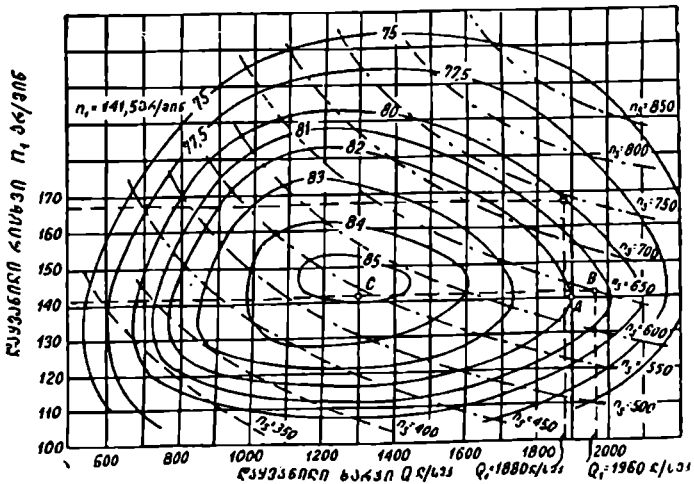
3. უნივერსალური მახასიათებელი $Q-H-P$ წარმოადგენს იმავე საექსპლოატაციო მახასიათებელს, სადაც η -ს მაგივრად შეტანილია Q ხარჯი, რომელიც გამოითვლება მისი შესაბამისი P და η სიდიდეებით. მუდმივებად მიღებულია D და n . ეს მრუდი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც Q მრუდთა ოჯახი, ე. ი. $Q = f(H, P)$ ან როგორც P მრუდთა ოჯახი, ე. ი. $P = f(H, Q)$ და ა. შ. იმისდა მიხედვით, თუ რა დანიშნულება აქვს მახასიათებელს.

უნივერსალური მახასიათებლების გამოყენება

§ 69. $\eta = f(\pi, Q)$ ტიპის მთავარი უნივერსალური მახასიათებელი, როდესაც $D = \text{const}$ და $H = \text{const}$

მახასიათებლის ეს ტიპი გამოყენებულია ტურბინების დიამეტრის შესარჩევად. იგი ამ მიზნისათვის ძალიან მოსახერხებელია, მაგრამ მას არ შეუძლია შეცვალოს საპროექტო ორგანიზაციებში უფრო მეტად გავრცელებული საექსპლოატაციო მახასიათებელი $\eta = f(H, P)$ მუდმივი დიამეტრისა და ბრუნთა რიცხვის დროს.

მთავარი მახასიათებლის მოხერხებულობა, როდესაც $H = \text{const}$ საქარხნო ლაბორატორიისათვის იმაში მდგომარეობს, რომ იგი უშუალოდ მიიღება ტურბინის გამოცდის შედეგად მიღებული მონაცემებიდან ისე, რომ გადაანგარიშება არ სჭირდება ისე როგორც ეს აღწერილი იყო XI თავში.



ნახ. 138. JIM3 კაბლანის $K-90$ ტიპის ტურბინის მთავარი უნივერსალური მახასიათებელი, როდესაც $H_0 = 1,0$ მ და $D_0 = 1,0$ მ.

ეს მახასიათებელი სრულიად ანალოგიურია 137-ე ნახაზზე მოცემული მახასიათებლისა, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ერთ-ერთ ლერძზე P -ს მაგივრად გადაიზომება Q . 138-ე ნახაზზე მოცემულია ასეთი მახასიათებელი ლენინ-

გრადის ლითონის ქარხნის კაპლანის K-90 ტიპის ტურბინისათვის; იგი აგებულია n_1 და Q_1 კოორდინატებში, ე. ი. მის ლერძებზე გადაზომილია დაყვანილი ბრუნთა რიცხვისა და ხარჯის სიდიდეები (ლიტრ/სექუნდებში).

განვსაზღვროთ მასშტაბური კოეფიციენტები, რომლებიც საჭიროა ამ მახასიათებლის გადასაანგარიშებლად სხვა დაწნევისა და ტურბინის სხვა დია-მეტრზე. დაუშვათ, რომ ჩვენ მიერ არჩეულ ტურბინას აქვს D დიამეტრი და მუშაობს H დაწნევით. მოდელის დიამეტრი $D_0=1$ მ და დაწნევა $H_0=1$ მ. ტურბინისა და მოდელის შესაბამის სიდიდეთა ფარდობა იქნება:

$$\frac{D}{D_0} = \delta \quad (\text{რიცხოობრივად } \delta = D)$$

$$\frac{H}{H_0} = h \quad (\text{რიცხოობრივად } h = H).$$

მსგავსების კანონით ტურბინისა და მოდელის ბრუნთა რიცხვების ფარ-დობა

$$\frac{n}{n_1} = \sqrt{\frac{H}{H_0}} \frac{D_0}{D} = \frac{\sqrt{h}}{\delta}.$$

ანალოგიურად, ტურბინისა და მოდელის წყლის ხარჯების ფარდობა

$$\frac{Q}{Q_1} = \left(\frac{D}{D_0}\right)^2 \sqrt{\frac{H}{H_0}} = \delta^2 \sqrt{h}.$$

ამრიგად, მასშტაბური კოეფიციენტები, რომლებზედაც უნდა გამრავლდეს მოდელის ხარჯისა და ბრუნთა რიცხვის სიდიდეები, იქნება:

$$\left. \begin{array}{l} \text{ხარჯისათვის } \delta^2 \sqrt{h}, \\ \text{ბრუნთა რიცხვისათვის } \frac{\sqrt{h}}{\delta}. \end{array} \right\} \quad (34)$$

თუ მოდელის მახასიათებლის ლერძებზე გადაზომილ სიდიდეებს გავამ-რავლებთ მიღებულ მასშტაბურ კოეფიციენტებზე, შეიძლება ავაგოთ ამავე ლერ-ძებზე მოცემული დიამეტრის ტურბინისათვის Q ხარჯისა და n ბრუნთა რი-ცხვის ახალი სკალა, როდესაც დაწნევა $H = \text{const}$.

ამოცხნათ ახლა ასეთი ამოცანა. დაუშვათ, რომ საჭიროა მოცემული K-90 სერიის ტურბინის დიამეტრის და ბრუნთა რიცხვის შერჩევა ისე, რომ თუ იგი იმუშავებს 7 მ დაწნევაზე მოგვეცეს მაქსიმალური სიმძლავრე $P=8000$ ცმ მაღალი მქკ-ის დროს. როგორც 133-ე და 134-ე ნახაზებიდან ჩანს, მუდმი-ვი ბრუნთა რიცხვით მომუშავე ტურბინებს მაქსიმალური მქკ ექნებათ სიმძლავ-რის არა უდიდესი მნიშვნელობის დროს, არამედ უფრო ნაკლები სიმძლავრის დროს. მაქსიმალური სიმძლავრისათვის მქკ რამდენადმე ეცემა. უნივერსალური მახასიათებლიდან ჩანს, რომ (ნახ. 138) მქკ-ის უდიდესი მნიშვნელობა (85%) ძვეს n_1 -სთვის 140-დან 150 ბრ/მინ-მდე და Q_1 -თვის 1120-დან 1450 ლ/სექ-მდე საზღვრებში. ხარჯის გადიდების, ე. ი. სიმძლავრის გაზრდის შემთხვევაში, მქკ ეცემა და ხდება $\eta=80\%$ და უფრო ნაკლებიც.

ავიჩინოთ მახასიათებელზე A წერტილი, რომლის კოორდინატებია $n_1=140$ ბრ/მინ და $Q_1=1900$ ლ/სექ, ხოლო $\eta=82\%$. დაუშვათ, რომ ჩვენ მიერ არჩეული ტურბინა, რომლის დიამეტრია D და ბრუნთა რიცხვია n , ავი-თარებს საჭირო სიმძლავრეს $P=8000$ ცმ, როდესაც $H=7$ მ.

განვსაზღვროთ მისი D დიამეტრი და n ბრუნთა რიცხვი.

ტურბინის მაქსიმალური Q ხარჯი ადვილად განისაზღვრება, რადგან ჩვენ ვიცით, რომ მისი მქ $\eta=0,82$.

$$Q = \frac{P}{13,33H\eta} = \frac{8000}{13,33 \cdot 7 \cdot 0,82} = 104,5 \text{ მ}^3/\text{სეკ.}$$

ტურბინისა და მოდელის ხარჯების ფარდობა

$$\frac{Q}{Q_1} = \delta^2 \sqrt{h}; \quad Q_1 = 1,9 \text{ მ}^3/\text{სეკ}; \quad h = \frac{H}{H_0} = 7;$$

$$Q = 1,9 \delta^2 \sqrt{7} = 104,5 \text{ მ}^3/\text{სეკ};$$

აქედან $\delta = 4,56$ და $D = 4,56 \text{ მ}$.

ტურბინისა და მოდელის ბრუნთა რიცხვების ფარდობა უღრის

$$\frac{n}{n_1} = \frac{\sqrt{h}}{\delta}, \text{ სადაც } h=7 \text{ და } n_1=140 \text{ ბრ/მინ,}$$

სათანადოდ

$$n = \frac{140 \cdot \sqrt{7}}{4,56} = 81 \text{ ბრ/მინ.}$$

ბრუნთა რიცხვი $n=81$ ბრ/მინ არ შეიძლება გამოდგეს იმ ტურბინებისათვის, რომლებიც უშუალოდ ერთ ლილვზე არიან მიერთებული სამფაზიანი დენის გენერატორებთან; როგორც ცნობილია, ცვლადი დენის f სიხშირესა, გენერატორის p წყვილპოლუსთა რიცხვსა და მისი n ბრუნთა რიცხვს შორის არსებობს ასეთი ფარდობა:

$$f = \frac{pn}{60}.$$

სტანდარტული 50-პერიოდის სიხშირისა და წყვილპოლუსთა რიცხვის $p=36$ -ის დროს უახლოესი სითანადო (სინქრონული) ბრუნთა რიცხვი იქნება:

$$n = \frac{50 \cdot 60}{36} = 83,3 \text{ ბრ/მინ.}$$

თუ ზომებს დავამრგვალებთ, შეიძლება ავირჩიოთ ტურბინა დიამეტრით $D=4,5 \text{ მ}$ და $n=83,3$ ბრ/მინ.

ცხადია, ეს ტურბინა ჩვენ მიერ არჩეულ პირობებში, მიღებულ პირობებთან შედარებით, იმუშავებს რამდენადმე განსხვავებულად; შევამოწმოთ ეს მახასიათებლის საშუალებით.

არჩეული ტურბინისათვის

$$\delta = \frac{D}{D_0} = 4,5; \quad h = \frac{H}{H_0} = 7.$$

მასშტაბური კოეფიციენტები იქნება:

$$\text{ტურბინის ბრუნთა რიცხვისათვის } \frac{\sqrt{h}}{\delta} = \frac{\sqrt{7}}{4,5} = 0,589,$$

ხარჯისათვის $\delta^2 \sqrt{h} = 4,5^2 \sqrt{7} = 53,5$.

თუ ტურბინის ბრუნთა რიცხვი $n=83,3$ ბრ/მინ, მაშინ მოდელის ბრუნთა რიცხვი იქნება:

$$n_1 = \frac{83,3}{0,589} = 141,5 \text{ ბრ/მინ}$$

და არა $n_1 = 140$ ბრ/მინ, რომელიც ჩვენ მივიღეთ.

ტურბინის ხარჯს $Q = 104,5$ მ³/სეკ მოდელისათვის შეესაბამება

$$Q_1 = \frac{104,5}{53,5} = 1,96 \text{ მ}^3/\text{სეკ} = 1960 \text{ ლ/სეკ.}$$

ამ კოორდინატებს ნაცვლად A წერტილისა შეესაბამება მახასიათებლის B წერტილი, რომლისთვისაც $\eta = 81,4\%$.

ამრიგად, ჩვენ მივიღეთ ტურბინის მუშაობის პირობები, რომლებიც ახლოსაა მოცემულ პირობებთან.

ეს ტურბინა იმუშავებს რა დანადგარში მუდმივი დაწნევის დროს $H = 7$ მ მას ყველა დატვირთვისა და შესაბამის წყლის ხარჯებზე, ავტომატური რეგულატორის შემწეობით, ექნება მუდმივი ბრუნთა რიცხვი $n = 83,3$ ბრ/მინ. ამრიგად, ნებისმიერი დატვირთვისათვის, რომელიც ნაკლები იქნება 8000 ცხენის ძალაზე, ტურბინას ექნება სხვადასხვა რეჟიმი, რომლებსთვისაც მქკ განისაზღვრება წირით $n_1 = 141,5$ ბრ/მინ = const. მაგალითად, მქკ-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა $\eta = 85\%$ მას ექნება იმ რეჟიმზე, რომელიც განისაზღვრება C წერტილის კოორდინატებით: $n_1 = 141,5$ ბრ/მინ და $Q_1 = 1300$ ლ/სეკ = 1,3 მ³/სეკ. ამ დროს ტურბინის სრული ხარჯი იქნება:

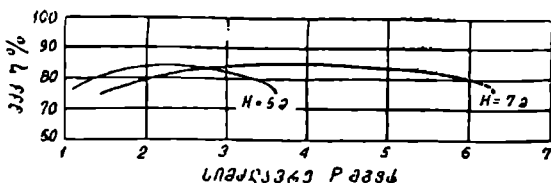
$$Q = 1,3 \cdot 53,5 = 69,5 \text{ მ}^3/\text{სეკ.}$$

ხოლო სიმძლავრე კი, როდესაც მქკ $\eta = 85\%$

$$P = 13,33 \cdot 69,5 \cdot 7 \cdot 0,85 = 5520 \text{ ცდ.}$$

წირი $n_1 = 141,5 = \text{const}$ კვეთს მქკ-ების წირთა ოჯახს რამდენიმე წერტილში; თუ ვადაკვეთის წერტილებში ავითვლით Q_1 -ს და მას გავამრავლებთ მასშტაბურ კოეფიციენტზე (ჩვენ შემთხვევაში 53,5) ჩვენ მივიღებთ ამ მქკ-ების შესაბამის Q ხარჯებს. ამრიგად შეიძლება ავაგოთ მოცემული ტურბინის მუშა მახასიათებელი $\eta = f(Q)$ მუდმივი ბრუნთა რიცხვისა ($n = 83,3$ ბრ/მინ) და დაწნევისათვის ($H = 7$ მ), ხოლო თუ გამოვთვლით შესაბამის სიმძლავრეებს, მაშინ იგივე მუშა მახასიათებელი შეიძლება ავაგოთ როგორც $\eta = f(P)$ (ნახ. 139).

თუ დანადგარის დაწნევა მერყეობს, მაშინ, ცხადია, არჩეული ტურბინი-



ნახ. 139. AM3 კაპლანის $K-90$ ტიპის ტურბინის მუშა მახასიათებელი, როდესაც $D = 4,5$ მ; $n = 83,5$ ბრ/მინ; $H = 5,0$ მ და $H = 7,0$ მ.

სათვის, სხვა დაწნეების შემთხვევაში, შეიცვლება ორივე მასშტაბური კოეფიციენტი, ვინაიდან მათში შედის h , რომელიც ტურბინისა და მოდელის დაწნევათა ფარდობას წარმოადგენს. არჩეული ბრუნთა რიცხვისათვის $n = 83,3$ ბრ/მინ სულ სხვა იქნება n_1 . ასე, მაგალითად, თუ დაწნევა დაეცემა $H = 5$ მ-მდე, მაშინ h ხუთის ტოლი გახდება.

ჩ ლერძისათვის მასშტაბური კოეფიციენტი იქნება:

$$\frac{\sqrt{5}}{4,5} = 0,498 \text{ (ნაცვლად } 0,589\text{-სა);}$$

ამიტომ მოდელის ბრუნთა რიცხვი შეიცვლება და გახდება ტოლი

$$n_1 = \frac{83,3}{0,498} = 167,5 \text{ ბრ/მინ.}$$

ახალ დაწნევაზე ტურბინა იმუშავებს მახასიათებლის ცულ მხარეზე და დატვირთვის ცვლილების დროს შქკ-ის ცვლილება მოხდება $n=167,5$ ბრ/მინ წირის გასწვრივ (ნახ. 137).

შქკ-ის უდიდესი მნიშვნელობა ამ დროს იქნება 83,5% ნაცვლად 85%-ისა.

ხარჯის მასშტაბური კოეფიციენტი შემცირდება და გახდება: $4,5\sqrt{5} = 45,3$, ნაცვლად 53,5-ისა.

ამ დროს ტურბინა იმუშავებს რა შედარებით კარგი შქკ-ით $\eta=80\%$ (წერტილი E) გაატარებს $Q=45,3Q_1$ ხარჯს. Q_1 სიდიდე, როდესაც $\eta=80\%$ და $n=167,5$ ბრ/მინ განისაზღვრება მახასიათებლით $Q_1=1880$ ლ/სეკ ან 1,88 მ³/სეკ. ამრიგად, $P=45,3 \cdot 1,88=85$ მ³/სეკ. ამ დროს სიმძლავრე ეცემა $P=13,33 \cdot 85 \cdot 5 \cdot 0,8=4530$ ცმ-მდე.

თუ ტურბინების შერჩევის დროს წინასწარ ცნობილია დაწნევის ცვლილება განსაზღვრულ ფარგლებში, მაშინ მახასიათებელზე შეიძლება გამოიყოს მისი მუშაობის არე; ჩვენს შემთხვევაში ეს არე განისაზღვრება Q ლერძის პარალელური ორი წირით, რომელთაგან ერთი არის $n_1=141,5=const$ და მეორე $n_1=167,5=const$. ყველა შუალედური დაწნევისათვის ტურბინა იმუშავებს ამ განსაზღვრული არის შიგნით.

ტურბინების შერჩევის დროს საჭიროა მისი დიამეტრი და ბრუნთა რიცხვი ისე შეირჩეს, რომ დაწნევის მოცემული ცვლილების დროს მისი მუშაობის არე მახასიათებელზე შეიცავდეს უდიდესი მნიშვნელობის შქკ-ის არეს.

განხილული მახასიათებელი საკმაოდ ხელსაყრელია ტურბინის დიამეტრისა და ბრუნთა რიცხვის შესარჩევად. მაგრამ მუშაობის გამოკვლევა ცვლადი დაწნევის დროს, როგორც ეს განხილული მაგალითიდან ჩანს, ამ მახასიათებლით ძნელია. H-ის ყოველი მნიშვნელობისათვის გვიხდება მისი შესაბამისი n_1 -ის გამოთვლა და დიაგრამაზე ნათლად არა ჩანს რა სიმძლავრეს განავითარებს ტურბინა ამ დაწნევის დროს, ამიტომ ამ შემთხვევაში გაცილებით უფრო ხელსაყრელია საექსპლუატაციო უნივერსალური მახასიათებელი მუდმივი n -ისა და D-ს დროს.

§ 70. $\eta=f(H, P)$ ტიპის ხამხამლოატაციო უნივერსალური მახასიათებელი, როდესაც $D=const$ და $n=const$

მახასიათებლის ეს ფორმა ყველაზე უფრო მოსახერხებელია როგორც ტურბინის ზომების შერჩევის, ისე უმთავრესად, ტურბინის მუშაობის შესწავლისათვის ცვლადი დაწნევის დროს.

140-ე ნახაზზე მოცემულია იმავე K-90 ტიპის მუშა თვლის მახასიათებელი, რომელიც მიღებულია $\eta=f(Q, n)$ მახასიათებლის (ნახ. 138) გადაანგარიშების საფუძველზე. მახასიათებელი მოცემულია $D_0=1,0$ მ დიამეტრისა და $n_0=100$ ბრ/მინ ბრუნთა რიცხვისათვის.

ტურბინის ლერძზე სიმძლავრე გამოსახულია კილოვატებში.

ტურბინის ზომებისა და ბრუნთა რიცხვის შერჩევა გავიმეორეთ ზემოთ განხილული მაგალითისათვის, ე. ი. ტურბინისათვის, რომლის სიმძლავრეა $P=8000$ კვტ $=5350$ კვტ $H=7$ მ დაწნევის დროს.

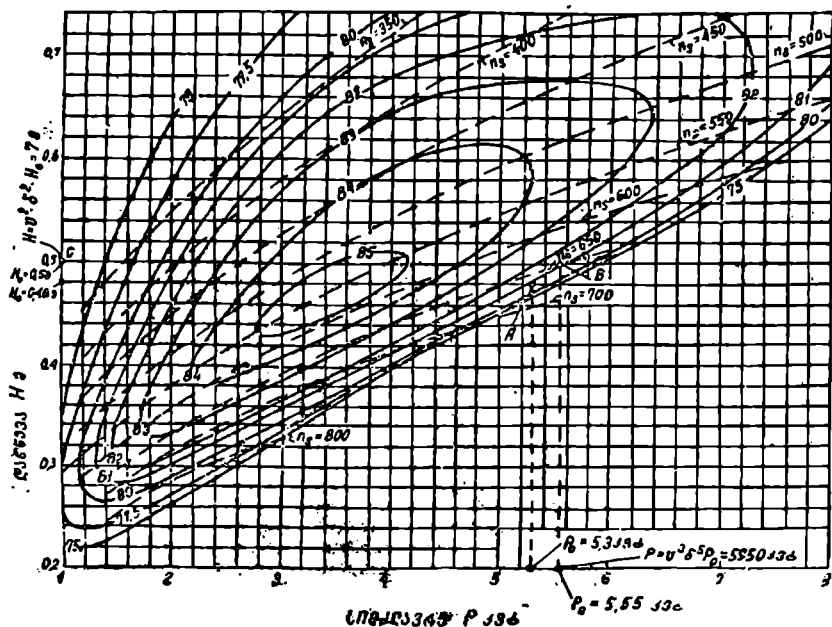
განხილული მახასიათებლისათვის მასშტაბური კოეფიციენტები იქნება:

$$\frac{P}{P_0} = v^3 \delta^3 \text{ და } \frac{H}{H_0} = v \delta^2,$$

სადაც

$$v = \frac{n}{100} \text{ და } \delta = \frac{D}{1}.$$

მილსადენის დაწნევა $H=0,48$ მ-ის ტოლად მივიღეთ. დაწნევის ამ მნიშვნელობას შეესაბამება ტურბინის მუშაობის კარგი არე (ნახ. 140), რადგან ამ დაწნევის შესაბამისი ჰორიზონტალური წირი გადის მაქსიმალური მქკ-ის არეში. მაშინ $D_0=1,0$ მ დიამეტრისა და $n_0=100$ ბრ/მინ ბრუნთა რიცხვის მქონე მოდელის მიერ განვითარებული სიმძლავრე შეადგენს $P_0=5,3$ კვტ $\eta=81\%$ -თვის (ნახ. 140, A წერტილი). მახასიათებლის დანარჩენი ნაწილი,



ნახ. 140. AMZ კაპლანის R-90 ტიპის ტურბინის საექსპლოატაციო მახასიათებელი, როდესაც $D_0=1,0$ მ და $n_0=100$ ბრ/მინ.

რომელიც ძვეს მცირე მქკ-ისა და დიდი სიმძლავრეების არეში, უკუუვალთ. მასშტაბური კოეფიციენტები იქნება:

$$v^3 \delta^3 = \frac{5950}{5,3} = 1120,$$

$$v^2 \delta^2 = \frac{7}{0,48} = 14,6.$$

თუ ამ ორ განტოლებას ერთდროულად ამოვხსნით, მივიღებთ $v=0,854$ და $\delta=4,48$. საიდანაც ბრუნთა რიცხვი $n=85,4$ ბრ/მინ და მუშა თელის დია-მეტრი $D=4,48$ მ.

ვიღებთ უახლოეს სინქრონულ ბრუნთა რიცხვს $n=83,3$ ბრ/მინ და $D=4,50$ მ. მოვძებნოთ მახასიათებლის ის წერტილი, რომელიც შეესაბამება არჩეული ტურბინის მუშაობას; ამ ტურბინის მაქსიმალური სიმძლავრე $P=5950$ კვტ, $n=83,3$ ბრ/მინ და $H=7$ მ. გამოვთვალოთ ახალი მასშტაბური კოეფიციენტები:

$$v = \frac{83,3}{100} = 0,833 \text{ და } \delta = 4,5;$$

$$v^2 \delta^2 = 14,05 \text{ და } v^2 \delta^3 = 1070;$$

$$H_0 = \frac{7}{14,5} = 0,5 \text{ მ};$$

$$P_0 = \frac{5950}{1050} = 5,55 \text{ კვტ.}$$

საძიებელი B წერტილი მახასიათებელზე იძლევა მქკ-ის სიდიდეს $\eta = 81,3\%$.

თუ ღერძების მასშტაბებს გადავამრავლებთ შესაბამისად $v^2 \delta^2 = 14,05$ და $v^2 \delta^3 = 1070$, მაშინ ჩვენ მივიღებთ იმ ტურბინის მახასიათებელს, რომლის დია-მეტრია $D=4,5$ მ და $n=83,3$ ბრ/მინ.

ეს მახასიათებელი იძლევა ტურბინის მუშაობის ზუსტ სურათს ცვლადი დაწნევის დროს. თუ, მაგალითად, ტურბინამ უნდა იმუშაოს დაწნევაზე, რომელიც იცვლება 5-დან 7-მდე საზღვრებში, მაშინ ამ დაწნევის შესაბამისი ჰორიზონტალური წირების გავლებით მახასიათებელზე გამოვყოფთ ტურბინის მუშაობის არეს. ამ არის შიგნით ყოველი დაწნევისა და სიმძლავრისათვის, რომელსაც ტურბინა ავითარებს, შეიძლება განვსაზღვროთ მისი მქკ.

§ 71. მუშა მახასიათებლის აგება

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მუშა მახასიათებელი ეწოდება მრუდს, რომელიც გამოსახავს ტურბინის მქკ-ის დამოკიდებულებას სიმძლავრისაგან მოცემული H დაწნევისა და n ბრუნთა რიცხვის დროს. ცხადია, თუ ვისარგებლებთ უნივერსალური მახასიათებლით, ადვილად შეიძლება ავაგოთ მუშა მახასიათებელი. ასე, მაგალითად, თუ ზემოთ განხილული ტურბინისათვის 140-ე ნახაზზე გაუტარებთ $H=7$ მ დაწნევის შესაბამის CB ჰორიზონტალურ წირს, შეიძლება მუდმივი მქკ-ის მრუდებთან მისი გადაკვეთის წერტილებზე ავილოთ სიმძლავრის სკალის მიხედვით შესაბამისი მნიშვნელობანი $P=v^2 \delta^3 P_0$. მიღებული მნიშვნელობებით იგება მუშა მახასიათებელი. 134-ე ნახაზზე მოცემულია $K-90$ ტიპის ტურბინის მუშა მახასიათებელი, როდესაც ტურბინის დიამეტრი $D=4,5$ მ, $n=83,3$ ბრ/მინ და $H=7$ და 5 მ.

§ 72. ტურბინის მუშაობის არის არჩევა ტოპოგრაფიული მეთოდით

როგორც ზემოთ მოყვანილი მაგალითებიდან ჩანს, უდიდესი მნიშვნელობა აქვს მახასიათებელზე ტურბინის მუშა არის არჩევას. შევცვლით რა ტურბინის დიამეტრს და ბრუნთა რიცხვს, ამით ჩვენ ვცვლით იმ არეს, რომელსაც ტურბინა მუშაობს.

ტურბინა სადგურებში მუშაობს დაწნევის ცვლილების გარკვეულ საზღვრებში H_{min} -დან H_{max} -მდე, რის გამოც ტურბინის სიმძლავრე შესაძლებელია აგრეთვე იცვლებოდეს გარკვეულ საზღვრებში P_{min} -დან P_{max} -მდე, იმისდა მიხედვით, თუ როგორია დატვირთვის გრაფიკი და აგრეგატების რიცხვი. რაც უფრო მეტია აგრეგატთა რიცხვი, მით უფრო ნაკლებია თითოეული აგრეგატის სიმძლავრის ცვლილება. თუ მახასიათებელზე გავატარებთ H_{min} -ისა და H_{max} -ის შესაბამის ორ ვერტიკალურ პარალელურ წრფეს, ჩვენ ამით მახასიათებლის მთელი არიდან, გამოვყოფთ მართკუთხედს, რომელიც განსაზღვრავს ტურბინის მუშა არეს. თავისთავად ცხადია, ტურბინები ისე უნდა იყოს შერჩეული, რომ მათი მუშა არე შეიცავდეს მქკ-ის უდიდეს მნიშვნელობას.

ამ მიზნით გამოიყენება ხარჯებისა და დაწნევების ქრონოლოგიური გრაფიკები. მათ საფუძველზე იგება სიმძლავრის ქრონოლოგიური გრაფიკები, რომლებიც დროის ყველა მომენტისათვის გამოითვლება ფორმულით:

$$P = 13,33 Q H \eta \text{ ცმ, ანუ } P = 9,81 Q H \eta \text{ კვტ.}$$

აქ ჩვენი მიზნისათვის საკმარისია პირველი მიახლოებით უ მივიღოთ მუდმივად, რომელიც მისი საშუალო მოსალოდნელი მნიშვნელობის ტოლი იქნება. მუშაობის გამარტივებისა და გამოთვლების რიცხვის შესამცირებლად, ჩვეულებრივ, საკმარისია არა ყოველდღიური ხარჯები, დაწნევები და სიმძლავრეები, არამედ საშუალო დეკადური (ათდღიანი) მნიშვნელობანი.

მიღებული გრაფიკებიდან განისაზღვრება დაწნევებისა და სიმძლავრეების სხვადასხვა კომბინაციების განმეორების სიხშირე. ამისათვის იყენებენ ასეთ მეთოდს. დაწნევისა და სიმძლავრის მთელი დიაპაზონი იყოფა მთელ რიგ საფეხურებად, რომელთა სიდიდე დამოკიდებულია დაწნევისა და სიმძლავრის რხევის ამპლიტუდის სიდიდეზე.

თუ ჰიდროელსადგურში დგას რამდენიმე ტურბინა, წინასწარ განისაზღვრება მომუშავე აგრეგატთა რიცხვი დროის ყოველი მონაკვეთისათვის და სიმძლავრის გრაფიკი იყოფა ამ რიცხვზე, ე. ი. განისაზღვრება ის სიმძლავრე, რომელიც ერთ აგრეგატზე მოდის.

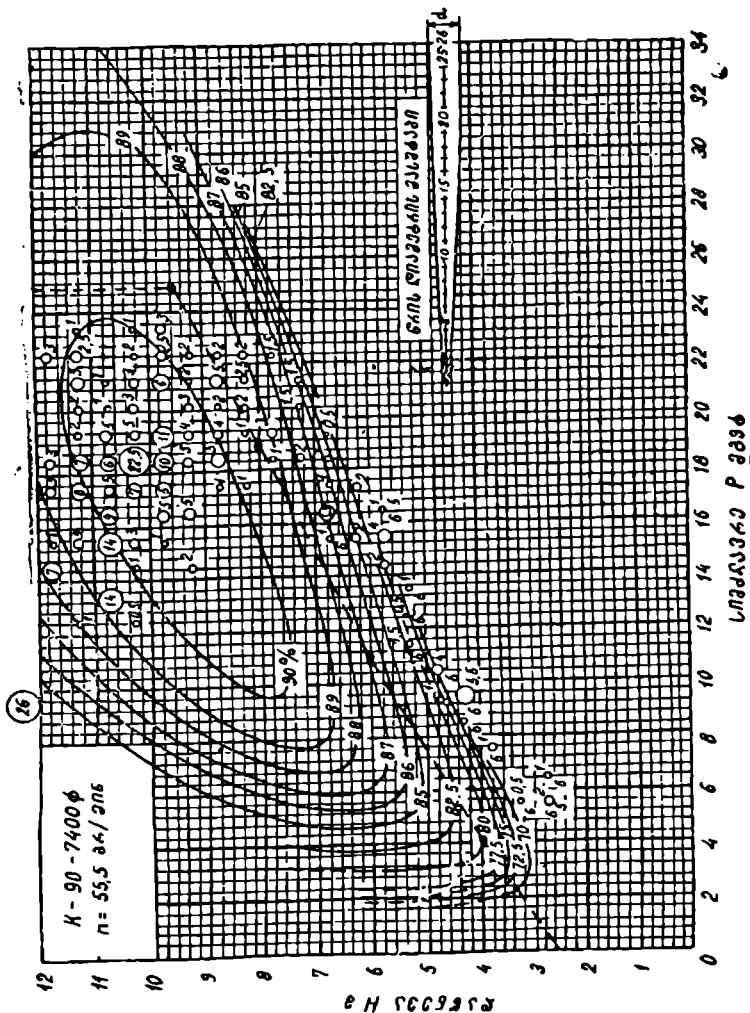
დაწნევისა და სიმძლავრის სხვადასხვა კომბინაციების განმეორების სიხშირის გამოსათვლელად შევადგენთ ცხრილს ქვემოთ მოცემული ფორმით (ცხრილი 22).

ცხრილი 22

დაწნევა H	სიმძლავრე P	10—20	20—30	30—40	40—50	და ა. შ.
		მგვტ	მგვტ	მგვტ	მგვტ	
კომბინაციების განმეორების სიხშირე დეკადებში						
4—5 მ	.	6	15	7	33	
5—6 "	.	18	30	48	35	
6—7 "	.	18	25	50	40	
7—8 "	.	10	15	25	20	
და ა. შ.						

ცხრილში შედის დეკადების (ან დღეების) ის რიცხვი, რომელშიაც არსებობს დაწნევისა და სიმძლავრის მოცემული კომბინაცია ქრონოლოგიური გრაფიკის მთელ პერიოდში. მაგალითად, მოყვანილ ცხრილში დეკადების რიცხვი, როდესაც 5-დან 6 მ-მდე დაწნევის დროს ტურბინა მუშაობს 30-დან 40 მგვტ-მდე სიმძლავრით, შეადგენს 48, ე. ი. 480 დღეს.

ამის შემდეგ არჩეული ტურბინისათვის იგება მისი მახასიათებელი, რომელზედაც გამოისახება H და P წრფეების ბადე; ამ უკანასკნელის დახაზოფები შეესაბამება ცხრილის საფეხურებს (ნახ. 141).



ნახ. 141. ტურბინის მუშა არის არჩევის ტაბოგრაფიული მეთოდი.

ამ ბადით შექმნილი მართკუთხედების ცენტრებში შემოხაზულია წრეები ან პატარა კვადრატები, რომელთა ფართობის სიდიდე H და P სიდიდეთა მოცემული კომბინაციის განმეორების სიხშირის პროპორციულია, ხოლო წრეების შიგნით ჩაწერილია შესაბამისი დღეების (დეკადების) რიცხვი. თუ ტურბინა სწორადაა შერჩეული, მაშინ წრეების უდიდესი რიცხვი, განსაკუთრებით დიდი დღეების რიცხვით, მახასიათებლის უდიდესი მჭკის არეში დალაგდება.

თუ შევადარებთ სხვადასხვა დიამეტრისა და ბრუნთა რიცხვის შქონე ტურბინების რამდენიმე ვარიანტს, ამ მეთოდით შეიძლება მივიღოთ ამ საკითხის ყველაზე უკეთესი გადაწყვეტა (ნახ. 141).

§ 73. უნივერსალური მახასიათებელი ლოგარითმულ კოორდინატაში

უნივერსალური მახასიათებლის ასაგებად ლოგარითმული სკალის გამოყენებას დიდი უპირატესობა აქვს.

დავუშვათ, რომ ჩვენ ავაგეთ საექსპლოატაციო უნივერსალური მახასიათებელი ისე, რომ კოორდინატთა ლერძებზე H -ისა და P -ს მაგივრად გადაზომილია მათი ათობითი ლოგარითმები, ე. ი. $\lg H$ და $\lg P$.

ასეთი მახასიათებელი $K-90$ ტიპის ტურბინისათვის მოცემულია 142-ე ნახაზზე.

იმისათვის, რომ მოდელის მახასიათებლიდან გადავიდეთ ნებისმიერი სხვა ზომების ტურბინის მახასიათებელზე, როგორც ჩვენთვის ცნობილია, ლერძებზე გადაზომილი H -ისა და P -ს მნიშვნელობები უნდა გამრავლდეს შესაბამის მასშტაბურ კოეფიციენტებზე ν^2 -ზე H ლერძისათვის და ν^3 -ზე P ლერძისათვის, ე. ი. მახასიათებელი სხვა მასშტაბში უნდა გადავაკეთოთ.

ლოგარითმულ სკალაზე გამრავლების მოქმედება შეცვლილია მამრავლების ლოგარითმების შეკრებით. თუ მოდელის დაწნევა არის H_0 , ხოლო არჩეული ტურბინისა კი $H = \nu^2 H_0$, მაშინ

$$\lg H = \lg(\nu^2 H_0) = \lg H_0,$$

ანალოგიურად

$$\lg P = \lg(\nu^3 P_0) = \lg P_0.$$

მუდმივი მამრავლის ლოგარითმის მიმატება შეიძლება შევასრულოთ ლოგარითმული ბადის გადანაცვლებით შესაბამისად მამრავლის ლოგარითმის ტოლი სიდიდით. ამიტომ, თუ ლოგარითმულ სკალაზე გამოსახულ მოდელის მახასიათებელზე დაფაქრებთ გამკვირვალე ქალაქს, რომელზედაც გაკეთებულია ლოგარითმული ბადე იმავე მასშტაბში და მას ისე ვამოძრავებთ, რომ გამკვირვალე ქალაქს გამოსახული ბადის ლერძები პარალელური იყოს მახასიათებლის ლერძებისა და შესაბამისად დაცილებული იყოს მათგან სიდიდით:

$$H \text{ ლერძიდან } \lg(\nu^2) \text{-ით}$$

და

$$P \text{ ლერძიდან } \lg(\nu^3) \text{-ით,}$$

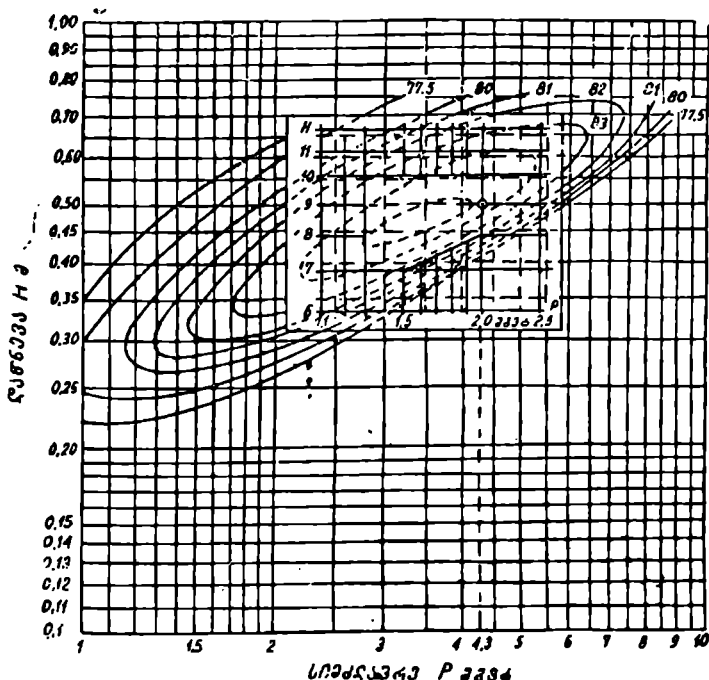
მაშინ, თუ მახასიათებელს წავიკითხავთ გამკვირვალე ქალაქის ბადეში, შეგვიძლია ვისარგებლოთ ამ მახასიათებლით ჩვენ მიერ არჩეული ტურბინისათვის.

ტურბინის დიამეტრისა და ბრუნთა რიცხვის შერჩევა განსაკუთრებით ხელსაყრელია ლოგარითმულ კოორდინატებში. მოდელის მახასიათებელი იხაზება ლოგარითმულ ქალაქზე. გამკვირვალე ქალაქზე, რომელზედაც ლოგარითმული ბადე იმავე მასშტაბშია შესრულებული, გამოიხაზება ტურბინის მუშაობის არე, შემოსაზღვრული H დაწნევისა და P სიმძლავრის უდიდესი და უმცირესი სიდიდეებით. გამკვირვალე ქალაქის გადანაცვლებით მოდელის მახასიათებლის გასწვრივ აღწევნ მის ისეთ მდებარეობას, რომ ტურბინის მუშაობის არე მდებარეობდეს უდიდესი მკვ-ის არეში. შემდეგ აიღებენ H -ისა და P -ს ერთმანეთზე დამთხვეულ მნიშვნელობებს მოდელის ძირითად ნახაზზე და გამკვირვალე ქალაქის ბადეზე.

$$v^2 \delta^2 = \frac{H}{H_0} \quad \text{და} \quad v^2 \delta^3 = \frac{P}{P_0}$$

აქედან განისაზღვრება v და δ , ხოლო მათი საშუალებით — ბრუნთა რიცხვი და ტურბინის დიამეტრი.

ცხადია, ასევე მოხერხებულად შეიძლება გამოვიყენოთ ტოპოგრაფიული მეთოდი ლოგარითმულ კოორდინატებში. ამ შემთხვევაში წრეები, რომლებიც



ნახ. 142. $\Lambda M3$ კაპლანის K-90 ტიპის ტურბინის უნიფერსალური მახასიათებელი ლოგარითმულ კოორდინატებში. $D_0=1,0$; $n_0=100$ ბრ/წმ.

გამოსახვენ H -ისა და P -ს განმეორების სიხშირეს, შეიძლება გამოსახულ იქნენ გამკვირვალე ქალაღის ბაღეზე, რომლის გადაღვიღებით ეს წრეები შეიძლება მოვათავსოთ მქკ-ის ხელსაყრელ არეში. ტურბინების დიამეტრისა და ბრუნთა რიცხვის შემდეგი გაანგარიშება, ცხადია, ისეთივე იქნება როგორც ეს ზემოთ იყო განმარტებული.

§ 74. (Q-H-P) ტიპის მახასიათებლები

ეს მახასიათებელი არის $\eta = f(H, P)$ მახასიათებლის წარმოებული და შეიძლება მარტივად აიგოს.

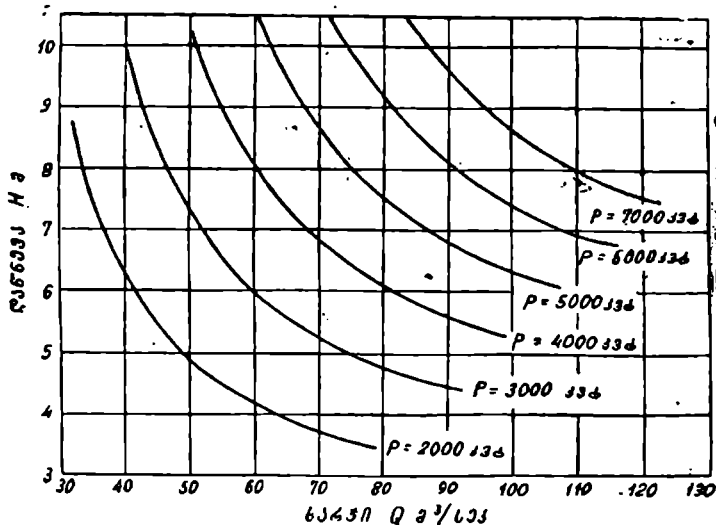
თუ სიმძლავრეს მიეცემთ რომელიმე მუდმივ მნიშვნელობას, მაგალითად, $P=6000$ კვტ $\eta = f(H, P)$ მახასიათებლის მიხედვით განისაზღვრება H და

ნეეების ის მნიშვნელობა, რომლებიც მიიღება მუდმივი წრფის გადაკვეთით შქკ-ის მრუდებთან. თუ η -ს მიღებული მნიშვნელობებით ვისარგებლებთ, შეიძლება გამოვთვალოთ P სიმძლავრისა და H დაწნევის შესაბამისი ხარჯი ფორმულით:

$$Q = \frac{P}{9,81 H \eta}$$

თუ აბსცისათა ღერძზე გადავზომავთ Q ხარჯის მნიშვნელობებს, ხოლო ორდინატათა ღერძზე მათ შესაბამის P სიმძლავრეებს, ჩვენ შევძლებთ ავაგოთ P -ს თანატოლ მნიშვნელობათა წირი.

მაგალითისათვის 143-ე ნახაზზე მოცემულია ასეთი მახასიათებელი K-90 ტიპის ტურბინისათვის, რომლისთვისაც $D=4,5$ მ და $n=83,3$ ბრ/მინ. ამ გრაფიკით სარგებლობა ძალიან მოსახერხებელია სიმძლავრის ქრონოლოგიური გრაფიკის ასაგებად დაწნევისა და ხარჯის მოცემული ქრონოლოგიური გრაფიკების მიხედვით; ეს იმიტომ, რომ ყოველთვის არ მოგვიხდება სიმძლავრის გამოთვლა ხარჯის, დაწნევისა და შქკ-ის მიხედვით.

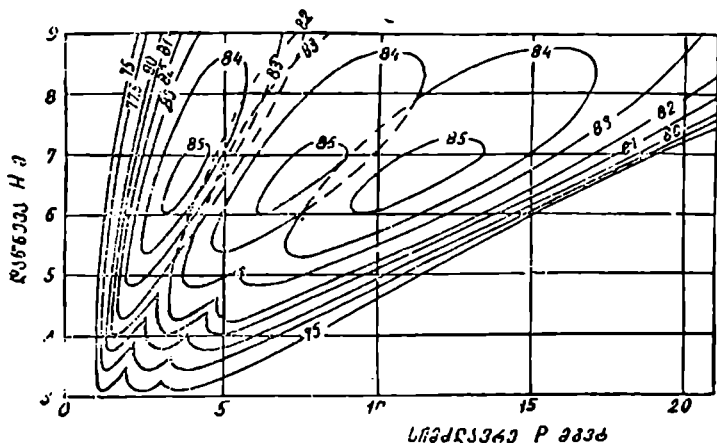


ნახ. 143. JIM კაპლანის K-90 ტიპის ტურბინის $Q-H-P$ მახასიათებელი, როდესაც $n=83,5$ ბრ/მინ; $D=4,0$ მ.

§ 75. სადგურის უნივერსალური მახასიათებლის აგება

ერთისა და იმავე ტიპის აგრეგატების შემთხვევაში სადგურისათვის შეიძლება ავაგოთ უნივერსალური მახასიათებელი, თუ H დაწნევისა და P სიმძლავრის კოორდინატთა ღერძებზე გამოვსახავთ ტოლი η შქკ-ის მქონე მრუდებს, ჯერ ერთი ტურბინისათვის, შემდეგ ორისათვის, სამისათვის და ა. შ. ორი ტურბინის შემთხვევაში ღერძზე უნდა გადავზომოთ სიმძლავრის გარკვეული მნიშვნელობა, სამი ტურბინის შემთხვევაში—გასამკვეთი და ა. შ. (ნახ. 144).

ერთი, ორი და ა. შ. ტურბინების მქკ-ის ერთისა და იმავე მნიშვნელობის მრუდები ერთმანეთს გადაკვეთენ. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ ერთისა და იმავე მნიშვნელობის P -სა და H -ზე შეიძლება მუშაობა ერთი, ორი ან სამი ტურბინით. ცხადია, სადგურის ექსპლოატაციის დროს მომუშავე აგრეგატთა რი-



ნახ. 144. სადგურის უნივერსალური მახასიათებელი კაბლანის K-90 ტიპის სამი ტურბინით.

ცხვი ისე უნდა შეეარჩიოთ, რომ მივიღოთ სადგურის მქკ-ის უდიდესი მნიშვნელობა. ამიტომ, თუ უკუვადებთ მრუდების იმ ნაწილს, რომლებიც ერთმანეთს კვეთენ (მრუდების ეს ნაწილები 144-ე ნახაზზე დატოვებულია წყვეტილი წირების სახით), მაშინ ჩვენ მივიღებთ ერთისა და იმავე მნიშვნელობის η მრუდებს, რომლებიც ნახაზზე გამოსახულია უწყვეტი წირებით. 144-ე ნახაზზე მოცემულია K-90 ტიპის სამი ტურბინის მქონე სადგურის მახასიათებელი ($D=4,5$ მ და $n=83,3$ ბრ/წთ).

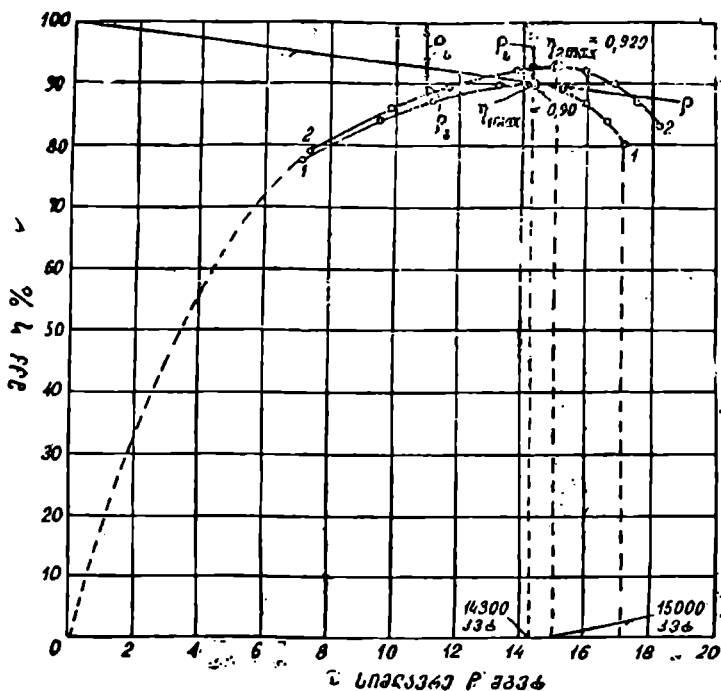
ლოგარითმულ კოორდინატებში სიმძლავრის გამრავლება 2-ზე, 3-ზე და ა. შ. (რომლებიც შეესაბამებიან სადგურის მომუშავე აგრეგატების რიცხვს), შეცვლილია ამ სიდიდეების ჯამით. ამიტომ ერთი ტურბინისათვის აგებული ტოლი მქკ-ის მრუდთა ოჯახი გადანაცვლებული უნდა იქნეს დიდი სიმძლავრეებისაკენ, ორი ტურბინისათვის 1გ2 სიდიდით, სამისათვის—1გ3-ით და ა. შ. ისე, რომ თვით მრუდები უცვლელი დარჩეს. ამ მრუდებს სადგურის უნივერსალურ მახასიათებელს უწოდებენ ლოგარითმულ კოორდინატებში.

§ 76. შესწორებათა შიბანა მუშა მახასიათებელში

მსგავსების ელემენტარული კანონის მიხედვით ზოდელის გადანგარიშებით აგებული ტურბინის მუშა მახასიათებელი საკიროებს შესწორებებს მსგავსების უფრო ზუსტი კანონების საფუძველზე.

მქკ-სა და აგრეთვე სიმძლავრის შემასწორებელი მამრავლი სამართლია-

ნია იმ დაშვებით, რომ დანაკარგები ტურბინაში გამოწვეულია მხოლოდ ხახუნის ძალებით, ხოლო ე. წ. «გრივალური დანაკარგები» არ არსებობს. ეს დაშვება შეიძლება მიღებული იყოს მხოლოდ სინამდვილესთან მიახლოებისათვის, ტურბინის მუშაობის ნორმალური რეჟიმის დროს, რომლის დროსაც იგი უდიდეს მქკ-ს ავითარებს. ამის გამო, ტურბინის მქკ-ის შესწორების ზემოთ



ნახ. 145. F-122 ტიპის ტურბინის მუშა მახასიათებელში შესწორების შეტანა ($D=2,5$ მ; $n=187,5$ ბრ/მინ; $H=37,0$ მ).

მოყვანილი მეთოდი სამართლიანია მუშა მახასიათებლის მხოლოდ იმ ერთი წერტილისათვის, სადაც მქკ უდიდესია. დანარჩენი რეჟიმის შემთხვევაში მქკ ეცემა, ე. ი. იცვლება დანაკარგები ხახუნზე და წარმოიშვება ე. წ. «გრივალური დანაკარგები». ეს უკანასკნელი გაჩნდება იმის გამო, რომ ტურბინას უოველთვის არ აქვს ნორმალური რეჟიმი, რის გამოც მასში ნაკადის სწორი ფორმა ირღვევა და ჩნდება ადგილობრივი დანაკარგები.

დავუშვათ, რომ მრული 1 გამოსახავს იმ ტურბინის მუშა მახასიათებელს, რომლის დიამეტრი $D=2,5$ მ, დაწნევა $H=37$ მ და $n=187,5$ ბრ/მინ. ეს მახასიათებელი აგებულია იმ მოდელის უნივერსალური მახასიათებლით, რომლის დიამეტრი $D_0=1,0$ მ, $H_0=3,5$ მ. მუშა მახასიათებელი აგებულია მოდელის გადაწვანების საფუძველზე დაწნევისა და დიამეტრის სიდიდეებში შესწორებითა შეტანის გარეშე. მქკ-ის უდიდესი მნიშვნელობა $\eta=0,90$ მიიღება 14300 კვტ სიმძლავრისათვის (ნახ. 145). ტურბინის სიმძლავრე 17100 კილოვატს აღწევს მიმართველი აპარატის სრული გაღების დროს.

მქკ-ის შესწორებული მაქსიმალური სიდიდე მსგავსების დაზუსტებული მეთოდის თანახმად იქნება:

$$\eta_{2max} = 1 - (1 - 0,9)^4 \sqrt{\frac{1,00}{2,5}} \cdot \sqrt{\frac{3,5}{37,0}}$$

ე. ი.

$$\eta_{2max} = 0,929.$$

ამრიგად, დანაკარგი ხახუნზე, რომელიც მოდელისათვის 10%^ა შეადგენდა, 7,1%^ბ-მდე შემცირდა.

სიმძლავრე მქკ-ის მაქსიმალური მნიშვნელობის დროს მივიღეთ 14300 კ ვტ. თუ მას შევასწორებთ ახალი მქკ-ით, მივიღებთ:

$$P = 14300 \left(\frac{0,929}{0,90} \right)^{1,5} = 15000 \text{ კვტ.}$$

ამრიგად, ნამდვილ მუშა მახასიათებელზე ვლებულობთ $\eta_{2max} = 0,929$ და $P = 15000$ კვტ.

იმისათვის, რომ გადავაკეთოთ მთელი მახასიათებელი, აუცილებელია ხახუნზე დანაკარგები გამოვყოთ „გრივალური დანაკარგებისაგან“. მსგავსების ელემენტარული კანონის მიხედვით „გრივალური დანაკარგები“ არ არის დამოკიდებული ტურბინის დიამეტრსა და დანადგარის დაწნევაზე, ამიტომ შესწორება უნდა შევითანოთ მხოლოდ ხახუნზე დანაკარგებში.

ფარდობითი დანაკარგები წარმოვიღვინოთ ორი წვერის ჯაშის სახით:

$$p_1 = p_2 + p_3,$$

სადაც p_2 —ხახუნზე დამოკიდებული დანაკარგია, ხოლო p_3 —„გრივალური დანაკარგია“.

p_3 ფარდობითი დანაკარგები ხახუნზე შეიძლება P სიმძლავრის პროპორციულად ჩავთვალოთ. ორდინატთა ლერძის იმ წერტილიდან, რომელიც შეესაბამება მქკ-ის მნიშვნელობას $\eta = 100\%$, გავაელოთ წრფე p_1 მრუდის η_{2max} -ის წერტილზე (მოდელის მქკ). მაშინ ნებისმიერი სიმძლავრისათვის p_1 წრფესა და $\eta = 100\% = \text{const}$ მნიშვნელობას შორის მოთავსებული მონაკვეთი ჩავთვალოთ p_2 სიდიდედ, ხოლო მონაკვეთი p_1 წრფესა და მქკ-ის მრუდს შორის— p_3 სიდიდედ (დანაკარგების გრივალური მდგენელი). შევითანოთ რა შესწორებას p_2 მდგენელში ისე, როგორც ეს იყო ნორმალური რეჟიმის დროს, და დავემატებთ p_3 მდგენელს, მივიღებთ შესწორებულ სიდიდეს p_2 -ს როგორც მათ ჯამს; მქკ-ის შესწორებული მნიშვნელობა იქნება $\eta_2 = 1 - p_2$.

მქკ-ის ეს შესწორებული მნიშვნელობა შეესაბამება სიმძლავრეს ვადიდებულს შესწორებული და შეუსწორებელი მქკ-ების ფარდობით, ხარისხად 1,5. ამრიგად მივიღებთ საბოლოოდ შესწორებულ მრუდს 2, რომელიც წარმოადგენს ჩვენი ტურბინის მუშა მახასიათებელს.

ტურბინების შერჩევა ჰიდროელსადგურებისათვის

§ 77. ტურბინების რიცხვის შერჩევა

ჰიდროელსადგურისათვის ტურბინების შერჩევას საფუძვლად უნდა ედოს მისი დადგენილი სიმძლავრის სიდიდე, დაწნევისა და სიმძლავრის ცვლილების რეჟიმი წლის განმავლობაში და სადგურის დატვირთვის დღელამური გრაფიკის ხასიათი, რომელიც დაკავშირებულია სადგურის ზედა და ქვედა ბიეფების დონეების ცვალებადობასთან.

ძირითად საკითხებს წარმოადგენს სადგურის აგრეგატთა რიცხვის შერჩევა და შემდეგ ტურბინების ტიპებისა და მათი სწრაფმავლობის შესწავლა.

ეს ორი საკითხი ერთმანეთთან განუყრელადაა დაკავშირებული და ერთდროულად უნდა გადაწყდეს. მას შემდეგ რაც შერჩეულია ტურბინის ტიპი და სწრაფმავლობა, უნივერსალური მახასიათებლის საშუალებით უნდა შეირჩეს მისი ძირითადი ზომები და ბრუნთა რიცხვი; შემდეგ უნდა აიგოს საექსპლოატაციო და მუშა მახასიათებლები, რომლებიც საშუალებას მოგვცემენ შევამოწმოთ რამდენად სწორად შეეარჩიეთ ტურბინები. ამის პარალელურად, საბოლოოდ ზუსტდება ელექტროგენერატორის სიმძლავრე.

აგრეგატების რიცხვის ზრდა აუშჯობებს მთელი ჰიდროელსადგურის მუშა მახასიათებლის მოხაზულობას. დიდი რიცხვის დროს აგრეგატები ყოველთვის მუშაობს მაღალი მქკ-ის არეში. თუ დატვირთვა კლებულობს და მომუშავე მანქანების მქკ ეცემა, მაშინ ერთი აგრეგატის გამორთვით შეიძლება გავადიდოთ დანარჩენი მომუშავე მანქანების დატვირთვა და ისევე ავწიოთ მათი მქკ (ნახ. 144). ამიტომ არსებული სადგურის ექსპლოატაციის დროს ყურადღება უნდა მიექციოთ იმას, რომ ყოველთვის მუშაობდეს აგრეგატების ის რიცხვი, რომელიც უზრუნველყოფს მქკ-ის უდიდეს შესაძლო მნიშვნელობას.

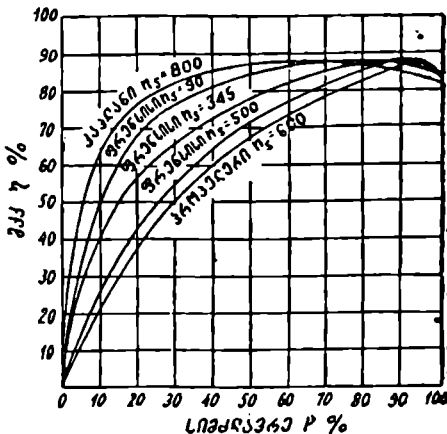
ნელმავალ ტურბინებს—პელტონისა და ფრენსისის ტურბინებს—სწრაფმავლობის კოეფიციენტით $n_r = 70 - 150$, აქვთ მუშა მახასიათებლის მრუდის თითქმის ჰორიზონტალური ფორმა. ასეთივე კარგი ფორმა აქვს კაპლანის ტურბინის მახასიათებელს იმის გამო, რომ ტურბინის მუშა ფრთები მოძრავია. ამის გამო, ჰიდროელსადგურებისათვის, რომლებშიაც მოთავსებულია ზემოთ აღნიშნული ტიპის ტურბინები, მთელი სადგურისათვის კარგი, ე. ი. ჰორიზონტალური მუშა მახასიათებლის მიღწევა შესაძლებელია აგრეგატების შედარებით მცირე რიცხვით.

პირიქით, ფრენსისის ტიპის სწრაფმავალი და განსაკუთრებით პროპელერიანი ტურბინები ხასიათდებიან მქკ-ის სწრაფი დაცემით, სიმძლავრის ოპტი-

მალური მნიშვნელობიდან გადახრის შემთხვევაში. იმისათვის, რომ მივალწიოთ სადგურის მაღალ მქკ-ს, აუცილებელია ამ ტიპის აგრეგატების უფრო მეტი რაოდენობა (ნახ. 146).

ამრიგად, ტურბინების რიცხვის შერჩევის საკითხი არ შეიძლება გადაწყვიტოთ მათი ტიპის შერჩევისაგან დამოუკიდებლად.

თუ ჰიდროელსადგური ყოველთვის იმუშავებდა ერთსა და იმავე დატვირთვაზე, მაშინ შეიძლებოდა ტურბინები ისე შეგვერჩია, რომ მათი მქკ ყოფილიყო უდიდესი. ამ შემთხვევაში შეიძლებოდა დავკმაყოფილებულიყავით აგრეგატების ძალიან მცირე რიცხვით, თუნდაც მუშა მახასიათებლის არახელსაყრელი ფორმის დროსაც კი. სინამდვილეში, დატვირთვის დღეღამური გრაფიკი, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც სადგური მუშაობს პიკის დასაფარავად, განიცდის სიმძლავრის საგრძნობ ცვლილებას და ტურბინები იძულებული არიან იმუშაონ საკმაოდ ცუდად დატვირთვის პირობებში. წლის განმავლობაში ნაკადის სიმძლავრე საგრძნობლად იცვლება; ამის გამო, ჰიდროელსადგურისათვის ენერგოსისტემის დატვირთვის გრაფიკიდან იძულებული ვართ გამოვყოთ მისი სხვადასხვა ნაწილი ბაზისიდან დაწყებული (წყლის სიქარბის პერიოდში) წვეტთან პიკებამდე (წყლის ნაკლებობის პერიოდში). ამ შემთხვევაში, სადგურის მუშა მახასიათებლის თითქმის ჰორიზონტალურობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს. ხელსაყრელი ხდება აგრეგატთა რიცხვის მატება და მით უფრო მეტად, რაც უფრო ცუდია მათი მუშა მახასიათებლის ფორმა.



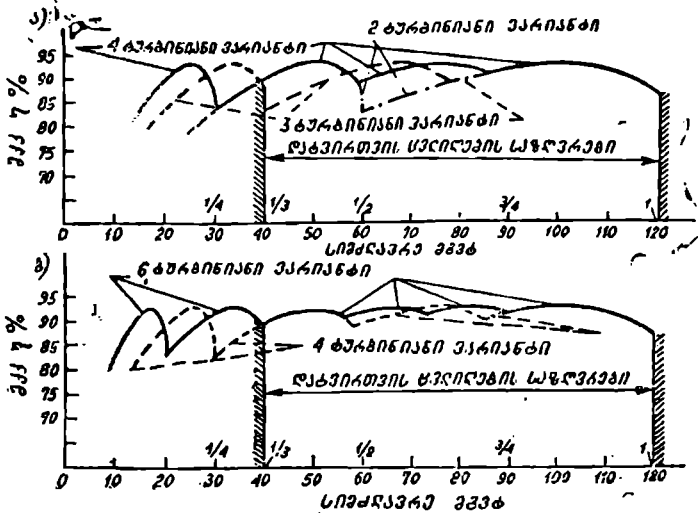
ნახ. 146. სხვადასხვა ტიპისა და სწრაფმავლობის ტურბინების მუშა მახასიათებლების შედარება.

148 ა და ბ ნახაზებზე მოცემულია საკმაოდ პოპულარული მაგალითი, რომელიც გვიჩვენებს სადგურის მქკ-ბის განსხვავებას, როდესაც სადგური ოთხაგრეგატიანია, მაგრამ პროპელერიათ ტურბინები შეცვლილია კაპლანის ტურბინებით. აქვე მოცემულია ამ შეცვლით გამოწვეული მოხმარებული წყლის რაოდენობათა შორის განსხვავება. როგორც ამ მაგალითიდან ჩანს, კაპლანის ტურბინის უპირატესობა საკმაოდ დიდია, თუნდაც ოთხი აგრეგატის შემთხვევაში. მათი მცირე რიცხვის დროს ეს უპირატესობა იქნება კიდევ უფრო მეტი.

148 ა, და ბ ნახაზებზე მოცემულია იმ სადგურის მუშა მახასიათებელი, რომელშიაც მოთავსებულია ფრენსისის F-123 ИМЗ ტიპის ტურბინები სწრაფმავლობის კოეფიციენტით $n_s = 300$. აქ მოცემულია ოთხი ვარიანტი, როდესაც დანადგარი შედგება ორი, სამი, ოთხი და ექვსი აგრეგატისაგან.

დავუშვათ, რომ სადგურის დატვირთვა ყოველთვის მოთავსებულია საზღვრებში 40-დან 120 მგვტ-მდე, ე. ი. ერთი მესამედიდან სრულ დატვირთვამდე. როგორც ამ შედარებიდან ჩანს, ოთხაგრეგატიანი ვარიანტი სიმძლავრის ცვლილების მოცემული არისათვის იძლევა სადგურის მახასიათებლის უფრო

და სადგურის შენობის ლირებულება იზრდება. ამ მოსაზრებით მათი რიცხვის შემცირება ხელსაყრელია. მეორე მხრივ, აგრეგატა რიცხვის შემცირებით იზრდება ტურბინების სიმძლავრე და დიდდება მათი ზომები. ამის გამო, დიდი ტურბინების განხორციელების ტექნიკური შესაძლებლობა შეიძლება წარმოადგენდეს აგრეგატა რიცხვის შემცირების ზღვარს. ამის ნამდვილ მაგალითს



ნახ. 148. მუშა მახასიათებელი ორ-სამ-, ოთხ-და ექვსტურბინიანი (F-123 JIM3) სადგურისათვის.

წარმოადგენს დნეარის ჰიდროელსადგური. სადგურის უდიდესი სიმძლავრის გამო, საჭირო გახდა ფრენისის ტიპის 5,8მ-მეტრიანი დიამეტრის მქონე ცხრა ტურბინის დადგმა; ასეთი ტიპის ტურბინებისათვის აღნიშნული დიამეტრი ზღვარს წარმოადგენს.

მსოფლიოში უდიდესი დიამეტრი აქვს შანსი-ჰუნის დანადგარის ფრენისის ტიპის ტურბინას, რომლის დიამეტრია 6,0 მ. შვედეთის ვარიონის სადგურში დადგმულია კაპლანის რეამეტრიანი დიამეტრის მქონე ტურბინები. კაპლანის ტიპის ტურბინების სარეკორდო დიამეტრი 9,0 მ ეკუთვნის საბჭოთა კავშირის ჰიდრომშენებლობას. ეს ზომები ამჟამად ზღვრულ ზომებს წარმოადგენს¹.

აგრეგატა რიცხვის უმცირეს სიდიდელ უნდა ჩაითვალოს ო რი, ვინაიდან ერთი აგრეგატის შემთხვევაში, თუ იგი გაჩერდა ავარიის ან შეკეთების საჭიროების გამო, სადგური მთლიანად გამოდის მწყობრიდან. ერთაგრეგატიანი დანადგარი შეიძლება დაეუწყეთ მხოლოდ მცირე სიმძლავრის სადგურებისათვის, რომლებიც გაერთიანებული არიან დიდ ელექტროსისტემაში და მათი გაჩერება არ იმოქმედებს სისტემის მუშაობაზე. ორი ან მეტი აგრეგატის შემთხვევაში, შეკეთებისათვის საჭირო გაჩერება ყოველთვის შეიძლება

¹ ეს ზღვარი დიდი ხანია ვადიდებულობა; კუბიშევჭესისა და სტალინგრადის ტურბინები, რომლებიც დამზადებულია ლენინგრადის ლითონის ქარხანაში და აგრეთვე ანგარჰესის მთავალი ტურბინები გაცილებით უფრო დიდი სიმძლავრისაა, ვიდრე დნეარის ტურბინები.

შევეუთავსოთ წყალმცირე პერიოდს, როდესაც დანარჩენი აგრეგატები მდინარის მთელ ხარჯს მთლიანად გამოიყენებენ.

უნდა აღინიშნოს, რომ ორ აგრეგატს შეუძლია მოგვეცეს სადგურის კარგი მქე მხოლოდ ჰორიზონტალურთან ახლო მუშა მახასიათებლის მქონე ტურბინების გამოყენების შემთხვევაში (კაპლანის ტურბინა ან ძალიან ნელმავალი ტურბინები). გარდა ამისა, ასეთ სადგურში ერთი აგრეგატის გაჩერება ამცირებს მის სიმძლავრეს 50%-ით, ე. ი. საკმაოდ საგრძნობლად, ამიტომ ამ საკითხის გადაწყვეტა ორი აგრეგატის შერჩევაზე დაყრდნობით გამართლებული იქნება იშვიათ შემთხვევებში.

სამი და ოთხი აგრეგატი უკვე კარგად აქმაყოფილებს ყველა მოთხოვნას და იძლევა საკითხის სრულ ეკონომიურ გადაწყვეტას როგორც დანადგარის ღირებულების თვალსაზრისით, ისე სადგურის მაღალი მქე-ის მხრივ. ამიტომ აგრეგატთა რიცხვის ოთხზე მეტად გადიდება გვიხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მუშა თელის ზომები ისეთი დიდი გამოდის, რომ ძნელია მისი დამზადება ან არახელსაყრელია ტრანსპორტისათვის თავისი გაბარიტებით.

სადგურის ელექტრონაწილის გაყოფის თვალსაზრისით, ოთხი და საერთოდ აგრეგატთა წყვილი რიცხვი გამოყენებულია აგრეგატების სექციებად დაყოფისათვის. მაგალითად, როდესაც სადგურიდან გადის ორი გადამცემი ხაზი და თითოეული მათგანი შეიძლება იკვებებოდეს ორ-ორი აგრეგატით ცალ-ცალკე, სადგურის საერთო სალტებთან კავშირის გარეშე.

საბჭოთა კავშირის უდიდესი ჰიდროელსადგურებიდან:

ორი ტურბინა აქვს 1 სადგურს;	ექვსი ტურბინა — 1 სადგურს;
სამი ტურბინა — 3 სადგურს;	რვა ტურბინა — 1 სადგურს;
ოთხი ტურბინა — 8 სადგურს;	ცხრა ტურბინა — 1 სადგურს.

ყველა სადგური, რომლებსაც ოთხზე მეტი აგრეგატი აქვთ, მოწყობილია იმ ეპოქის ზღვრული ზომების ტურბინებით, რომელშიაც ისინი შენდებოდა, ასე რომ მათი აგრეგატთა რიცხვის შეკცირება ტექნიკურად შეუძლებელი იყო. სადგურში სხვადასხვა სიმძლავრის აგრეგატების დადგენის საკითხი ხშირად წამოიჭრებათ საპროექტო ორგანიზაციებში მომუშავე ინჟინრებს.

უცხოეთის დანადგარებში გვხვდება სადგურები სხვადასხვა სიმძლავრის აგრეგატებით. ეს შეიძლება ავხსნათ შემდეგი მიზეზებით:

1. მისი არსებობის პირველ წლებში სადგურის სრული სიმძლავრე შეიძლება გაცილებით დიდი იყოს, ვიდრე მოხმარების სიმძლავრე. სადგურის გაფართოება წარმოებს რიგრიგობით დროის დიდ მონაკვეთში, ვინაიდან მოხმარება ნელა იზრდება. თუ სრული სიმძლავრის განვითარებისათვის ავირჩევთ დიდი სიმძლავრეების მქონე აგრეგატების მცირე რიცხვს, მაშინ მშენებლობის პირველ რიგში ერთი აგრეგატი შეიძლება საკმარისი იყოს და სადგურმა ხანგრძლივად იმუშაოს სიმძლავრის რეზერვის გარეშე. რომ უზრუნველყოთ რეზერვი, საჭიროა ორი აგრეგატის დადგმა. ზოგჯერ ამის მაგივრად მიზანშეწონილად თვლიან პირველ რიგში სიმძლავრის დაყოფას ორი ან სამი აგრეგატის სიმძლავრედ, ხოლო სადგურის გაფართოების დროს კი—უფრო დიდი აგრეგატების დადგმას¹.

აგრეგატების მცირე რიცხვის დროს, პატარა სიმძლავრის ერთი აგრეგა-

¹ სრულიად ანალოგიური მდგომარეობა იყო ზაქისის მშენებლობის დროს. პირველი რიგის მშენებლობის დროს დაიდგა სამი „პატარა“ აგრეგატი, მეორე რიგის მშენებლობის დროს— ორი „დიდი“ აგრეგატი. მთარგმნელი

ტის საშუალებით, მცირე დატვირთვის შემთხვევაში, შეიძლება მივიღოთ მაღალი მქც.

ჩვენს ქვეყანაში მრეწველობისა და ენერგომომხარების სწრაფი და მაღალი ტემპების გამო, პირიქით, ახალი სადგურის მოგვიანებით შეყვანა მწყობრში უფრო მოსალოდნელია, ვიდრე მათთვის მომხმარებლის არარსებობა. სადგურები, რომლებიც შორეულ რაიონებშიც კი შენდება და რომლებსაც პიონერული მნიშვნელობა აქვთ, ხშირად მთლიანად დატვირთული აღმოჩნდებიან ექსპლოატაციის პირველი დღეებიდანვე, ვინაიდან მრეწველობის განვითარება და სადგურების მშენებლობა ერთი საერთო გეგმით წარმოებს. ამიტომ მშენებლობის რიგებად დაყოფისა და პირველი რიგის სიმძლავრის შედეგად ერთ სადგურში სხვადასხვა ზომის აგრეგატების დადგმის მეთოდი ჩვენში არ არის გავრცელებული.

2. ერთ სადგურში სხვადასხვა ტიპის აგრეგატების არსებობის მეორე მიზეზი შეიძლება იყოს სხვადასხვისი ხშირიანი დენის ელექტროტექნიკის არსებობა. პრაქტიკაში, გერმანიის, შვეიცარიისა და იტალიის ზოგიერთი სადგურიდან გამოდის ორი ან მეტი სადენი სხვადასხვა სიხშირით. მაშინ როდესაც სამრეწველო დატვირთვა იკვებება 50-პერიოდის ნორმალური სიხშირის სამფაზიანი დენით, ელექტროფიცირებული რკინიგზის ტრანსპორტი მუშაობს დაბალ სიხშირეზე, ჩვეულებრივ, 16 ან 12,5 პერიოდით და ხშირად ერთფაზიანი დენით. ამის გამო, სადგურში გამოყოფილია აგრეგატები 50-პერიოდის სიხშირის დენით მრეწველობის ობიექტების მომსახურებისათვის, ხოლო წვეისათვის კი სხვა აგრეგატები მუშაობს.

ვინაიდან წვეის დატვირთვა ნაკლებია მრეწველობის დატვირთვაზე, ამიტომ წვეის აგრეგატები გამოდის მცირე სიმძლავრის, ვიდრე მრეწველობის აგრეგატები.

სამჭოთა კავშირის პირობებში ეს მოტივი გამოირიცხულია, ვინაიდან ჩვენში შემოღებულია ერთიანი სტანდარტული სიხშირე (50-პერიოდის), ხოლო რკინიგზების ელექტროფიკაცია წარმოებს მუდმივი დენით. რკინიგზის ქვესადგურები იკვებება სამფაზიანი დენით 50-პერიოდის სიხშირის საერთო ქსელიდან; შემდეგ ეს დენი ქვესადგურებში მუდმივ დენად გარდაიქმნება.

თუ მხედველობაში მივიღებთ ზემოთ თქმულს, მაშინ ჩვენ იმ დასკვნამდე მივალთ, რომ სხვადასხვა სიმძლავრის აგრეგატების არსებობა ერთ სადგურში არაფრით არ არის გამართლებული, ვინაიდან მას აქვს მთელი რიგი ნაკლოვანებები. პირველყოფლისა, 1 კვტ-ის ღირებულება მცირე სიმძლავრის აგრეგატებისათვის ყოველთვის უფრო ძვირია. სამშენებლო სამუშაოების მოცულობაც აგრეთვე მატულობს, მით უმეტეს, რომ დიდ და პატარა აგრეგატებს ერთი ამწე უნდა მოემსახუროს, რის გამოც შენობის გაბარიტები განისაზღვრება დიდი აგრეგატების ზომებით.

ერთ სადგურში სხვადასხვა სიდიდის დანადგარების შემთხვევაში თითოეულ აგრეგატს უნდა ჰქონდეს თავისი სათადარიგო ნაწილები, მაშინ როდესაც ერთისა და იმავე დანადგარების შემთხვევაში შეიძლება დავკმაყოფილდეთ ამ ნაწილების ერთი კომპლექტით.

სხვადასხვა სიდიდისა და ტიპის აგრეგატები უფრო მოუხერხებელია ექსპლოატაციისათვის და მოსამსახურე პერსონალის დიდ ყურადღებას მოითხოვს.

ამიტომ არ შეიძლება რეკომენდებული იყოს სხვადასხვა სიმძლავრის აგრეგატების გამოყენება; ეს შეიძლება დაშვებული იყოს განსაკუთრებულ შემთხვევაში, როდესაც საკითხის ასეთი გადაწყვეტისათვის არსებობს განსაკუთრებით სსფუძვლიანი მისაზრება.

ძირითადი მახასიათებელი კოეფიციენტი, რომელიც ტურბინების სერიისთვის ასახავს, ეს არის სწრაფმავლობის კოეფიციენტი.

მისი სიდიდე შეიძლება გამოსახულ იქნეს ორგვარად:

$$n_2 = n_1 \sqrt{P_1} = \frac{n \sqrt{P}}{H \sqrt{H}}. \quad (35)$$

ამრიგად, n_2 კოეფიციენტი, ერთი მხრივ, არის ფუნქცია ორი n_1 და P_1 მახასიათებელი პარამეტრებისა და, მეორე მხრივ, იგი გამოსახავს მოცემული სერიის ტურბინების სიმძლავრის, ბრუნთა რიცხვისა და დაწნევის ურთიერთდამოკიდებულებას.

თუ განვიხილავთ გამოსახულებას:

$$n_2 = n_1 \sqrt{P_1},$$

ჩვენ დავინახავთ, რომ ტურბინის სწრაფმავლობა მით მეტია, რაც მეტი იქნება n_1 და P_1 .

დაყვანილი (კუთრი) ბრუნთა რიცხვი n_1 პელტონის ტიპის ტურბინებისათვის არ არის დამოკიდებული სწრაფმავლობის კოეფიციენტზე და აქვს მნიშვნელობა $n_1 = 37 - 39$ ბრ/მინ. ფრენისის ტიპის ნელმავალი ტურბინებისათვის ლენინგრადის მანქანათმშენებლობის ქარხნის მონაცემებით დაყვანილი ბრუნთა რიცხვი იცვლება 60 ბრ/მინ-დან 75 ბრ/მინ-მდე (სწრაფმავლობის კოეფიციენტით დაახლოებით $n_2 = 300$); ზესწრაფმავალი ტურბინებისათვის ($n_2 = 350 - 425$) იგი აღის 90 - 96 ბრ/მინ-მდე. კაპლანის პროპელერაიანი ტურბინებისათვის — 120 - 160 ბრ/მინ-მდე და მეტიც, სწრაფმავლობის მიხედვით.

ერთსა და იმავე დიამეტრისა და დაწნევის შემთხვევაში დიდი სწრაფმავლობის ტურბინებს აქვს უფრო მეტი n_1 და ავითარებს უფრო მეტ ბრუნთა რიცხვს.

მეორე მხრივ, სწრაფმავლობის ზრდით კუთრი ბრუნთა რიცხვი n_1 შედარებით უფრო ნელა იზრდება; უფრო სწრაფად იზრდება P_1 . მაგალითად, ჩვენი ქარხნის ფრენისის ტიპის ტურბინები იძლევა კუთრი სიმძლავრეს $P_1 = 2,6$ ცდ, როდესაც $n_2 = 100$; ხოლო, როდესაც $n_2 = 400$, მაშინ $P_1 = 15,5$ ცდ. კაპლანის ტიპის ტურბინებისათვის კუთრმა სიმძლავრემ შეიძლება მიაღწიოს $P_1 = 20$ ცდ-მდე.

რაც უფრო სწრაფმავალია ტურბინა მით მეტია მისი კუთრი სიმძლავრე, ე. ი. მოცემული დაწნევისა და დიამეტრის დროს მით უფრო მეტ სიმძლავრეს განავითარებს იგი.

ტერმინი „სწრაფმავლობა“ წარმოდგენას იძლევა ტურბინის მხოლოდ ერთ თვისებაზე — რამდენად უფრო უნარიანია მანქანა განავითაროს დიდი ბრუნთა რიცხვი, მაგრამ არ ასახავს მეორეს, არანაკლებ საგულისხმოს — მის უნარს მოგვეცეს მეტი სიმძლავრე მცირე დიამეტრისა და დაწნევის დროს.

სხვადასხვა დაწნევებისა და სიმძლავრეების დროს, ერთსა და იმავე ტურბინას, ცხადია, ექნება სხვადასხვა სწრაფმავლობის კოეფიციენტი. ეს გამომდინარეობს იქიდან, რომ სწრაფმავლობის კოეფიციენტი, ისე როგორც მოცემული სერიის ყველა სხვა მახასიათებელი კოეფიციენტი, ინარჩუნებს მუდმივ სიდიდეს მხოლოდ იზოგონალური¹ რეჟიმისათვის. დაწნევისა და სიმძლავრის

¹ ერთსა და იმავე (ბერძნული სიტყვიდან isogonios).

შეცვლით, მუდმივი ბრუნთა რიცხვის შემთხვევაში, იცვლება ტურბინის მუშაობის რეჟიმი, ე. ი. იცვლება სერიის მახასიათებელი კოეფიციენტები, მათ რიცხვში n_2 -იც. ამიტომ, რომ ვისარგებლოთ n_2 სიდიდით, როგორც სერიის ძირითადი მახასიათებლით, აუცილებელია ზუსტად დაემაძიროთ ის რეჟიმი, რომლისთვისაც გამოთვლილია n_2 .

ყველაზე უფრო სწორი იქნება ძირითად რეჟიმად მივიღოთ ის პირობები, რომლის დროსაც ტურბინა მუშაობს უდიდესი მქკ-ით. შემდეგში, ყველგან, სადაც ლაპარაკი იქნება სწრაფმავლობის იმ მნიშვნელობაზე, რომელიც ტურბინის მქკ-ის უდიდეს მნიშვნელობას, ე. ი. ოპტიმალურ რეჟიმს, შეესაბამება. ჩვენ მას n_{20} -ით აღვნიშნავთ.

მაგრამ, ზოგჯერ პრაქტიკაში, სწრაფმავლობის გამოსათვლელად ფორმულაში P სიდიდედ იღებენ მაქსიმალური დაწნევის დროს ტურბინის მიერ განვითარებულ სიმძლავრეს. შემდეგში, თუ ჩვენ გამოვიყენებთ n_2 -ის აღნიშვნას O ინდექსის გარეშე, ვიგულისხმებთ, რომ ეს არის სწრაფმავლობის მნიშვნელობა, გამოთვლილი მქკ-ისა და სიმძლავრის უდიდესი მნიშვნელობის დროს, მოცემულ დაწნევაზე.

ტურბინის სიმძლავრესა და ბრუნთა რიცხვს შორის დამოკიდებულება, მოცემული დაწნევის დროს, განისაზღვრება სწრაფმავლობის კოეფიციენტის ფორმულით:

$$n_2 = \frac{n\sqrt{P}}{H\sqrt{H}};$$

ამ ფორმულაში სიმძლავრე ცხენის ძალებშია გაზომილი და n_2 -ის მნიშვნელობა, რომელიც ტურბინისათვის ყოველთვის მოცემულია, გამოთვლილია სწორედ სიმძლავრის ამ ერთეულებში, თუმცა თვით სიმძლავრე ხშირად კილოვატებშია მოცემული.

სწრაფმავლობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ტურბინის თანამედროვე ტიპებისათვის მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ 23-ე ცხრილში.

ცხრილი 23

ტურბინების ტიპები		შენიშვნა
1. პელტონის ტურბინა	2—25	უმცირესი $n_2=2,7$ აქვს დანადგარს, რომლის დაწნევა $H=1650$ მ
2. ფრენისის ტურბინები:		იშვიათად 70-ზე ნაკლები
ა) ნელმავალი	50—150	
ბ) ნორმალური	150—250	
გ) სწრაფმავალი	250—350	
დ) ზესწრაფმავალი	350—450	
3. კაპლანისა და პროპელერიალი ტურბინები	300—1000	შეიძლება შეიცვალოს კაპლანის ან პროპელერიალი ტურბინებით

ტურბინის სწრაფმავლობის შერჩევის დროს ყოველთვის სასურველია მივიწრაფოდეთ დიდი ბრუნთა რიცხვის მიღებისაკენ.

გენერატორების ზომები, როგორც შემდეგ დავინახავთ, განისაზღვრება ე. წ. „მანქანის მუდმივათი“:

$$C = \frac{D^2 I_n}{P},$$

სადაც D და l შესაბამისად არიან სტატორის აქტიური რკინის შიგა დიამეტრი და სიგრძე, n —ბრუნთა რიცხვი მინუტში, P —სიმძლავრე კილოვოლტამპერებში.

თეორიულად გენერატორის წონა D^2l -ის პროპორციულია, ე. ი.

$$D^2l = C \frac{P}{n}$$

აქედან გამოდის, რომ გენერატორის წონა მისი სიმძლავრის პროპორციულია და მცირდება ბრუნთა რიცხვის გადიდების პროპორციულად. ვინაიდან ბრუნთა რიცხვის გაზრდით გენერატორის დიამეტრი მცირდება, ამიტომ ამით შემცირდება აგრეთვე მათ მიერ სადგურში დაკავებული ადგილი. მეორე მხრივ, გენერატორის ძალიან დიდმა ბრუნთა რიცხვმა, რომელიც კონსტრუქციულ ვართულებას იწვევს, შეიძლება გააუქმოს ეს უპირატესობა. გენერატორებისათვის, 5-დან 50 მგვტ-მდე სიმძლავრით, ხელსაყრელ ბრუნთა რიცხვებად ითვლება 500—600 ბრ/მინ ქვედა ზღვარისათვის და 300—375 ბრ/მინ ზედა ზღვარისათვის.

ბრუნთა რიცხვის შემდგომი ზრდა არ არის ხელსაყრელი. ჰიდროელსადგურის ჰიდროგენერატორისათვის უდიდეს ბრუნთა რიცხვად ითვლება 750 ბრ/მინ, მაგრამ დაბალი დაწნევის შემთხვევაში ასეთი ბრუნთა რიცხვი მიუღწეველია და ამიტომ იძულებული ვართ აგრევატი ვამუშაოთ უფრო ნაკლები ბრუნთა რიცხვით.

ტურბინის ბრუნთა რიცხვი, თუ იგი ერთ ლილეზეა მიერთებული გენერატორთან, უნდა იყოს სინქრონული, ე. ი. უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას:

$$f = \frac{pn}{60}$$

სადაც p —გენერატორის წყვილპოლუსთა რიცხვია და

f —გენერატორის მიერ გამომუშავებული დენის სიხშირე.

საბჭოთა კავშირში მიღებულია სტანდარტული სიხშირე $f=50$ პერიოდისეკუნდში, რის გამოც გვექნება

$$n = \frac{3000}{p} \text{ ბრ/მინ.}$$

p შეიძლება იყოს ნებისმიერი მთელი რიცხვი. პრაქტიკაში, დაწყებული 8-დან და მეტი პოლუსთა რიცხვი აიღება წყვილი, ხოლო თუ p დიდი რიცხვია, მაშინ—4-ის ჯერადი.

24-ე ცხრილში მოცემულია ხმარებაში მიღებული p და n .

ცხრილი 24

წყვილპოლუსთა რიცხვი p	n ბრ/მინ	წყვილპოლუსთა რიცხვი p	n ბრ/მინ	წყვილპოლუსთა რიცხვი p	n ბრ/მინ	წყვილპოლუსთა რიცხვი p	n ბრ/მინ
1	2	3	4	5	6	7	8
4	750	14	214	32	93,8	52	57,7
5	600	16	187,5	34	88,2	56	53,6
6	500	18	166,7	36	83,3	60	50
7	428	20	150	40	75	64	46,9
8	375	24	125	44	68,2	68	44,1
10	300	28	107	48	62,5	—	—
12	250	30	100	50	60	—	—

შენიშვნები: 1. ბრუნთა რიცხვები, რომლებიც ცხრილში მსხვილი შრიფტით არის აღნიშნული ქარხანა „ელექტროსილა“-ს ცნობარში არის შეტანილი.

2. უმცირესი ბრუნთა რიცხვი 46,9 ბრ/მინ გამოყენებულია შედურ დანადგარ ვარიონში, სადაც $H=4,3$ მ.

თუ ცნობილია დანადგარის დაწნევა და ერთი ტურბინის სიმძლავრე, მაშინ n -სა და n_s -ს შორის მიიღება პროპორციული დამოკიდებულება.

მაგალითი 1. გამოვთვალოთ იმ ტურბინის ბრუნთა რიცხვი, რომლის სიმძლავრეა $P=10\ 000$ ცდ და მუშაობს $H=10$ მ დაწნევაზე.

ვპოულობთ, რომ

$$n_s = \frac{n\sqrt{10000}}{10\sqrt[4]{10}} \approx 5,6n.$$

სხვადასხვა სინქრონული ბრუნთა რიცხვებისათვის გამოვთვალოთ n_s :

$$\begin{aligned} n \text{ ბრ/მინ} &= 100 & 125 & 150 & 187,5 \\ n_s &= 560 & 700 & 840 & 1050 \end{aligned}$$

მიღებული სწრაფმავლობის კოეფიციენტების სიდიდეები შეესაბამება კაპლანის ან პროპელერის ტურბინებს. ბრუნთა რიცხვის შემცირება 125—150 ბრ/მინ-ზე ქვემოთ არაახელსაყრელია. დიდი ბრუნთა რიცხვები საჭირო არ არის, ვინაიდან n_s ძალიან დიდი გამოდის.

2. იმავე $P=10\ 000$ ცდ სიმძლავრისა და $H=200$ მ დაწნევის დროს გვექნება:

$$n_s = \frac{n\sqrt{10000}}{200\sqrt[4]{200}} \approx 0,133n.$$

$$\begin{aligned} n \text{ ბრ/მინ} &= 600 & 500 \\ n_s &= 80 & 67 \end{aligned}$$

ე. ი. ფრენსისის ნელმავალი ტურბინით შეიძლება მივალწიოთ დიდ ბრუნთა რიცხვს.

3. ვთქვათ იმავე $H=200$ მ დაწნევაზე უნდა შევარჩიოთ ტურბინა $P=1000$ ცდ სიმძლავრით.

$$n_s = \frac{n\sqrt{1000}}{200\sqrt[4]{200}} \approx 0,042n.$$

$$\begin{aligned} n \text{ ბრ/მინ} &= 600 & 500 \\ n_s &= 25,2 & 21,0. \end{aligned}$$

იგივე ბრუნთა რიცხვი იმავე დაწნევის, მაგრამ მცირე სიმძლავრის დროს მოითხოვს უფრო ნელმავალი ტურბინის გამოყენებას. მიღებული n_s -ის მნიშვნელობის თანახმად უნდა არჩეულ იქნეს პელტონის ტურბინა.

მცირე დაწნევების არეში, 30 მეტრამდე, შეიძლება შევარჩიოთ ერთი რომელიმე სამი ტიპიდან: ფრენსისის, პროპელერიანი ან კაპლანის ტურბინა. ფრენსისის ტურბინა ამ შემთხვევაში საკმაოდ არაახელსაყრელია დანარჩენ ორ ტიპთან შედარებით, ვინაიდან მისი სწრაფმავლობა პატარაა, ვიდრე დანარჩენი ორისა. გარდა ამისა, ტურბინმშენებლობის პრაქტიკამ დაგვანახვა, რომ კაპლანისა და პროპელერიანი ტურბინები შეიძლება უფრო დიდი დიამეტრისა გაკეთდეს, ვიდრე ფრენსისის ტურბინა, ამიტომ უკანასკნელი ტურბინა არ შეიძლება გამოვიყენოთ, თუ აგრეგატს დიდი სიმძლავრე უნდა ჰქონდეს.

კონკურენცია პროპელერიანი და კაპლანის ტურბინებს შორის უკვე დამთავრებულია; უპირატესობა ეკუთვნის კაპლანის ტურბინას. პროპელერიანი ტურბინის ერთადერთი უპირატესობა ეს არის ნაკლები სირთულე და აქედან

ვამომდინარე, შედარებით ნაკლები ღირებულება. კაპლანის ტურბინა იმის გამო, რომ მისი მუშა ფრთების მამოძრავებელი მექანიზმი საკმაოდ რთულია და ტურბინის თვით ლილვშია მოთავსებული, უცხოეთის ქარხნების მონაცემებით 35—40%-ით ძვირად არის ღირებული, ვიდრე პროპელერიათი ტურბინა. მაგრამ, თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ მთელი მშენებლობის ღირებულებასთან შედარებით ეს განსხვავება უმნიშვნელოა 2—3% და რომ კაპლანის ტურბინას აქვს უფრო მაღალი მქკ, ზედმეტად გამოუმუშავებული ელექტროენერჯის ღირებულებით ეს განსხვავებაც მოკლე დროში დაიფარება (ნახ. 147).

კაპლანის ტურბინას აქვს ერთი უპირატესობა, რომლითაც იგი განსაკუთრებით ძვირფასია. თუ შევადარებთ კაპლანისა და პროპელერიათი ტურბინების საექსპლოატაციო უნივერსალურ მახასიათებლებს (ნახ. 164 და 166), მაშინ უნდა აღვნიშნოთ, რომ კაპლანის ტურბინებს მქკ-ის უდიდესი მნიშვნელობის სფეროში აქვს დიდი არე, მაშინ როდესაც პროპელერიათი ტურბინების მახასიათებელი ამ არეში მყისად ეცემა როგორც დაწნევის, ისე სიმძლავრის ცვლილების დროს. ვინაიდან დაბალდაწნევიან დანადგარებში, სადაც უმთავრესად ეს ტურბინებია გამოყენებული, დაწნევის სიდიდე ძალიან იცვლება, ამიტომ კაპლანის ტურბინებს დიდი გამოყენება აქვს. მაშინ, როდესაც დაწნევის დაკლებასთან ერთად პროპელერიათი ტურბინის მაქსიმალური სიმძლავრე ეცემა, კაპლანის ტურბინები რჩება მაღალი მქკ-ის არეში და ინარჩუნებს თავის სიმძლავრეს. თუ დავნიშნავთ მაღალი მქკ-ის არეში სიმძლავრის შეზღუდვის სიდიდეს (გენერატორის სიჩქარის რეგულატორის საშუალებით), ცვლადი დაწნევის დროს შეიძლება უზრუნველყოთ ტურბინის მუდმივი მაქსიმალური სიმძლავრე. ამის გამო, დაბალდაწნევიან დანადგარებში კაპლანის ტურბინა ყველაზე უფრო ხელსაყრელია.

ვინაიდან პროპელერიათი ტურბინების სიმძლავრე დაწნევის შემცირებასთან ერთად მცირდება, ამიტომ სადგურს უნდა ჰქონდეს სხვა ტურბინებიც, რომლებიც იმუშავებდნენ მხოლოდ დაბალი დაწნევის შემთხვევაში, რაც იწვევს სადგურის ღირებულების ზრდას მიუხედავად იმისა, რომ თვით ძირითადი პროპელერიათი ტურბინები კაპლანის ტურბინებთან შედარებით უფრო იაფია.

ექსპლოატაციის დროს საჭიროა მივიწრაფოდეთ იმისაკენ, რომ ტურბინები რაც შეიძლება დიდი დროის განმავლობაში მუშაობდეს მაღალი მქკ-ით. ამიტომ მცირე ხარჯების პერიოდში უნდა მუშაობდეს ტურბინების ისეთი რაოდენობა, რომელთა დატვირთვა თითოეული მათგანისათვის შეძლებისდაგვარად ახლოს იქნება მქკ-ის მაქსიმუმთან. პროპელერიათი ტურბინებისათვის ეს ნიშნავს თითქმის სრულ დატვირთვას, ვინაიდან მისი მქკ-ის მაქსიმუმი შეესაბამება სრული დატვირთვის 90—95%-ს.

ამრიგად მომუშავე პროპელერიათ ტურბინებს თითქმის არ აქვს სიმძლავრის მარაგი. კაპლანის ტურბინების მქკ-ის მაქსიმუმი შეესაბამება დატვირთვის 70—75%-ს; თუ ექსპლოატაციას ნორმალურად ვაწარმოებთ, ე. ი. აგრეგატები დატვირთული იქნება ამ სიმძლავრით (მაგალითად, სამი აგრეგატის სრული დატვირთვა გავანაწილოთ ოთხ აგრეგატზე, ე. ი. თითოეული აგრეგატი დატვირთოთ 75%-ით), მაშინ სადგურს ექნება დიდი მარაგი მბრუნავი რეზერვის სახით, რომელიც ქსელშია მიერთებული და მზადაა ნებისმიერ დროში მიიღოს სწრაფად გადიდებული დატვირთვა. კაპლანის ტურბინების ეს თვისება ყოველთვის უნდა იქნეს გამოყენებული ექსპლოატაციაში და ტურბინების ტიპების შერჩევის დროს მხედველობიდან არ უნდა გამოგვრჩეს.

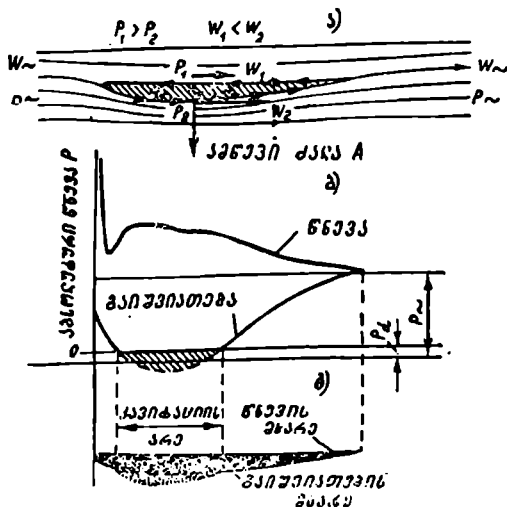
ზემოთ აღნიშნული ყველა უპირატესობა გვარწმუნებს, რომ კაპლანის ტურბინის შეცვლა პროპელერიათ მიზანშეწონილი არ არის.

პროპელერიათ ტურბინებზე უფრო კარგ თვისებებს ამჟღავნებს კაპლან-ტომანის ტურბინა, რომელსაც მიმართველი აპარატის უძრავი და მუშა თვლის მოძრავი ფრთები აქვს. მისი შუკ უფრო ნელა მცირდება დაწნევისა და სიმძლავრის ცვლილებასთან ერთად, ვიდრე პროპელერიათ ტურბინისა. მისი რეგულირების სისტემა უფრო მარტივაა, ვიდრე კაპლანის ტურბინისა. ტურბინების ეს ტიპი შეიძლება წარმატებით გამოვიყენოთ მცირე სიმძლავრის დანადგარებში, დაბალი დაწნევის დროს.

§ 79. კავიტაციის მოვლენა

კავიტაციის პირობებით განისაზღვრება დაწნევის ის არე, რომელშიც უნდა იმუშაოს მოცემული ტიპისა და სწრაფმავლობის ტურბინამ. კავიტაციის მოვლენა მდგომარეობს იმაში, რომ ნაკადის გარშემოვლების იმ არეში, სადაც იგი ეხება ტურბინის ნაწილებს, თუ გაჩნდა ვაკუუმი, მაშინ ნაკადსა და ტურბინის ზედაპირს შორის წარმოიშობება სიციარიელე. ამ სიციარიელის შექმნის შედეგად ხდება ლითონის ზედაპირის ამოჭრა, ზედაპირი ღრუბლოვან სახეს ღებულობს და დაშლას იწყებს.

თანამედროვე სწრაფმავალი პროპელერიათ ტურბინების ფრთების ფორმის მოხაზულობა თითქმის ისეთივეა როგორც თვითმფრინავის ფრთებისა.



ნახ. 149. წნევის განაწილება კაპლანის ტურბინის ფრთაზე.

ფრთის ამწევი და აგრეთვე მუშა თვლის ფრთებზე მოქმედი ძალები წარმოიშობება ნაკადის გარშემოვლებით ფრთაზე როგორც ფრთის ერთ მხარეზე. წნევის გადიდებისა და მეორე მხარეზე — შემცირების შედეგი (ნახ. 149). პროპელერიათ ტურბინებში წნევის შემცირება ხდება ფრთის ქვედა ნაწილში; ვინაიდან მუშა თვლის ქვემოთ, შემწოვი მილის დასაწყისში, წნევა ყოველთვის.

ნაკლებია ატმოსფერულზე, ამიტომ წნევის არათანაბარი განაწილებით შეიძლება ადგილობრივი ვაკუუმის ძალიან გადიდება.

გარდა ფრთის ქვედა ნაწილისა, კავიტაციის მოვლენას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ტურბინის სხვა ნაწილებზედაც, სადაც ნაკადის ადგილობრივი შევიწროების შედეგად შეიძლება გაჩნდეს წნევის დაცემა.

კავიტაციის თავიდან აცილება შესაძლებელია, თუ ტურბინის მუშა თვლის კვეთში, რომლიდანაც წყლის გამოდინება ხდება, ვარეგულირებთ ვაკუუმის სიდიდეს ან თუ შევამცირობთ შეწოვის სიმაღლეს. ამიტომ ყოველი ტურბინისათვის არსებობს შეწოვის H_s მაქსიმალური სიმაღლის ზღვარი, რომლის გადაჭარბება არ შეიძლება. ეს ზღვარი განისაზღვრება ფორმულით;

$$H_s = B - \sigma H, \quad (37)$$

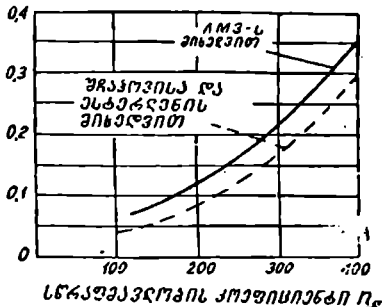
სადაც B არის დანადგართან ბარომეტრული წნევა წყლის სვეტის მეტრებში;

H —დანადგარის დაწნევა;

σ —კავიტაციის კოეფიციენტი.

თუ სიდიდე მთლიანად დამოკიდებულია ტურბინის კონსტრუქციაზე და შეიძლება მივიღოთ მოცემული ტურბინის მოდელის გამოცდით. ლენინგრადის ლითონის ქარხნის მიერ დამზადებული სხვადასხვა ტიპის ტურბინებისათვის 25-ე ცხრილში მოცემულია σ კოეფიციენტის მნიშვნელობა.

კავიტაციის კოეფიციენტი



ნახ. 150. კავიტაციის σ კოეფიციენტის დამოკიდებულება სწრაფვაჰერობის H_s კოეფიციენტისაგან.

ნაცემებით, რომლებიც მიღებულია ტურბინების მოდელების გამოცდით.

ასეთივე დამოკიდებულება σ -სი H_s -გან მოცემული აქვს ესტერლენსაიც; ეს დამოკიდებულება კარგად არის გამოსახული ნ. მ. შჩაპოვის ემპირიული ფორმულით:

$$\sigma = \frac{(0,01H_s - 0,54)^2}{45} + 0,035. \quad (38)$$

მაგალითი: არჩეულია ტურბინა $H_s = 300$, რომელმაც უნდა იმუშაოს დაწნევაზე $H = 40$ მ. ლენინგრადის ლითონის ქარხნის მონაცემებით მისთვის $\sigma = 0,22$.

შეწოვის დასაშვები მაქსიმალური სიმაღლე, როდესაც $B = 10$ მ ტოლია

$$H_s = 10 - 0,22 \cdot 40 = 1,2 \text{ მ.}$$

რომ დანადგარის დაწნევა ყოფილიყო $H = 75$ მ, მაშინ შეწოვის მაქსიმალური სიმაღლე იქნებოდა:

$$H_s = 10 - 0,22 \cdot 75 = -6,5 \text{ მ,}$$

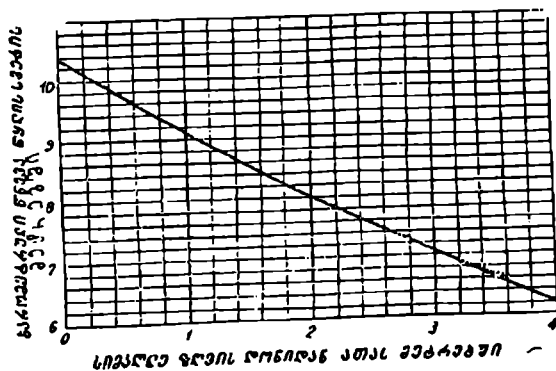
ე. ი. მაშინ იძულებული ვიქნებოდით ტურბინა დაგვეყენებია ქვედა ბიეფის დონის ქვემოთ 6,5 მეტრით. ეს გამოიწვევდა სადგურის შენობის საგრძნობ ჩალრმავეებას, რაც ეკონომიურად არ არის ხელსაყრელი იმის გამო, რომ გაიზრდება სამუშაოთა მოცულობა. თუ, მაგალითად, დავაყენებთ მოთხოვნას, რომ შეწოვის სიმაღლე არ უნდა იყოს $H_s = -1,0$ მ-ზე მეტი (ე. ი. შენობის ჩალრმავეება არა-უმეტეს 1 მეტრისა ქვედა ბიეფის დონიდან), მაშინ შეიძლება მოვძებნოთ კავიტაციის კოეფიციენტის უდიდესი დასაშვები მნიშვნელობა:

$$\sigma = \frac{B - H_s}{H} = \frac{10 + 1,0}{75} = 0,146.$$

კავიტაციის კოეფიციენტის ამ მნიშვნელობას მრუდზე შეესაბამება $n_s = 230$; ეს იქნება სწრაფმავლობის ზღერული მნიშვნელობა, როდესაც $H = 75$ მ და $H_s = 1,0$ მ.

აქ უნდა აღვნიშნოთ, რომ ლენინგრადის ლითონის ქარხანა (ЛМЗ) იძლევა σ კოეფიციენტის თავის საკუთარ მნიშვნელობებს, როდესაც შეწოვის სიმაღლე განისაზღვრება ქვედა ბიეფის დონიდან: 1) კაპლანის ტურბინებისათვის—მუშა თელის მბრუნავი ფრთების ღერძამდე და 2) ფრენსისის ტურბინებისათვის—მიმმართველი აპარატის შუა ხაზამდე.

წელის სვეტის მეტრებში გამოსახული ატმოსფერული წნევის B სიდიდე



ნახ. 151. ბარომეტრული წნევის დამოკიდებულება სიმაღლისაგან.

აიღება ტურბინის დონეზე. ეს დამოკიდებულება ადგილმდებარეობის სიმაღლეზე ზღვის დონიდან და ატმოსფეროს მდგომარეობაზე. საშუალო ნორმალური წნევა ზღვის დონეზე $B = 10,33$ მ. თუ დანადგარი საკმაოდ მაღლაა, ვიდრე ზღვის დონე, მაშინ ნორმალური ატმოსფერული წნევა ამ დანადგარისათვის უფრო მცირე იქნება როგორც ეს ჩანს 151-ე ნახაზიდან.

ვარდა ამისა შესწორება შეტანილი უნდა იქნეს ატმოსფერული წნევის სიდიდეში წელიწადის დროის მიხედვით, ვინაიდან ატმოსფეროს მდგომარეობა წელიწადის ყოველ დროში ერთნაირი არ არის და ამით უნდა შევამციროთ B საანგარიშო სიდიდე.

§ 80. დანადგარის დაწმენის გავლენა სწრაფმავლობის უმარჩვეველზე

როგორც (37) ფორმულიდან და ზემოთ მოყვანილი მაგალითიდან ჩანს, წნევის გადიდებასთან ერთად უნდა შევამციროთ ტურბინის სწრაფმავლობა, რომ არ მივიღოთ შეწოვის სიმაღლის უარყოფითი სიდიდე.

საერთოდ, შეწოვის უარყოფითი სიმაღლე დასაშვებია, მაგრამ მისი აბსოლუტურად დიდი მნიშვნელობის დროს, იზრდება სადგურის შენობის ჩაღრმავება ნიადაგში, რითაც იზრდება მიწის სამუშაოების მოცულობა, ხოლო ზოგ შემთხვევაში კი ბეტონის სამუშაოებიც სადგურის შენობის წყალქვეშა ნაწილში, რაც, ცხადია, ხელსაყრელი არაა.

ჩვეულებრივ, შეწოვის სიმაღლე H_s იღებენ 0-დან $+3,0$ მ-მდე, ზოგჯერ უშვებენ H_s -ის უარყოფით მნიშვნელობას $-1,0$ ან $-2,0$ მ-მდე, ხოლო უკიდურეს შემთხვევაში მეტს. ეს მდგომარეობა ზღუდავს დიდი სწრაფმავლობის ტურბინების გამოყენებას მაღალი დაწნევების შემთხვევაში.

ფრენისის ნელმავალი ტურბინა შეიძლება გამოყენებულ იქნეს $H=300$ მ დაწნევაზე, ამიტომ დაწნევის არე 30 მ-დან 300 მ-მდე ეკუთვნის ფრენისის ტურბინებს, რომელთა სწრაფმავლობა მით უფრო ნაკლები უნდა ავიღოთ რაც მეტია დაწნევა.

პელტონის ტურბინებმა შეიძლება მომსახურეობა გაუწიოს ამ არეს, თუ ფრენისის ტურბინის გამოყენება გენერატორის ბრუნთა ძალიან დიდ რიცხვს იძლევა ($n=1000$ ბრ/მინ და მეტი). 300 მ-ზე მეტი დაწნევის შემთხვევაში უნდა გამოვიყენოთ მხოლოდ პელტონის ტურბინა, რადგან კავიტაციის პირობები ფრენისის ტურბინის გამოყენების საშუალებას არ იძლევა.

თანამედროვე ტურბინმშენებლობის წინაშე დგას დიდი ამოცანა: გააღვიძროს კაპლანისა და ფრენისის ტურბინების გამოყენება მაღალი დაწნევების შემთხვევაში. კაპლანის ტურბინები 30 მ-ზე მეტი დაწნევების დროს¹ აღვივებს უთმობს ფრენისის ზესწრაფმავალ ტურბინებს, ე. ი. ისეთ მანქანებს, რომლებსაც გაცილებით უფრო ცუდი მახასიათებლები აქვთ. მათი მახასიათებლებიდან ჩანს, რომ, თუ ეს ტურბინა იმუშავებს არაოპტიმალურ სიმძლავრეზე, მაშინ მისი მქვ სწრაფად ეცემა.

ფრენისის ასეთი ტურბინების მქვ-ის უდიდესი მნიშვნელობა, ჩვეულებრივ, უფრო ნაკლებია, ვიდრე კაპლანის ტურბინებისა. გარდა ამისა, კაპლანის ტურბინა შეიძლება გაცილებით უფრო დიდი სიმძლავრისა დაზაღდეს, ვიდრე ფრენისის ტურბინა, რაც ამცირებს აგრეგატთა რიცხვს, სადგურის შენობის მოცულობას და დანადგარის ღირებულებას. ყველა ეს პირობა გვაიძულებს გავზარდოთ კაპლანის ტურბინების ზღვრული დაწნევა.

ანალოგიურად, 300 მ და მეტი დაწნევის დროს, ფრენისის ტურბინა იცვლება პელტონის ტურბინით, რომელიც, საერთოდ რომ ვთქვათ, შედარებით უფრო ნაკლებად გაუმჯობესებელი მანქანაა. მართალია, პელტონის ტურბინას აქვს უფრო სწორი მახასიათებელი, მაგრამ ფრენისის ტურბინის მქვ-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა რამდენადმე მეტია, ვიდრე პელტონის ტურბინისა. თუ დანადგარში არის 3 ან 4 აგრეგატი, მაშინ სადგურის საერთო მახასიათებელი სწორდება და უპირატესობა შელავნდება იმ ტურბინების მხარეზე, რომლებსაც მაღალი მქვ აქვთ, ე. ი. ეს უპირატესობა ფრენისის ტურბინების მხარეზეა. აგრეგატების დიდი სიმძლავრის დროს ფრენისის ტურბინას შეუძლია მოგვეცეს კარგი ბრუნთა რიცხვი, მაშინ როდესაც უფრო ნელმავალი პელტონის ტურბინების შემთხვევაში ბრუნთა რიცხვი მცირდება, რაც გააძვირებს გენერატორს, გააღვიძებს მის ზომებს და გამოიწვევს საგანერატორო შენობის ზომების გაღვიძებას.

სწრაფმავლობის კოეფიციენტის საორიენტაციო შერჩევისათვის, დანა-

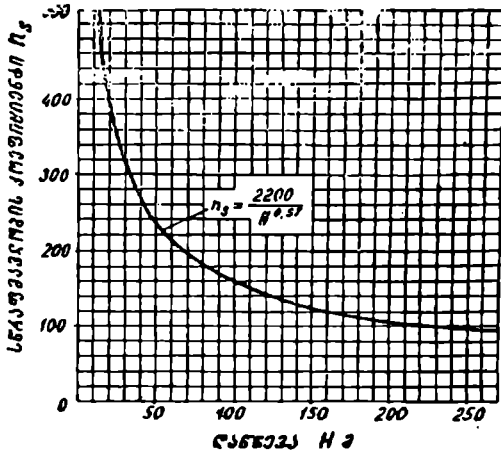
¹ ამჟამად კაპლანის ტურბინის გამოყენება შეიძლება 70 მ დაწნევაზე.

დგარის დაწნევის შესაბამისად, არსებობს მთელი რიგი ემპირიული ფორმულები.

ფორმულა

$$\eta_s = \frac{6850}{H+10} + 85$$

მოცემული იყო ოციანი წლების დასაწყისში. დღეისათვის იგი მოძველებულია, ვინაიდან ფრენსისის ტურბინის კავიტაციური თვისებების გაუმჯობესების გამო,



ნახ. 152. ფრენსისის ტურბინისათვის მაქსიმალური, დასაშვები სწრაფმავლობის კოეფიციენტის დამოკიდებულების გრაფიკი დაწვევისაგან.

საშუალო დაწნევების შემთხვევაში (30—60 მ) შეიძლება შევარჩიოთ სწრაფმავლობა რამდენადმე უფრო მეტი, ვიდრე ეს ფორმულა იძლევა.

ამ წიგნის ავტორმა—ა. ა. შოროზოვა ფრენსისის ტურბინისათვის H დაწნევის 20-დან 300 მ-მდე საზღვრებში 1930 წელს მოგვცა ფორმულა

$$\eta_s = \frac{2200}{H^{0.57}}, \quad (39)$$

რომელიც აგებულია უფრო ახალ მონაცემებზე, ვიდრე ზემოთ მოყვანილი ფორმულა. ეს ფორმულა გრაფიკის სახით გამოსახულია 152-ე ნახაზზე.

ყველა ეს ფორმულა მხოლოდ საორიენტაციოა η_s -ის სიდიდის წინასწარ შერჩევისათვის. ტურბინის საბოლოო შერჩევა შეიძლება მოხდეს მხოლოდ მას შემდეგ, რაც შეწოვის სიმაღლე შემოწმებულ იქნება კავიტაციის კოეფიციენტით.

§ 81. მუშა თვლის განლაგების შერჩევა

კავიტაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მოცემული ტურბინისათვის არ არის მუდმივი სიდიდე; ის იცვლება ტურბინის მუშაობის რეჟიმის შეცვლასთან ერთად. ფრენსისის ტურბინაში ეს ცვლილება შედარებით არ არის დიდი, თუნდაც სიძლავრის დატვირთვა იცვლებოდეს დიდ საზღვრებში 50-დან 100%-მდე, ამიტომ ამ ტიპის ტურბინისათვის კავიტაციის σ კოეფიციენტის

მნიშვნელობა მოცემულია მაქსიმალური სიმძლავრისათვის (σ -ას ასეთ მნიშვნელობას იძლევა ლენინგრადის ლითონის ქარხანა).

სულ სხვა მდგომარეობაა კაპლანის ტურბინაში. აქ σ იცვლება დიდ საზღვრებში ისე, რომ მისი მინიმალური, ი. ე. ყველაზე უფრო ხელსაყრელი, მნიშვნელობა მიიღება ტურბინის ოპტიმალური რეჟიმის დროს, როდესაც მკვეთრი უდიდესია. სიმძლავრის მატების დროს კავიტაციის კოეფიციენტი იზრდება. σ განსაკუთრებით მყისად იზრდება მოცემული დაწნევის სიმძლავრის მაქსიმალური მნიშვნელობისათვის (მიმართველი აპარატის სრული გაღება).

168-ე ნახაზზე მოცემულია ლენინგრადის ლითონის ქარხნის $K-91$ ტიპის კაპლანის ტურბინის საექსპლუატაციო უნივერსალური მახასიათებელი, რომელზედაც გამოსახულია ერთისა და იმავე მნიშვნელობის კავიტაციის კოეფიციენტის წირები.

ნებისმიერი დაწნევის დროს, თუ ტურბინის სიმძლავრე უახლოვდება მაქსიმალურს, მაშინ σ იზრდება, ე. ი. მცირდება შეწოვის დასაშვები სიმაღლე. ფორმულით

$$H_s = B - \sigma H$$

შეწოვის სიმაღლე მცირდება კავიტაციის σ კოეფიციენტისა და H დაწნევის გადიდებასთან ერთად. თუ ტურბინა იძლევა მაქსიმალურ სიმძლავრეს, მაშინ დაწნევის შემცირებასთან ერთად σ -ს მნიშვნელობა იზრდება და შეწოვის დასაშვები სიმაღლე სხვადასხვა დაწნევაზე სხვადასხვა იქნება. ანალოგიურად შეიცვლება დასაშვები სიმაღლე H_s , როდესაც ტურბინა მუშაობს მაქსიმალური გაღებით კლებად დაწნევაზე და მისი სიმძლავრე მიყვება ტურბინის სიმძლავრის შეზღუდვის წირს.

დანადგარის დაწნევა დამოკიდებულია ტურბინის ზედა და ქვედა ბიეფების ნიშნულების ცვლილებაზე. ტურბინის მუშა თვლის მოცემული მდებარეობის დროს, შეწოვის ფაქტიური სიმაღლე დამოკიდებულია აგრეთვე ქვედა ბიეფის დონის ნიშნულზე. დაპროექტების ამოცანა მდგომარეობს ტურბინის ისეთი მდებარეობის შერჩევაში, რომ ყოველგვარი შესაძლო დაწნევისა და ქვედა ბიეფის დონის დროს ზემოთ მოყვანილი ფორმულით გამოთვლილი შეწოვის სიმაღლე დასაშვებზე მეტი არ იყოს.

ეს რთული ამოცანა შეიძლება გადაწყვეტილ იქნეს ჰესის მუშაობის დავრილებითი ანალიზით ყველა შესაძლო პირობისათვის როგორც არის: 1) წყალდენის ხარჯები, 2) ამ ხარჯების შესაბამისი დონეები ქვედა ბიეფისა, 3) ზედა ბიეფის შესაძლო დონეები და 4) ზედა და ქვედა ბიეფების დონეების ცვალებადობა, გამოწვეული დღელამური რეგულირებით.

ზემოთ მოყვანილი ფაქტორების ყოველ შესაძლო განლაგებას შეესაბამება თავისი H დაწნევა და კავიტაციის σ კოეფიციენტის მნიშვნელობა, რომელიც აიღება მახასიათებლის მიხედვით. ამ მონაცემებით გამოითვლება შეწოვის დასაშვები სიმაღლე H_{s0} . თუ H_s -ს დაეუმატებთ ქვედა ბიეფის დონის ნიშნულს, ყველა შემთხვევისათვის შეიძლება გამოვითვალოთ ტურბინის მუშა თვლის შესაძლო მაქსიმალური ნიშნული. მუშა თვლის ყველა ამ ნიშნულიდან საბოლოოდ არჩეული უნდა იქნეს უმცირესი. მაშინ ბიეფების ნიშნულების, დაწნევისა და σ სიდიდეების ყველა სხვა ნებისმიერ კომბინაციას ფაქტიურად უფრო ნაკლები შეწოვის სიმაღლე ექნება, ვიდრე დასაშვები სიმაღლეა, და ამრიგად გარანტირებული იქნება ტურბინაში კავიტაციური მოვლენების ლიკვიდაცია.

აუცილებელია აგრეთვე მუშა თვლის შემოწმება მცირე სიმძლავრეებზე, რომელთა დროსაც კავიტაციის კოეფიციენტი აგრეთვე იზრდება.

თუ დანადგარის დაპროექტების დროს არ იყო გათვალისწინებული ყველა ის პირობა, რომლებიც გავლენას ახდენენ შეწოვის დასაშვებ სიმაღლეზე, მაშინ ამ სადგურის ექსპლოატაციის პერიოდში შეიძლება იყოს მუშაობის ისეთი რეჟიმი, რომლის დროსაც კავიტაციის მოვლენები ტურბინისათვის საშიში იქნება. ასეთი რეჟიმები აკრძალული უნდა იყოს სპეციალური ინსტრუქციებით, რომლებშიაც აღინიშნება დაწვევის, სიმძლავრისა და ქვედა ბიფფის დონის რომელი კომბინაციის დროს იქნება საშიში ტურბინის მუშაობა, კავიტაციის პირობების მიხედვით. კერძოდ, კავიტაციის საშიში მდგომარეობა შეიძლება მივიღოთ მცირე დატვირთვის დროს, თუ: 1) კავიტაციის კოეფიციენტი იზრდება, რაც ამცირებს შეწოვის დასაშვებ სიმაღლეს და 2) მცირდება ხარჯები ქვედა ბიფფში, რაც იწვევს მისი დონის დაწვევას და შეწოვის ფაქტიური სიმაღლის გადიდებას, რომელიც ამ დროს შეიძლება დასაშვებზე მეტი გახდეს.

ტურბინების შერჩევის დროს, კავიტაციის პირობების გასაუმჯობესებლად შეიძლება უარი ვთქვათ მახასიათებლის იმ ნაწილზე, რომელშიაც კავიტაციის კოეფიციენტი სიმძლავრის ზრდასთან ერთად ძალიან იზრდება. ამ მიზნით, შეიძლება შემოვსაზღვროთ ტურბინის მუშაობის არე გენერატორის სიმძლავრის სათანადო შერჩევით და უარი ვთქვათ ტურბინის მახასიათებლის არახელსაყრელი ნაწილის გამოყენებაზე. ეს გარემოება მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ტურბინის დიამეტრის შერჩევის დროს და საანგარიშო მაქსიმალური სიმძლავრე (რომლითაც განისაზღვრება ტურბინის მუშაობის არე და მისი დიამეტრი) ისე უნდა იქნეს შერჩეული, რომ კავიტაციის კოეფიციენტის არახელსაყრელი მნიშვნელობები ამ არის გარეთ აღმოჩნდეს.

§ 82. ლენინგრადის ლითონის ძარხნის (ЛМЗ) ტურბინების ტიპები

სტალინის სახელობის ლენინგრადის ლითონის ქარხანა ამჟამად წარმოადგენს ყველაზე უფრო დიდი სიმძლავრის ჰიდროტურბინების დამამზადებელს საბჭოთა კავშირში. ამ ქარხანამ დიდი მუშაობა ჩაატარა ტურბინების ტიპების დამუშავებასა და მათი მახასიათებლების ლაბორატორიულ გამოკვლევაში. თავისი ტურბინების მახასიათებლები ქარხანამ გამოაქვეყნა ატლასში: „*Механическое оборудование СССР*“¹.

ჩვენ აქ მოვიყვანთ ამ ქარხნის ტურბინების ზოგიერთ ძირითად მონაცემს (ცხრილი 25).

25-ე ცხრილში მოყვანილია შემდეგი მონაცემები:

$\frac{D_2}{D_1}$ — ტურბინის გამოსასვლელი კვეთის დიამეტრის ფარდობა მისი შე-

სასვლელი კვეთის დიამეტრთან. გამოსასვლელი კვეთის დიამეტრი D_1 ფრენისის ტურბინებში იზომება მუშა თვლის დასაწყისიდან თვლის ქვედა რგოლის გადაკვეთის ადგილამდე, ხოლო კაპლანის ტურბინებში კი — ფრთების ბრუნვის ღერძამდე.

$\frac{b_0}{D_1}$ — მიმმართველი აპარატის სიმაღლის ფარდობა მუშა თვლის შესასვლელი კვეთის დიამეტრთან.

¹ ამჟამად ზემოთ აღნიშნულ ატლასს სველის წიგნი „*Турбинное оборудование гидроэлектростанций*“, 1957.

ლენინგრადის ატაონის სახელმისაღებლობის დიდი (113) ტურბინების ძირითადი მონაცემები

ტურბინის ტიპი	საგამოსადგომის ტიპი	უწყვეტი მდინარის ტიპი	მომდინარის მუშაობის თვისებები			მიმართული აპარატი		მაქსიმალური მუშაობის მონაცემები			საპროექტო სიჩქარე	საპროექტო ხარისხი						
			დამუშავების რაოდენობა	ფორმის რაოდენობა	ფორმის რაოდენობა	ფორმის რაოდენობა	სიძლიერე	სიძლიერე	მ. ბრ/მინ	რ. ჰ/სმ			რ. ჰ/სმ	რ. ჰ/სმ	რ. ჰ/სმ			
ფ-128	ვერტიკ. ლია	სწორი კონუსური	800	17	0,573 D ₁	0,083 D ₁	18	60	148	84,5	77,3	174	81,4	82,5	2,32	0,04—0,05	88	0,14
ფ-40	ვერტიკ. სპირალური	"	600	17	0,725 D ₁	0,125 D ₁	18	58	285	85,2	104	325	82,7	110	3,18	0,07	88,5	0,14
ფ-15	"	"	370,7	19	0,711 D ₁	0,155 D ₁	24	60	290	85,0	110	370	82,0	120	4,58	0,065	93	0,14
ფ-60	"	"	460	16	1,004 D ₁	0,200 D ₁	16	61	520	88,7	151	576	87,5	158	2,68	0,09	108	0,15
ფ-92	"	"	460	15	1,025 D ₁	0,200 D ₁	16	66	735	90,0	197	870	86,0	209	5,36	0,10—0,11	126	0,19
ფ-100	"	"	460	15	1,090 D ₁	0,300 D ₁	16	66	930	88,5	219	1120	85,0	235	7,34	0,15	124	0,21
ფ-123	ვერტიკ. ლია	მონობილი	460	14	1,080 D ₁	0,350 D ₁	12	75	1075	89,2	268	1275	85,6	286	9,89	0,21	150	0,28
ფ-123	"	"	460	14	1,080 D ₁	0,350 D ₁	12	77	1120	88,7	280	1425	82,4	313	12,35	0,21—0,25	158,5	0,295
ფ-130	"	"	460	10	1,080 D ₁	0,300 D ₁	12	90	1190	89,0	338	1325	87,5	354	10,7	0,27	183	0,33
პრობა-1	—	—	—	—	1,00 D ₁	0,40 D ₁	—	98	1400	89,0	400	1600	—	410	—	—	211	—
პრობა-2	—	—	—	—	1,00 D ₁	0,50 D ₁	—	156	1660	87,5	685	1660	—	685	—	—	365	—
კაზანი	ვერტიკ. ლია	მონობილი	460	4	0,945 D ₁	0,389 D ₁	12	121	1000	85,1	400	1700	79,0	700	30,0	0,91	325	0,80
კ-120	ვერტიკ. სპირალური	"	460	4	0,945 D ₁	0,389 D ₁	28	125	900	85,6	382	1600	79,0	670	26,5	0,68	—	0,80
კ-145	"	"	460	4	0,945 D ₁	0,410 D ₁	12	125	500	87,2	400	1700	77,5	700	30,0	0,75	364	0,80
კ-91	"	"	460	4	0,945 D ₁	0,410 D ₁	32	135	1080	85,2	472	1900	75,0	765	37,7	0,66	360	0,80
კ-90	ვერტიკ. ლია	"	460	4	0,945 D ₁	0,415 D ₁	32	138	1070	85,3	481	1900	75,5	763	37,3	0,89	365	0,80
კ-90	"	"	460	4	0,945 D ₁	0,415 D ₁	32	138	1250	85,5	522	1950	79,5	755	39,3	0,89	370	0,80
კ-70	"	"	460	4	0,970 D ₁	0,500 D ₁	12	162	1470	84,5	660	2200	77,5	960	45,0	1,9—2,0	—	0,80

შეიქმნა: ამ ტურბინის მონაცემები გეგმიური 1946 წელს ატაონის სახელმისაღებლობის დიდი (113) ტურბინების ძირითადი მონაცემების მიხედვით. საკმარისი მონაცემების დაზუსტების მიზნით.

η_{max} —იმ მოდელისათვის მიღებული მქკ-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომლისთვისაც $D_1 = 0,46$ მ (ყველა ტურბინისათვის, გარდა ძალიან ნელ-მავალისა).

$n_{1კაქ}$ —გაქანების ბრუნთა რიცხვი, ე. ი. ბრუნთა რიცხვის უდიდესი მნიშვნელობა აგრეგატის უქში სელის დროს, როდესაც მიმართველი აპარატი მთლიანად გაღებულა.

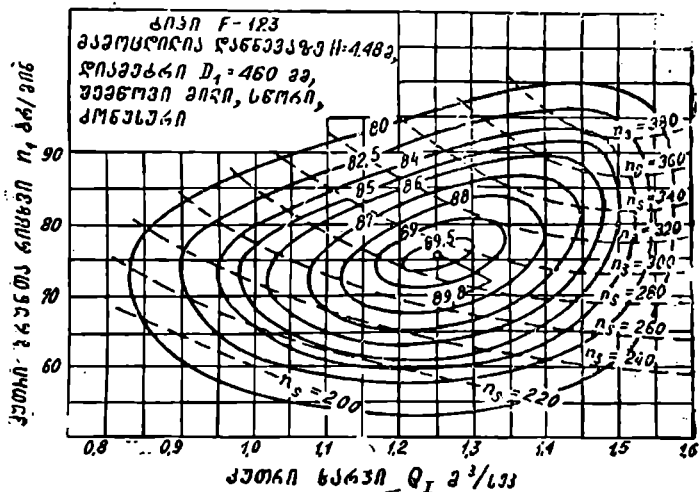
σ —კავიტაციის კოეფიციენტის საორიენტაციო მნიშვნელობა.

n_1, Q_1, P_1 და n_2 -ის მნიშვნელობანი ცხრილში მოცემულია აგრეგატის იმ რეჟიმისათვის, რომლის დროს მქკ და სიმძლავრე უდიდესია (5%-იანი მარაგით).

k —ღერძული წნევის კოეფიციენტი, რომელიც საჭიროა წყლის წნევის გამოსათვლელად მუშა თვალზე. ეს წნევა გამოითვლება ფორმულით:

$$A = k \frac{\pi D_1^2 H}{4}$$

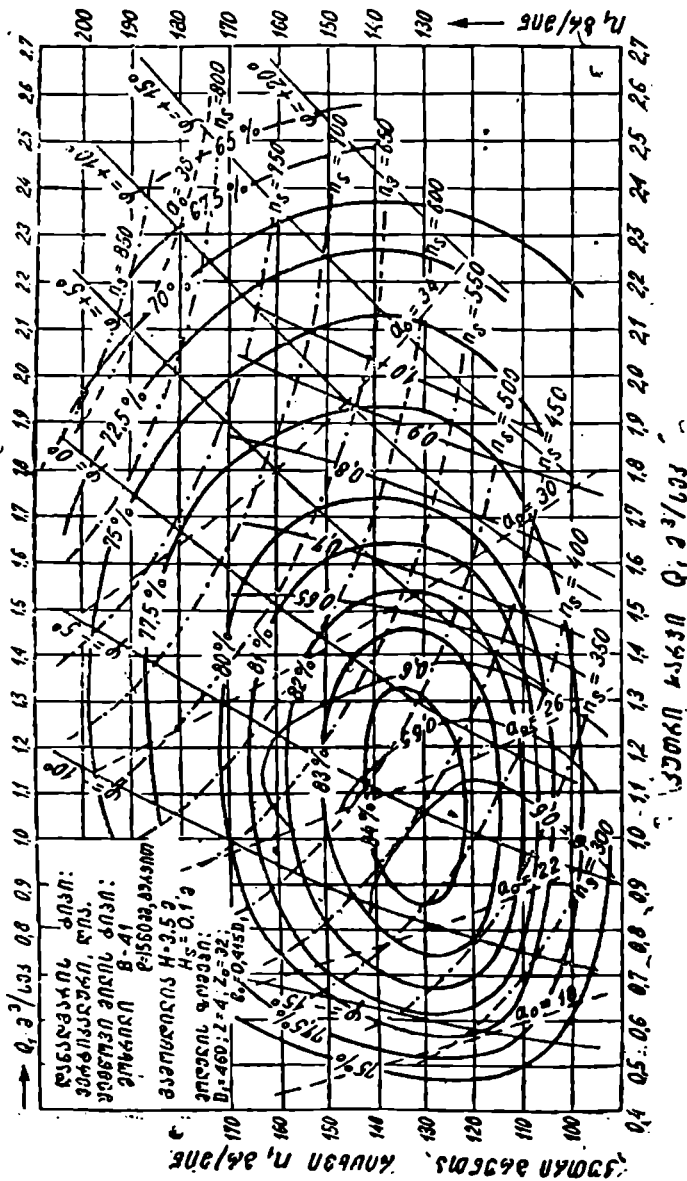
ზოგიერთი ტურბინისათვის ძირითადი გაბარიტული ზომები, რომლებიც გამოსახულია D_1 -ის საშუალებით, მოცემულია 155—167-ე ნახაზებზე. გარდა



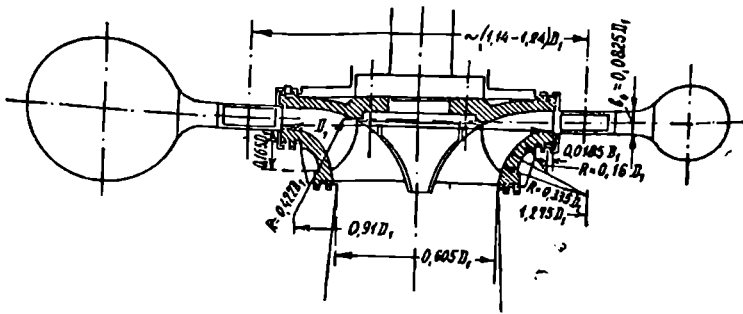
ნახ. 153. მთავარი უნივერსალური მახასიათებელი ფრენისის IM3 F-123 ტიპის ტურბინისათვის.

ამისა, ჩვენ მოგვყავს ყველაზე უფრო საინტერესო უნივერსალური მახასიათებლები—მთავარი და საექსპლუატაციო.

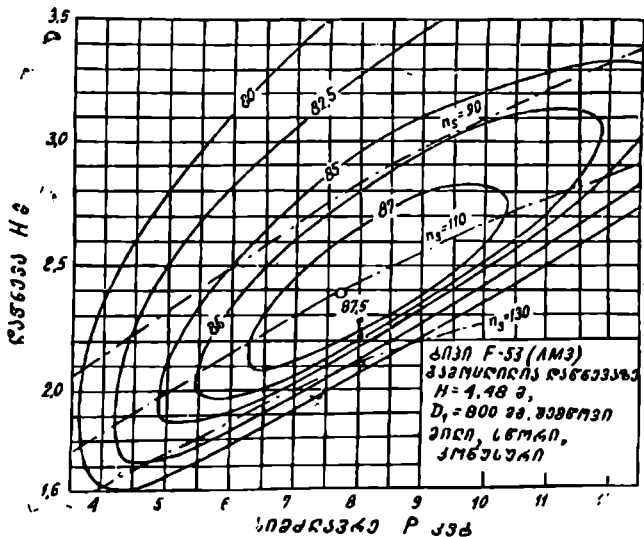
შევარჩევთ რა ტურბინის სწრაფმავლობის კოეფიციენტს ქარხნის ცხრილითა და მახასიათებლებით, შეიძლება განვსაზღვროთ ტურბინის შესაბამისი ტიპი, ხოლო მახასიათებლით საბოლოოდ ავირჩევთ ტურბინის მუშაობის არეს, მის ბრუნთა რიცხვს და მუშა თვლის D დიამეტრს. ტურბინის გაბარიტული ნახაზები საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ტურბინის ძირითადი ზომები, რომლებიც საჭიროა სადგურის შენობის დაპროექტებისათვის.



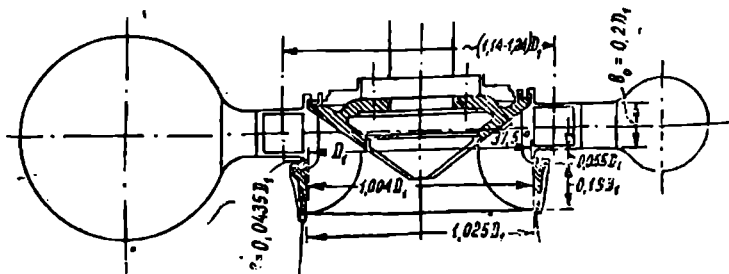
ნახ. 154. JMB ცალკის K-91 ტიპის ტუბის უნიფერსალური მახასიათებელი. აღნიშნულია კავიტაციის კოეფიციენტის მუდმივი მნიშვნელობის წილები.



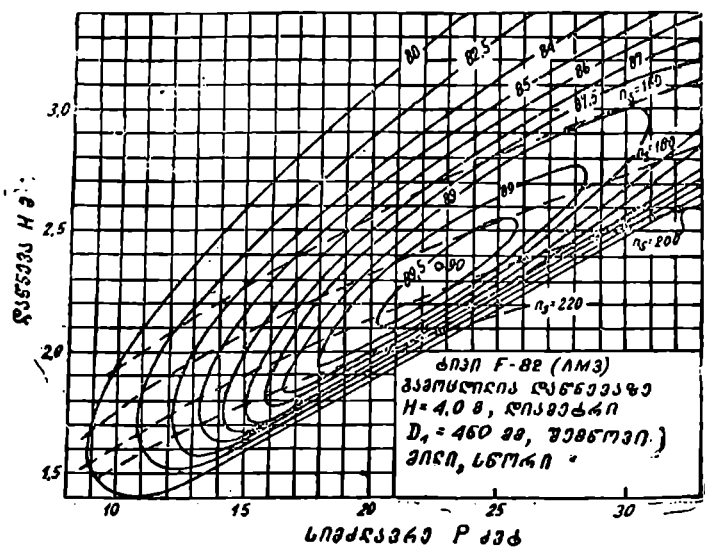
ნახ. 155. F-53 ტურბინის გაბარტიტები.



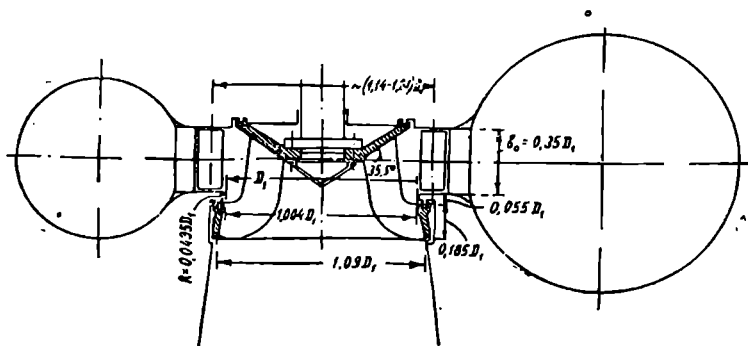
ნახ. 156. F-53 ტურბინის საექსპლუატაციო უნიფერსალური მახასიათებელი: $D=1,0$ მ; $n=100$ ბრ/მინ.



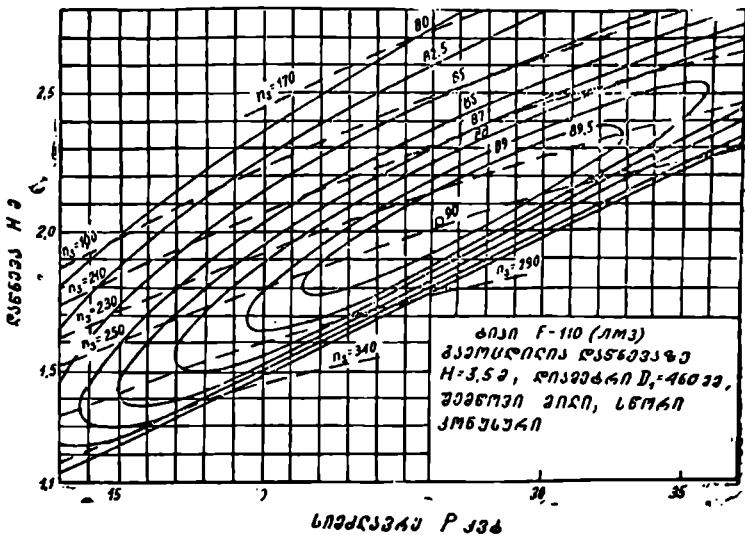
ნახ. 157. F-82 ტურბინის გაბარტიტები.



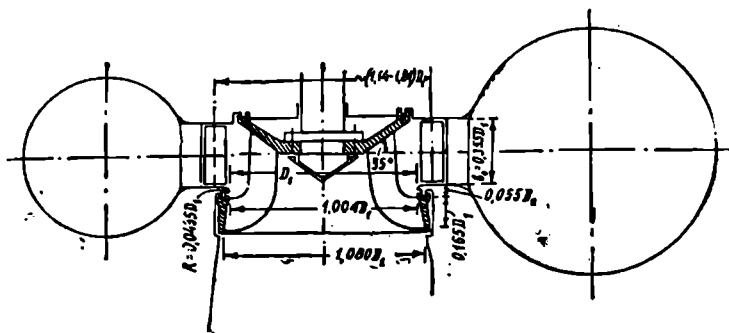
ნახ. 158. F-82 ტურბინის საექსპლუატაციო უნივერსალური მახასიათებელი; $D=1,0$ მ; $n=100$ ბრ/მინ.



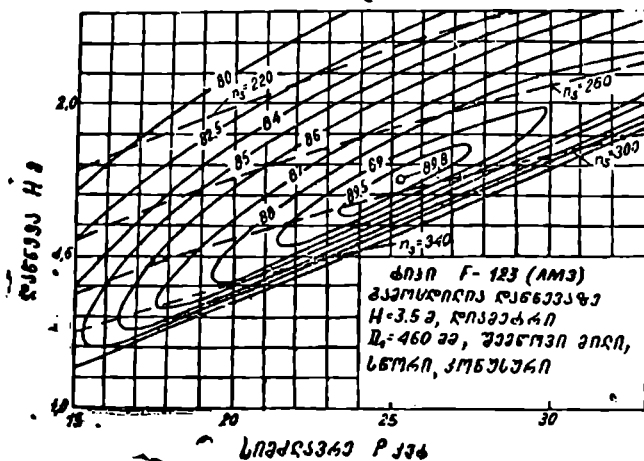
ნახ. 159. F-110 ტურბინის გაბარიტები.



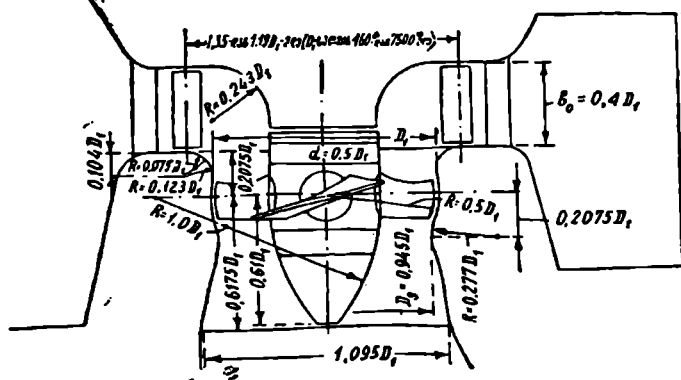
ნახ. 160. F-110 ტურბინის საექსპლოატაციო უნივერსალური მახასიათებელი; $D=1,0$ მ; $n=100$ ბრ/წინ.



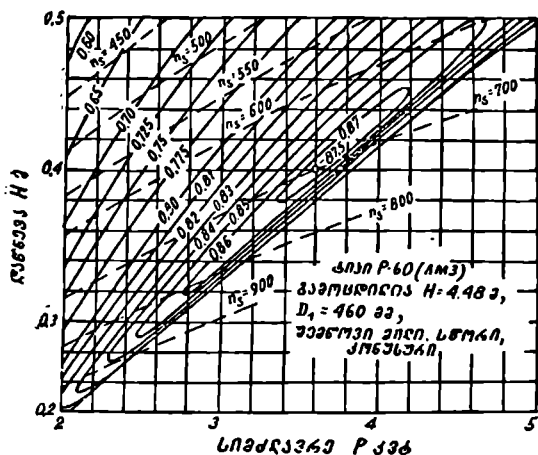
ნახ. 161. F-123 ტურბინის გაბარიტები.



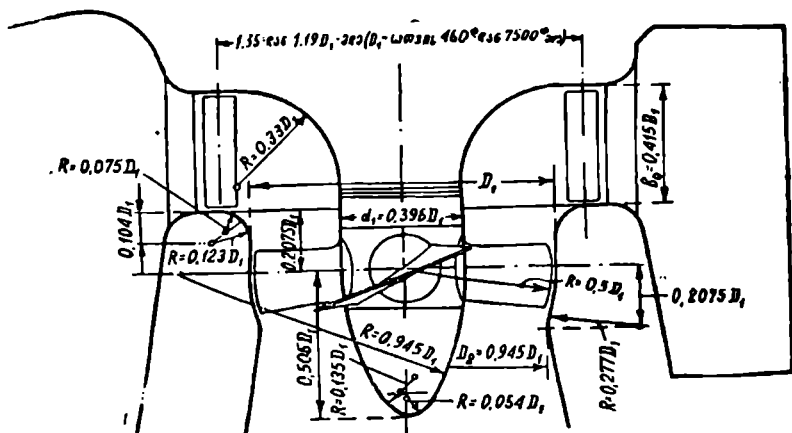
ნახ. 162. F-123 ტურბინის საექსპლუატაციო უნიფერსალური მახასიათებელი; $D=1,0$ მ; $n=100$ ბრ/მინ.



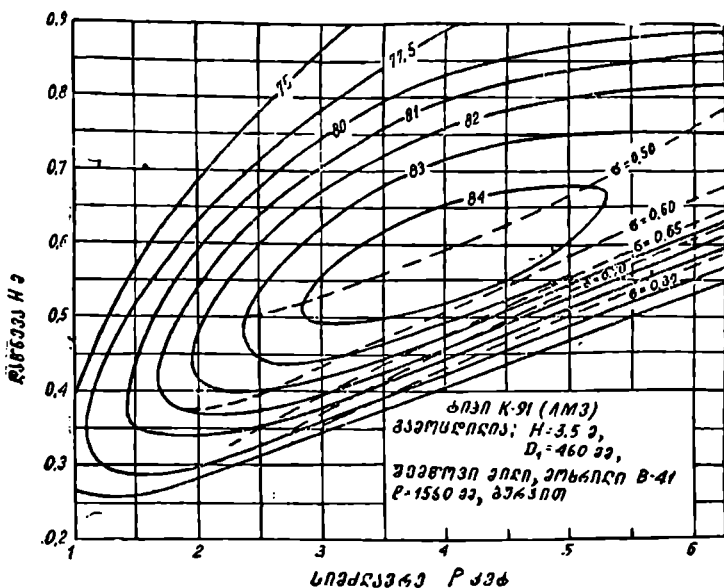
ნახ. 163. K-120 და K-121 ტურბინების გაბარტიბი.



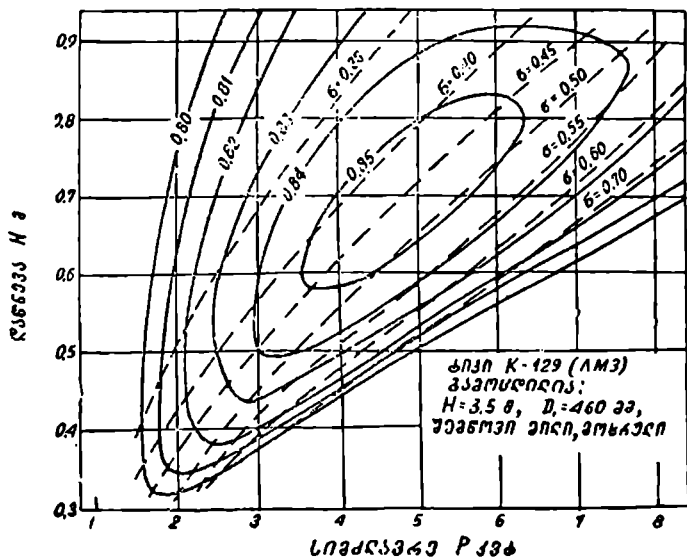
ნახ. 166. P-60 ტურბინის საექსპლოატაციო უნივერსალური მახასიათებელი; $D=1,0$ მ; $n=100$ ბრ/წმწ.



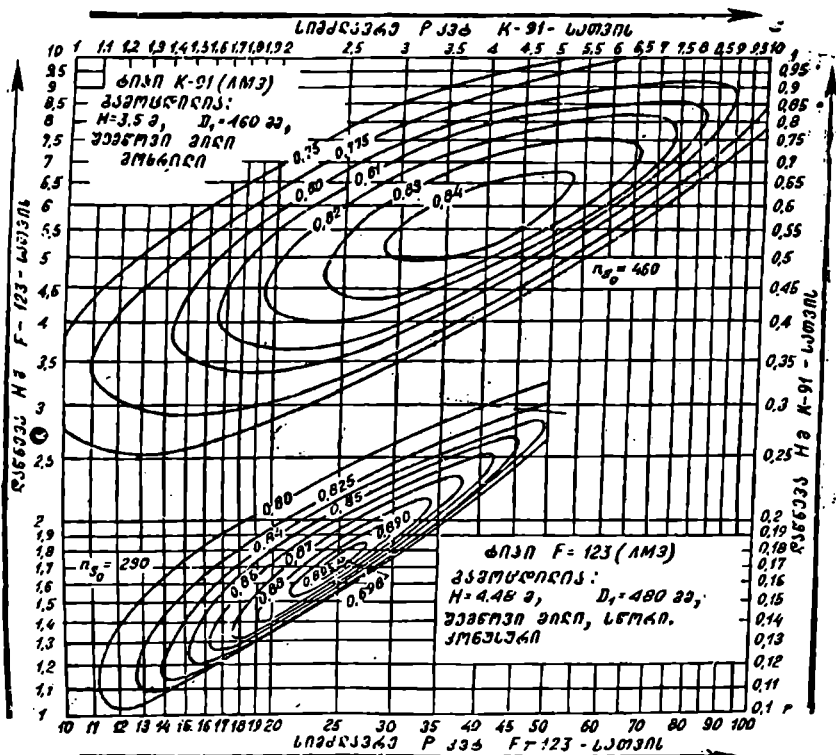
ნახ. 167. K-90 და K-91 ტურბინების გაბარტიტები.



ნახ. 168. K-91 კალანის ტურბინის საექსპლუატაციო უნივერსალური მახასიათებელი მუდმივი α -ს მქონე წილებით; $D=1,0$ მ; $n=100$ ბრ/წთ.



ნახ. 169. K-129 ტურბინის საექსპლუატაციო უნივერსალური მახასიათებელი; $D=1,0$ მ; $n=100$ ბრ/წთ.



ნახ. 170. K-91 და F-123 ტურბინების საექსპლოატაციო უნეერსალური მახასიათებლები ლოგარითმულ კოორდინატებში; $D=1,0$ მ და $n=100$ ბრ/მინ.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

მთარგმნელისაგან შესავალი	2 3
თ ა ე ი I. წყლის ენერჯის გამოყენების სქემები	10
§ 1. დანადგარის დაწნევა, ხარჯი და სიმძლავრე	10
§ 2. დანადგარების ძირითადი სქემები	12
§ 3. უფრო რთული სქემების მაგალითები	18
§ 4. წყალთა მეურნეობის კომპლექსური პრობლემები	20
თ ა ე ი II. მდინარეების ჩანადენის დახასიათება	22
§ 5. წყლის ხარჯი	22
§ 6. პირველი ტიპი—ბარის მდინარეება	22
§ 7. მეორე ტიპი—მდინარეები, რომლებშიც ტბებიდან იკვებებიან	25
§ 8. მესამე ტიპი—მდინარეები მყინვარული კვებით	28
§ 9. მეოთხე ტიპი—მდინარეები, რომლებიც უშთავრესად წვიმებითა და ნიაღვრებით იკვებებიან	28
§ 10. მდინარეების შერეული ტიპი	30
§ 11. ჩანადენის ძირითადი მაჩასიათებლები	31
§ 12. ჩანადენის ცვალებადობა	33
§ 13. ჩანადენის უზრუნველყოფა	39
§ 14. ფოსტერის მეთოდი	42
§ 15. ჩანადენის გეოგრაფიული განაწილება	46
§ 16. ჩანადენის განსაზღვრის არაპირდაპირი მეთოდები	49
§ 17. ანალოგიის მეთოდი	54
§ 18. მაქსიმალური ხარჯების განსაზღვრა	55
თ ა ე ი III. ჩანადენის რეგულირება	60
§ 19. ჩანადენის ენერგეტიკული რეგულირების ძირითადი სასებები	60
§ 20. ჩანადენის რეგულირების სპეციალური სახეები	64
§ 21. წყალსაცავები და მათი განლაგება დანადგარის მიმართ	67
§ 22. წყალსაცავების გამოყენება ჩანადენის რეგულირებისათვის	70
§ 23. წყალსაცავის მოცულობა	72
თ ა ე ი IV. ჩანადენის წლიური და მრავალწლიური რეგულირების გაანგარიშება	74
§ 24. მოდინება წყალსაცავში	74
§ 25. ინტეგრალური მრუდის გამოყენება ჩანადენის რეგულირების გაანგარიშებისათვის	77
§ 26. ინტეგრალური მრუდი ირინკუთხა კოორდინატთა სისტემაში	78
§ 27. ჩანადენის წლიური რეგულირება	81
§ 28. ცელადი ხარჯის რეგულირება	87
§ 29. ჩანადენის მრავალწლიური რეგულირება	90
§ 30. მრავალწლიური რეგულირების სქემა წყალსაცავის შებენიანი მოცულობის დროს	94
§ 31. ჩანადენის რეგულირება კასკადური ჰიდროელსადგურებისათვის	98
§ 32. ჩანადენის კომპენსირებული რეგულირება	99
§ 33. სხვადასხვა მდინარეებზე განლაგებული ჰიდროელსადგურების სისტემის რეგულირება	102

§ 34. რეგულაციების სადისპენერო გრაფიკები	106
§ 35. წყალსაცავის მოცულობის განსაზღვრა ჩანადენის მრავალწლოვანი რეგულაციებისათვის	113
§ 36. ფილტრაციითა და აორთქლებით გამოწვეული წყლის დანაკარგები წყალსაცავში	123
§ 37. წყალსაცავის მოცულობის ეკონომიური შერჩევა	125
თ ა ე ი V. დანადგარის დაწნევა და სიმძლავრე	128
§ 38. დაწნევის ცვალებადობის გამომწვევი მიზეზები	128
§ 39. დაწნევის წლიური ცვალებადობა ხარჯის ცვალებადობასთან დაკავშირებით	128
§ 40. სიმძლავრის ცვლილება დაწნევისა და ხარჯის წლიური ცვლილების დროს	132
§ 41. სადგურის მუშაობის რეჟიმის გამოცვლევა წლის განმავლობაში	138
§ 42. სადგურის მყისი და ხანმოკლე სიმძლავრეები	141
§ 43. ჰიდროელსადგურების დაყოფა სიმძლავრის მდგრადობის მიხედვით	144
§ 44. წლის განმავლობაში სადგურების მუშაობის გამოცვლევა ზედა ბიეფის დონის ცვალებადობის დროს	145
თ ა ე ი VI. წლის ხარჯების დღელამური რეგულირება	149
§ 45. ენერჯის მოხმარება და დატვირთვის გრაფიკები	149
§ 46. დატვირთვის დღელამური გრაფიკის გაანალიზების მრუდი	155
§ 47. ჩანადენის შეუზღუდავი დღელამური რეგულირება	158
§ 48. ჩანადენის დღელამური რეგულირება წყალსაცავის შეზღუდული მოცულობის შემთხვევაში	160
§ 49. ენერჯის დანაკარგები დღელამური რეგულირების დროს	162
§ 50. ჩანადენის დღელამური რეგულირებით გამოწვეული ბიეფების დონეების ცვალებადობის ხასიათი	163
§ 51. ჩანადენის კვირეული რეგულირება	171
თ ა ე ი VII. ჰიდროელსადგურის ენერჯეკონომიური მაჩვენებლები	173
§ 52. ელექტროენერჯიის გამომუშავება წელიწადში	173
§ 53. დადგენილი კოლოვატის ლირებულება	176
§ 54. კუთრი კაპიტალდამანდებანი ენერჯიის ერთ კოლოვატ-საათზე და ჰიდროელსადგურის ენერჯიის თეითლირებულება	178
§ 55. თბოსადგურების ენერჯიის თეითლირებულება	185
§ 56. დადგენილი სიმძლავრის გამოყენების საათების რიცხვის გავლენა ენერჯიის ლირებულებაზე	188
§ 57. გამოყენების საათების რიცხვის გავლენა ენერჯიის ლირებულების სათბობით გამოწვეულ კუთრ დანახარჯზე	190
თ ა ე ი VIII. ჰიდროელსადგურის სიმძლავრის შერჩევა	194
§ 58. სიმძლავრის შერჩევის ეკონომიური დასაბუთება	194
§ 59. სისტემის რეზერვები	199
§ 60. ჰიდროელსადგურის მუშაობის რეჟიმისა და რეზერვების გავლენა სიმძლავრის შერჩევაზე	202
თ ა ე ი IX. ჰიდროელსადგურის მუშაობა ენერჯოსისტემაში	205
§ 61. სადგურის ენერგეტიკული მაჩვენებლები	205
§ 62. დღელამური დატვირთვის გრაფიკის დაფარვა	210
§ 63. სიმძლავრისა და ენერჯიის წლიური ბალანსის შედგენა	214
თ ა ე ი X. ენერჯიის ჰიდრაულიკური აკუმულირება	219
§ 64. ჰიდრაულიკური აკუმულირების ენერგეტიკული მნიშვნელობა	219
თ ა ე ი XI. ჰიდროტურბინების უნივერსალური მახასიათებლები	225
§ 65. მსგავსების კანონები (პირველი მიახლოება)	225
§ 66. მსგავსების კანონი (მეორე მიახლოება)	230
§ 67. ტურბინის მახასიათებლები	233
§ 68. უნივერსალური მახასიათებლის ტიპები.	241
თ ა ე ი XII. უნივერსალური მახასიათებლების გამოყენება	243
§ 69. $\eta = f(n, Q)$ ტიპის მთავარი უნივერსალური მახასიათებელი, როდესაც $D = \text{const}$ და $H = \text{const}$	243
§ 70. $\eta = f(H, P)$ ტიპის საექსპლოატაციო უნივერსალური მახასიათებელი, როდესაც $D = \text{const}$ და $n = \text{const}$	24

§ 71. მუშა მახასიათებლის აგება	249
§ 72. ტურბინის მუშაობის არის არჩევა ტოპოგრაფიული მეთოდით	249
§ 73. უნივერსალური მახასიათებლები ლოგარითმულ კოორდინატებში	252
§ 74. (Q—H—P) ტიპის მახასიათებლები	253
§ 75. საღვურის უნივერსალური მახასიათებლის აგება	254
§ 76. შესწორებათა შეტანა მუშა მახასიათებელში	255
თ ა ე ი X I I I. ტურბინების შერჩევა ჰიდროელსადგურებისათვის	258
§ 77. ტურბინების რიცხვის შერჩევა	258
§ 78. სწრაფმავლობის II კლასის ტურბინის ტიპის შერჩევის საფუძველი	264
§ 79. კაეიტაციის მოვლენა	269
§ 80. დანადგარის დაწნევის გავლენა სწრაფმავლობის შერჩევაზე	271
§ 81. მუშა თვლის განლაგების შერჩევა	273
§ 82. ლენინგრადის ლითონის ქარხნის (ЛХЗ) ტურბინების ტიპები	275

მთარგმნელი დოც. ი. ამალობელო
გამომც. რედაქტორი მ. გელიტაშვილი
ტექნიკური თ: მანჯგალაძე
კორექტორი თ. ხითარიაძე
გამომშვები ნ. ბიბილური

ტირაჟი 2000.

შეკვ. № 818.

ბადაეცა ასაწყობად 22/III-60 წ. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 16/VI-60 წ.
ანაწყობის ზომა 7×12. ქალაღდის ზომა 70×108. სასტამბო თაბახი
18,25. სააეტორო თაბახი 21,2. საალორიცხო-საგამომცემლო
თაბახი 21,71.

ფასი 8 მან. 60 კაპ.

1961 წ. იანვრიდან 86 კაპ.

საქართველოს სსრ კულტურის სამინისტროს გამომცემლობებისა და
პოლიგრაფიული შრეწველობის მთავარი სამმართველოს სტამბა № 2.
თბილისი, ფურცელაძის ქ. № 5.

Типография № 2 Главного управления издательств и полиграфиче-
ской промышленности Министерства культуры
Грузинской ССР. Тбилиси, ул. Пурцеладзе № 5.