

რობერტ დიკონიძე

ჭიშკრის მუშაობის



სახელმძღვანელო შედგენილია ჰიდროტექნიკური, ჰიდროლოგიური, ჰიდრომელიორაციული, სამდინარო ჰიდროტექნიკური ნაგებობებისა და ჰიდროენერგეტიკული სპეციალობის სტუდენტებისათვის. ის შეიძლება ასევე რეკომენდებულ იქნეს საგზაო ინსტიტუტების სტუდენტებისთვისაც, წყალსადინრებზე ხიდური გადასასვლელების შესწავლისას.

წიგნში მოცემულია ჰიდრავლიკურ და ჰიდროლოგიურ გაზომვათა თეორია და პრაქტიკა, მათ შორის ზღვის ჰიდრომეტრიული სამუშაოების მოკლე აღწერა.

წიგნი სარგებლობას მოუტანს ზემოაღნიშნული სპეციალობების პრაქტიკოს ინჟინრებსა და ტექნიკოსებს, რომლებიც ასრულებენ ჰიდრომეტრულ სამუშაოებს მდინარეებსა და წყალსაცავებზე, სარწყავ არხებზე და ზღვაზე.

რედაქტორი: დავით კერესელიძე-ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის გეოგრაფიის დეპარტამენტის ხელმძღვანელი, ჰიდროლოგიის, ოკეანოლოგიისა და მეტეოროლოგიის კათედრის გამგე, მეცნიერების დოქტორი, პროფესორი

რეცენზენტი: ჯუმბერ ფანჩულიძე-საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი, ინჟინერ ჰიდროლოგი, მეცნიერების დოქტორი, პროფესორი

რეცენზენტი: ბაადურ უკლება-ინჟინერ ჰიდროლოგი, საქართველოს მელიორაციის და საქწყალპროექტის მთავარი ჰიდროლოგი.

წინასიტყვაობა	გვ.1
შესავალი	გვ.2
თ ა ვ ი I. წყლის დონეები	გვ.6
§ 1. წყლის დონეების გასაზომი ხელსაწყოები და მოწყობილობანი	გვ.6
§ 2. წყლის დონეების გაზომვის მეთოდთა	გვ.24
§ 3. წყლის დონეების დამუშავება	გვ.37
თ ა ვ ი II. წყლის სიღრმეები	გვ.45
§ 4. წყლის სიღრმეების გასაზომი ხელსაწყოები	გვ.45
§ 5. წყლის სიღრმეების გაზომვის წარმოება	გვ.61
§ 6. წყლის სიღრმეების დამუშავება	გვ.74
თ ა ვ ი III. წყლის დინების სიჩქარეები	გვ.81
§ 7. სიჩქარეების განაწილება ნაკადში	გვ.81
§ 8. წყლის დინების სიჩქარეთა საზომი ხელსაწყოები	გვ.90
§ 9. წყლის დინების სიჩქარეთა გასაზომი ხელსაწყოების ტარირება	გვ.132
§ 10. წყლის დინების სიჩქარეთა გაზომვის მეთოდთა	გვ.142
თ ა ვ ი IV. წყლის ხარჯები	გვ.158
§ 11. წყლის ხარჯების განსაზღვრის ზოგადი პრინციპები	გვ.158
§12. წყლის ხარჯების განსაზღვრა ნაკადის ადგილობრივი სიჩქარეებით და სიღრმეებით	გვ.165
§ 13. ღია კალაპოტებში წყლის ხარჯების განსაზღვრის ჰიდრავლიკურ– ჰიდრომეტრიული ხერხები	გვ.182
§ 14. წყლის ხარჯების განსაზღვრა წყალსაშვებით და ჰიდრომეტრიული ღარებით	გვ.192
§ 15. წყლის ხარჯების განსაზღვრა შერევის ხერხით	გვ.207
§ 16. წყლის ხარჯების განსაზღვრა ირიგაციულ არხებში	გვ.213
§17. ნაკადის ჰიდრავლიკური ელემენტების განსაზღვრა დიდი მდინარეების კალაპოტების გადაღობვისას	გვ.221
§ 18. წყლის ხარჯების განსაზღვრა სადაწნეო მილსადენებში	გვ.229

თ ა ვ ი V. დამოკიდებულება დონეებსა და წყლის ხარჯებს შორის და მდინარის ჩამონადენი	გვ.236
§ 19. ცალსახა დამოკიდებულება დონეებსა და წყლის ხარჯებს შორის	გვ.236
§ 20. არაცალსახა დამოკიდებულება დონეებსა და წყლის ხარჯებს შორის ...	გვ.246
§21. წყლის ხარჯებსა და დონეებს შორის დამოკიდებულების ექსტრაპოლაცია	გვ.263
§ 22. წყლის ჩამონადენის განსაზღვრა	გვ.279
თ ა ვ ი VI. ნატანის ხარჯები და ჩამონადენი	გვ.285
§ 23. შეწონილი (ტივტივა) ნატანის ხარჯების განსაზღვრა	გვ.285
§ 24. ფსკერული ნატანის ხარჯების განსაზღვრა	გვ.295
§ 25. ნატანის ჩამონადენის განსაზღვრა	გვ.301
თავი VII. ოკეანეებისა და ზღვების ჰიდრომეტრიული სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა	გვ.307
§ 26. ოკეანეებისა და ზღვების კვლევის საშუალებები და მეთოდები.....	გვ.307
პირობითი ნიშნები	გვ.312
ლიტერატურა	გვ.314

წინასიტყვაობა

ჰიდრომეტრია ფართოდ გამოიყენება სახალხო მეურნეობის თითქმის ყველა დარგში. სითხეების შესწავლა მჭიდროდაა დაკავშირებული სხვადასხვა სახის ჰიდრომეტრიული სამუშაოების შესრულების აუცილებლობასთან. ბოლო პერიოდში მკვეთრად განისაზღვრა ჰიდრომეტრიის საფუძვლების ჩამოყალიბების სამი სახის მეთოდოლოგია ინჟინერ-ჰიდროტექნიკოსების, ინჟინერ-ჰიდროლოგებისა და ინჟინერ-მექანიკოსების მომზადების თავისებურებათა გათვალისწინებით. ძირითად ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა წარმოება ნორმირებულია შესაბამისი დებულებებით.

სახელმძღვანელო წარმოადგენს ჰიდრომეტრიისა და ჰიდრაულიკური გაზომვების კურსს. მასში გადმოცემულია ნაკადის დონეებისა და სიღრმეების, სიჩქარეების, წყლისა და ნატანის ხარჯებისა და ჩამონადენის განსაზღვრის ხერხები; განხილულია ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა წარმოების მეთოდები, ხელსაწყოთა მოწყობილობის პრინციპები და კონსტრუქციები.

სახელმძღვანელოს შედგენისას გათვალისწინებულია ჰიდრომექანიკაში მიღებული ტერმინები და ჰიდრომეტრიაში გამოსაყენებელი ჰიდრომეტეოროლოგიური ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპები.

ყველა თავში მოცემულია ჰიდრომეტრიულ ხელსაწყოთა და მოწყობილობათა კლასიფიკაცია. ხელსაწყოთა კონსტრუქციების განხილვისას ძირითადად გამოყენებულია დამამზადებელი საწარმოს მიერ შემუშავებული ინსტრუქციები; მეტწილად მოცემულია ხელსაწყოების მუშაობის პრინციპული სქემები. ეს გამართლებულია იმით, რომ ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპი ხანგრძლივი დროის განმავლობაში უცვლელია, მაშინ როდესაც მათი კონსტრუქცია ხშირად იცვლება. სახელმძღვანელოში გათვალისწინებულია, აგრეთვე,

ირიგაციული ჰიდრომეტრიის საკითხებიც, რადგანაც ამ დარგში ბოლო წლებში მიღწეულია გარკვეული პროგრესი წყალსამეურნეო ობიექტების მშენებლობაში.

ჰიდრომეტრიის საგანი. სიტყვა ჰიდრომეტრია ნიშნავს სითხეების გაზომვას (ბერძნულად *υδωρ* – წყალი, *μετρεω* – ვზომავ). ფართო გაგებით, სითხეებს მიეკუთვნება: წყალი, ნავთობი, გამდნარი ლითონი, ქიმიური ხსნარები და სხვ. მაშასადამე, ჰიდრომეტრია, როგორც მეცნიერება, ერთმანეთთან აკავშირებს მეცნიერების სრულიად განსხვავებულ დარგებს, რომლებშიც შეისწავლება როგორც სითხეების მოძრაობისა და წონასწორობის პირობები, ისე სხვადასხვა პროცესი; მაგალითად, ნივთიერების გადასვლა მყარი მდგომარეობიდან თხევადში (ყინულის დნობა), თხევადიდან – ორთქლისებრში (აორთქლება) და სხვ.

ჰიდრომეტრია არის მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის სითხის მოძრაობისა და მდგომარეობის, წყლის ობიექტების რეჟიმების დამახასიათებელი სიდიდეების განსაზღვრის მეთოდებსა და საშუალებებს.

მასა არის სითხის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია მისი მასა. მუდმივი ან ძალიან მცირედ ცვლადი აჩქარებების შემთხვევაში მასის დასადგენად საკმარისია გაიზომოს სითხის წონა. ამოცანა გაცილებით მარტივდება, თუ შეისწავლება მცირედ ცვლადი კუთრი წონის მქონე სითხე, მაგალითად, წყალი ტემპერატურის მცირე დიაპაზონში. ასეთ შემთხვევაში ჰიდრომეტრიის ძირითადი ამოცანაა დროის ერთეულში ნაკადის მოცემულ მართობულ კვეთში გამავალი სითხის მოცულობების განსაზღვრა. თუმცა ამ სიდიდეების ცოდნა უმეტეს შემთხვევაში საკმარისი არაა; მაგალითად, ნაკადის მიერ განვითარებული ენერგიის გამოსათვლელად საჭიროა, აგრეთვე ნაკადის ერთი მდებარეობიდან მეორეში გადაადგილების სიმაღლის ცოდნაც.

ჰიდრომეტრიის კვლევის სფეროში შედის სიღრმეების, დონეების, ფსკერისა და ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის, რელიეფის, წნევებისა და დაწნევების, სიჩქარეთა და სითხის დინების მიმართულებების, სიჩქარეების და წნევების პულსაციების, ტალღის ელემენტების, ჰიდრავლიკური ქანობების, სითხის მოცულობითი, წონითი და მასითი ხარჯების, ნაკადის სიმღვრივის, ნატანისა და პულპის ხარჯების, ნაკადის თერმული და ყინულოვანი რეჟიმების მახასიათებელი ელემენტების განსაზღვრა.

ჰიდრომეტრია შეიძლება განვიხილოთ ბუნებაში წყლის შესწავლისა და სხვადასხვა ტექნოლოგიურ პროცესებში, მანქანებსა და აპარატებში სითხეების გამოყენების თვალსაზრისითაც. ტექნიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე სამრეწველო ჰიდრომეტრია (ავიაციაში, ნავთობის, აირის, კვების მრეწველობაში და სხვ.) შეიძლება გამოიყოს დამოუკიდებელ განყოფილებად. ასეთ შემთხვევაში გაზომვას ექვემდებარება, ძირითადად, დინების სიჩქარე, წნევა და სითხის რაოდენობა (მოცულობა, წონა, მასა).

შედარებით განვითარებულია ბუნებრივი წყლის რესურსების ჰიდრომეტრია. დედამიწის სფეროს წყლებს შეიწავლის ჰიდროლოგია; მასში შედის: 1) ხმელეთის ზედაპირული წყლების ჰიდროლოგია; 2) ჰიდროგეოლოგია (მიწისქვეშა წყლების

ჰიდროლოგია); 3) ოკეანოლოგია (ოკეანეებისა და წყლების ჰიდროლოგია); 4) ჰიდრომეტეოროლოგია (მეცნიერება ატმოსფერული წყლის შესახებ).

ზედაპირული წყლების ჰიდროლოგია აერთიანებს პოტამოლოგიას (მეცნიერება მდინარეების შესახებ), გლაციოლოგიას (მეცნიერება მყინვარების შესახებ), ლიმნოლოგიას (ტბათმცოდნეობა) და ტელმატოლოგიას (ჭაობთ მცოდნეობა).

ჰიდრომეტრია შედგება:

1) ხმელეთის ზედაპირული წყლების ჰიდრომეტრიისაგან; მასში შედის: ა) სამდინარო ჰიდრომეტრია (პოტამომეტრია), ბ) გლაციომეტრია, გ) ტბის ჰიდრომეტრია (ლიმნომეტრია), დ) ტელმატომეტრია; 2) გეოჰიდრომეტრიისაგან; 3) ზღვის ჰიდრომეტრიისაგან (პარალელური ტერმინებია – ოკეანომეტრია, პრაქტიკული ოკეანოლოგია); 4) ჰიდრომეტეორომეტრიისაგან (ნალექებისა და აორთქლების გაზომვა).

ტბის ჰიდრომეტრიის მეთოდის წყალსაცავებზე ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა წარმოების მეთოდის მსგავსია. ჰიდროტექნიკურ მშენებლობასთან დაკავშირებით შედარებით ფართოდაა განვითარებული სამდინარო ჰიდრომეტრია. გეოჰიდრომეტრია, ჩვეულებრივ, განიხილება ჰიდროგეოლოგიის კურსში.

წყლის რესურსების შედარებით ეფექტური გამოყენებისა და ჰიდრომელიორაციული სისტემების, ჰიდროტექნიკური ნაგებობებისა და ჰესების უფრო რაციონალური ექსპლუატაციის გზების ძიებამ გამოიწვია საექსპლუატაციო ჰიდრომეტრიის შექმნა.

იმასთან დაკავშირებით, რომ წყალთა მეურნეობის პრობლემების კომპლექსური გადაწყვეტისას პირველ ადგილზე დგას ჩამონადენის რეგულირების საკითხი, განვითარება ჰპოვა დარეგულირებული მდინარეების ჰიდრომეტრიამ, რომელიც მჭიდროდაა დაკავშირებული საექსპლუატაციო ჰიდრომეტრიასთან, ეს გამოწვეულია იმით, რომ ჰიდროტექნიკური ნაგებობები გამოიყენება წყლის ჩამონადენის ახსარიცხავად, ხოლო მონაცემები დარეგულირებული მდინარეების რეჟიმზე საფუძვლად უდევს ჰიდრონაგებობების ექსპლუატაციას.

სათანადოდ განვითარდა საინჟინრო ჰიდრომეტრიაც. იგი მოიცავს ჰიდრომეტრიულ სამუშაოებს ჰიდროტექნიკური ნაგებობებისა და ხიდების მშენებლობისა და ექსპლუატაციაში შეყვანის პერიოდში. ამ სამუშაოებში ერთიანდება დაკვირვებები ნაგებობების გავლენისა ნაკადის ჰიდრავლიკურ ელემენტებზე და პირიქით (ნაგებობების მდგომარეობასა და წყალქვეშა ნაწილების მთლიანობაზე), შევიწროებული კალაპოტის დეფორმაციებზე (განსაკუთრებით ნაგებობათა მახლობლად), ნაგებობებზე წყალმოვარდნისა და ყინულსვლის ზემოქმედებაზე. ამავე პერიოდში მიმდინარეობს კალაპოტების დაკეტვასა და ნაკადის წყალსაგდებ ნაგებობებში გაშვებასთან დაკავშირებული

ჰიდრომეტრიული სამუშაოებიც. ვითარდება ორფაზა ნაკადების ჰიდრომეტრია (ჰულპის, აერირებული ნაკადების და სხვ.).

თუ ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა მიზანს წყლის ობიექტების ჰიდროლოგიური რეჟიმის შესწავლა წარმოადგენს, მაშინ ჰიდრომეტრიას განიხილავენ როგორც ჰიდროლოგიის ნაწილს.

ჰიდრომეტრია ჰიდროლოგიის თვალსაზრისით იყოფა ორ ნაწილად:

1) ჰიდრავლიკური გაზომვები და 2) ჰიდრომეტეორომეტრია. ორივე ნაწილი ერთად ატარებს ჰიდროლოგიური გაზომვების სახელწოდებას. ჰიდრომეტრია განისაზღვრა როგორც წყლის ობიექტებისა და წყლის ბალანსის კომპონენტების გაზომვის მეთოდების მეცნიერება. ჰიდრომეტრიული სამუშაოები სრულდება არა მარტო სავსე პირობებში, ე. ი. უშუალოდ მდინარეზე, წყალსაცავზე, არხსა და სხვა წყალსატევებზე, არამედ ლაბორატორიებშიც (ჰიდრავლიკურ, ჰიდროტექნიკურ და სხვ.). ამიტომ მას ყოფენ ლაბორატორიულ და სავსე ჰიდრომეტრიად.

ჰიდრომეტრიას უშუალო კავშირი აქვს მეტეოროლოგიასთან.

ჰიდრომეტრიის პრაქტიკული და მეცნიერული მნიშვნელობა. წყლის რესურსების გამოყენება და წყლის რეჟიმის მართვა დიდი სახელმწიფოებრივი მნიშვნელობის ამოცანაა. მასში შედის მდინარეთა წყლის ენერგიის გამოყენება ჰიდროელექტროსადგურების (ჰესების) საშუალებით, ჰიდროტექნიკური მელიორაცია (მორწყვა, ამოშრობა, გაწყლოვანება), წყლის ტრანსპორტი, ხიდებისა და გზების მშენებლობა, სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო წყალმომარაგება, თევზის მეურნეობა და სხვ.

წყლის რესურსების გამოყენებას წინ უძღვის ჰიდრომეტრიის საშუალებით ნაკადის სხვადასხვა მახასიათებლის (ელემენტის) შესწავლის ეტაპი. მაგალითად, ჰესის სიმძლავრის დასადგენად საჭიროა ვიცოდეთ, თუ წყლის რა მოცულობა გაივლის კალაპოტის განივკვეთში დროის ერთეულში (წყლის ხარჯი) და რა სიმაღლეზე შეიძლება წყლის აწევა მოცემულ ბუნებრივ პირობებში. მდინარეებისა და ტბების სანაოსნოდ გამოყენებისათვის აუცილებელია წყალქვეშა რელიეფის ფორმის განსაზღვრა. საირიგაციო მშენებლობაში მდინარეთა რწყვისუნარიანობას ადგენენ წყლის ხარჯების მიხედვით. ჭაობების დაშრობისას უნდა ვიცოდეთ წყალმიმღებად გამოყენებული მდინარის გამტარუნარიანობა და, ბოლოს, ყველა ჰიდროტექნიკური ნაგებობის ძირითადი ზომები დამოკიდებულია მდინარეში წყლის ხარჯზე. მაშასადამე, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა დაგეგმარებისას აუცილებელია ცნობები გვქონდეს ხარჯების, სიღრმეებისა და აგრეთვე წყლის ზედაპირის შესაბამისი მნიშვნელობის შესახებ; ამასთან, გამოიყენება მონაცემები ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ნატანის რაოდენობის შესახებაც. მაგალითად, წყალსაცავებს აგეგმარებენ მათი დალამვის პერიოდის გათვალისწინებით, რაც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია ნატანის ხარჯზე. ამგვარად, ჰიდრომეტრია ადგენს ნაკადის მახასიათებლებს, რომელთა ცოდნა აუცილებელია როგორც წყლის

რესურსების ასათვისებლად, ისე ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა გეგმარებისა და მშენებლობასთან დაკავშირებული პრობლემების გადასაწყვეტად.

ჰიდრომეტრიული სამუშაოები ტარდება ჰიდროტექნიკური ნაგებობების, ჰესებისა და ჰიდრომელიორაციული სისტემების ექსპლუატაციის პროცესშიც. ჰიდროლოგიური რეჟიმის დეტალური აღრიცხვა წლის განმავლობაში საშუალებას იძლევა გავზარდოთ ჰიდროელექტროსადგურების მიერ გამომუშავებული ენერგია. სარწყავ მიწებზე წყლის სწორი განაწილება და გამოყენება დაკავშირებულია აგრეთვე ჰიდრომეტრიასთან.

წყლის რესურსების შესწავლის დონე განაპირობებს მათი გამოყენების ეფექტურობას. მდინარეებისა და წყლის სხვა ობიექტების კვლევა მეტად რთული ამოცანაა, რაც დროის მიხედვით წყლის ხარჯის დიდი ცვალებადობით აიხსნება. ეს უკანასკნელი, თავის მხრივ, კლიმატური ფაქტორების მოქმედებითაა გამოწვეული. იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ ნაკადის მახასიათებლების ცვლილების შესაძლო ზღვრები და მათი საშუალო მნიშვნელობები, საჭიროა უწყვეტი ჰიდრომეტრიული სამუშაოების წარმოება რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში. ჰიდროლოგიურ კვლევათა შედეგები მუშავდება გარკვეული სისტემით და ქვეყნდება „ჰიდროლოგიურ წელწლიურში“, აგრეთვე, ცნობარებში „ზედაპირული წყლების რესურსები“. „ჰიდროლოგიური წელწლიური“ შეიცავს დაკვირვებებს ობიექტებში წყლისა და ყინულის რეჟიმების ძირითადი ელემენტების შესახებ, ნატანის ჩამონადენისა და ზედაპირული წყლების ქიმიური შედგენილობის შესახებ.

ჰიდრომეტრიას დიდი მეცნიერული მნიშვნელობა აქვს ხმელეთის წყლების ჰიდროლოგიისათვის. ჰიდრომეტრია საშუალებას იძლევა გამოკვლეული იქნას ჩამონადენის პროცესები, მისი განაწილება ტერიტორიისა და დროის მიხედვით, წყლის მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯები, კალაპოტშიგა პროცესები და ნატანის ჩამონადენი; მათი რაოდენობრივი მახასიათებლების დადგენა დაფუძნებულია მრავალრიცხოვანი ჰიდრომეტრიული მასალის განზოგადებაზე. მაშასადამე, ჰიდრომეტრიის მეცნიერული მნიშვნელობა ისაა, რომ მისი მეთოდების, ნაგებობებისა და ხელსაწყოების საშუალებით შესაძლებელია მივიღოთ მონაცემები ჰიდროლოგიურ კანონზომიერებათა შესასწავლად.

ჰიდრომეტრიული მეცნიერების განვითარება საქართველოში, უმეტეს წილად, ეფუძნებოდა პოსტსაბჭოთა სივრცეში აღმოცენებულ მეცნიერულ კვლევებს და მხოლოდ საქართველოს დამოუკიდებლობის შემდეგ გახდა შესაძლებელი, გაღრმავებულიყო წარმოდგენა ჰიდრომეტრიული მეცნიერების თანამედროვე მსოფლიო მიღწევებზე.

სამდინარო ჰიდრომეტრიის განვითარების საქმეში დიდი წვლილი მიუძღვის ვ. გლუშკოვს, ე. ბლიაზნიაკს, ბ. აპოლოვს და სხვ.

ჰიდრომეტრია, როგორც მეცნიერული დისციპლინა, უნდა ვითარდებოდეს შემდეგი მიმართულებებით: ახალი მეთოდების დამუშავება და თეორიის განვითარება ჰიდრომექანიკის საფუძველზე; ფიზიკის უახლესი მიღწევების

გამოყენება ახალი პრინციპებისა და ხელსაწყოების შექმნის მიზნით ნაკადის ელემენტების გასაზომად; ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა ავტომატიზაცია და მექანიზაცია; დარეგულირებული მდინარეებისა და საექსპლუატაციო და საინჟინრო ჰიდრომეტრიის მეთოდების დამუშავება და სხვ.

ახლო მომავალში ჰიდრომეტრიის საფუძველი უნდა გახდეს ისეთი ხელსაწყოები, რომლებიც განსაზღვრავენ ნაკადის ელემენტებს მისი სტრუქტურის დაურღვევლად; უნდა შემუშავდეს მეთოდები, რომელთა საშუალებით შესაძლებელი იქნება მდინარის ნაპირიდან ნაკადის ნებისმიერი მყისიერი მახასიათებლის გაზომვა.

დიდ როლს შეასრულებენ კოსმოსური ორბიტული სადგურები, რომლებიც ახალ შესაძლებლობებს იძლევიან ვრცელ ტერიტორიებზე ჰიდროლოგიური კვლევების ჩასატარებლად.

ჰიდრომეტრიის განვითარება და სრულყოფა მჭიდროდაა დაკავშირებული ჰიდროტექნიკურ მშენებლობასთან, აგრეთვე, სარწყავი მიწათმოქმედების განვითარებასთან, რომელსაც ერთ-ერთი წამყვანი ადგილი უკავია სოფლის მეურნეობის ინტენსიფიკაციის საქმეში.

წყლის ზუსტი ოპერატიული აღრიცხვა და განაწილება რაციონალური წყალსარგებლობის საფუძველია. იგი უზრუნველყოფს მიწების კარგ მელიორაციულ მდგომარეობას და სასოფლო-სამეურნეო კულტურის მაღალ მოსავლიანობას, წყლის ეკონომიურ ხარჯვას.

წყალი ჩვენი ქვეყნის ერთ-ერთი უდიდესი სიმდიდრეა. წყლის რესურსების შესახებ არსებული კანონმდებლობა ხელს უწყობს წყლის უფრო ეფექტურ, მეცნიერულად დასაბუთებულ გამოყენებას და იცავს მის ეკოლოგიურ უსაფრთხოებას.

საქართველოში ჰიდრომეტეოროლოგიურ სამუშაოებს ხელმძღვანელობს გარემოს დაცვისა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტროს გარემოს ეროვნული სააგენტო.

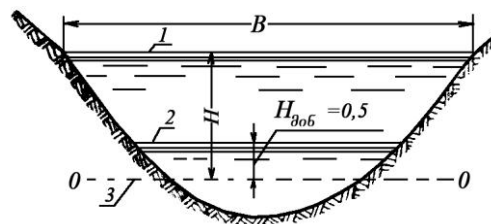
თ ა ვ ი I. წყლის დონეები

§1. წყლის დონეების გასაზომი ხელსაწყოები და მოწყობილობანი

წყლის დონე ეწოდება წყლის ზედაპირის სიმაღლეს მუდმივი ჰორიზონტალური სიბრტყის მიმართ. საინჟინრო ჰიდროლოგიასა და ჰიდროტექნიკაში წყლის დონეებს, ჩვეულებრივ, აითვლიან აბსოლუტურ ნიშნულებში, რაც მოხერხებულია გეგმარის ნატურაში გადატანის თვალსაზრისით.

მდინარეებისა და წყალსაცავების დონეების გაზომვისა და მონაცემების დამუშავებისას (მაგალითად, რაიმე პერიოდში საშუალო დონის გამოთვლისას) მიზანშეწონილია, ეს სიდიდეები გამოისახოს ნიშნულებით. ამასთან, ნულოვანი

ნიშნულის მქონე მუდმივი სიბრტყის შერჩევას არსებითი მნიშვნელობა აქვს. თუ ასეთ სიბრტყეს გავატარებთ წყლის უდაბლესი ჰორიზონტის ნიშნულზე, მაშინ უმაღლესი დონე ერთდროულად მისი რხევის ამპლიტუდის ზედა ზღვრის გამომსახველიც იქნება. იმისათვის, რომ დავადგინოთ უდაბლესი დონე, აუცილებელია ხანგრძლივი დაკვირვებების ჩატარება. ამიტომ მუდმივ სიბრტყეს, როგორც წესი, ატარებენ დაკვირვებებით დადგენილი ფაქტიური უდაბლესი დონიდან ქვემოთ, 0,5 მ-ზე (ნახ.1), რაც H -ის უარყოფით მნიშვნელობათა თავიდან აცილების საშუალებას იძლევა. თუ წყლის ობიექტი იყინება, მაშინ დონეს ადგენენ ღრმულებში წყლის ზედაპირის მიხედვით.



ნახ. 1. ნაკადის განივი კვეთი:

1 – წყლის დონე; 2 – უდაბლესი (მინიმალური) დონე;

3 – პირობითი დონე

წყალსადინარში ან წყალსატევში წყლის დონის განმსაზღვრელ მოწყობილობას წყალსაზომი საგუშაგო ეწოდება. ამ ტერმინს, ჩვეულებრივ, ხმარობენ ჰიდროლოგიასა და ჰიდროტექნიკაში. სამრეწველო დანადგარებისა და, აგრეთვე საექსპლოატაციო ჰიდრომეტრიაში იხმარება ტერმინი – დონესაზომი. აუცილებელია სისტემატურად შემოწმდეს წყალსაზომი საგუშაგოს საზომ მოწყობილობათა მაღლივი მდებარეობა, რისთვისაც ისინი აღჭურვილნი არიან ძირითადი და საკონტროლო რეპერებით. მათ ათავსებენ საგუშაგოს კვეთში რაც შეიძლება მასთან ახლოს, მაგრამ წყალდიდობით გამოწვეული დატბორვის ზონის გარეთ.

პირობით ჰორიზონტალურ სიბრტყეს 3 (ნახ.1), საიდანაც დონეები აითვლება, წყალსაზომი საგუშაგოს გრაფიკის ნული ეწოდება, ასეთი სახელწოდება იმით აიხსნება, რომ დროის მიხედვით დონეების ცვლილების გრაფიკს აგებენ ვერტიკალურ ღერძზე პირობითი დონეების გადაზომვით, ესე იგი კოორდინატთა სისტემის სათავეს ათავსებენ ნულოვან წერტილთან. გრაფიკის ნულის ნიშნული ყოველთვის ცნობილია. მას უმატებენ პირობითი დონეების მნიშვნელობებს და იღებენ წყლის ჰორიზონტების აბსოლუტურ ნიშნულებს. წყალსაზომის საგუშაგოებს, რომლებიც მდინარეზე ერთმანეთისაგან მნიშვნელოვანი მანძილით არიან დაშორებული, გრაფიკის ნულის სხვადასხვა ნიშნული გააჩნიათ. ერთსა და იმავე ტბაზე ან წყალსაცავზე განლაგებულ საგუშაგოებს, დონეებზე დაკვირვების შედეგების სარგებლობის მოხერხებულობისათვის, ჩვეულებრივ, გრაფიკის ნულის

ერთნაირი ნიშნულები აქვთ. წყალსაცავებზე გრაფიკის ნულს იღებენ წყალსატევში დამუშავების პრიზმის საპროექტო ნიშნულის ქვემოთ 0,5–1 მ–ზე.

წყლის დონეებზე დაკვირვებისათვის საგუშაგოებს აწყობენ სანაოსნო არხებსა და მდინარეებზე, დასახლებული პუნქტების, სამრეწველო საწარმოების, კაშხლების, ჰიდროელექტროსადგურების, რაბების, ნავსადგურების, ხიდებისა და საგზაო მიწების ახლოს, ირიგაციული და სამრეწველო დანიშნულების წყალმიმღებ ნაგებობათა განლაგების ადგილებში.

დიდი ყურადღება ეთმობა დონეების გაზომვას ჩამონადენის, ე. ი. წყლის იმ მოცულობის განსაზღვრისას, რომელიც გაედინება მდინარის განიკვეთში დროის გარკვეულ პერიოდში, (თვე, წელი და ა.შ.) ასეთ შემთხვევაში სარგებლობენ წყლის დონესა და ხარჯს შორის არსებული ურთიერთკავშირით. დონეს ზომავენ უფრო მარტივად და სწრაფად, ვიდრე წყლის ხარჯს. განუწყვეტლივ ზომავენ რა დონეს, ხოლო პერიოდულად – ხარჯს, გაანგარიშებით ადგენენ ხარჯის ცვლილებას დროის მიხედვით, ხოლო შემდეგ – ჩამონადენსაც. სწორედ ესაა მდინარეებზე ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა წარმოების მთავარი მიზანი. გარდა ამისა, ნაკადის სხვადასხვა კვეთში გაზომილი დონეების მიხედვით საზღვრავენ ჰიდრავლიკური და ჰიდროლოგიური გაანგარიშებისათვის აუცილებელ სიდიდეს – წყლის ზედაპირის ქანობს.

მდინარეებში წყლის დონეებზე დაკვირვებისადმი ინტერესი ჩაისახა შორეულ წარსულში, რაც უმთავრესად დაკავშირებული იყო წყალდიდობით გამოწვეულ დიდ უბედურებებთან.

წყალსაზომი საგუშაგოები დანიშნულების მიხედვით არის:

ძირითადი, რომლის საშუალებითაც სისტემატურად აკვირდებიან დონეებს განსაზღვრულ პუნქტში;

ჰიდროკვეთური, რომელიც ეწყობა ჰიდრომეტრიულ კვეთში (იხ. § 11); მათი საშუალებით დონეებს აკვირდებიან მხოლოდ წყლის ხარჯების განსაზღვრის დროს;

ჰიდროპროგნოზული, რომლის საშუალებითაც (ძირითად საგუშაგოსთან ერთად) დაკვირვება მიმდინარეობს ჰიდროლოგიური პროგნოზირების; ე.ი. წყლის რეჟიმის წინასწარმეტყველების მიზნით;

ქანობის გასაზომი, რომელიც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს წყასადინრის ვარდნა, ე. ი. წყლის ზედაპირის ნიშნულების სხვაობა;

სპეციალური დანიშნულების, მაგალითად, კალაპოტშიგა პროცესების, წყლის პერიოდული გაშვებისას წარმოქმნილი ტალღებისა და სხვათა შესასწავლად.

მოქმედების ვადის მიხედვით წყალსაზომი საგუშაგოებია:

მუდმივი, რომლის დანიშნულებაა ხანგრძლივი (სტაციონარული) დაკვირვებების წარმოება წყლის დონეებზე; დროებითი, რომელიც იქმნება კვლევისა და მშენებლობის პერიოდში;

მოდრავი, რომელიც იქმნება საძიებო პარტიების მუშაობის ადგილებში; დაკვირვებები ზემოთ მდგომ საგუშაგოზე არ წყდება მანამდე, სანამ არ შეიქმნება საგუშაგო ქვემოთ, მდინარის დინების გასწვრივ.

კონსტრუქციის მიხედვით არის წყალსადგომი საგუშაგოების შემდეგი ტიპები:

არაგადამცემი, რომლის საშუალებითაც დონეები აითვლება უშუალოდ წყლით დასველებული ლარტყის დანაყოფების მიხედვით ასეთ ტიპს მიეკუთვნება: ლარტყიანი, ხიმინჯიანი და ლარტყიან-ხიმინჯიანი საგუშაგოები.

გადამცემი, რომლის საშუალებითაც დონეები აითვლება წყლის თავისუფალი ზედპირიდან გარკვეულ მანძილზე, ე. ი. დონეთა მდებარეობა ხელსაწყოს მარეგისტრირებელ ნაწილს გადაეცემა გადამწოდის საშუალებით.

გადამცემის საგუშაგო, თავის მხრივ, შემდეგი ტიპისაა: საგუშაგო დონის არავტომატური აღმნიშვნელით, ავტომატური აღმნიშვნელით, საგუშაგო დონეების უწყვეტი ფიქსირებით. ამ უკანასკნელში დონეები რეგისტრირდება წყლის დონის თვითმწერის, ანუ ლიმნიგრაფის საშუალებით. გადამცემს მიეკუთვნება, აგრეთვე, საგუშაგო დისტანციური მოწყობილობით, რომელიც საშუალებას იძლევა დონეები გაიზომოს წყლის ობიექტიდან მნიშვნელოვან მანძილზე.

არსებობს დონეების მდებარეობის მანძილზე გადაცემის სხვადასხვა სისტემა: მექანიკური, ჰიდრავლიკური, პნევმატიკური, ელექტრული, რადიოელექტრული. დონის დისტანციური რეგისტრაციისათვის (წყლის ობიექტთან უშუალოდ კონტაქტის გარეშე) გამოიყენება რადიოაქტიური დონემზომები.

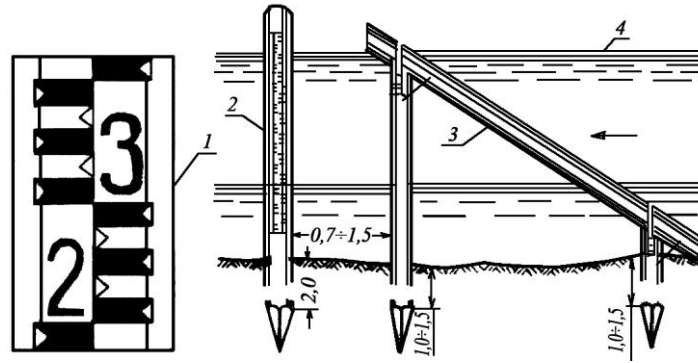
გარდა რეპერებისა, წყალსაზომ საგუშაგოს გააჩნია დამხმარე ინსტრუმენტები: დონეთა ზღვრული მნიშვნელობების გასაზომი ლარტყები (თუ საგუშაგო ლიმნიგრაფით არ არის აღჭურვილი), დონეებისა და ყინულის სისქის საზომი გადასატანი ლარტყები და სხვ.

ლარტყიანი და ხიმინჯიანი წყალსაზომი საგუშაგოები. ლარტყიან საგუშაგოზე აყენებენ ვერტიკალურ ან დახრილ დანაყოფებიან ლარტყას, რომლითაც შესაძლებელია დონეების მდებარეობა გაიზომოს 1სმ-მდე სიზუსტით.

ვერტიკალურ ლარტყებს, შეძლებისდაგვარად, თვალსაჩინოდ ამაგრებენ სანაპიროს, რაბის, კაშხლის, ხიდის ბურჯის კედლებზე. ლარტყის სიგრძე დონეთა რხევის ამპლიტუდას დაახლოებით 0,5–1 მ-ით უნდა აღემატებოდეს. უპირატესობა ენიჭება ლითონის ლარტყას (მომინანქრებულს, ღია ფერისას). ნაგებობების არარსებობისას ვერტიკალური ლარტყის გამოყენება შეიძლება კლდოვან-ფლატეებიანი ნაპირების მქონე მდინარეებზე.

ნაპირების ზომიერი დაქანებისა და დონეთა რხევის მცირე ამპლიტუდის შემთხვევაში ლარტყა უნდა მოთავსდეს ჩამჩა-ქვაბულში, რომელიც დაკავშირებული იქნება მდინარესთან და შეასრულებს ტალღების დამაწყნარებლის როლს.

მცურავი სხეულებისა და ყინულისაგან ლარტყის დასაცავად იყენებენ ზღუდეს (ნახ.2). ლარტყიანი საგუშაგო, ადგილობრივი პირობების მიხედვით, რამდენიმე ლარტყისაგან შედგება, მხოლოდ აუცილებელია მეზობელი ლარტყების ნულოვანი დანაყოფები სიმაღლეზე ერთმანეთს უთავსდებოდეს მეტრების მთელი რიცხვით. ლარტყის ნული წარმოადგენს წყალსაზომ დაკვირვებათა ნულს, რომლის ნიშნულიც, ჩვეულებრივ, ცნობილია, რადგანაც წყალსაზომი საგუშაგოს ყველა მოწყობილობა დანიველირებულია.

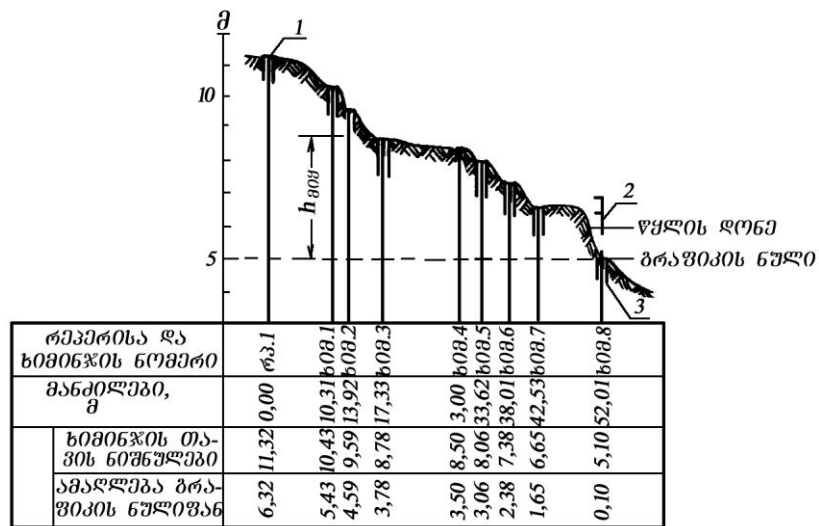


ნახ. 2. ლარტყიანი წყალსაზომი მოწყობილობა:

- 1-წყალსაზომი ლარტყის ნაწილი; 2 – ხიმინჯზე მიმაგრებული ლარტყა;
3-ზღუდე, რომელიც ლარტყას იცავს მცურავი სხეულებისაგან; 4-მაღალი წყლების დონე

გარდა ვერტიკალურისა, გამოიყენება დახრილი ლარტყაც. უკანასკნელს ამაგრებენ მდინარის ნაპირზე ქვის, ბეტონის ან ხის სვეტზე. ღორღისა (15 სმ) და ბეტონის (10 სმ) ხელოვნურ სანაპირო ნაგებობაზე ლარტყა შეიძლება დამაგრდეს ჭანჭიკების საშუალებით. პატარა თხრილში მოთავსებული დახრილი ლარტყა უკეთესადაა დაცული (ვერტიკალურთან შედარებით) დაზიანებისაგან, ამასთან, დინების დიდი სიჩქარის დროს იგი არ ტბორავს წყალს, რაც უზრუნველყოფს დონის ათვლის დიდ სიზუსტეს. დახრილი ლარტყის დანაყოფები $1 \text{ სმ}/\sin \alpha$ სიდიდის უნდა იყოს, სადაც α ჰორიზონტთან ლარტყის დახრის კუთხეა.

დამრეცი ნაპირების მქონე დიდ მდინარეზე აწყობენ ხიმინჯიან საგუშაგოს, რომელიც შედგება ხიმინჯების ჯგუფისაგან (ნახ. 3). ხიმინჯებს ასობენ წყლის დინების საშუალო მიმართულების პერპენდიკულარულ კვეთში და ნომრავენ ზემოდან რიგის მიხედვით. დონეებს აითვლიან გადასატან ლარტყაზე (1,5 მ სიგრძის 1 სმ-იანი დანაყოფებით). ამ უკანასკნელს ათავსებენ ვერტიკალურად წყალში მდებარე ნაპირთან უახლოეს ხიმინჯზე. ასეთ შემთხვევაში ხიმინჯის თავის ნიშნული იქნება წყალსაზომ დაკვირვებათა ნული. ლარტყაზე ანათვლის აღებასთან ერთად აუცილებელია, ჩაიწეროს ხიმინჯის ნომერიც.



ნახ. 3. ხიმიწიანი წყალსაზომი საგუშაგო:

1 – რეპერი; 2 – ლარტყა; 3 – ხიმიწი №8

წყალსაზომ დაკვირვებათა ნულისა და წყალსაზომი საგუშაგოს გრაფიკის ნულის ნიშნულებს შორის სხვაობას საგუშაგოს გრაფიკის ნულთან მიყვანის სიმაღლე ეწოდება. მე-3 ნახ.-ზე გამოსახულია მიყვანის სიმაღლის ($h_{აოყ}$) მნიშვნელობები, რომლებიც, ამავე დროს, წარმოადგენენ ხიმიწების თავის ამაღლებას გრაფიკის ნულის მიმართ; მაგალითად, 3 ხიმიწისათვის $h_{აოყ} = 3,78$ მ-ს. დონე გრაფიკის ნულიდან უდრის დონეს დაკვირვებათა ნულიდან, დამატებული მიყვანის სიმაღლე.

პრაქტიკაში გამოიყენება ლითონის მილების ან ძელებისაგან დამზადებული ხრახნილი და ხის (0,20 – 0,25 მ დიამეტრით) ხიმიწები. მათი თავები მკაცრად ჰორიზონტალური უნდა იყოს. ხის ხიმიწს თავზე უკეთებენ ლითონის დამცავს ან ასობენ დიდ მრგვალთავიან ლურსმანს, რომელზეც დებენ გადასატან წყალსაზომ ლარტყას. ხიმიწის მიწისზედა ნაწილი ზეთის საღებავით უნდა შეიღებოს.

ადგილზე ხიმიწების სწორად განლაგებისათვის სარგებლობენ ნაპირის განივი პროფილის ნახაზით; ამასთან, პირველი (ზედა) ხიმიწის თავს ათავსებენ წყლის უმაღლესი დონიდან 0,25 – 0,50 მ-ით მაღლა, ხოლო უკანასკნელი (ქვედა) ხიმიწის თავს – წყლის უდაბლესი დონიდან 0,25 – 0,50 მ-ით დაბლა. მეზობელი ხიმიწების თავების ნიშნულების სხვაობა 0,7–0,8 მ-ია; მათ შორის მანძილი არ უნდა აღემატებოდეს 50 მ-ს, ხოლო ხიმიწების მიწისზედა ნაწილების სიმაღლე – 0,10–0,15 მ-ს. ხიმიწების ჩასობის სიღრმეს ადგენენ გრუნტის სახეობისა და მისი გაყინვის სიღრმის მიხედვით. ხიმიწების ნაცვლად შეიძლება კაპიტალურად გამაგრებული ნაპირების საფეხურებით სარგებლობა.

ა) მუდმივ (დონის უშუალოდ ასათვლელად ლარტყიან საგუშაგოზე),
ბ) გადასატან (წყლის დონის ასათვლელად ხიმიწიან წყალსაზომ საგუშაგოზე) და
გ) მაქსიმალურ და მინიმალურ (დონეების ექსტრემალური მნიშვნელობების
ასათვლელად) ლარტყებად;

თოვლსაზომი ლარტყები იყოფიან: ა) მუდმივ (სტაციონარული დაკვირვების
პუნქტებში თოვლის საფარის სისქის გასაზომად) და ბ) გადასატან (ყინულზე
თოვლის სისქის გასაზომად და თოვლსაზომი გადაღებებისათვის) ლარტყებად;

ყინულსაზომი ლარტყები; თოშსაზომი ლარტყები; ხარჯსაზომი ლარტყები,
რომელთაც აქვთ წყლის ხარჯების სკალა.

გადამცემი საგუშაგოები წყლის დონის აღმნიშვნელობით. მდინარის
შვეული მდგრადი ნაპირების, აგრეთვე ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ან ხიდების
არსებობისას აწყობენ გადამცემ საგუშაგოებს დონეების როგორც ავტომატური, ისე
არაავტომატური აღმრიცხველებით.

გადამცემი საგუშაგო წყლის დონის ავტომატური ისრული (ისრიანი)
მაჩვენებლით Y-52 (ნახ.4) შედგება ტივტივიანი მოწყობილობისა და
რედუქტორისაგან; ეს უკანასკნელი აღჭურვილია ციფერბლატითა და ისრებით.
ტივტივიან მოწყობილობაში შედის ტივტივა - 6 და საპირწონე - 2, რომლებიც
ქლორვინილის გარსში ერთმანეთთან ტივტივიან თვალზე გადაკიდებული
გვარლით არიან შეერთებული. ტივტივიანი თვალი ჩამოცმულია რედუქტორის
ღერძზე. რედუქტორს აქვს ორი ისარი: ერთი მათგანი უჩვენებს მეტრებს (ერთი
ბრუნის დონის 5 ან 10 მ-ით ცვლილებისას), ხოლო მეორე - სანტიმეტრებს (ერთი
ბრუნის დონის 1 მ-ით ცვლილებისას). დონეებს აითვლიან ორი სკალით 4 და 5;
ისინი, შესაბამისად, დაყოფილია მეტრებად (გარე სკალა) და სანტიმეტრებად.

Y-52 დონის მაჩვენებელი აღჭურვილია ისრებით, რაც დონეების ზღვრული
მნიშვნელობის რეგისტრაციის საშუალებას იძლევა. ისინი მოთავსებულია მთავარ
ისრებთან ერთად ერთ ღერძზე და ციფერბლატზე მოძრაობენ შტიფტით, რომელიც
მეტრების მაჩვენებელ ისარზეა დამაგრებული. ზღვრული დონის მაჩვენებელი
ისარი უკიდურეს მდებარეობაში ყოფნისას, რაც დაკვირვების სტანდარტულ
ვადებში უდიდეს და უმცირეს დონეებს შეესაბამება, ინარჩუნებს თავის
მდგომარეობას ღერძზე არსებული ხახუნის გამო.

ტივტივიანი მოწყობილობა მოთავსებულია ლითონის დამცავ მილში - 7,
რომელიც 300 მმ დიამეტრის მქონე ორმეტრიანი სექციებისაგან ეწყობა. ქვედა
სექცია, რომლის ფსკერზეც გაკეთებულია ხვრეტი - 1, წყალში ისე იძირება, რომ
ფსკერი წყლის უმცირესი დონიდან ქვემოთ 0,5 მ-ზე იმყოფებოდეს. ტივტივიანი
თვალი, რედუქტორი და ციფერბლატი მოთავსებულია ბუდეში - 3 დამცავი მილის
ზედა ნაწილში. ბუდეში ციფერბლატის წინ გაკეთებულია შემინული ხვრეტი. Y-52
მაჩვენებელს საიმედო საყრდენზე (ისევე, როგორც ლარტყის ჰიდროტექნიკურ
ნაგებობათა კედლებზე, ხიდის ბურჯებზე და სხვ.) ამაგრებენ კრონშტეინებისა და
ცალუდების საშუალებით. Y-52 მაჩვენებელი, დონის 10 მ-მდე რხევის

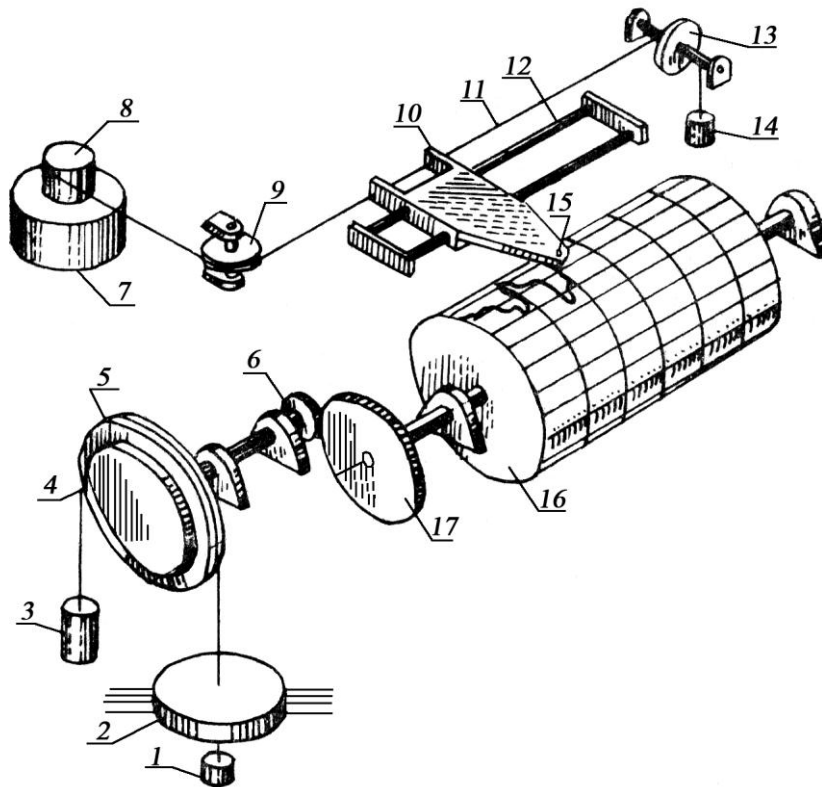
ამპლიტუდის შემთხვევაში, ზომავს 1 სმ-მდე, ხოლო მაქსიმალურ და მინიმალურ დონეს – 2,5 სმ-მდე სიზუსტით.

წყლის დონის თვითმწერის მოქმედების პრინციპი ისაა, რომ ტივტივა აიწვევს ან დაიწვევს წყლის დონესთან ერთად. გადამცემი და საათის მექანიზმების საშუალებით დანაყოფებიან ქაღალდზე (ლენტზე) იწერება დროის მიხედვით დონის ცვლილების გრაფიკი.

თუ ლენტის დოლი ბრუნავს საათის მექანიზმით, მაშინ ტივტივას ვერტიკალური გადაადგილება უშუალოდ ხესაწყოს ჩამწერ კალამს გადაეცემა. არის დონის თვითმწერის სხვა კონსტრუქციაც, როცა დოლი მოძრაობაში მოჰყავს ტივტივას, ხოლო კალამი – საათის მექანიზმს. დოლის ღერძი შეიძლება იყოს როგორც ვერტიკალური, ისე ჰორიზონტალური. პოსტსაბჭოთა სივრცეში ფართოდ გამოიყენებოდა დონის თვითმწერი – „ვალდაი“ და ГР-38.

ამ თვითმწერების მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს წყლის დონის ცვლილებისას ტივტივიანი სისტემის (რომელიც ტივტივასა და საპირწონისაგან შედგება) გადაადგილების გარდაქმნაში თვითმწერის კალმის ან დოლის გადაადგილების პროპორციულად, შესაბამისად, დოლის ან კალმის ერთდროული გადაადგილებით. „ვალდაის“ ტიპის თვითმწერში ტივტივიანი სისტემის წონასწორობის ცვლილებას მივყავართ დოლის პროპორციულ კუთხურ გადაადგილებასთან, ხოლო ГР-38 ტიპის თვითმწერში – კალმის გადაადგილებასთან.

„ვალდაის“ ტიპის თვითმწერის კინემატიკური სქემა მოყვანილია მე-5 ნახ.-ზე. ტივტივა - 2 ტვირთით - 1 და საპირწონე - 3 დაკიდებულია - 4 ან 5 ტივტივიან თვალზე. გვარლის შლილი (წრეწირის სიგრძე) ტივტივიან თვალზე - 4 შეადგენს 300, ხოლო თვალზე - 5 – 600 მმ-ს, რის გამოც ტივტივიანი თვლის ერთი ბრუნი სრულდება წყლის დონის ცვლილებისას, შესაბამისად, 300 ან 600 მმ-ით. ტივტივიანი თვალი კბილანა თვლების - 6 და 17 საშუალებით (გადაცემის ფარდობა 1:5) აბრუნებს დოლს - 16; მათზე დამჭერებით დამაგრებულია დიაგრამის ქაღალდი (ლიმნიგრამა). დოლის - 16 წრეწირის სიგრძე 300 მმ-ია, ხოლო მსახველის სიგრძე – 330 მმ. თვითმწერის კალამი - 15 დამაგრებულია ურიკაზე - 10; ისინი დაცოცავენ დოლის ღერძის პარალელურ ორ მმართველ ღეროზე - 12.



ნახ. 5. „ვალდაის“ ტიპის დონის
თვითმწერის კინემატიკური სქემა:

- 1 – ტვირთი; 2 – ტივტივა; 3 – საპირწონე; 4, 5 – ტივტივიანი თვალი;
6 – კბილანა თვალი; 7 – საათის მექანიზმი; 8 – დოლი; 9 – გორგოლაჭი;
10 – ურიკა; 11 – სიმი; 12 – მიმმართველი ღეროები; 13 – გორგოლაჭი;
14 – ტვირთი; 15 – კალამი; 16 – დოლი; 17 – კბილანა თვალი

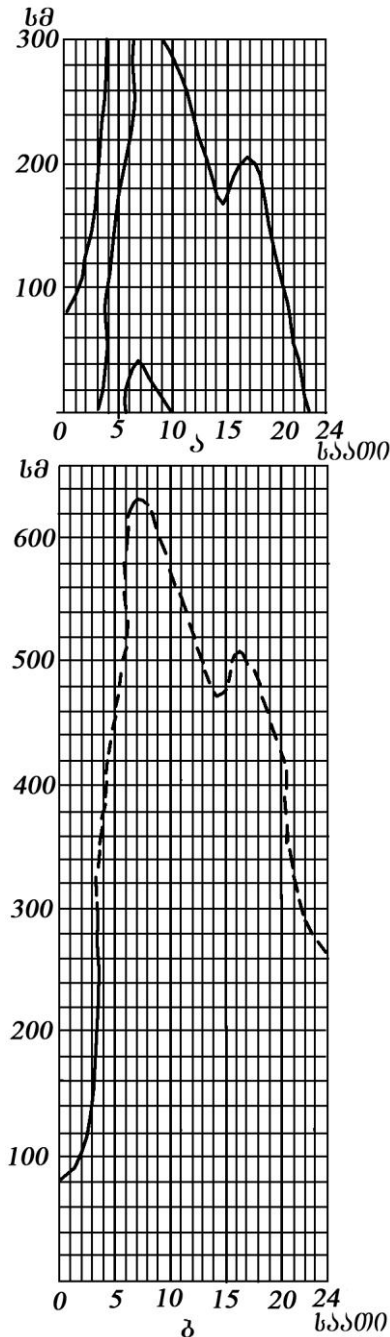
ურიკაზე - 10 გადის წვრილი მოქნილი ფოლადის სიმი - 11, რომლის ერთ ბოლოზე ჩამოკიდებულია ტვირთი - 14 და გადაკიდებულია გორგოლაჭზე - 13. გორგოლაჭზე 9 გამავალი სიმის მეორე ბოლო დახვეულია დოლზე 8, რომელიც დამაგრებულია საათის მექანიზმის - 7 ღერძზე.

ხელსაწყოს მუშაობის პრინციპი ასეთია: წყლის დონის ცვლილებისას ტივტივიანი სისტემა ახორციელებს დოლის -16 პროპორციულ კუთხურ გადაადგილებას. ერთდროულად, ტვირთის -14 მოქმედებით, ხდება კალმის -15 თანაბარი გადაადგილება დოლის ღერძის პარალელურად. შედეგად, დიაგრამის ქაღალდზე იწერება წყლის დონის ცვლილების გრაფიკი დროის მიხედვით.

დონის მაქსიმალური რხევა, რომელზეც გათვალისწინებულია „ვალდაის“ ტიპის თვითმწერი, შეადგენს 600 სმ-ს. შესაძლებელია ტივტივიანი თვლების - 4 და 5 და კბილანა თვლების - 6 და 17 გამოცვლა, რაც საშუალებას იძლევა დონეები ჩაიწეროს ოთხ მასშტაბში: 1:1; 1:2; 1:5; და 1:10. საათის მექანიზმს - 7 გააჩნია ორი დოლი დროის ჩასაწერად, მასშტაბებში - 12 მმ/სთ და 24 მმ/სთ. საათის მუშაობის მექანიზმის დრო შეზღუდულია ურიკის სვლით და უდრის 26 და 13 სთ-ს, შესაბამისად, 12 მმ/სთ და 24 მმ/სთ მასშტაბებისათვის. დონის ჩაწერის ცდომილება

ჩაწერის 1:1 მასშტაბის შემთხვევაში ± 3 მმ–ია, ხოლო 1:10 მასშტაბის შემთხვევაში ± 10 მმ.

ტივტივიანი სისტემის საპირწონე ტივტივას რომ არ შეეხო, თვითმწერის დადგმისას მონტაჟდება ამცილებელი გორგოლაჭი, რომელსაც იყენებენ დონეების რეგისტრაციის დროს მასშტაბებში 1:1 და 1:5. გორგოლაჭს ისე იყენებენ, რომ ტვირთიანი გვარლის ვერტიკალურ და დახრილ უბნებს შორის (ნახ. 8) კუთხე α 120° –ზე ნაკლები არ იყოს.



ნახ. 6. წყლის დონის ჩამწერი (ლიმნიგრამა):

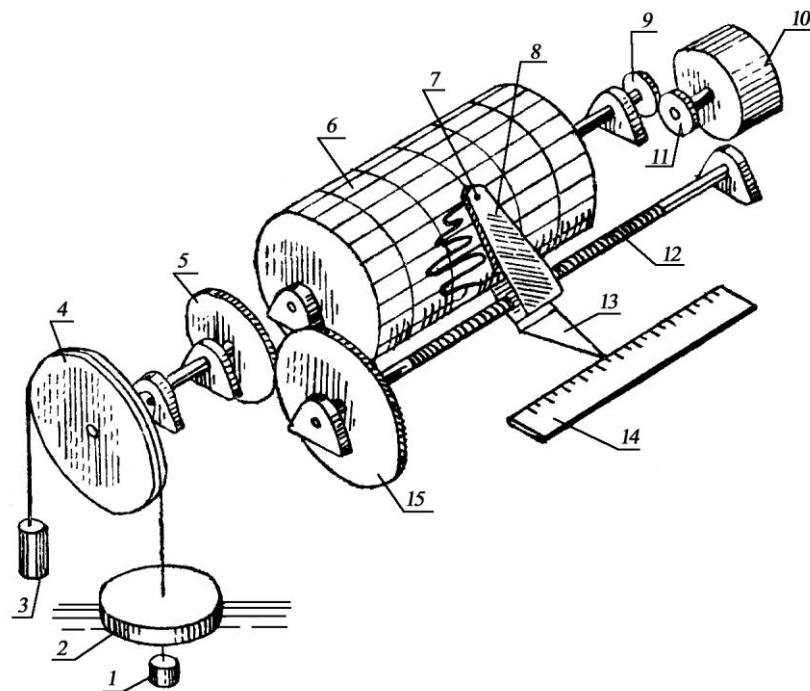
ა – დოღზე; ბ – შლილი

ხელსაწყოს საათის მექანიზმი მოთავსებულია ტენზომეტრულ ბუდეში, ხოლო თვითმწერის ბუდე ჩამწერ მექანიზმს იცავს დაზიანების, მტვრისა და ტენისაგან.

ხუფი შემინული ფანჯრით მაგრდება ღია მდგომარეობაში სპეციალური სამაგრით. კორპუსების ფსკერს აქვს ხვრეტები ჭანჭიკებისათვის.

წყლის დონის ცვლილების გრაფიკზე დროის ღერძს აქვს დოლის პარალელური მდებარეობა, ხოლო დონის ღერძს – მისი მართობული. ხელსაწყოს კონსტრუქცია საშუალებას იძლევა დონეები ჩაიწეროს ტივტივიანი თვლის მრავალჯერადი შემობრუნებისას. მე-6, ა ნახაზზე ჩაწერილია დონეები, რომელთა გაზომვისას დოლი ორზე მეტჯერ შემობრუნდა ღერძის გარშემო. ამ ჩამწერის შლილი იძლევა მრუდს, რომელიც მე-6, ბ ნახაზზეა გამოსახული.

ГР-38 ტიპის თვითმწერის კინემატიკური სქემა გამოსახულია მე-7 ნახაზზე.



ნახ.7. ГР-38 ტიპის დონის თვითმწერის კინემატიკური სქემა:

1 – ტვირთი; 2 – ტივტივა; 3 – საპირწონე; 4 – ტივტივიანი თვალი; 5 – კბილანა თვალი; 6 – დოლი; 7 – კალამი; 8 – ურიკა; 9 – კბილანა თვალი; 10 – საათის მექანიზმი; 11 – კბილანა თვალი; 12 – სასვლო ხრახნი; 13 – დონის მაჩვენებელი; 14 – სახაზავი; 15 – კბილანა თვალი

ტვირთი - 1 თივტივათი - 2 და საპირწონეთი - 3 ჩამოკიდებულია ტივტივიან თვალზე - 4. ტივტივიანი თვლის ღერძი კბილანა თვლების - 5 და 15 საშუალებით აბრუნებს სასვლო ხრახნს - 12, რომელზეც მოთავსებულია ურიკა - 8 კალმით - 7. სასვლო ხრახნის ბრუნვისას ურიკა - 8 დოლის - 6 ღერძის პარალელურად გადაადგილდება. დოლზე დამაგრებულია დიაგრამის ქაღალდი. დოლს - 6 აბრუნებს ზამბარიანი საათის მექანიზმი - 10 კბილანა თვლების - 9 და 11 საშუალებით. საათის მექანიზმის მომართვა ხდება ყოველ 38 დღე-ღამეში. ურიკაზე დამაგრებულია დონის მაჩვენებელი - 13, რომლის საშუალებითაც აითვლება დონე სახაზავზე - 14.

ხელსაწყოს მუშაობის პრინციპი შემდეგია: წყლის დონის ცვლილება იწვევს ტივტივიანი თვლის 4 პროპორციულ კუთხურ გადაადგილებას, ეს კი, თავის მხრივ, – კალმიანი ურიკის გადაადგილებას დოლის ღერძის გასწვრივ. ერთდროულად ხდება დოლის თანაბარი ბრუნვა საათის მექანიზმის საშუალებით.

ასეთი კონსტრუქციის თვითმწერი წყლის დონის რხევის ამპლიტუდას წერს დოლის მსახველის გასწვრივ, ხოლო დროის ღერძი თავსდება მის პერპენდიკულარულად. წყლის დონის მაქსიმალური რხევა, რომელზეც გათვალისწინებულია GP-38 ტიპის თვითმწერი, შეადგენს 600 სმ-ს.

არსებობს დონის თვითმწერის ისეთი ტიპები, რომლებიც აითვლიან ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ზედა და ქვედა ბიეფების ნიშნულების სხვაობას, განსაზღვრავენ დონეებს რაბების საკნის დაცლისა და ავსების დროს და სხვ.

თვითმწერებს დამატებით იყენებენ ხიმინჯიან, ლარტყიან და სხვა სახის წყალსაზომ მოწყობილობებთან ერთად ისეთ წყალსადინრებზე, რომლებიც წყლის დონის მკვეთრი დღელამური რხევით ხასიათდებიან. გარდა ამისა, მათ იყენებენ იმ შემთხვევებშიც, როცა დონეების რხევის უწყვეტი რეგისტრაცია (თუნდაც მათი დღელამური რხევის ამპლიტუდა შედარებით დიდი არ იყოს) ხელს უწყობს ჰიდროტექნიკური და სანავსადგურო ნაგებობების, ხიდების და სხვათა ნორმალურ ექსპლუატაციას.

წყლის დონის თვითმწერის დანადგარები მოიცავს შემდეგ აპარატურასა და ნაგებობებს:

1) საკუთრივ დონის თვითმწერს, რომელიც მაგრდება ჰირიზონტალურად მაგიდაზე 5 (ნახ. 8) ან კრონშტეინზე (ბრჯენზე) წყლის დონის რხევის შესაძლო ამპლიტუდის გათვალისწინებით;

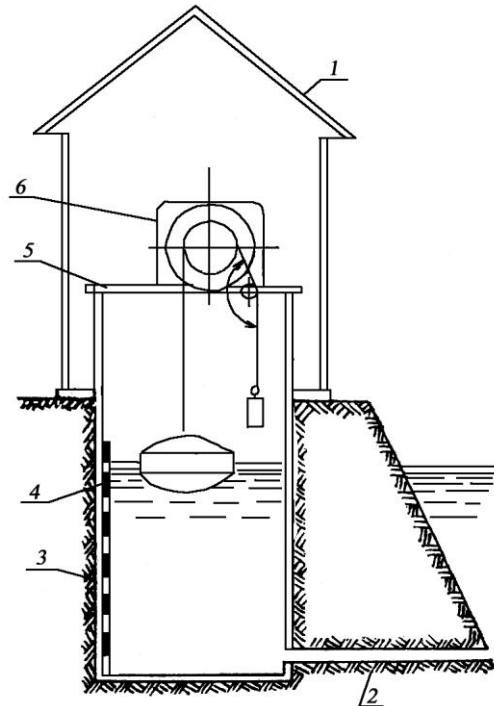
2) ჭას 3, რომლის დანიშნულებაცაა ღელვისა და ტივტივას მიყინვის თავიდან აცილება; ამასთან, ჭის ფსკერის ნიშნულს იღებენ მდინარეში წყლის ყველაზე დაბალი დონის ქვემოთ. მილის -2 კვეტს, რომელიც წყალსატევს ჭასთან აერთებს, იღებენ ჭის კვეთის ფართობის 0,01–0,05 ნაწილის ტოლს. წყალსატევსა და ჭას შორის, თავისუფალი მიმოსვლისადმი კონტროლის მიზნით, ჭაში ათავსებენ ლარტყას - 4, რომლის მიხედვით აღებულ ანათვლებს ადარებენ ლარტყიანი (ხიმინჯიანი) საგუშაგოს ჩვენებებს.

3) ჯიხურს - 1, რომლის დანიშნულებაცაა დონის თვითმწერის დაცვა გარეგანი ზემოქმედებისაგან. მას სხვანაირად ლიმნიგრაფიულ ჯიხურს უწოდებენ.

დონის თვითმწერის დანადგარი, კონსტრუქციის მიხედვით, ძირითადად ორი ტიპისაა: ნაპირზე მდებარე – დონის თვითმწერი თავსდება ნაპირზე აგებული ჭის ზემოთ (ნახ. 8), და კუნძულზე მდებარე – დონის თვითმწერი, ჭა და ჯიხური თავსდება უშუალოდ წყალსადინარზე. ამ უკანასკნელს მიეკუთვნება დანადგარებიც, რომლებიც მოცილებულია სანაპირო კედლიდან, ხიდის ბურჯიდან და სხვ.

ნაპირზე მდებარე დანადგარი გამოიყენება ციცაბო ნაპირებზე, რადგანაც ამ დროს შემაერთებული მილის სიგრძე არ არის დიდი; აუცილებელია ღონისძიებების გატარება მილის დანაგვიანების საწინააღმდეგოდ და მის გასაწმენდად.

კუნძულზე მდებარე დანადგარის გამოყენება მიზანშეწონილია ღონის მცირე რხევების შემთხვევაში. მიღებული უნდა იქნეს ღონისძიებები, რათა ყინულმა ჭა არ დააზიანოს.

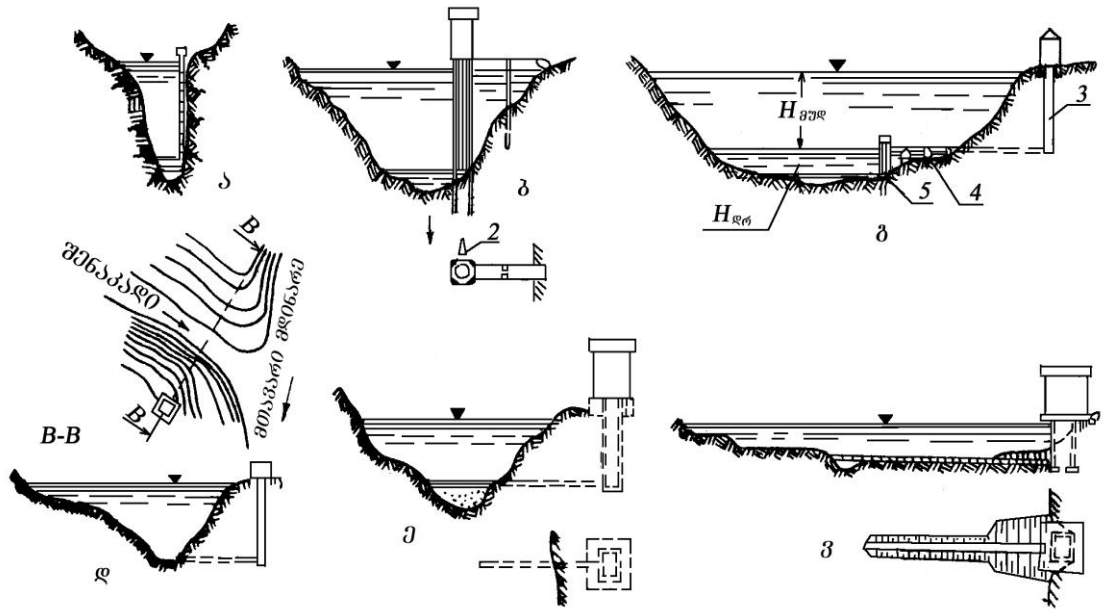


ნახ. 8. სანაპირო ტიპის წყლის ღონის თვითმწერის დანადგარის სქემა:

- 1 – ჯიხური; 2 – მილი; 3 – ჭა; 4 – ლარტყა;
5 – მაგიდა; 6 – ღონის თვითმწერი

ქვემოთ განხილულია წყლის ღონის თვითმწერის დანადგარების განლაგების სქემები ღონის რხევის ამპლიტუდის, კალაპოტის სიგანისა და ნაპირების დაქანების მიხედვით (ნახ. 9), რეკომენდაციების შესაბამისად.

დანადგარი შვეული კლდოვანი ნაპირების მქონე მდინარეზე (ნახ. 9, ა) შედგება ლითონის მილისა და პატარა კარადისაგან. მილს ნაპირთან ამაგრებენ ცალულებით, რომელთა ბოლოები კლდეშია ჩამაგრებული. კარადა ხელსაწყოსათვის დამაგრებულია მილის ზედა ბოლოზე.



ნახ. 9. წყლის დონის თვითმწერის დანადგართა განლაგების სქემები:

ა – კლდოვანი ციცაბო ნაპირების მქონე მდინარეზე დონის რხევის დიდი ამპლიტუდით; ბ – კუნძულზე მდებარე ტიპი; გ – კომბინირებული დანადგარი; დ – დანადგარი შენაკადზე; ე – ნაპირზე მდებარე ტიპის დანადგარი, რომელშიც წყლის მიყვანა განხორციელებულია მილსადენით; ვ – ნაპირზე მდებარე ტიპის დანადგარი, რომელშიც წყლის მიყვანა განხორციელებულია ღია თხრილით; 1 – კარადა თვითმწერისათვის; 2 – ყინულმჭრელი; 3 – სანაპირო ტიპის მუდმივი დანადგარი; 4 – დროებითი დასაშლელი ხიდი; 5 – კუნძულზე მდებარე ტიპის დროებითი დანადგარი; $H_{\text{მუდ}}$ – დონის რხევის ამპლიტუდა მუდმივი დანადგარის მუშაობისას; $H_{\text{დრ}}$ – დონის რხევის ამპლიტუდა დროებითი დანადგარის მუშაობისას

კუნძულზე მდებარე ტიპის დანადგარი (ნახ. 9,ბ) წარმოადგენს ჯიხურს ოთხ ხიმინჯზე, რომელიც მდინარის ფსკერში ისეა ჩასმული, რომ ადგენს კვადრატს 1 მ–იანი გვერდებით. წყლის უმცირესი დონიდან რამდენადმე დაბლა ხიმინჯებს შორის დამაგრებულია ხვრეტებიანი ფსკერი; ხიმინჯები მთელ სიმაღლეზე აკრულია ფისით გაჟღენთილი მჭიდროდ გაწყობილი ხის ფარებით. ეს მოწყობილობა ასრულებს ჭის როლს. ნაპირთან ჯიხური დაკავშირებულია მსუბუქი ხიდით. ხიმინჯების წინ დინების შემხვედრად აწყობენ ყინულამრიდს.

კომბინირებული დანადგარი (ნახ. 9,გ) შედგება ნაპირზე მდებარე ტიპის მუდმივი და კუნძულზე მდებარე ტიპის დროებითი დანადგარებისაგან; მას იყენებენ განიერი კალაპოტისა და დონის რხევების დიდი ამპლიტუდის მქონე მდინარეებზე.

დანადგარი შენაკადზე (ნახ. 9,დ) ზემოთ აღწერილისაგან განსხვავდება მხოლოდ თავის მდებარეობით შენაკადის შესართავთან, რაც ზოგჯერ შესაძლებლობას იძლევა შემცირდეს მილსადენის სიგრძე და ჭის სიღრმე და დაცულ იქნეს დანადგარი ღელვისაგან, ყინულსვლისაგან და სხვ.

ნაპირზე მდებარე ტიპის დანადგარი, რომელშიც წყლის მიყვანა განხორციელებულია მილსადენით (ნახ. 9,ე), შედგება სანაპირო ფერდზე მოთავსებული ჭის, ჯიხურისა და მდინარესთან ჭის დამაკავშირებელი მილისაგან. დაბალი ნაპირების შემთხვევაში მილსადენი უნდა გადიოდეს გაყინვის სიღრმეზე დაბლა; ამის შესაბამისად, ქვემოთ წევნ ჭის ფსკერის ნიშნულსაც. მდინარის კალაპოტში, მილში შესასვლელის წინ, მოწყობილია ფიცრებით მოპირკეთებული ან ბეტონი კედლებისა და ფსკერის მქონე სწორი უბანი.

ნაპირზე მდებარე ტიპის დანადგარი, რომელშიც წყლის მიყვანა განხორციელებულია ღია თხრილით (ნახ. 9,ვ), შეიძლება გამოყენებულ იქნეს განიერი, მაგრამ მცირეწყლიანი ჭალის მქონე მდინარეებზე, აგრეთვე, მუდმივად გაყინულ რაიონებში. ნატანის დალექვის მიზნით, ჭის ფსკერი თხრილის ფსკერზე დაბლა უნდა იყოს. დანადგარის მოწყობის რაიონში თხრილის ფსკერი და ნაპირები, ისე როგორც მდინარის ნაპირი, უნდა გამაგრდეს, რათა თავიდან იქნეს აცილებული მათი გამორეცხვა.

ლიმნიგრაფიული ჯიხურების კონსტრუქცია (ხის, ხის კარკასული, აგურის, წიდა-ბეტონის, რკინა-ბეტონის) დამოკიდებულია ადგილობრივ პირობებზე.

აუცილებელია ჯიხურის გათბობა ვენტილაცია. სუსტი, ხანმოკლე ყინვების დროს შეიძლება ელექტრული ან ნავთის ლამპის გამოყენებაც; ზეთის ფენა ჭის წყლის ზედაპირზე, აგრეთვე, იცავს წყალს გაყინვისაგან.

დისტანციური დონემზომი. დონემზომს, რომლის საშუალებით გადამწოდის და ხელსაწყოს მარეგისტრირებელი ნაწილიდან ჩვენებები მნიშვნელოვან მანძილზე გადაეცემა, დისტანციური ეწოდება.

დისტანციური დონესაზომის მოქმედების პრინციპია დონის გადამწოდის ჩვენებათა გარდაქმნა ელექტრულ იმპულსებად.

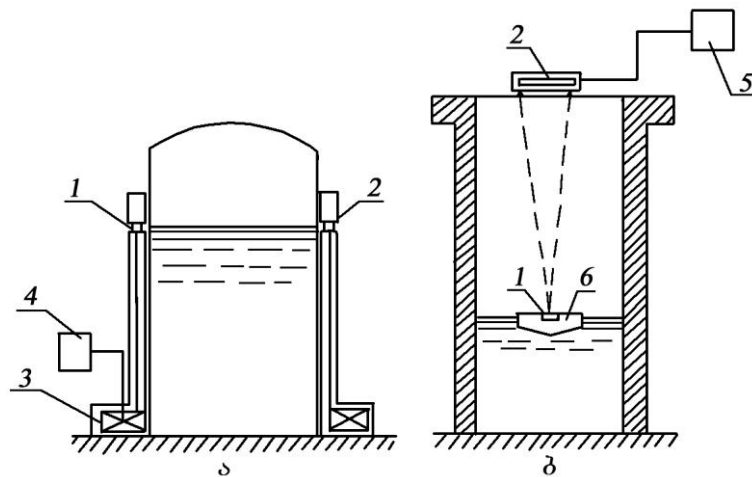
წყლის დონეზე დისტანციური კონტროლისათვის ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში გამოიყენება ხელსაწყოთა კომპლექტი. რომელიც შედგება $DCY - 1M$ ტიპის დონის გადამწოდისა და $YCP - 1M$ ტიპის მეორეული მაჩვენებელი ხელსაწყოსაგან (მიმღებისაგან). აღნიშნული ხელსაწყოებით წყლის დონის-გაზომვის პრინციპული სქემა (ნახ. 10) შეიცავს $DCY - 1M$ ტიპის დონის გადამწოდს 4, ტივტივათი - 1, საპირწონეთი - 10, ადგილობრივი ათვლის მაჩვენებლით - 2 და სელსინ-გადამწოდით - 5, $YCP - 1M$ ტიპის მეორეული ხელსაწყოს - 8 სელსინ-მიმღებით - 6 და მეორეული - 7 ხელსაწყოს ადგილობრივი ათვლის მაჩვენებლით.

მექანიზმები (ტივტივა, გვარლი, და სხვ.), რაც მის არსებით უპირატესობას წარმოადგენს.

რადიოაქტიური დონეზომი არის ხელსაწყო, რომელშიც სითხის დონის გადამწოდის როლს ასრულებს რადიოაქტიური იზოტოპები. დონეების გაზომვის არსი მდგომარეობს სითხის მიერ რადიოაქტიური გამოსხივების გაბნევის ან შთანთქმის ხარისხის განსაზღვრაში.

დონესაზომს, რომლის მუშაობის პრინციპი დამყარებულია რეზერვუარში წყლის შრის მიერ გამა-გამოსხივების შთანთქმაზე, გამა-დონესაზომი ეწოდება. მისი მუშაობის სქემა გამოსახულია მე-11, ა ნახაზზე. გამოსხივების - 1 წყარო და დეტექტორი - 2 დაკავშირებულია სელსინურ - 3 სისტემასთან, რომელიც უზრუნველყოფს მათ გადაადგილებას წყლის დონის რხევასთან ერთად. როგორც კი დონის მდებარეობა შეიცვლება, წყალი გადაკეტს გამოსხივების წყაროდან გამომავალ სხივს, მარეგისტრირებელი - 4 ბლოკის მრიცხველი ცვლის ჩვენებას და სელსინი გადაადგილებს სისტემას. აღმრიცხველი ხელსაწყოების ჩვენება დამყარებულია აირის იონიზაციაზე, რასაც იწვევს რადიოაქტიური იზოტოპების მიერ გამოსხივებული დამუხტული ნაწილაკების ზემოქმედება მრიცხველის ელექტროდებს შორის მოთავსებულ აირისებრ გარემოზე; ელექტრულ ქსელში აღიმკრება დენის იმპულსი, რომლის სიხშირეც იზოტოპის რადიოაქტიური გამოსხივების დაშლის აქტივების რიცხვის პროპორციულია. მათი საშუალებით შეიძლება გაიზომოს დონეები ძნელადმისაწვდომ და ჩაკეტილ რეზერვუარებში.

მე-11, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია რადიოაქტიური დონესაზომის სქემა, რომელშიც რადიოაქტიური - 1 წყარო მოთავსებულია ტივტივაზე - 6; დეტექტორი - 2 და მრიცხველი - 5 (ელექტრონული ბლოკი) მდებარეობს წყლის ზედაპირიდან ზემოთ. მიმღებზე რადიოაქტიური წყაროს ზემოქმედების ინტენსივობა იცვლება წყლის ზედაპირსა და მათ შორის მანძილის ცვლილების მიხედვით. წყლის დონის დაწევის, ე.ი. რადიოაქტიური წყაროს ტივტივასთან ერთად ქვემოთ გადაადგილებისას, წყაროს ზემოქმედება მიმღებზე სუსტდება; ამასთან, აღნიშნული ინტენსივობა ტივტივასა და მრიცხველს შორის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია. რადიოაქტიური იზოტოპების გამოყენებისას ტივტივასა და დონესაზომის მარეგისტრირებელ ნაწილს შორის არაა საჭირო მოქნილი ხისტი გადამცემები.



ნახ. 11. რადიოაქტიური დონემზომების სქემა:

ა – წყლის ფენის მიერ გამა-გამოსხივების შთანთქმით; ბ – ტივტივაზე მოთავსებული რადიოაქტიური წყაროთი; 1 – გამოსხივების წყარო; 2 – დეტექტორი (მიმღები); 3 – სელსინი; 4 – მარეგისტრირებელი ბლოკი; 5 – აღმრიცხველი მოწყობილობა (ელექტრონული ბლოკი); 6 – ტივტივა

§ 2. წყლის დონეების გაზომვის მეთოდთა

წყლის დონეების გაზომვის მეთოდთა მოიცავს წყალსაზომ საგუშაგოთა (დონესაზომების) ადგილის, მათი ექსპლუატაციის, გაზომვის ვადების (თუ არ გამოიყენება დონეთა თვითმწერები), სიზუსტისა და სხვათა განსაზღვრას.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პერიოდში წყალსაზომი საგუშაგოები ისე უნდა განლაგდეს რომ შეიძლებოდეს ნაგებობასა და ცალკეულ კონსტრუქციულ ელემენტზე შესაბამისად მთლიანი და ადგილობრივი ვარდნების განსაზღვრა. ამიტომ საგუშაგოებს, როგორც წესი, აწყობენ ნაგებობათა ზედა და ქვედა ბიეფებში.

დიდი სიძნელეები იქმნება წყლის ობიექტებისა და მთელი ტერიტორიის ჰიდროლოგიური რეჟიმის შესწავლის მიზნით წყალსაზომ საგუშაგოთა მოწყობისას. ჰიდროლოგიური მახასიათებლების შესაძლო ცვლილებები დროისა და ტერიტორიის მიხედვით შესწავლილი უნდა იქნეს სტაციონარული დაკვირვების პუნქტების, რაც შეიძლება ნაკლები, რაოდენობის ბაზაზე.

მოწყობილობებითა და ხელსაწყოებით აღჭურვილ პუნქტს, რომლის დანიშნულებაც წყლის ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე დაკვირვება, ეწოდება ჰიდროლოგიური საგუშაგო ან სადგური. სადგური საგუშაგოსაგან განსხვავდება დაკვირვებათა დიდი მოცულობით.

ორ ან მეტ კვეთში დონეთა შესახებ მონაცემებისა და ნაკადის სიგრძის მიხედვით გამოითვლება წყლის ზედაპირის გრძივი ქანობი. განივი ქანობი გამოითვლება წყლის კიდეებზე დონეთა სხვაობისა და ნაკადის სიგანის მიხედვით. წყლის ჰორიზონტების ნიშნულთა ერთობლიობა კი წარმოდგენას იძლევა ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის ფორმაზე.



ნახ. 12. წყლის დონეების მზომი თანამედროვე რადარული ხელსაწყო

არსებობს წყლის დონის მზომი ლაზერული და წნევიანი თანამედროვე ხელსაწყოები (ნახ. 12), რომელიც დამყარებულია რადარული სენსორების მუშაობაზე. მათი სიზუსტე შეადგენს ± 2 მმ-ს. მისი სამუშაო ტემპერატურის დიაპაზონია -40°C - $+80^{\circ}\text{C}$. დონეების ათვლილი სიდიდეები დისტანციურად გადაეცემა ჰიდრო-მეტეოროლოგიური მონაცემების რეგისტრაციის ცენტრებში.

ჰიდროლოგიური საგუშაგოებისა და სადგურების განლაგება. რაც უფრო რთულია მდინარის რეჟიმი, მით მეტი ჰიდროლოგიური სადგური და საგუშაგოა საჭირო. წყლის რესურსების გამოყენების მიზანი გავლენას ახდენს სადგურებისა და საგუშაგოების განლაგებაზე – მათი რაოდენობა და ადგილმდებარეობა უნდა უზრუნველყოფდეს წყლის ობიექტებისა და ნაგებობების ექსპლოატაციის ეფექტურობას.

დროებითი სადგურებისა და საგუშაგოების მოწყობა მდინარეზე საექსპედიციო სამუშაოების პერიოდში განპირობებულია წყლის რესურსების გამოყენების საპროექტო მოცემულობით. სადგურები და საგუშაგოები ისე უნდა განლაგდეს, რომ სრულ ინფორმაციას იძლეოდეს მდინარის დამახასიათებელ

უბნებზე. ეს აუცილებელია მდინარის თავისუფალი ზედაპირის წირების ასაგებად, წყლის დაუმყარებელი მოძრაობის გასაანგარიშებლად და სხვ. ამიტომ წყალსაზომ საგუშაგოებს, ჩვეულებრივ, აწყობენ შენაკადების მდინარესთან შეერთების, ნაკადის ქანობის, მდინარის სიღრმისა და სიგანის მნიშვნელოვანი ცვლილების ადგილებში.

მდინარის უბანი, სადაც სტაციონარული ჰიდროლოგიური სამუშაოები ტარდება, უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

1. წყალსადინარის რეჟიმი ამ ადგილას დამახასიათებელი უნდა იყოს მდინარის რაც შეიძლება დიდი უბნისათვის;

2. უბანი უნდა იყოს სწორხაზოვანი $L \geq 5B_{\text{დ}}$ ($B_{\text{დ}}$ – მდინარის კალაპოტის სიგანე დაბალი დონის შემთხვევაში) მანძილზე, ერთგვაროვანი სიგრძეზე ნაკადის სიღრმითა და წყლის ზედაპირის გრძივი ქანობით, კალაპოტის განიკვეთის ფორმით, დაახლოებით, სიმეტრიული (პარაბოლური), ნაპირები და კალაპოტი შეძლებისდაგვარად მდგრადი და თავისუფალი ბალახისა და ბუჩქნარისაგან, ჭალა სწორი, ფშანის, ნამდინარევის, ბორცვების, ხეებისა და ბუჩქნარის გარეშე. ძირითადი ნაპირები $L \geq 0,5B_{\text{მაქს}}$ ($B_{\text{მაქს}}$ – მდინარის სიგანე წყლის მაღალი დონის შემთხვევაში) სიგრძეზე უნდა იყოს პარალელური. ვაკის მდინარეებზე უპირატესობა ეძლევა ლუბრმიან უბნებს, ხოლო მთის მდინარეებზე–უბნებს, რომლებიც განლაგებულია უშუალოდ ჩქერობებისა და ზღურბლების ზემოთ;

3. ცვლადი შეტბორვის გავლენა უნდა იყოს უმნიშვნელო. შეტბორვა განპირობებულია: წყალსაცავის მუშაობით წყლის ჩამონადენის რეგულირებისას, წყალსაცავებისა და ტბების მოდინებისა და ჩამონადენის ბუნებრივი ბალანსით, დონის რხევებით წყალსადინარში, სადაც ერთვის შესასწავლი მდინარე, დიდი შენაკადის ვარდნით, ჩქერის არსებობით სადგურის ან საგუშაგოს ადგილმდებარეობის ქვემოთ, ჰიდრავლიკური წინაღობების ცვლით, რაც შეიძლება გამოწვეული იყოს კალაპოტის დეფორმაციით, ყინულდაგროვებით, კალაპოტისა და ჭალის მოშამბნარებით და სხვ.

შეტბორვის გავრცელების სიგრძე (L) ჰიდროტექნიკური ნაგებობებიდან მოცემულია მდინარის წყლის რესურსების გამოყენების პროექტებში; L სიდიდე მიახლოებით გამოითვლება ფორმულით:

$$L = a \frac{z+h_0}{I_{\text{საშ}}} \quad (1)$$

სადაც z არის შეტბორვის სიდიდე (ზედა და ქვედა ბიეფების დონეთა სხვაობა);

h_0 - საშუალო სიღრმე შეტბორვის არარსებობის შემთხვევაში;

$z + h_0$ - წყლის სიღრმე ნაგებობასთან;

$I_{საშ}$ - წყლის ზედაპირის საშუალო ქანობი ბუნებრივ მდგომარეობაში (მონაცემების არარსებობისას ის შეიძლება შეიცვალოს მდინარის ფსკერის ქანობის გასაშუალებული მნიშვნელობით);

a - კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია $\frac{z}{h_0}$ ფარდობაზე და განისაზღვრება ცხრილ 1-ით

ც ხ რ ი ლ ი 1

a კოეფიციენტის მნიშვნელობები

$\frac{z}{h_0}$	5,0	2,0	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05
a	0,96	0,91	0,85	0,76	0,67	0,58	0,41	0,24

თუ ჩამონადენი დარეგულირებულია წყალსაცავით მდინარის მთელ სიგრძეზე, მაშინ შეტბორვა გარდუვალია, რასაც ანგარიში უნდა გაეწიოს წყლის დონეების გაზომვათა ორგანიზაციისას. აუცილებელია მოეწყოს ქანობის გასაზომი საგუშაგოები: ერთი ჰიდროლოგიური სადგურის (საგუშაგოს) უბანზე, ხოლო მეორე – შეტბორვის წყაროსთან;

4. ჰიდროლოგიური სადგურის ადგილი ისე უნდა შეირჩეს, რომ ჰიდროლოგიური სამუშაოები და დაკვირვებები შესრულდეს რაც შეიძლება მეტი სიზუსტით. ჰიდროლოგიური სადგურის ან საგუშაგოს ადგილის შერჩევას წინ უნდა უძღოდეს მდინარის უბნის გაცნობა მსხვილმასშტაბიანი რუკის საშუალებით, ლიტერატურული წყაროებითა და საარქივო მასალებით. ამის შემდეგ საჭიროა მდინარის უბნის ზოგადი დათვალიერება და თვალზომითი გადაღება, სიღრმეების გაზომვა მდინარის ღერძსა და რამდენიმე დამახასიათებელ განიკვეთში, წყლის დინების ზედაპირული სიჩქარეებისა და ნაკადის ქანობების განსაზღვრა. გამოსაკვლევი უბნის საზღვრები უნდა გავრცელდეს შენაკადების შესართავებამდე, ჩქერებამდე, ზღურბლებამდე, უახლოეს ჰიდროტექნიკურ ნაგებობამდე, ხიდამდე და სხვ. ასევე აუცილებელია მდინარის მდგომარეობის გამოკვლევა წყალმეტობისა (მაქსიმალური დონეები, ნაპირების წარეცხვა) და ზამთრის პერიოდში (ყინულდრუები, ყინულხერგილები და სხვ).

გეოდეზიურ სამუშაოებს ჰიდროლოგიური სადგურებისა და საგუშაგოების უბნებზე მიეკუთვნება სადგურის (საგუშაგოს) უბნის გადაღება და რეპერების მაღლივი მიზმა სახელმწიფო ქსელთან, ნიშნულის გადაცემა მდინარეზე წყლის დონით და წყალსაზომი საგუშაგოების ნიველირება.

სადგურის უბნის გადაღება ხდება ინსტრუმენტულად ან ნახევრად ინსტრუმენტულად; ინსტრუმენტულ გადაღებას მიმართავენ უმთავრესად დიდ მდინარეებზე კალაპოტისა და ჭალის რთული რელიეფით (კუნძულების, ფშანების, ნამდინარეებისა და სხვათა არსებობისას).

გადაღების პროგრამაში შედის:

1) გეგმური საფუძვლის დატანა ხაზების მიმართულებებისა და სიგრძეების განსაზღვრით. გადაღების საზღვრები მდინარის უბნის სიგრძე-სიგანეზე განპირობებულია შესაბამისად წყლის უმაღლესი დონითა ($H_{აჟს}$) და მდინარის სიგანით წყლის დაბალი დონის შემთხვევაში ($B_{ფ}$). უბნის სიგანე შემოსაზღვრულია $H_{აჟს}$ -ზე 0,5–1 მ-ით მეტი ნიშნულებით. როცა $B_{ფ} \leq 100$ მ-ზე, მაშინ უბნის სიგრძე $L = 5B_{ფ}$ -ს, მაგრამ ის არ უნდა იყოს 100 მ-ზე ნაკლები. როცა $B_{ფ} > 100$ მ-ზე, მაშინ $L \geq (2 - 3)B_{ფ}$. განიერი ჭალის შემთხვევაში იღებენ $L \geq B_{ჭ}$, სადაც $B_{ჭ}$ არის ჭალის სიგანე;

2) მაღლივი საფუძვლის დატანა ნიშნულების განსაზღვრით;

3) ნაპირებისა და ჭალის სიტუაციისა და რელიეფის გადაღება;

4) წყალქვეშა რელიეფის გადაღება სიღრმეების გაზომვის ხერხით (თავი II);

5) წყლის ზედაპირის მყისიერი გრძივი პროფილის ნიველირება. ნაკადის სიგრძეზე სხვადასხვა წერტილში სიღრმეების შედარებისათვის (ზოგად შემთხვევაში წყლის დონის ცვლილებისას) აუცილებელია, სხვადასხვა დროს გაზომილი სიღრმეები მივიყვანოთ დროის ერთსა და იმავე მომენტამდე. ამ მიზნით ახდენენ წყლის ზედაპირის მყისიერი გრძივი პროფილის ნიველირებას იმ პალოების საშუალებით, რომლებსაც ერთდროულად ასობენ ყოველ 100–200 მ-ზე წყლის კიდის მახლობლად თავისუფალი ზედაპირის დონეზე მცირე სიღრმის ჩამჩვებში. თუ დინების მიმართულებით ქვემოთ 10 კმ მანძილზე არსებობს შეტბორვის წყარო, მაშინ წყლის ზედაპირი ნიველირდება სადგურის (საგუშაგოს) უბნის საზღვრებს გარეთაც, თვით შეტბორვის ადგილამდე.

საველე გეოდეზიური სამუშაოების შედეგების მიხედვით ადგენენ ჰიდროლოგიური სადგურის (საგუშაგოს) გეგმას და ხაზავენ უბნის შუა და ბოლო განივ პროფილებს; გეგმაზე დაიტანენ გეგმურ და მაღლივ საფუძვლებს, ჰორიზონტალებს, სიტუაციას, წყლის კიდეების შესაბამის წირებს დაბალი და მაღალი დონეების შემთხვევაში, წყალსაზომ საგუშაგოებს, ჰიდრომეტრიულ კვეთებს (§11), ჰიდრომეტრიულ ნაგებობებს და სხვ.

მდინარეზე ნიშნულის გადაცემის საკითხი მარტივად წყდება, თუ დინების მიმართულების პერპენდიკულარულ კვეთში მარცხენა და მარჯვენა ნაპირებთან წყლის დონეები ერთნაირია. სინამდვილეში წყლის ზედაპირი განივ კვეთში რამდენადმე დახრილია, რაც ცენტრიდანული ძალის მოქმედებითა და დედამიწის ბრუნვით აიხსნება. წყალსადინრის სწორხაზოვან უბნებზე წყლის ზედაპირის დახრა გამოწვეულია მხოლოდ დედამიწის ბრუნვით; ამიტომ ნიშნულის გადაცემა ხდება მდინარის სწორედ ასეთ უბნებზე; ამასთან, ნაკადის განივი კვეთის ფორმა უნდა იყოს სწორი (პარაბოლური), წყლის დინება–მდოვრედ ცვლადი, – მორევებისა და უკუდინებების გარეშე.

ნაკადის კიდეებზე წყლის დონეთა ფარდობითი სხვაობა $\left(\frac{\Delta H}{B}\right)$ კორიოლისის აჩქარებისა ($2\omega v \sin \varphi$) და სიმძიმის ძალის აჩქარების (g) ფარდობის ტოლია, ე.ი.

$$\frac{\Delta H}{B} = \frac{2\omega v \sin \varphi}{g} \quad (2)$$

სადაც ΔH არის კიდეებზე დონეთა აბსოლუტური სხვაობა;

B – მდინარის სიგანე;

$\omega=0,0000729\frac{1}{წმ}$ – დედამიწის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე;

v – წყლის დინების საშუალო სიჩქარე (§7);

φ – ადგილის გეოგრაფიული განედი.

საგუშაგო მოწყობილობების ნიველირებას იწყებენ საკონტროლო რეპერიდან. მისგან მიემართებიან მდინარის ნაპირისაკენ, ხოლო იქიდან ბრუნდებიან უკან, ისევ საკონტროლო რეპერისაკენ. ლარტყას აყენებენ ხიმინჯების თავზე, წყალსაზომი ლარტყის ზედა გადანაჭერზე ან ლურსმანზე, რომელსაც ასობენ ლარტყის მთელი დეციმეტრებიანი დანაყოფების საზღვარზე. ნიველირს ათავსებენ საგუშაგოს კვეთში ან მისგან მოცილებით–დამაკავშირებელი წერტილებიდან

ერთნაირ მანძილზე. ეს მანძილი არ უნდა იყოს 5 მ-ზე ნაკლები და 40 მ-ზე მეტი. ლარტყებისა და ხიმინჯების გარდა, დამაკავშირებელ წერტილად შეიძლება მიწის დონეზე მტკიცედ ჩასობილი პალოს გამოყენება. დასაშვები შეუსაბამობა გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta h = \pm 3\sqrt{n}, \quad (3)$$

სადაც n არის სადგურების ჯამური რიცხვი ორმაგი სვლით.

საგუშაგო მოწყობილობათა ნიშნულებს ანგარიშობენ 1 მმ-მდე სიზუსტით, ხოლო საგუშაგოს გრაფიკის ნულამდე მიყვანის სიმაღლეს – 1 სმ-მდე სიზუსტით. შედეგად ადგენენ წყალსაზომი საგუშაგოს პროფილს და მას თან ურთავენ ჰიდროლოგიური სადგურის (საგუშაგოს) ტექნიკურ აღწერილობას.

დონის თვითმწერით აღჭურვილი წყალსაზომი საგუშაგოს ნიველირებისას საზღვრავენ თვითმწერის მაგიდის ზედაპირის ნიშნულს (მისი მდგრადობის შესამოწმებლად) და იმ ხიმინჯების თავების ან ლარტყების ნულების ნიშნულებს, რომელთა საშუალებითაც იღებენ წყლის დონის საკონტროლო ანათვლებს.

წყალსაზომ საგუშაგოებთან ერთად ახდენენ დონის ნიველირებას საგუშაგოს კვეთში წყლის კიდეში ჩასობილი პალოს საშუალებით. პალოს ჩასობისას იწერენ დროს და დონის ანათვალს, რომელსაც წყალსაზომი საგუშაგოს პროფილზე ჰორიზონტალური ხაზით აღნიშნავენ.

წყალსაზომი საგუშაგოების გადატანა და ხელახლა აღჭურვა. წყალსაზომი საგუშაგოები ერთი პუნქტიდან მეორეში გადააქვთ სადგურის ან საგუშაგოს უბანზე პირობების შეცვლისას (მეწყრის ჩამოწოლა ან ნაპირების გამორეცხვა, მდინარის მთავარი კალაპოტის გარდაქმნა მეორეხარისხოვან ფშანად, კალაპოტის გამოცვლა და სხვ.), აგრეთვე, კაშხლების, ჰიდროელექტროსადგურების, წყალმიმღებ ნაგებობათა მშენებლობისას, კალაპოტის გამასწორებელი სამუშაოების ჩატარებისას და სხვ. ჰიდროტექნიკურ მშენებლობასთან დაკავშირებით ისმება საკითხი საგუშაგოების ხელახლა აღჭურვილობის შესახებაც.

ახალ ადგილზე საგუშაგოს აწყობენ, სულ ცოტა, ნახევარი წლით ადრე მშენებლობის დაწყებამდე. ამ დროში, რომელიც წყალდიდობისა და წყალმარჩხოვის პერიოდს უნდა მოიცავდეს, საჭიროა პარალელური დაკვირვებები (ძველ და ახალ საგუშაგოებზე) მათი ურთიერთშედარებისთვის.

თუ წყალსაზომი საგუშაგო, რომელიც მომავალი დატბორვის ზონაში ხვდება, გათვალისწინებულია წყალსაცავის შევსების პერიოდში დონეებზე დაკვირვებისა და შემდგომი შესწავლისათვის, მაშინ ის ხელახლა უნდა აღიჭურვოს იმის მხედველობაში მიღებით, რომ შეტბორილი წყლის ზედაპირის ნიშნულებით შეიძლება ბუნებრივ მაქსიმალურ დონეზე მაღლა იყოს. ზოგჯერ საგუშაგოს კვეთი იცვლება ნაპირების ახალი (ადგილმდებარეობის დატბორვის შემდეგ) კონფიგურაციის გათვალისწინებით. ძველი საგუშაგო, რომელიც რჩება დარეგულირებული ჩამონადენის მქონე მდინარის რეჟიმის შესასწავლად, საჭიროებს დონის თვითმწერით აღჭურვას. ეს პირველ რიგში ეხება საგუშაგოებს ჰესების ქვედა ბიეფში, სადაც ჩამონადენის დღედამური და სეზონური რეგულირების შედეგად ადგილი აქვს წყლის რთულ დაუმყარებელ მოძრაობას. სასურველია, ძველი და ახალი საგუშაგოებით გაზომილ დონეებს ($H_{\partial\partial}$, $H_{\partial\partial}$) შორის კავშირი იყოს ცალსახა. ეს პირობა შესრულდება ძველ და ახალ ადგილებში მდინარის რეჟიმების ერთგვაროვნების შემთხვევაში; ამიტომ ახალ ადგილს ირჩევენ ძველ ადგილთან რაც შეიძლება ახლოს; ის მისი მსგავსი უნდა იყოს წყლის ზედაპირის ქანობით, ნაკადის სიგანითა და სიღრმით.

$H_{\partial\partial}$ და $H_{\partial\partial}$ დონეებს შორის არაცალსახა დამოკიდებულებისას საგუშაგოს გადატანა არსებითად ნიშნავს ძველის გაუქმებას და ახალი წყალსაზომი საგუშაგოს მოწყობას.

დონეების, წყლის ტემპერატურისა და ყინულის სისქის განსაზღვრის ვადები. წყლის დონეების გაზომვის ვადა დამოკიდებულია დროის მიხედვით მათ ცვლილებასა და იმ ამოცანაზე, რაც ისმის წყლის ობიექტის შესწავლისას. წყლის დაუმყარებელი მოძრაობისას, რომელიც დონეების მკვეთრი ცვლილებებით ხასიათდება, აუცილებელია დონეების განუწყვეტელი რეგისტრაცია თვითმწერების შემწეობით. თვითმწერების უქონლობისას დონეები უნდა გაიზომოს ყოველ 10–20 წუთში იმისდა მიხედვით, თუ კაშხლიდან რა მანძილზეა მოთავსებული წყალსაზომი საგუშაგო. წყალდიდობის, ქვაბულის შევსებისა და კალაპოტის გადაკეტვის შემთხვევაში დონეები რეგისტრირდება ხშირად, ყოველ 10–30 წთ–ში.

სარწყავ და დამშრობ არხებში წყლის დონეებზე დაკვირვება დაკავშირებულია ჰიდრომელიორაციული სისტემების ექსპლუატაციის პირობებთან. წყლის დონეებს ჰიდროელექტროსადგურების დაწნევის დასადგენად ზომავენ ყოველ 0,5–1,0 სთ–ში. მცირე სიმძლავრის ჰესებში ჩამონადენის აღსარიცხავად დონეების რეგისტრაციას ზედა და ქვედა ბიეფებში აწარმოებენ ყოველ საათში ერთხელ, აგრეთვე, ფარების გაღებისა და ჩაკეტვის მომენტებში.

წყლის დონეების გაზომვის ვადები ბუნებრივ პირობებში მდინარეთა ჰიდროლოგიური რეჟიმის შესწავლისათვის განკუთვნილ წყალსაზომ საგუშაგოებზე ერთგვარად ნორმირებულია. დაკვირვების ძირითად ვადებად მიღებულია 8 და 20 სთ ადგილობრივი დროით, ყოველდღე. დონეების რეგისტრაციის სიხშირე იზრდება ან მცირდება დროში ჰიდროლოგიური რეჟიმის მახასიათებლების განაწილების მიხედვით. დონეების გაზომვის ოპტიმალური სიხშირე გამომუშავდება წყალსადინრის რეჟიმის შესწავლის პროცესში. დონეებზე დამატებით დაკვირვებას აღნიშნულ სტანდარტულ ვადებს შორის აწარმოებენ დროის თანაბარ შუალედში: ა) წყალმეტობის პერიოდში – ცალკეული დადებითი ტალღის ფორმით; ბ) წვიმებით გამოწვეული წყალმოვარდნის პერიოდში – სხვადასხვა ხანგრძლივობისა და სიმაღლის ერთმანეთის მონაცვლე ტალღების რიგის სახით; გ) წყალმარჩხოვის პერიოდში – წვიმით გამოწვეული ცალკეული წყალმოვარდნის დროს; დ) თოშისა და ყინულსვლის პერიოდში.

წყლის ხანგრძლივი და მდგრადი გაყინვისას დონეებს ზომავენ დღეღამეში ერთხელ 8 სთ–ზე. თუ საგუშაგო მოთავსებულია ლუბრმაში და წყალსადინრის დაშრობისას აღმოჩნდება მდგარი წყლის ზონაში, მაშინ დონეს ზომავენ ყოველ 1–3 დღეში ერთხელ 8 სთ–ზე. ღელვის შემთხვევაში იწერენ წყლის მინიმალური და მაქსიმალური დონეების საშუალო მნიშვნელობას. ზამთარში წყალსაზომი ლარტყისა და ხიმინჯების გარშემო აკეთებენ ყინულჭრილს.

წყლის ტემპერატურას ყოველდღე 8 და 20 სთ–ზე ($0,1^{\circ}\text{C}$ -მდე სიზუსტით) ზომავენ წყლის თერმომეტრით. ამ უკანასკნელს წყალში აჩერებენ 5 წთ–ის განმავლობაში; წყლის გაყინვისას წვეტენ გაზომვას. თოშისა და თოშის სვლის წარმოქმნასთან დაკავშირებით ($0,01^{\circ}\text{C}$ -მდე და უფრო მეტი სიზუსტით) ვადებში, რაც დამოკიდებულია მდინარის რეჟიმისა და მეტეოროლოგიურ პირობებზე. თუ

მეტეოროლოგიური სადგური ჰიდროლოგიური სადგურიდან 30–50 კმ-ითაა დაშორებული, მაშინ აუცილებელია, ამ უკანასკნელზე გაიზომოს ჰაერის ტემპერატურაც.

ყინულის სისქეს ზომავენ შუა მდინარეში წყალსაზომი საგუმაგოს კვეთში მკაცრ ზამთარში 10 და 20 რიცხვებში და თვის უკანასკნელ დღეს, რბილ ზამთარში – 5, 10, 15, 20 და 25 რიცხვებში და თვის უკანასკნელ დღეს; 70 სმ-ზე მეტი სისქის ყინულის შემთხვევაში – დეკადაში ერთხელ.

ერთდროულად იზომება ჩაძირული ყინულისა და თოშის სისქე, თოვლის საფარის სიმაღლე.

წყლის თავისუფალი ზედაპირის ქანობისა და რელიეფის განსაზღვრა.
წყლის თავისუფალი ზედაპირის ადგილობრივი ქანობი ხასიათდება ფარდობით:

$$i = -\frac{dH}{dL},$$

სადაც dH არის წყლის ნაკადის დონის ცვლილება L სიგრძეზე. გასაშუალებული I ქანობი გამოითვლება ფორმულით:

$$I = \frac{H_1 - H_2}{L},$$

სადაც H_1 და H_2 არის წყლის დონეები (ნიშნულები) იმ წერტილებში, რომელთა შორის მანძილი L -ის ტოლია.

განივი ქანობის განსაზღვრისას H_1 და H_2 წარმოადგენენ წყალსადინრის მარჯვენა და მარცხენა კიდეების ნიშნულებს, ხოლო $L = B$, სადაც B წყალსადინრის სიგანეა. მდინარის მოხვეულობაზე ქანობის გასაგებად B სიგანეს ზომავენ მოხვეულობის რადიუსის მიმართულებით. წყლის კიდეების ნიშნულების ნიველირება უნდა მოხდეს მარჯვენა და მარცხენა ნაპირებზე განლაგებული სახელმწიფო მაღლივი ქსელის რეპერებიდან.

გრძივი ქანობის განსაზღვრისას L მანძილს ზოგად შემთხვევაში იღებენ მდინარის უდიდესი სიღრმეების გაყოლებით. მოკლე სწორხაზოვან უბნებზე უდიდესი სიღრმეების გაყოლებით გაზომილი L მანძილი თითქმის არ განსხვავდება ნაპირის გაყოლებით გაზომილი მანძილისაგან.

საველე პირობებში I ქანობი უნდა გაიზომოს 5–10%-მდე სიზუსტით, ხოლო სპეციალური გამოკვლევებისას – კიდევ უფრო ზუსტად. ამასთან დაკავშირებით,

წყლის დონის ვარდნის სიდიდე ვაკის მდინარეებისათვის უნდა იყოს 20 სმ რიგის, მთის მდინარეებისათვის – 40 სმ რიგის.

ექსპედიციის პირობებში წყლის ზედაპირის ქანობებს საზღვრავენ წყლის კიდეებზე ერთსა და იმავე დროს ჩასობილი პალოების ნიველირებით; წყლის ზედაპირის ნიველირება რეკომენდებულია ორივე ნაპირზე და მდინარის ღერძზე. უკანასკნელ შემთხვევაში იყენებენ ტივზე (ტივტივაზე) მოთავსებულ მცურავ ლარტყას.

ანათვალს ლარტყაზე იღებენ ერთდროულად სამი ნიველირით სიგნალის მიხედვით, რომელსაც იძლევიან მდინარის ღერძის გასწვრივ მოძრავი ლარტყის გასაზომ კვეთში შესვლის მომენტში.

გრძივი ქანობების (*I*) სისტემატური გაზომვისათვის ჰიდროლოგიური სადგურები და საგუშაგოები აღჭურვილია ქანობიანი საგუშაგოებით. ქანობის გაზომვის უბნის საზღვრებზე აწყობენ წყალსაზომ საგუშაგოებს. ზედა და ქვედა საგუშაგოებზე გაზომილი დონეების მიხედვით გამოითვლება $H_{\Phi} - H_{\Psi}$ ვარდნა, ხოლო შემდეგ *I* ქანობიც. ქანობის გასაზომი საგუშაგოებისა და შუა უბანზე მოთავსებული ძირითადი წყალსაზომი საგუშაგოს გრაფიკის ნულის ნიშნულები ერთი და იგივე უნდა იყოს.

ქანობის გასაზომ საგუშაგოებს შორის მანძილი, ე. ბლიზნიაკის რეკომენდაციით, შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ფორმულით:

$$L\Delta h = \Delta(H_{\Phi} - H_{\Psi}),$$

სადაც Δh არის *h* ვარდნის განსაზღვრისას დაშვებული შეცდომა ერთეულ სიგრძეზე,

$$\Delta h = \frac{n}{100} h;$$

n – ქანობის განსაზღვრის სიზუსტე, %-ობით:

$\Delta(H_{\Phi} - H_{\Psi})$ - შეცდომა დონეების სხვაობის განსაზღვრისას.

თუ დავუშვებთ, რომ H_{Φ} და H_{Ψ} სიდიდეები განსაზღვრულია ერთდროულად ΔH სიზუსტით (დონეების გაზომვის სიზუსტე), მაშინ

$$(\Delta H_{\Phi} - H_{\Psi}) = \sqrt{2}\Delta H = 1,4\Delta H.$$

მაშასადამე, (4) ტოლობიდან *L*-ის საანგარიშოდ გვექნება შემდეგი გამოსახულება:

$$L = \frac{140\Delta H}{nh}. \quad (5)$$

ვთქვათ, მაგალითად, $\Delta H = 0,5$ სმ-ს, $n = 5$ %-ს, $h = 15$ სმ/კმ-ს, მაშინ ქანობის გასაზომ საგუშაგოებს შორის მანძილი $L - 0,94$ კმ-ის ტოლი იქნება.

H_{Φ} და H_{Ψ} დონეების სინქრონულად ათვლის უზრუნველსაყოფად ქანობის გასაზომი საგუშაგოებიდან საჭიროა ერთ-ერთი მაინც აღვჭურვოთ დონის თვითმწერით ან უზრუნველვყოთ ორივე საგუშაგოზე დაკვირვებათა ერთდროულობა. თუ ქანობის გასაზომ საგუშაგოებს შორის მანძილი 1-2 კმ-ს არ აღემატება, მაშინ დონეებს ზომავს ერთი დამკვირვებელი. გარდა ამისა, თუ ერთი საგუშაგოდან მეორეზე გადასვლა 10 წუთზე მეტ დროს მოითხოვს, გაზომვები პირველ საგუშაგოზე მეორდება, გაანგარიშებისათვის კი იღებენ დონის საშუალო მნიშვნელობას.

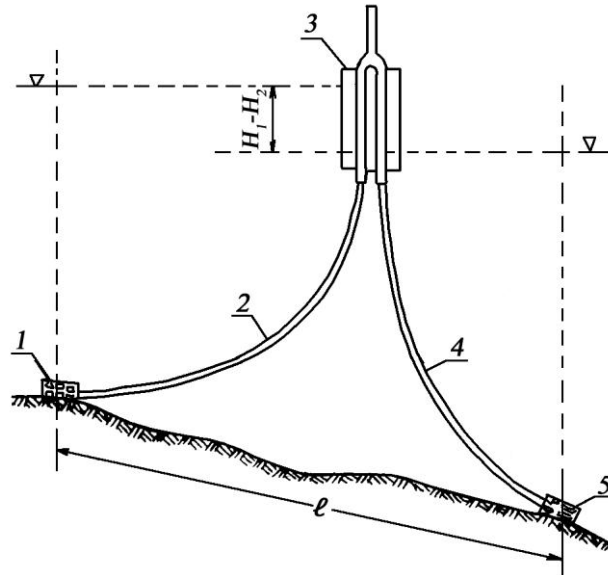
ქანობის ეპიზოდური გაზომვისათვის შეიძლება შემოვიფარგლოთ რეპერების დაყენებით უბნების ბოლოებში და მათგან მოვახდინოთ დონეების ნიველირება წყლის კიდეებზე. მდინარის დიდი ქანობის შემთხვევაში, როდესაც უბნის სიგრძე ქანობის გასაზომად საჭირო ვარდნით 200 მ-ს არ აღემატება, ვარდნას საზღვრავენ წყლის კიდეების ნიველირებით; ამ დროს ნიველირს ათავსებენ წყლის კიდეების აღმნიშვნელ პალოებს შორის.

რაც ნაკლებია L, I ქანობი მით უფრო უახლოვდება ადგილობრივს. L -ის მცირე მნიშვნელობებისას (30-40 მ) $H_1 - H_2$ ვარდნის გამოსათვლელად რეკომენდებულია დიფერენციალური მანომეტრის - 3 გამოყენება (ნახ.13). დონეების სხვაობა მილაკებში ნაკადის შესაბამის კვეთებში გაზომილი დონეების სხვაობის ტოლია. რეზინის 2 და 4 მილების ბოლოები აღჭურვილი უნდა იყოს ლაბირინთული არხების მქონე 1 და 5 ბუნიკებით, რათა თავიდან იქნეს აცილებული ნაკადის დინამიკური ზემოქმედება მილებში მოთავსებულ წყლის მასაზე.

ადგილობრივი ქანობის ავტომატური რეგისტრაციისათვის შეიძლება ქანობსაზომით სარგებლობა. მასში ქანობის გადამწოდის როლს ასრულებს დონე, რომელიც ტივტივაზე მყარდება.

წყლის თავისუფალი ზედაპირის რელიეფის განსაზღვრის უფრო სრულყოფილ ხერხს წარმოადგენს სტერეოფოტოგრამმეტრიული გადაღება სურათების სტერეოავტოგრაფზე ან სტერეოპლანიგრაფზე დამუშავებით, რაც

გეგმის ჰორიზონტალებში ავტომატური გამოსახვის საშუალებას იძლევა. ლაბორატორიულ ჰიდრავლიკურ გამოკვლევებში სტერეოფოტოგრამმეტრიის გამოყენების მეთოდის 1938 წელს დაამუშავა კ. ორლოვმა მოსკოვის ჰიდრომელიორაციულ ინსტიტუტში; წყლის ზედაპირისა და წარეცხილი ფსკერის რელიეფის ჰორიზონტალები გატარებულ იქნა 5 მმ-ში.

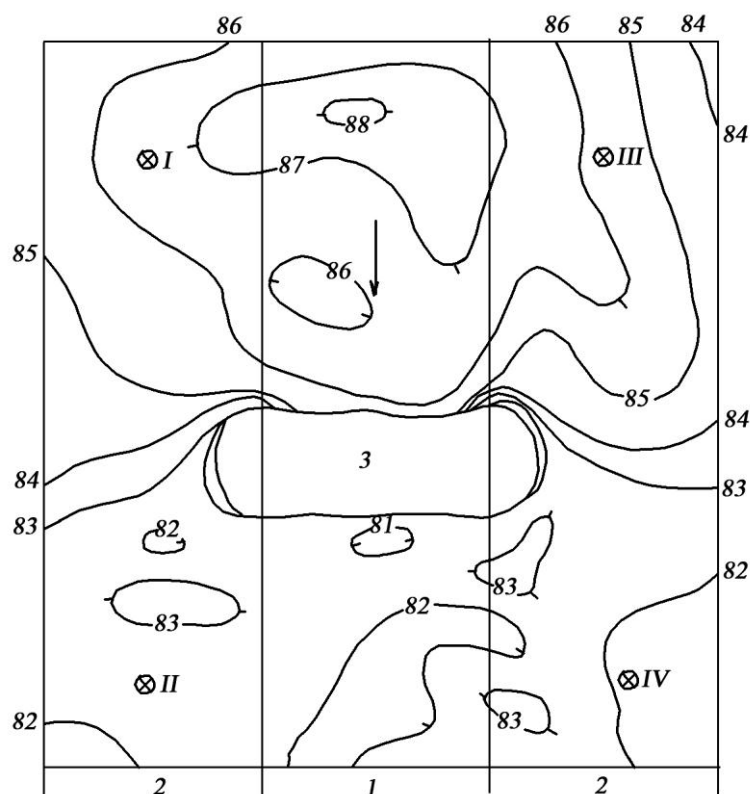


ნახ. 13. ნაკადის მოკლე უბნებზე დონეთა ვარდნის გაზომვის სქემა:

1,5 – ბუნეკები; 2,4 – რეზინის მილები; 3 – დიფერენციალური მანომეტრი

1948 წელს სახელმწიფო ჰიდროლოგიურ ინსტიტუტში დამუშავდა ტალღების რელიეფის სტერეოფოტოგრამმეტრიული გადაღების მეთოდика. 1954 წელს მ. იუტანოვმა დაამუშავა უზუსტესი სტერეოფოტოგრამმეტრიული გადაღების მეთოდика, რომელიც გ. ჟელეზნიაკოვმა გამოიყენა ლაბორატორიულ პირობებში კაშხლების ნაკადით გარსდენისას წყლის თავისუფალი ზედაპირის რელიეფის კვლევის საკითხებში.

ნაკადის ზედაპირი მოფენილ იქნა ქალაქის ტივტივებით, რომელთა საშუალებითაც ერთდროულად განისაზღვრა სითხის მოძრაობის ტრაექტორიები და დინების სიჩქარეები. ჰორიზონტალები გატარებულ იქნა 1 მმ-ში (ნახ.14).



ნახ. 14. წყლის თავისუფალი ზედაპირის რელიეფი კაშხლის მოდელის გარსდენისას ($Q = 15$ ლ/წმ):

1 – კალაპოტი 0,6 მ სიგანით, 2 – ნოლა კალაპოტი; 3 – კაშხალი; I-IV რეპერები გეგმა შედგენილია სტერეოპლანიგრაფზე ვერტიკალურ-კონვერგენტული გადაღების შედეგად მიღებული სურათების მიხედვით.

სტერეოფოტოგრამმეტრიის მთავარი ღირსება ის არის, რომ მისი საშუალებით შეიძლება წყლის ზედაპირის რელიეფის მყისიერი გადაღება დროის ერთ მომენტში, რაც წამის მეასედი ნაწილით გამოსახება.

§3. წყლის დონის დაკვირვების დამუშავება

არსებობს დონეების ძირითადი (ტიპური) და სტატისტიკური დამუშავება. გარდა ამისა, სარგებლობენ დონეების დამუშავების სპეციალური ხერხებითაც, უმთავრესად წყალსადინრის სიგრძეზე დონეების ცვლილების ანალიზისათვის.

წყლის დონეების ძირითადი დამუშავება. ძირითად დამუშავებაში შედის გაზომილ დონეთა დაყვანა გრაფიკის ნულზე, საშუალო დღედამურ დონეთა გამოთვლა, ყოველდღიური დონეების (წლების მიხედვით) ცხრილებისა და მათი რხევის გრაფიკების შედგენა. დონეებს გრაფიკის ნულის ზემოთ გამოსახვენ სანტიმეტრობით.

წყლის საშუალო დღელამური დონე ($H_{დღ}$) ორვადიანი დაკვირვებისას (ე. ი, 8 და 20 სთ) $H_{დღ} = 0,5(H_8 + H_{20})$; ერთვადიანი დაკვირვებისას (მაგალითად, 8 სთ) $H_{დღ} = H_8$. მრავალვადიანი დაკვირვების შემთხვევაში $H_{დღ}$ გამოითვლება როგორც საშუალოშეწონილი სიდიდე დროის მიხედვით. თუ გაზომვები ჩატარებულია თვითმწერით, მაშინ $H_{დღ}$ -ის გამოსათვლელად ხელსაწყოს ლენტს ამუშავენ. უპირველეს ყოვლისა, ამოწმებენ ლენტს, რისთვისაც საწყისი და საბოლოო საკონტროლო აღნიშვნებიდან დროისა და დონეების ღერძებზე უშვებენ პერპენდიკულარებს. მათ შორის მანძილს დროის ღერძზე, რომელიც გატარებულია დროის ერთეულში მასშტაბის ($t_{\text{ლ}}$) გათვალისწინებით, ადარებენ საკონტროლო აღნიშვნებს შორის შემოწმებული საათებით ფიქსირებულ t დროსთან. შეცდომა $t_{\text{ლ}} - t = \Delta t$ ითვლება დასაშვებად, თუ $\Delta t \leq 5$ წთ დღე-ღამეში. როცა $\Delta t > 5$ წთ დღე-ღამეში, მაშინ შეცდომა Δt ექვემდებარება პროპორციულ განაწილებას. პერპენდიკულარებს შორის მანძილს დონეთა ღერძზე, ლენტზე მათი ჩაწერის მასშტაბის ($H_{\text{ლ}}$) გათვალისწინებით, ადარებენ ლარტყიან ან ხიმინჯიან საგუშაგოზე იმავე ვადებში გაზომილ დონეთა სხვაობას ($H_{\text{სგ}}$). თვითმწერით დონის ჩანაწერი სწორად ითვლება, თუ $H_{\text{ლ}} - H_{\text{სგ}} \leq 2\Delta h$, სადაც Δh არის თვითმწერით დონის რეგისტრაციის სიზუსტე.

საშუალო დღელამური დონე

$$H_{დღ} = \frac{m_n \omega_{\text{ლ}}}{l_t},$$

სადაც m_n არის დონის ჩაწერის მასშტაბის მნიშვნელი;

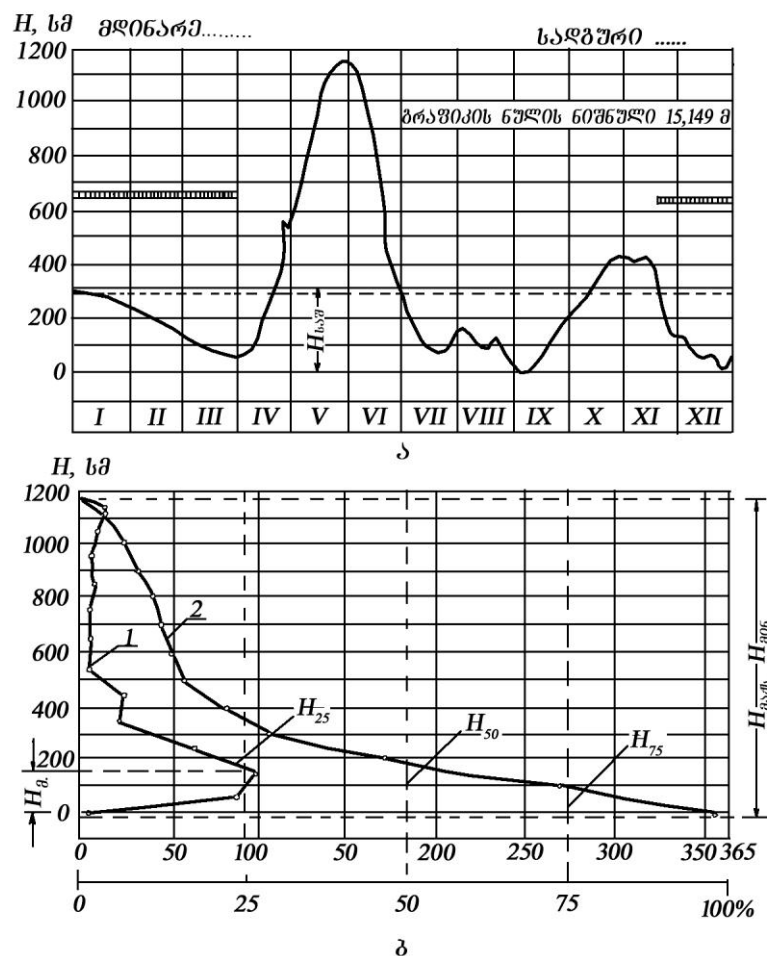
$\omega_{\text{ლ}}$ – დონის ცვლილების მრუდით ლენტზე შემოსაზღვრული ფართობი, სმ²–ობით;

l_t – ლენტის სიგრძე დროის ღერძზე 24 სთ–ის განმავლობაში, სმ–ობით.

$\omega_{\text{ლ}}$ – ფართობს საზღვრავენ პლანიმეტრით. შეიძლება თვითმწერის ლენტის დამუშავების სხვა ხერხების გამოყენებაც, მაგალითად, ლენტზე აითვლიან დონეებს დამახასიათებელ (გარდატეხის) წერტილებში, ხოლო შემდეგ გამოითვლიან მათ საშუალო მნიშვნელობას. ასეთნაირად დამუშავებული მონაცემები (1 იანვრიდან 31 დეკემბრამდე) შეაქვთ კრებსით ტიპურ ცხრილში – „წყლის ყოველდღიური დონეები“ (შემოკლებით წყდ). დონეების გვერდით

პირობითი ნიშნებით აღნიშნულია ყინულის რეჟიმის მოვლენები. ამ ცხრილში, საშუალო დღელამურის გარდა, ათავსებენ, აგრეთვე, საშუალო, უმაღლეს და უდაბლეს დონეებს ყოველი თვისა და წლის განმავლობაში. საშუალო თვიური დონეები გამოითვლება როგორც საშუალო დღელამური დონეების საშუალო არითმეტიკული, ხოლო საშუალო წლიური, – როგორც საშუალო თვიური მნიშვნელობების საშუალო არითმეტიკული. წყდ–ს სათაურში უთითებენ წყლის ობიექტის სახელწოდებას, ნომერს, ადგილმდებარეობას და საგუშაგოს გრაფიკის ნულის ნიშნულს.

წყდ–ს ცხრილის მონაცემების მიხედვით აგებენ წყლის დონეების რხევის გრაფიკს $H=H(t)$, რომელზეც დააქვთ საშუალო დონე $H_{საშ}$ და ყინულის ფაზები (ნახ.15,ა). მოხერხებულია გრაფიკის მასშტაბები: დროისათვის – 1 მმ–ში ერთი დღე–ღამე, დონეებისათვის – 1:10–დან 1:200–მდე, იმის მიხედვით, თუ როგორია მათი რხევის ამპლიტუდა.



ნახ. 15. წყლის დონის რხევის (ა), სიხშირისა და უზრუნველყოფის (ბ)

გრაფიკები:

1 – დონეთა რხევის სიხშირე; 2 – დონეთა უზრუნველყოფა

თუ გრაფიკის ნულის ნიშნული გაზრდილია, მაშინ მასზე ნაკლები მნიშვნელობის მქონე დონეები წყდ-ს ცხრილში შეაქვთ მინუს ნიშნით. მიზანშეწონილია ერთსა და იმავე ნახაზზე აიგოს ერთი საგუშაგოს მიერ წლების მანძილზე გაზომილი დონეების გრაფიკები $H=H(t)$. ეს აადვილებს მათ შედარებას.

შემდგომი ძირითადი დამუშავებისას განისაზღვრება დონეების მრავალწლიური მახასიათებლები და შესაბამისი თარიღები. ამასთან, ერთდროულად დგინდება ყინულის რეჟიმის მახასიათებლებიც. შედეგად დგება ცხრილი, რომელიც შეიცავს: 1) წყლის უმაღლესი და უდაბლესი დონეების კიდურა მნიშვნელობებს და შესაბამის თარიღებს; უმაღლესი დონის საშუალო მნიშვნელობას; 2) წლის განმავლობაში უმაღლესი და უდაბლესი დონეების შესაბამის გვიანდელ, ადრინდელ და საშუალო თარიღებს; 3) გაზაფხულისა და შემოდგომის ყინულსვლისას წყლის დონეების კიდურა და საშუალო მნიშვნელობებსა და შესაბამის თარიღებს; 4) ყინულის რეჟიმის დამახასიათებელი მოვლენების შესაბამის გვიანდელ, ადრინდელ და საშუალო თარიღებს; 5) ყინულისაგან თავისუფალი პერიოდის ხანგრძლივობის საშუალო და კიდურა მნიშვნელობებს.

ჩამოთვლილ მონაცემებს დიდი პრაქტიკული გამოყენება აქვს; მაგალითად, უმაღლესი დონეების ცოდნა საშუალებას იძლევა წინასწარ დადგინდეს ადგილმდებარეობის დატბორვის შესაძლო ზონები; ყინულის რეჟიმის მოვლენების შესახებ მონაცემების მიხედვით განისაზღვროს ნაოსნობის პერიოდის ხანგრძლივობა და სხვ.

დამახასიათებელი დონეების ან ყინულის რეჟიმის მოვლენების შესაბამისი თარიღების გამოთვლისას აუცილებელია მათი წინასწარ დაყვანა ადრინდელ თვეზე, ხოლო შემდეგ საშუალო თარიღის დადგენა.

თუ დონეების მრავალწლიური მახასიათებლების ცხრილი მოიცავს ხანგრძლივ პერიოდს (40–50 წელს), მაშინ შეიძლება დადგინდეს მდინარეების

რეჟიმის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელი-დონეთა ამპლიტუდა, ე. ი. სხვაობა უდიდეს და უმცირეს დონეებს შორის.

წყლის დონეების სტატისტიკური დამუშავება. დონის ქრონოლოგიური გრაფიკის მიხედვით (ნახ. 15,ა) არ შეიძლება უშუალოდ განისაზღვროს, თუ დროის რა პერიოდში არ დაწეულა დონე მოცემულის ქვემოთ, რომელი დონე გვხვდება ყველაზე უფრო ხშირად და სხვ. იმისათვის, რომ ამ და სხვა მსგავს კითხვებზე გაიცეს პასუხი, ტარდება დონეების სტატისტიკური დამუშავება, რომელიც დაფუძნებულია მათემატიკურ სტატისტიკაზე. ასეთნაირად შეიძლება დამუშავდეს როგორც თვით დონეები ნებისმიერ პერიოდში, ასევე დამახასიათებელი დონეებისა და ყინულის რეჟიმის მოვლენების შესაბამისი თარიღებიც.

საწყის მონაცემებს იღებენ წყდ-ს ცხრილიდან. დონეებს განალაგებენ კლებადობის მიხედვით. ერთსა და იმავე დონეს იმდენჯერ წერენ ცხრილში, რამდენჯერაც ის გვხვდება. უკანასკნელი დონე 365 (ან 366) ნომრით იქნება უმცირესი მოცემულ წელს. მაშასადამე, მთელი წლის განმავლობაში დონეები მეტი ან ტოლი იყო ამ დონისა ($H_{\text{მინ}}$ -ის), ე. ი. ის უზრუნველყოფილი იყო 365 (366) დღის განმავლობაში. შეიძლება ავიღოთ ნებისმიერი სხვა დონე $H_{\text{მინ}} < H < H_{\text{მაქს}}$ და უშუალოდ ცხრილიდან მივიღოთ დღეების ის რაოდენობა (დონის ნომრის შესაბამისი), რომელთა განმავლობაშიც აღებული ნებისმიერი დონე უზრუნველყოფილი იყო. დონეების კლების სვლას $H_{\text{მაქს}}$ -დან $H_{\text{მინ}}$ -მდე გამოსახავენ გრაფიკულად; ამისათვის დონეებს გადაზომავენ ვერტიკალურ, ხოლო დღეებს (ნომრებს რიგის მიხედვით) – ჰორიზონტალურ ღერძზე. ასეთი მრუდი შეიძლება აიგოს საკმარისი სიზუსტით მაშინაც, როცა წერტილთა რაოდენობა 365-ზე გაცილებით ნაკლებია. ამისათვის დონეებს წინასწარ ყოფენ 10-15 ინტერვალად და გამოითვლიან მათ რაოდენობას თითოეულ ინტერვალში. დონეების დალაგებისას, გაურკვევლობის თავიდან აცილების მიზნით, ინტერვალებში შეჰყავთ განუმეორებადი მნიშვნელობები. ინტერვალის ზომა დამოკიდებულია $H_{\text{მაქს}} - H_{\text{მინ}}$ სხვაობაზე. ქვემოთ მოყვანილია დონეების ჩაწერის მაგალითი ცალკეული სამი ინტერვალისათვის.

ინტერვალები, სმ	დონეების რაოდენობა ინტერვალში, m_i	$\frac{m_i}{n} \cdot 100$	თანმიმდევრობითი ჯამები, m	$\frac{m}{n} \cdot 100$
300-201	66	18	171	47
200-101	98	27	269	73
100-1	89	24	358	98

აქვეა მოყვანილი დონეების რიცხვი (m_i) ინტერვალში და დღეების ჯამური რიცხვი m , რომელიც გამოთვლილია პროცენტობით დღეების საერთო რიცხვის (n) მიმართ; მოცემულ შემთხვევაში $n = 365$ -ს. m_i სიდიდე გამოსახავს განმეორებადობას ან, სხვანაირად, იმ დონეთა სიხშირეს, რომლებიც მოცემულ ინტერვალში ხვდებიან; m გამოსახავს ხანგრძლივობას ან, სხვანაირად, დონეების უზრუნველყოფას უმაღლესი დონიდან ($H_{\text{მაქს}}$) მოცემული ინტერვალის ქვედა საზღვრამდე. თუ ვერტიკალურ ღერძზე გადავზომავთ H დონეებს, ხოლო ჰორიზონტალურზე – m_i –ს (ინტერვალის შუაგულის მოპირდაპირედ) და m –ს (მისი ქვედა საზღვრის მოპირდაპირედ), მივიღებთ დონეების სიხშირისა (1) და უზრუნველყოფის (2) გრაფიკებს (ნახ. 15,ბ). კიდურა ინტერვალები ზოგად შემთხვევაში ერთნაირი არ მიიღება, რადგანაც $H_{\text{მაქს}}$ და $H_{\text{მინ}}$ დონეები ცნობილია, ხოლო ინტერვალის საზღვრები მოსახერხებელია შევუთავსოთ ციფრებს, რომლებიც ნულითა და ერთიანით ბოლოვდებიან. სიხშირის გრაფიკი შეიძლება გამოისახოს საფეხურებიანი ან ტეხილი წირის სახით; უკანასკნელ შემთხვევაში აბსცისათა ღერძის ნულოვანი მნიშვნელობის დროს წირის ბოლოები გადის $H=H_{\text{მინ}}$ და $H=H_{\text{მაქს}}$ წერტილებში. უზრუნველყოფის გრაფიკი იწყება $H=H_{\text{მაქს}}$ წერტილიდან და მთავრდება წერტილში, რომლისთვისაც $H=H_{\text{მინ}}$ და $m = n$ (100%-იანი უზრუნველყოფისას).

1 და 2 მრუდებს - 15, ბ ნახაზზე ეწოდება განაწილების მრუდები. ისინი ფართოდ გამოიყენება საინჟინრო ჰიდროლოგიაში. უზრუნველყოფის მრუდი, სიხშირის მრუდისაგან განსხვავებით, ინტეგრალურია.

განვიხილოთ დამახასიათებელი დონეები სიხშირისა და უზრუნველყოფის გრაფიკებზე. უპირველეს ყოვლისა, მათ მიეკუთვნება უდიდესი სიხშირის მქონე H_{θ} დონე, რომელსაც მოდალური დონე ეწოდება, და 50%-იანი უზრუნველყოფის

H₅₀ დონე, რომელსაც მედიანური ეწოდება. სიხშირის მრუდს რომ ორი ერთნაირი შტო ჰქონდეს მაქსიმალური სიხშირის ორდინატიდან ორივე მხარეს, ე. ი. სიხშირის მრუდი რომ სიმეტრიული იყოს, მაშინ მოდალური, მედიანური და საშუალო არითმეტიკული დონეები ერთნაირი იქნებოდა: მედიანური დონე წარმოადგენს დონის საშუალო მდებარეობის შედარებით ობიექტურ მახასიათებელს, ვიდრე საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა $H_{საშ}$, რადგანაც $H_{საშ}$ სიდიდეზე გავლენას ახდენს დონის იშვიათი აწევ-დაწევა, რაც, თავის მხრივ, ყოველთვის არ არის დაკავშირებული მდინარის აუზში ჩამონადენის ზრდასთან, მაგალითად, კაშხლის გარღვევისას, მასიური ყინულხერგილის წარმოქმნისას და სხვ. ეს ფაქტორები მედიანური დონის სიდიდეზე არ მოქმედებს.

დონეების მატების დასახასიათებლად მედიანურიდან მარცხნივ სარგებლობენ 25%-იანი უზრუნველყოფის შესაბამისი დონით (H_{25}), რომელსაც ზედა კვადრილარული დონე ეწოდება. ანალოგიურად, დონეების კლების დასახასიათებლად მედიანურიდან მარჯვნივ სარგებლობენ 75%-იანი უზრუნველყოფის შესაბამისი ქვედა კვადრილარული დონით (H_{75}).

$H_{საშ}$, H_{θ} , H_{25} , H_{50} სიდიდეები წარმოადგენენ მწკრივის სტატისტიკურ მახასიათებლებს. მოცემული უზრუნველყოფის დონეები შეიძლება ვიპოვოთ უზრუნველყოფის მრუდის აგების გარეშე. ამისთვის წინასწარ პოულობენ მათ ადგილს კლებად მწკრივში; მაგალითად, როცა $n = 31$ -ს, მაშინ შუა ადგილას მოთავსებული იქნება მწკრივის მე-16 წევრი, ე. ი. $m_{50} = 16$ -ს, რაც მედიანური დონის ადგილს შეესაბამება; როცა $n = 365$ -ს, მაშინ $m_{50} = 183$ -ს.

n -ის ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის მედიანური დონის ადგილი გამოითვლება ფორმულით:

$$m_{50} = 1 + \frac{n-1}{2} = 1 + \frac{50(n-1)}{100}. \quad (6)$$

ანალოგიურად, ზედა და ქვედა კვადრილარული დონეების ადგილები შესაბამისად განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$m_{25} = 1 + \frac{n-1}{4} = 1 + \frac{25(n-1)}{100}; \quad (7)$$

$$m_{75} = 1 + \frac{3(n-1)}{4} = 1 + \frac{75(n-1)}{100}. \quad (8)$$

ზოგადი სახით

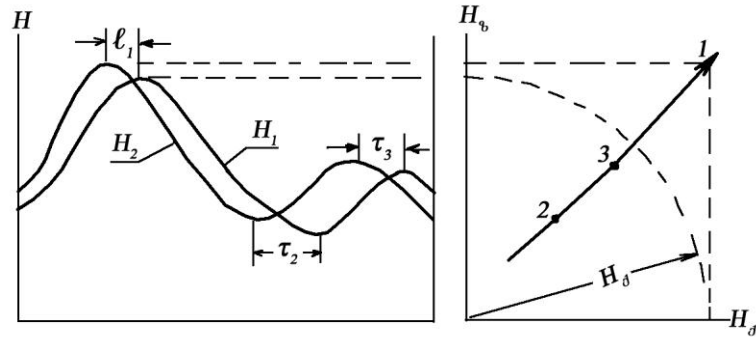
$$m_p = 1 + \frac{P(n-1)}{100}, \quad (9)$$

სადაც m_p არის $p\%$ -იანი უზრუნველყოფის შესაბამისი დონის ადგილი კლებად მწკრივში.

თუ m_p წილადით გამოისახება, მაშინ საჭიროა მეზობელი დონეების ინტერპოლაცია; მაგალითად, თუ $n = 366$ -ს, მაშინ $m_{50} = 183,5$ -ს, ე. ი. H_{50} უდრის 183 და 184 ნომრების შესაბამისი დონეების საშუალო არითმეტიკულს. მოცემული p უზრუნველყოფის შემთხვევაში H_p -ს გამოსათვლელად აუცილებელი არ არის წლის განმავლობაში ყველა დონის კლებადი რიგით ამოწერა, რადგანაც შეიძლება ინტერვალებით შედგენილი უფრო კომპაქტური ცხრილით სარგებლობა. პირველ რიგში პოულობენ ინტერვალს, რომელშიც თავსდება მოცემული სტატისტიკური მახასიათებელი. ინტერვალების ჩაწერის ზემოთ მოყვანილ მაგალითში მედიანური დონე (როცა $m_{50} = 183$) იმყოფება 200–101 სმ ინტერვალში, რადგანაც წინამდებარე ინტერვალს (300–201 სმ) შეესაბამება $m = 171 < m_{50}$. მაშასადამე, 183-ე დონე კლებადობის რიგით იქნება მწკრივის მე-12 წევრი (183—171–12) 200–101 სმ ინტერვალში, რომლის დონეებსაც წერენ 1 სმ-ის კლებადობით. მე-12 ნომრის მოპირდაპირედ მოთავსებული იქნება დონე H_{50} . ანალოგიურად პოულობენ H_{25} და H_{75} დონეებს.

წყლის შესაბამისი დონეები. ერთი და იმავე მდინარისათვის რამდენიმე საგუშაგოს მონაცემებით დონეების დამუშავებისას აგებენ დონეთა რხევის შეთავსებულ გრაფიკებს. ეს საშუალებას იძლევა თვალყურით დონეების მატებასა და კლებას წყალმოვარდნისას, მდინარის სიგრძეზე დონის ცვლილებას ყინულწარმოქმნის პერიოდში და სხვ; შევაფასოთ ბუნებრივი შეთანხმებულობით ხარისხი დონეებისა და ყინულის რეჟიმის მოვლენების ცვლილებისას. დონეების შეთავსებული გრაფიკის ანალიზის შედეგად შეიძლება გაუმჯობესდეს წყალსაზომი საგუშაგოების განლაგება, აგრეთვე, აღმოჩნდეს შეცდომები, რომლებიც ვერ გამოვლინდა წყალსაზომი დაკვირვებებისა და მათი პირვანდელი დაკვირვებების სტადიებზე; ამასთან, მხედველობაშია მისაღები, რომ დონეების ცვლილების გადაცემა დინების მიმართულებით გართულებულია მდინარეში წყლის არათანაბარი და დაუმყარებელი მოძრაობის გამო. მდინარის სხვადასხვა პუნქტში დონეების მატებისა და კლების ტემპი, აგრეთვე, რხევების ამპლიტუდა

ერთნაირი არ არის კალაპოტის სხვადასხვა ფორმისა და გამტარუნარიანობის გამო. ცხადია, შედარებით ახლოს არის ერთმანეთთან ის დონეები, რომლებიც მათი ცვლილების ერთნაირ ფაზებშია (მაღალი წყლის თხემი, ყველაზე დაბალი დონე, დაცემისა და აწევის გარდატეხის წერტილები $H = H(t)$ გრაფიკებზე) გაზომილი.



ნახ. 16. სქემა შესაბამისი დონეების დამოკიდებულების გრაფიკის ასაგებად წყალსადინრის შესადარებელ განივ კვეთებში არსებულ დონეებს, რომლებიც დროის მიხედვით მათი ცვლილების ერთნაირ ფაზებს შეესაბამებიან, შესაბამისი დონეები ეწოდება. შესაბამისი დონეების კავშირის გრაფიკის აგება ნაჩვენებია მე-16 ნახაზზე, რომელზეც H_b და H_d დონეებია ზედა და ქვედა საგუშაგოებზე, ხოლო τ – მოცემული ფაზის გარბენის დრო.

შესაბამისი დონეების კავშირის მრუდებს პრაქტიკაში დიდი გამოყენება აქვს. მდინარის ერთ კვეთში გაზომილი წყლის ხარჯები შესაბამისი დონეების გრაფიკის საშუალებით დაიყვანება სხვა კვეთში წყალსაზომი საგუშაგოს ჩვენებებზე. მდინარის ზემოთ მდებარე უბანზე გაზომილი დონისა და მოცემული ფაზის გარბენის დროის მიხედვით შეიძლება წინასწარ განისაზღვროს დონე და შესაბამისი თარიღი მდინარის ქვემოთ მდებარე უბნისათვის, ე. ი. გადაწყდეს ჰიდროლოგიური პროგნოზირების ერთ-ერთი ამოცანა.

თ ა ვ ი II. წყლის სიღრმეები

§ 4. წყლის სიღრმეების გასაზომი ხელსაწყოები

ვერტიკალურ მანძილს ნაკადის თავისუფალი ზედაპირიდან ფსკერამდე ნაკადის სიღრმე ეწოდება. ცხადია, რომ ეს სიდიდე, რომელიც h -ით აღინიშნება, არ ემთხვევა ნაკადის ზედაპირისადმი მართობულად ათვლილ მანძილს, ხოლო არათანაბარი მოძრაობის შემთხვევაში – არც ფსკერის ზედაპირისადმი მართობულად ათვლილ მანძილს. თუ თავისუფალი ზედაპირის დახრის კუთხე

$\Theta \leq 10^\circ$ და სხვაობა $\Theta_{ფსკ} - \Theta \leq 10^\circ$, სადაც $\Theta_{ფსკ}$ ფსკერის ზედაპირის დახრის კუთხეა, მაშინ განსხვავება წყლისა და ფსკერის ზედაპირების მართობულად გაზომილ სიღრმეებს შორის 1,5%-ს არ აღემატება.

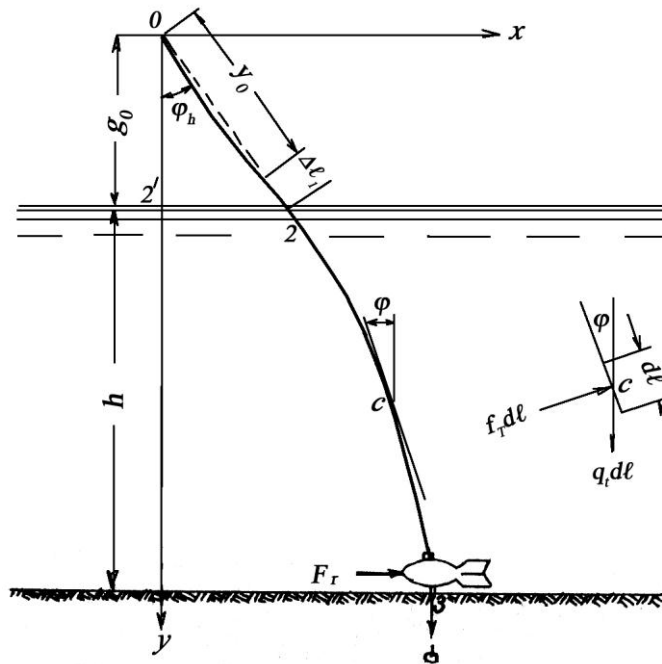
სიღრმეებს ნაკადის ცალკეულ წერტილებში ადგილობრივ სიღრმეებს უწოდებენ. გაზომილი სიღრმეების საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს ნაკადის ან წყალსატევის ფსკერის რელიეფის ფორმა, წყლის მოცულობა წყალსაცავში ან ტბაში და სხვ. წყლის დინების სიჩქარეების, წყლისა და ნატანის ხარჯების განსაზღვრას ყოველთვის თან ახლავს სიღრმეების გაზომვა.

სიღრმეებს ზომავენ: 1) ჰიდრომეტრიული შტანგით (ბლანდით) და სამირავით, 2) ჰიდრომეტრიული პროფილოგრაფებით. ბლანდისა და სამირავის საშუალებით სიღრმეს საზღვრავენ უშუალოდ შტანგის ან სამირავის (გვარლის) წყალში ჩაძირვის სიდიდით. ჰიდრომეტრიული პროფილოგრაფები წარმოადგენს ხელსაწყოებს, რომელთა საშუალებით ხდება წყლის კვეთის პროფილის ავტომატური რეგისტრაცია. მოქმედების პრინციპის მიხედვით განასხვავებენ მექანიკურ, ჰიდროსტატიკურ და აკუსტიკურ პროფილოგრაფებს.

მექანიკურ პროფილოგრაფში გასაზომი სიღრმეები ჩამწერ მექანიზმს გვარლზე დაკიდებული ტვირთის ან ხისტი გასაზომი შტანგის შემწეობით გადაეცემა. შტანგის ქვედა ბოლო ეშვება წყალში და გემის მოძრაობისას გადაადგილდება ფსკერზე. მისი დახრის კუთხე დამოკიდებულია წყლის სიღრმეზე. დოლი, რომელზედაც დახვეულია ლენტი წყლის კვეთის პროფილის ჩასაწერად, მოძრაობაში მოდის წყალში ჩაძირული საათის მექანიზმის ან ხრახნის შემწეობით. ლაბორატორიულ მექანიკურ პროფილოგრაფებში გორგოლაჭიანი საზომი შტანგი თავსდება ვერტიკალურად ან დახრილად.

ჰიდროსტატიკური პროფილოგრაფის მოქმედება ემყარება ჰიდროსტატიკური წნევის წყლის სიღრმეზე დამოკიდებულების კანონს.

აკუსტიკურ პროფილოგრაფში (ექოლოტში) გამოყენებულია წყალში ბგერითი ტალღების გავრცელების კანონები.



ნახ. 17. სადირავი (გვარლის მდებარეობა ნაკადში ჰიდრომეტრიული ტვირთით)

ჰიდრომეტრიული შტანგი და სადირავი (ნახ. 17). ჰიდრომეტრიული შტანგი წარმოადგენს 5–6 სმ დიამეტრისა და 7 მ-მდე სიგრძის მქონე ხის ლატანს 10 სმ-იანი დანაყოფებით. ის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მხოლოდ შედარებით მცირე სიღრმეებისა (5–6 მ) და წყლის დინების მცირე სიჩქარეების შემთხვევაში. შტანგი ბოლოვდება 0,5–1 კგ წონის მქონე რკინის ბუნიკით, ხოლო ლამიანი ფსკერის შემთხვევაში – 15 – 30 სმ-იანი ბადროს ფორმის მქონე ტვირთით–ლამში მისი ჩაფლობის თავიდან აცილების მიზნით. ბუნიკისა და ბადროს ქვედა ზედაპირი უნდა უთავსდებოდეს შტანგის ნულოვან დანაყოფს. გაზომვის მომენტში ლატანი მოთავსებულია ვერტიკალურად; დელვის შემთხვევაში აიღება ტალღის თხემისა და ღარტაფის ანათვლების საშუალო მნიშვნელობა. შტანგის საშუალებით სიღრმის გაზომვის სიზუსტე შეადგენს დაახლოებით 2%-ს.

5–6 მ-ზე მეტი სიღრმეების შემთხვევაში გამოიყენება ხელის ან მექანიკური სადირავი. ხელის სადირავი წარმოადგენს დანაყოფებიან ზონარზე ჩამოკიდებულ 3–6 კგ წონის კონუსურ ან პირამიდის ფორმის მქონე ტვირთს; ის გათვალისწინებულია წყლის დინების მცირე სიჩქარეებისათვის (1მ/წმ-მდე). სიღრმეების გასაზომად სადირავს უშვებენ იმ კვეთიდან ზემოთ (დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით), რომელშიც უნდა გაიზომოს სიღრმე. იმ

მომენტში, როდესაც საძირავის ზონარი აღმოჩნდება ვერტიკალურ მდგომარეობაში, იღებენ ანათვალს.

მექანიკურ საძირავში გამოიყენება წვრილ გვარლზე ჩამოკიდებული ჰიდრომეტრიული ტვირთი, რომელსაც წყალში უშვებენ ჯალამბრის საშუალებით. სასურველია, ტვირთის მიბმა გვარლთან მოხდეს მენჯის საშუალებით. ეს უზრუნველყოფს ტვირთის თავისუფალ ბრუნვას ჰორიზონტალურ სიბრტყეში და მის დაყენებას დინების მიმართულებით. მექანიკური საძირავის გამოყენება შეიძლება მდინარის ნაკადის დინების ნებისმიერი სიჩქარეების შემთხვევაში.

თუ დინების სიჩქარე დიდია, მაშინ საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს გვარლის გადახრა ვერტიკალური მდგომარეობიდან. მაგრამ ჯერ შევჩერდეთ გვარლის წყალქვეშა ნაწილის სიგრძის გაზომვაზე. ეს l სიგრძე 2 და 3 წერტილებს შორის ზოგად შემთხვევაში სიღრმეზე მეტია. ის იზომება ჯალამბარზე მოთავსებული მრიცხველის ან ამწე-ძელზე ჩამოკიდებული ბლოკმრიცხველის საშუალებით. l სიდიდე მიიღება მრიცხველზე აღებული ანათვლების მიხედვით, როდესაც ტვირთი ეხება ფსკერს და წყლის ზედაპირს. თუ გვარლის გადახრა ვერტიკალური მდგომარეობიდან დიდი არ არის, მაშინ აღნიშნულ ანათვლებს შორის სხვაობა წყლის h სიღრმის ტოლია.

გვარლის გადახრის კუთხე ვერტიკალიდან წარმოადგენს ცვლად სიდიდეს, ე.ი. $\varphi = \varphi(x, y)$; კოორდინატა სისტემის სათავე 0 აღებულია გვარლის ჩამოკიდების წერტილში. თუ გავითვალისწინებთ, რომ გვარლი მოქნილია, შეიძლება მივიღოთ, რომ ნებისმიერი წერტილის (მაგალითად, C წერტილის) ქვემოთ მოდებული ძალების ტოლქმედი მიმართულია ამ წერტილში მხების მიმართულებით, მაშასადამე,

$$tg\varphi = \frac{dx}{dy} = \frac{F_{\varphi} + F_{\varphi x}}{G_{\varphi} + G_{\varphi} - F_{\varphi y}}, \quad (10)$$

სადაც F_{φ} არის ჰიდრომეტრიული ტვირთის შუბლური წინაღობა;

$F_{\varphi x}$ – გვარლის C წერტილსა და ტვირთს შორის მოთავსებული უბნის შუბლური წინაღობის ძალის გეგმილი x ღერძზე;

G_{φ} – ჰიდრომეტრიული ტვირთის წონა წყალში;

G_ϕ – გვარლის C წერტილსა და ტვირთს შორის მოთავსებული უბნის წონა წყალში;

$F_{\phi, y}$ – გვარლის C წერტილსა და ტვირთს შორის მოთავსებული უბნის შუბლური წინაღობის ძალის გეგმილი y ღერძზე.

ტვირთის შუბლური წინაღობის F_ϕ ძალა დამოკიდებულია ტვირთის ფორმაზე, მიდელური კვეთის ფართობსა და წყლის დინების სიჩქარეზე. კარგი გარსდენის მქონე ფორმის სხეულებისათვის F_ϕ დებულობს უმცირეს მნიშვნელობას, რასაც მივყავართ ϕ კუთხის შემცირებამდე. ამიტომ ნაკადის სიღრმეების გასაზომად რეკომენდებულია სწორედ კარგი გარსდენის მქონე ფორმის ტვირთის გამოყენება. გვარლის შუბლური წინაღობის ძალა დამოკიდებულია გვარლის დიამეტრსა და წყლის დინების სიჩქარეზე. იმის გამო, რომ სიჩქარე ნაკადის სიღრმის მიხედვით იცვლება (თავი III), F_ϕ ძალის გეგმილები უნდა განისაზღვროს $dF_\phi = f_\phi dl$ გამოსახულებიდან გამომდინარე, სადაც f_ϕ არის გვარლის ერთეული სიგრძის შუბლური წინაღობის ძალა, ხოლო l გვარლის სიგრძე. რაც უფრო დიდია გვარლის დიამეტრი, მით მეტია f_ϕ და F_ϕ ; ამიტომ საჭიროა გამოვიყენოთ რაც შეიძლება წვრილი ფოლადის გვარლები მათი სიმტკიცის გათვალისწინებით. (10) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ გვარლის წონის გაზრდა ხელს უწყობს ϕ კუთხის შემცირებას, მაგრამ ამას მივყავართ გვარლის დიამეტრის გადიდებასთან და, მაშასადამე, F_ϕ ძალის მნიშვნელოვნად გაზრდასთან. გარდა ამისა, წვრილი გვარლით სარგებლობა ძალზე აადვილებს ჯალამბრების გამოყენებას დიდი სიღრმეების შემთხვევაში, თავიდან გვაცილებს მრავალ უხერხულობას მუშაობის პროცესში და სხვ.

G ძალის გამოთვლისას აუცილებელია გავითვალისწინოთ გვარლის სიმრუდე, ამიტომ G -ს გამოთვლიან გამოსახულებიდან $dG_\phi = g_\phi dl$, სადაც g_ϕ არის გვარლის ერთეული სიგრძის წონა. ნათელია, რომ G_ϕ -ს გაზრდით მცირდება ϕ კუთხე.

პრაქტიკული თვალსაზრისით საინტერესოა h სიღრმის გამოთვლა გვარლის l სიგრძით. ეს ამოცანა წყდება (10) განტოლების საშუალებით. შედეგები შეაქვთ ცხრილში, რომლის არგუმენტებიც დამოკიდებულია (10) განტოლების გადაწყვეტისას მიღებულ დაშვებებზე.

l სიგრძის Δl შესწორებების შედარებით ზუსტი ცხრილი მოცემულია დ. რატკოვიჩის მიერ, რომელმაც (10) განტოლების გადაწყვეტისას თითქმის ყველა ძირითადი ფაქტორი გაითვალისწინა; ცხრილის ამოსავალ არგუმენტს წარმოადგენს ტვირთიანი გვარლის გადახრისას წყლის ზედაპირთან და ფსკერთან შედგენილი $\varphi_{\text{ზედ}}$ და φ_h კუთხეები (ცხრილი 2).

ც ხ რ ი ლ ი 2

ფარდობითი შესწორებები გვარლის წყალქვეშა ნაწილის სიგრძეზე $\frac{\Delta l}{l}$ (მინუს ნიშნით)

$\varphi_{\text{ზედ}}$ φ_h	0	10	20	$\varphi_{\text{ზედ}}$ φ_h	0	10	20
10	0,01	0,01	-	28	0,04	0,05	0,06
14	0,01	0,01	-	30	0,04	0,05	0,06
16	0,01	0,02	-	32	0,05	0,06	0,07
18	0,01	0,02	-	34	0,05	0,06	0,07
20	0,02	0,02	0,03	36	0,06	0,07	0,08
22	0,02	0,02	0,04	38	0,07	0,08	0,09
24	0,02	0,03	0,04	40	0,08	0,09	0,10
26	0,03	0,04	0,05				

შემთხვევა, როდესაც $\varphi_{\text{ზედ}} > \varphi_h$, პრაქტიკულად გამორიცხულია, ამიტომ, როცა $\varphi_{\text{ზედ}} = 20^\circ$, ფარდობითი შესწორებები მოყვანილია $\varphi_h \geq 20^\circ$ -თვის. მაგალითისათვის განვიხილოთ შემთხვევა, როცა $\varphi_h = 24^\circ$, $\varphi_{\text{ზედ}} = 10^\circ$, $l = 10$ მ; ცხრილიდან ვპოულობთ $\frac{\Delta l}{l} = -0,03$; მაშასადამე, $\Delta l = -0,03 \cdot 10 = -0,3$ მ; აქედან სიღრმე $h = 10 - 0,3 = 9,7$ მ.

სიღრმეების გაზომვის აუცილებელი სიზუსტის უზრუნველსაყოფად კატარღა ან ნავი პერიოდულად უნდა ჩერდებოდეს. სამუშაოთა მწარმოებლობა არსებითად იზრდება, თუ გაზომვები წარმოებს წყლის ტრანსპორტის შეუჩერებლად. ასეთ შემთხვევაში გაზომვების სიზუსტე შეიძლება გაიზარდოს ისეთი გვარლისა და ტვირთის გამოყენებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ სიღრმეების გაზომვას შესწორებების გარეშე. დ. რატკოვიჩმა იმ პირობის დაშვებით, რომ $\frac{\Delta l}{l} \cdot 100 = \frac{l-h}{h}$.

$100 \leq 1\%$, შეადგინა ცხრილი ჰიდრომეტრიული ტვირთის წონისა და გვარლის დიამეტრის განსასაზღვრავად (ცხრილი 3). აქ

$$w = \sqrt{u_{\text{წყ}}^2 + u_{\text{ტ}}^2},$$

სადაც $u_{\text{წყ}}$ არის წყლის დინების საშუალო სიჩქარე h სიღრმის მქონე ვერტიკალზე;

$u_{\text{ტ}}$ – წყლის ტრანსპორტის მოძრაობის სიჩქარე.

მაგალითად, $u_{\text{წყ}} = 1,5$ მ/წმ, $u_{\text{ტ}} = 1,2$ მ/წმ; $w = \sqrt{1,5^2 + 1,2^2} = 1,93$ მ/წმ; სიღრმე $h = 8$ მ. ასეთ შემთხვევაში, როცა გვარლის დიამეტრი $d = 3$ მმ–ს, მოითხოვება 40 კგ წონის მქონე ტვირთი.

ც ხ რ ი ლ ი 3

ჰიდრომეტრიული ტვირთების წონა, როდესაც d დიამეტრის (მმ–ობით) გვარლის გადახრაზე შესწორება საჭირო არ არის

წყლის სიღრმე h , მ	სიჩქარე, მ/წმ w	ტვირთის წონა, კგ			წყლის სიღრმე h , მ	სიჩქარე, მ/წმ w	ტვირთის წონა, კგ		
		$d = 2$	$d = 4$	$d = 6$			$d = 2$	$d = 4$	$d = 6$
2	1,5	10	10	10	8	1,0	10	10	15
	2,0	10	15	20		1,5	15	25	35
	2,5	20	30	40		2,0	30	50	70
	3,0	30	45	55		2,5	45	80	110
	3,5	45	65	80		3,0	70	115	–
	4,0	65	90	110		10	1,0	10	15
4	1,0	10	10	10	10	1,5	15	30	45
	1,5	10	15	20		2,0	35	60	85
	2,0	15	30	40		2,5	55	95	–
	2,5	30	45	65		3,0	80	–	–
	3,0	45	70	95		15	1,0	10	20
	3,5	65	100	–		1,5	25	45	65
6	1,0	10	10	10	15	2,0	45	85	120
	1,5	10	20	30		2,5	75	–	–
	1,5	10	20	30		2,5	75	–	–
	2,0	25	40	55		1,0	15	25	35
	2,5	35	65	85		1,5	30	60	85
	3,0	55	95	–		2,0	60	110	–
20	1,0	10	10	10	20	1,0	15	25	35
	1,5	10	20	30		1,5	30	60	85
	1,5	10	20	30		2,0	60	110	–
	2,0	25	40	55		1,0	15	25	35
	2,5	35	65	85		1,5	30	60	85
	3,0	55	95	–		2,0	60	110	–

გაზომვების სიზუსტე იზრდება, თუ საძირავი აღჭურვილია ელექტროკონტაქტით.

ჰიდროსტატიკური პროფილოგრაფები. ამ ხელსაწყოებით ხდება ფსკერის პროფილის ავტომატური ჩაწერა ხელსაწყოს ფსკერზე გადაადგილებასთან ერთად. მგრძნობიარე ელემენტის სახით, რომელიც აღიქვამს ჰიდროსტატიკურ წნევას, გამოიყენება სპეციალური კონსტრუქციის სილფონი. პროფილის გასწვრივ მანძილების რეგისტრაციისათვის გამოიყენება საზომი გვარლი, რომლის საჭირო მარაგიც მოთავსებულია პროფილოგრაფის შიგნით. ამოსავალ ნაპირზე დამაგრებულ საზომ გვარლს, რომელიც ხელსაწყოდან იძულებით გამოიგრაგნება, მოძრაობაში მოყავს თვითმწერის ლენტსაწვეი მექანიზმი ისე, რომ ლენტის გადაადგილება პროფილოგრაფის მიერ განვლილი მანძილის პროპორციულია.

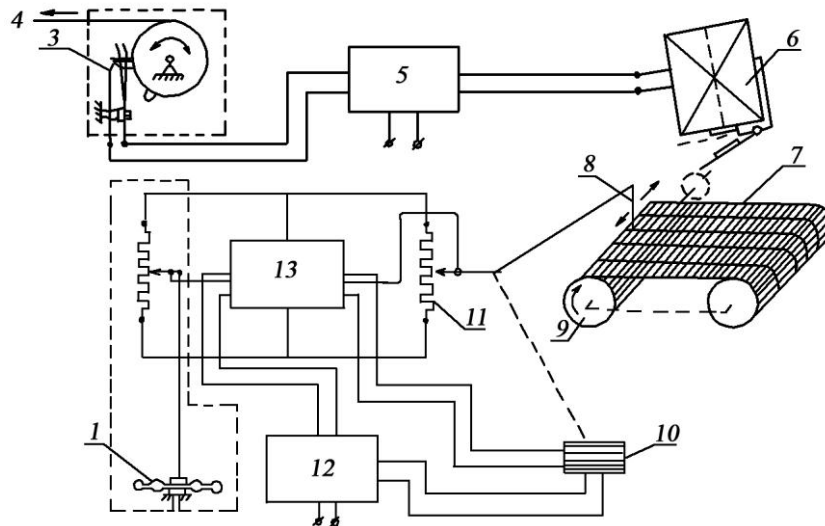
არსებობს ჰიდროსტატიკური პროფილოგრაფის რამდენიმე ტიპი, რომლებიც ნაკადის სხვადასხვა სიღრმისათვის არის გათვალისწინებული. შედარებით სრულყოფილია ჰიდროსტატიკური დისტანციური პროფილოგრაფი. ამ ხელსაწყოს თავისებურება მდგომარეობს მისი კვანძების განლაგების დისტანციურ სქემაში. პროფილის ჩაწერისას მარეგისტრირებელ მოწყობილობას ათავსებენ კატარლის ბორტზე, ხოლო სიღრმეების გადამწოდის ბუქსირება ხდება ფსკერზე. პროფილოგრაფის კონსტრუქციის დამუშავებაში მონაწილეობდა ავტორთა კოლექტივი ვ. საველიევის ხელმძღვანელობით. პროფილოგრაფის კომპლექტი შედგება კაბელ-გვარლით აღჭურვილი საძირავისაგან, რეგისტრატორისაგან, ჰორიზონტალური მანძილების საზომი კვანძისა და საბორტო ამორტიზატორისაგან კაბელ-გვარლისათვის საჭირო კოჭათი.

საძირავი მოძრაობს ფსკერის გასწვრივ. ამას აქვს გარსდენადი ფორმა ფრთაშესხმულობით, რაც უზრუნველყოფს ფსკერთან მუდმივ კონტაქტს; შიგნით მოთავსებულია სიღრმეების გადამწოდი. საძირავი სამძარღვიანი კაბელ-გვარლით დაკავშირებულია რეგისტრატორთან. სიღრმეების რეგისტრატორის სქემაში ხდება სიღრმეების გადამწოდიდან და ჰორიზონტალური მანძილების გადამწოდიდან მიღებული ინფორმაციის განზოგადება და პროფილი ჩაიწერება ლენტზე. ჰორიზონტალური მანძილების საზომი კვანძი ერთდროულად ემსახურება რეგისტრატორისათვის იმპულსური სიგნალების გადაცემას განვლილი მანძილის

ყოველ 0,5 მ-ზე. მანძილების გასაზომად გამოიყენება კაპრონის ძაფი, რომლის დაჭიმულობის რეგულირებაც ხდება დინების სიჩქარის მიხედვით. საბორტო ამორტიზატორი არბილებს წყალქვეშა წინაღობებთან საძირავის შეჯახებით გამოწვეულ დარტყმებს და იცავს კაბელ-გვარლს გაწყვეტისაგან.

პროფილოგრაფის ძირითადი ტექნიკური მონაცემები შემდეგია: სიღრმეების რეგისტრაციის ზღვარი – 15 მ; ჰორიზონტალური მანძილების რეგისტრაციის ზღვარი ძაფით მუშაობის დროს – 1200 მ, ხოლო დროის რელეთი – 5000 მ; სიღრმეების გაზომვის სიზუსტეა 3–5%, ხოლო ჰორიზონტალური მანძილების გაზომვის სიზუსტე – 3–6%; პროფილის ჩაწერის მასშტაბი: ჰორიზონტალური 1:500, ვერტიკალური 1:200; კვება ხორციელდება ავტონომიურად ან საბორტო ქსელიდან შესაბამისად 12 და 24 ვოლტი ძაბვით.

ხელსაწყოს პინციპული სქემა ნაჩვენებია მე-18 ნახაზზე. წნევის (სიღრმის) ცვლილება აღიქვება საძირავის - 1 მგრძნობიარე ელემენტის მიერ, რაც იწვევს პოტენციომეტრის - 2 წინაღობას და შესაბამისად ცვლის პოტენციომეტრში რეგისტრატორის - 11 წინაღობას. პოტენციომეტრის მხრები ქმნიან ხიდს, რომლის დიაგნალურად ჩართულია გამამლიერებელი - 13. ხიდის კვება ხორციელდება 500 ჰც-იანი სიხშირის მქონე - 12 გენერატორიდან. გამამლიერებელი და გენერატორი აწყობილია ნახევარგამტარიან ტრიოდებზე. გამამლიერებლის გასვლის სიგნალი მიეწოდება ძრავას - 10 ხვიას; ძრავა მექანიკურადაა დაკავშირებული რეგისტრატორის პოტენციომეტრის ჯაგრისთან. ძრავა ბრუნავს ისე, რომ ჯაგრისი მოვიდეს მდგომარეობაში, რომლის დროსაც ხიდი იქნება გაწონასწორებული. ჯაგრისთან ხისტად არის დაკავშირებული ნემსი - 8, რომელიც წერს პროფილს ლენტზე - 7 ხიდი წონასწორობის დროს. ნემსის მდგომარეობა ლენტზე საძირავის ჩადირვის სიღრმის პროპორციულია.



ნახ. 18. დისტანციური ჰიდროსტატიკური პროფილოგრაფის კინემატიკური სქემა:

1 – ტელემეტრული გადამწოდი; 2 – პოტენციომეტრი; 3 – კონტაქტები; 4 – საზომი ძაფი; 5 – დროის რელე; 6 – ელექტრომაგნიტი; 7 – ლენტი 8 – ნემსი; 9 – ლენტსაწევი დოლი; 10 – ძრავა; 11 – რეგისტრატორის პოტენციომეტრი; 12 – გენერატორი; 13 – გამამდიერებელი

საზომი ძაფის - 4 გაშლისას ბრუნავს მანძილების საზომი დაკალიბრებული ბორბალი და ხდება კონტაქტების - 3 ჩართვა. ამის შესაბამისად, ამუშავდება ელექტრომაგნიტი - 6, რომელიც მქნევარა მექანიზმის შემწეობით აბრუნებს ლენტსაწევ დოლს - 9. ამგვარად, ლენტის გადაადგილების სიჩქარე შემოსული სიგნალების სიხშირის, ე. ი. ბუქსირების სიჩქარის პროპორციულია. სიგნალების სიხშირე შეიძლება დავადგინოთ აგრეთვე დროის რელეს - 5 საშუალებით ისე, რომ ის შეესაბამებოდეს ბუქსირების სიჩქარეს. ამ შემთხვევაში მანძილების საზომი არ გამოიყენება.

დროის რელეთი მუშაობისას საზომი ძაფი საჭირო არ არის, მაგრამ ეს ხერხი ნაკლებად ზუსტია, რადგანაც კატარღის მოძრაობის სიჩქარე განისაზღვრება მიახლოებით, ხოლო ქაღალდის ლენტის გადაადგილების სიჩქარე მასზეა დამოკიდებული.

აკუსტიკური პროფილოგრაფები. ექოლოტის მოწყობილობის პრინციპული სქემა მოცემულია მე-19 ნახაზზე. ბგერის გამომსხივარი და ფსკერიდან მოსული

ექო-სიგნალის მიმღები თავსდება წყლის ქვეშ ბორტთან a სიღრმეზე ან გემის ფსკერზე. ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$h - a = \sqrt{l^2 - b^2}, \quad (11)$$

სადაც b არის ბგერის გამომსხივარსა და მიმღებს შორის მანძილის ნახევარი;

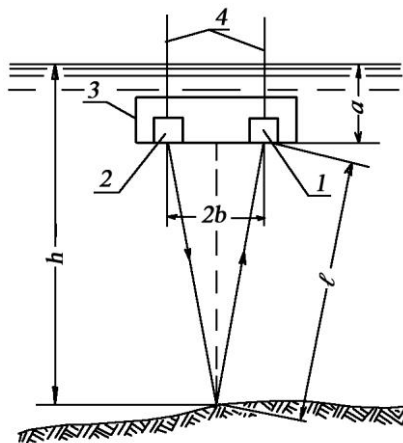
l – ბგერითი ტალღის მიერ გამომსხივარიდან ფსკერამდე ან ფსკერიდან ბგერის მიმღებამდე გაწვლილი მანძილი:

$$l = \frac{ct}{2}, \quad (12)$$

სადაც c არის ბგერის გავრცელების სიჩქარე წყალში (საშუალოდ 1462 მ/წმ);

t – ბგერის მიერ $2l$ მანძილის გავლის დრო. (11) ფორმულიდან (12)–ის გათვალისწინებით ვპოულობთ:

$$h = \sqrt{\frac{c^2 t^2}{4} - b^2} + a. \quad (13)$$



ნახ. 19. ექოლოტით სიღრმეების გაზომვის სქემა:

1 – ვიბრატორ-გამომსხივარი; 2 – ვიბრატორ-მიმღები; 3 – ბორტსიქითა მოწყობილობა; 4 – კაბელები ცენტრალურ ხელსაწყოთან შესაერთებლად

მაშასადამე, თუ გვეცოდინება t , შეგვეძლება განვსაზღვროთ h სიღრმე. t დრო უნდა გაიზომოს ძალიან დიდი სიზუსტით, რადგანაც, მაგალითად, 10 მ სიღრმეს შეესაბამება დროის მონაკვეთი $t = 0,013$ წმ.

ბგერის მიმღებსა და გამომსხივარს შორის მცირე მანძილების შემთხვევაში l სიდიდე, ე. ი. სწორკუთხა სამკუთხედის ჰიპოტენუზა, პრაქტიკულად შეგვიძლია ჩავთვალოთ სიღრმედ. მაგალითად, როცა $b = 0,2$ მ და $h = 1$ მ, მაშინ $l - h = 0,02$ მ (როცა $a = 0$). h -ის გაზრდით $l - h$ სხვაობა მცირდება.

ექოლოტები აღჭურვილია სიღრმეების ისრიანი მაჩვენებლით ან თვითმწერით, რომელიც ლენტზე ავტომატურად წერს სიღრმეებს გემის სვლის მიმართულებით. უკანასკნელ შემთხვევაში ექოლოტს შეიძლება აკუსტიკური პროფილოგრაფი ეწოდოს.

იმის მიხედვით, თუ როგორი ელექტროაკუსტიკური გარდამქმნელები არის გამოყენებული, ექოლოტები მუშაობენ ბგერით (3000 ჰც–მდე) ან ულტრაბგერით (10–დან 100 კჰც–მდე) სიხშირეებზე. პირველ შემთხვევაში ვიბრატორი ასხივებს ტალღებს, რომლებიც ყველა მიმართულებით ვრცელდება, ამიტომ ექოლოტი ზომავს არა სიღრმეს, არამედ მანძილს უახლოეს ამრეკლავ ზედაპირამდე. ულტრაბგერით სიხშირეებზე მომუშავე ვიბრატორების გამოყენების შემთხვევაში გამოსხივებული ენერგია კონცენტრირდება ვიწრო კონუსის ფარგლებში, რაც უზრუნველყოფს სიღრმეების გაზომვის გარკვეულობას.

განასხვავებენ პიეზოელექტრულ და მაგნიტოსტრიქციულ ულტრაბგერით გამომსხივარებსა და მიმღებს. მაგნიტოსტრიქციული გამომსხივარები და მიმღები გამოირჩევიან დამზადების სიმარტივით და საიმედო მუშაობით. მაგნიტოსტრიქციული ეფექტი მდგომარეობს ფერომაგნიტური მასალების (რკინის, კობალტის, ნიკელის) თვისებაში, შეიცვალონ თავიანთი ფორმა მაგნიტურ ველში მოხვედრისას. თუ ფერომაგნიტური ღეროს ხვიაში გავუშვებთ ცვლად დენს, მაშინ მაგნიტური ველი მასში შეიცვლება დენის სიხშირის ცვლასთან ერთად, რის შედეგადაც პერიოდულად შეიცვლება ღეროს სიგრძეც. ღეროს რხევების სიხშირე ორჯერ მეტია მაგნიტური ველის ცვლილების სიხშირეზე. მაგნიტოსტრიქციულ რხევათა სიხშირის ამპლიტუდა რკინის, კობალტისა და ნიკელისათვის შეადგენს 10^{-6} – 10^{-5} სმ–ს.

მაგნიტური სტრიქციის მოვლენა შექცევადია, ამიტომ ფსკერიდან არეკლილი ტალღები, რომლებიც მექანიკურად ზემოქმედებენ მაგნიტოსტრიქციულ მიმღებზე, მის ხვიაში ადაგზნებენ ელექტრულ რხევებს; ეს უკანასკნელნი გამაძლიერებლის საშუალებით გადაეცემა ექოლოტის მარეგისტრირებელ მოწყობილობას.

ქვემოთ განხილულია ЭЛО ტიპის ულტრაბგერითი ექოლოტი (პროფილოგრაფი). მისი მოწყობილობისა და მუშაობის პრინციპული სქემა მოცემულია მე-20 ნახაზზე.

აპარატურის შემადგენლობაში შედის:

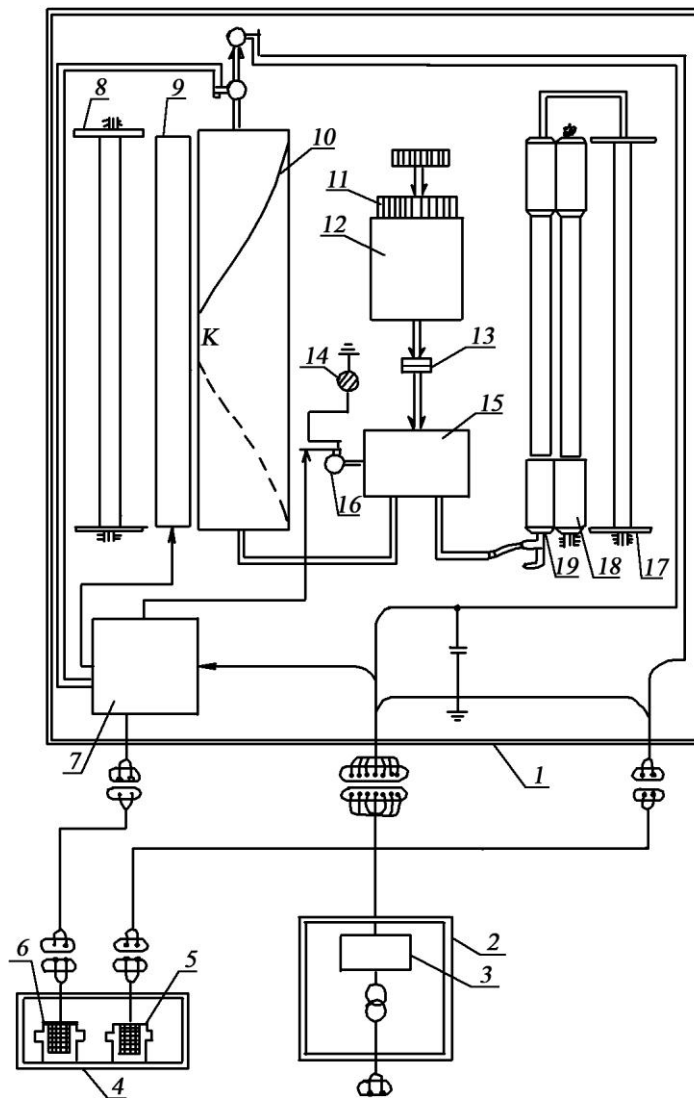
ცენტრალური ხელსაწყო – ულტრაბგერითი იმპულსების გასაგზავნად და მისაღებად და სიღრმეების ავტომატურად გასაზომად;

ბორტსიქითა მოწყობილობა – მაგნიტოსტრიქციული გარდამქმნელების წყალში ჩასადირად;

კვების ბლოკი – კვების წყაროს მუდმივი დენის გარდასაქმნელად ცვლად დენად. კვების ბლოკშივე ხდება ცვლადი დენის გარდაქმნა კვლავ მუდმივ დენად აპარატურის კვებისათვის.

აპარატურის კომპლექტში შედის აგრეთვე შემაერთებული კაბელები.

ულტრაბგერითი სიგნალის გამოსხივება და ფსკერიდან არეკლილი სიგნალის მიღება ხორციელდება ვიბრატორების საშუალებით, რომლებიც მოთავსებულია ბორტსიქითა მოწყობილობაში. ვიბრატორ-გამომსხივარის მუშაობისას გამოიყენება მაგნიტოსტრიქციული ეფექტი, რაც ფერომაგნიტური სხეულების (მოცემულ ხელსაწყოში – ნიკელის პაკეტის) დამაგნიტებისას მათი ზომების ცვლილებაში მდგომარეობს. ვიბრატორ-მიმღების მუშაობისას გამოიყენება უკუმაგნიტოსტრიქციული ეფექტი, რაც ფერომაგნიტური დამაგნიტებული სხეულების მაგნიტური ველის ცვლილებაში მდგომარეობს ამ სხეულებზე მექნიკური ზემოქმედების მომენტში.



ნახ. 20. ეპო ტიპის ულტრაბგერითი პროფილოგრაფის მოწყობილობისა და მუშაობის პრინციპული სქემა:

1 – ცენტრალური ხელსაწყო; 2 – კვების ბლოკი; 3 – გამასწორებელ-ფილტრი; 4 – ბორტსიქიტა მოწყობილობა; 5 – ვიბრატორ-გამომსხივარი; 6 – ვიბრატორ-მიმღები; 7 – გამაძლიერებელი; 8 – კოჭა; 9 – ფოლადის სახაზავი; 10 – დოლი; 11 – ავტომატური ცენტრიდანული რეგულატორი; 12 – ელექტროძრავა; 13 – შემაერთებელი ქურო; 14 – ბრუნთა საკონტროლო ნათურა; 15 – რედუქტორი; 16 – ბრუნთა საკონტროლო მუშტა; 17 – კოჭა; 18, 19 – ლილვაკები

სიღრმეების გაზომვის შედეგები ავტომატურად იწერება უწყვეტი წირის სახით ელექტროთერმული ქაღალდის მოძრავ ლენტზე. ელექტროძრავა - 12 რედუქტორის - 15 საშუალებით მუდმივი სიჩქარით აბრუნებს დოლს - 10, რომლის ღერძზეც მოთავსებულია გადამცემი მოწყობილობა და ნულის ჩამქრობი მუშტები.

ერთდროულად ელექტროძრავა - 12 რედუქტორის და - 15 საშუალებით აბრუნებს ქაღალდის გასაწევ ლილვაკებს - 18 და 19. ელექტროძრავა აღჭურვილია ავტომატური ცენტრიდანული რეგულატორით - 11, რომელიც ხელს უწყობს მუშაობის პროცესში ელექტროძრავას დადგენილი ბრუნთა რიცხვის შენარჩუნებას $\pm 0,5\%$ -ის სიზუსტით. კოჭა - 17, რომელიც ზამბარიანი გადაცემით არის დაკავშირებული ლილვაკთან - 19, ბრუნავს ამ ლილვაკის ბრუნვის კუთხური სიჩქარის ტოლი სიჩქარით. ლილვაკების - 18 და 19 და კოჭას - 17 დანიშნულება ის არის, რომ ელექტროთერმული ქაღალდის ლენტი (ЭТБ-2) კოჭადან - 18 მუდმივი სიჩქარით გამოიგრანოს და გაიჭიმოს დოლსა - 10 და ფოლადის სახაზავს - 9 შორის.

დოლის - 10 ზედაპირზე გაჭიმულია სიმი, რომელიც მოიცავს მის სრულ შემოწერილობას და ქმნის ხრახნულ წირს თანაბარი ბიჯით. დოლის ნებისმიერი მდებარეობისას ყოველ მოცემულ მომენტში სახაზავი ქაღალდს - 9 მიაბჯენს სიმს მხოლოდ ერთ K წერტილში. ამგვარად, დოლის ბრუნვასთან ერთად K წერტილი გადაადგილდება სახაზავის ერთი ბოლოდან მეორე ბოლომდე. ამასთან ერთად, დოლის ბრუნვისას გადამცემი მოწყობილობის მუშტა კეტავს ვიბრატორ-გამომსხივარის - 5 და კონდენსატორის (400 ვ ძაბვით) ხვიის (გრანგილის) ჯაჭვს; კონდენსატორი ვიბრატორ-გამომსხივარის ხვიასთან ერთად ქმნის რხევით კონტურს.

კონდენსატორის განმუხტვისას კონტურში წარმოიქმნება რხევითი პროცესი; პირდაპირი მაგნიტოსტრიქციული ეფექტის ძალით ვიბრატორ-გამომსხივარის ნიკელის პაკეტი გზავნის ულტრაბგერით იმპულსებს მილევადი რხევების სახით.

ულტრაბგერითი იმპულსი ვრცელდება წყალში და აირეკლება რა ფსკერიდან, ბრუნდება უკან ვიბრატორ-მიმღებთან - 6. ამ უკანასკნელზე ულტრაბგერითი რხევების იმპულსის მექანიკური ზემოქმედებით იცვლება პაკეტის მაგნიტური მდგომარეობა იმავე სიხშირით. ვიბრატორ-მიმღების ხვიაში, რომელიც ცვლად ველში იმყოფება, უკუმაგნიტოსტრიქციული ეფექტის ძალით ინდუქტირდება ელექტრომამოძრავებელი ძალა ასევე მილევადი რხევების სახით. ვიბრატორ-მიმღების ხვიაში აღძრული ელექტრული იმპულსი გადაეცემა გამაძლიერებელს, ხოლო იქიდან - გამოსასვლელი ტრანსფორმატორის პირველად ხვიას. ძაბვა,

რომელიც ეხსნება გამოსასვლელი ტრანსფორმატორის მეორეულ ხვიას, გადაეცემა ჩამწერ სახაზავს - 9.

ულტრაბგერითი სიგნალის გაგზავნის მომენტიდან ჩამწერი სახაზავის მიერ ელექტროიმპულსის მიღებამდე დროის განმავლობაში წერტილი თავისი ნულოვანი მდებარეობიდან გადაადგილდება სახაზავის გასწვრივ რაიმე L მანძილზე. იმ ადგილას, სადაც წერტილი გადაადგილდება, ელექტრული იმპულსი ამოწვავს ქაღალდის გარე შრეს შავი წერტილის სახით. L მანძილი დოლის თანაბარი ბრუნვის შემთხვევაში დამოკიდებულია მხოლოდ ულტრაბგერითი იმპულსის მიერ ვიბრატორ-გამომსხივარიდან ნაკადის ფსკერამდე და უკან-ვიბრატორ-მიმღებამდე მანძილის გავლის დროზე. დოლის ყოველი ბრუნვის შემდეგ, K წერტილის მიერ სკალის ნულის გავლის მომენტში, ადგილი აქვს შემდგომი სიგნალის გაგზავნას.

წყლის ნაკადის ფსკერიდან არეკლილი და ვიბრატორ-მიმღების მიერ გარდაქმნილი ულტრაბგერითი სიგნალი გამაძლიერებელში იწვევს შესაბამის ელექტრულ იმპულსს, რომელიც ხელახლა გადაეცემა ჩამწერ სახაზავს; იქ K წერტილი აღმოჩნდება ახალ მდებარეობაში, თუ ვიბრატორის ქვეშ სიღრმე შეიცვლება; ლენტზე გამოჩნდება ახალი სიღრმის აღნიშვნა და ა.შ. ექოლოტის მუშაობის პროცესში თვითმწერის ლენტზე მიიღება რიგი წერტილებისა შავი უწყვეტი წირის სახით, რომლის ფორმაც შეესაბამება ნაკადის (წყალსატევის) ფსკერის პროფილს კატარღის (ნავის) მოძრაობის მიმართულებით.

აპარატურა გათვალისწინებულია წყალში ულტრაბგერის გავრცელების საშუალო სიჩქარეზე $c = 1462$ მ/წმ. ელექტროძრავის ბრუნთა რიცხვი ასეთი სიჩქარისათვის უნდა იყოს 4474 ბრ/წთ, რაც შეესაბამება ცენტრალურ ხელსაწყოზე მოთავსებული ნეონის ნათურის (ბრუნთა რიცხვის კონტროლის) 69 გაელვებას $50 \pm 0,3$ წმ-ის განმავლობაში.

c სიჩქარე ფაქტიურად დამოკიდებულია წყლის ტემპერატურასა და სიმკვრივეზე (მარილიანობაზე). t ტემპერატურის 1°C -ით ცვლილება იწვევს c სიჩქარის 3 მ/წმ-ით ცვლილებას. ამ ფაქტორების გასათვალისწინებლად აუცილებელია ელექტროძრავის ბრუნთა რიცხვის რეგულირება წყალში ულტრაბგერის გავრცელების ნამდვილი სიჩქარის მიხედვით. მტკნარი წყლის

ტემპერატურის 2–დან 32°–მდე ცვლილებებისას ულტრაბგერის სიჩქარე იცვლება 1419–დან 1510 მ/წმ–მდე.

ЭЛО ტიპის პროფილოგრაფი საშუალებას იძლევა ჩავწეროთ ფსკერის პროფილი სიღრმის 0,2–დან 20 მ–მდე ცვლილებისას. ნაკადის ფსკერის პროფილის ჩაწერის მასშტაბია: ვერტიკალური – 1:100, ჰორიზონტალური – 1:500. სიღრმეების გაზომვის სიზუსტე წყლის ტემპერატურისა და სიმკვრივეზე შესწორების გათვალისწინებით 0,2–5 მ სიღრმის შემთხვევაში არ აღემატება 0,1 მ–ს, ხოლო 5–20 მ სიღრმის შემთხვევაში – 2%–ს. აპარატურის კვება ხორციელდება აკუმულატორიდან ან საბორტო ქსელიდან 12 ან 24 ვ ძაბვით. მოთხოვნილი სიმძლავრე არ აღემატება 100 ვტ–ს.

§ 5. წყლის სიღრმეების გაზომვების წარმოება

წყლის სიღრმეების გაზომვათა წარმოების სამუშაოთა შემადგენლობაში, თვით სიღრმეების გაზომვის გარდა, შედის აგრეთვე გეგმაში ვერტიკალების განსაზღვრა სიღრმეების გასაზომად. ამით არის განპირობებული ჰიდრომეტრიული და გეოდეზიური ხელსაწყოებისა და მეთოდების ერთობლივი გამოყენება. ვერტიკალებს, მდინარეებში, წყალსაცავებსა და სხვა წყალსატევებში წყლის სიღრმეების გასაზომად, უწოდებენ სიღრმითს ან გასაზომ ვერტიკალებს. სიღრმითი ვერტიკალების კოორდინატების განსაზღვრას გეგმაში სიღრმეების კოორდინირება ეწოდება.

კვებები, რომლებშიც იზომება სიღრმეები, ნაკადის მოძრაობის მიმართულებისადმი შეიძლება ორიენტირებულ იქნეს სხვადასხვაგვარად. შედარებით უფრო ტიპურია განივი, გრძივი და ირიბი კვებები. სიღრმეების გასაზომად საჭირო სამუშაოთა წარმოების მეთოდიკა და ორგანიზაცია მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული წყლის ობიექტის ზომებსა და გამოყენებულ აპარატურაზე.

სიღრმეების გაზომვის მეთოდიკა. სიღრმეებს ზომავენ შტანგით და საძირავით გემიდან (ნავიდან, კატარღიდან), ხიდებიდან და სპეციალური ჰიდრომეტრიული გადასასვლელებიდან (თავი IV). გაზომვები შეიძლება ჩავატაროთ წყლის ტრანსპორტის შეჩერებით ყოველ სიღრმით ვერტიკალზე ან

შეუჩერებლად. უკანასკნელ შემთხვევაში ჰიდრომეტრიულ ტვირთს სიღრმის ყოველ გაზომვის შემდეგ არ იღებენ წყლიდან; მას მხოლოდ ცოტათი ზემოთ წევენ.

წყლის სიღრმეების უშუალოდ ჰიდრომეტრიული შტანგით გაზომვა ხიდებიდან და ჰიდრომეტრიული გადასასვლელებიდან, რომლებიც წყლის ზედაპირიდან გარკვეულ სიმაღლეზე მდებარეობენ, გართულებულია. ამ შემთხვევაში ანათვლებს იღებენ ხიდის ფენილის ან მოაჯირის დონეზე ჯერ ფსკერამდე, ხოლო შემდეგ წყლის თავისუფალ ზედაპირამდე ჩაშვებულ შტანგაზე; ანათვლებს შორის სხვაობა იძლევა სიღრმეს.

დიდი სიჩქარის მქონე ნაკადის სიღრმის საძირავით გაზომვისას, როცა $I_h \geq 10^\circ$, შეიძლება ვისარგებლოთ ერთ-ერთი მეთოდით:

გავზომოთ I_h კუთხე და შემოვიტანოთ Δl შესწორება გვარლით ათვლილ სიღრმეზე, როგორც ეს მე-4 პარაგრაფშია აღნიშნული;

გადავიდეთ გვარლისა და ტვირთის გამოყენებაზე მე-3 ცხრილში მოცემული მახასიათებლების მიხედვით. ამით უზრუნველყოფილი იქნება h -ის გაზომვა $\varphi_l < 10^\circ$ შემთხვევაში (ე. ი. Δl შესწორების შეტანის გარეშე);

გამოვიყენოთ საჭიმი გვარლის გადახრის შესამცირებლად (განივკვეთში სიღრმის გაზომვისას).

განივკვეთში სიღრმით ვერტიკალზე გაზომვების ჩასატარებლად მიზანშეწონილია გემი ორ ღუზაზე გავაჩეროთ. ღუზებს უშვებენ გასაზომი კვეთის ზემოთ გემის მარჯვენა და მარცხენა ბორტებიდან. ერთი ღუზის გვარლის ამოწევით და მეორის ჩაშვებით შეიძლება გემი გადავადგილოთ მდინარის განივი მიმართულებით და დავაყენოთ ის საჭირო ადგილას.

თუ სიღრმეებს განივკვეთში ზომავენ გემის სვლის მიმართულებით, მაშინ გემი მიემართება გასაზომი კვეთიდან რამდენადმე ზემოთ, ხოლო იქიდან თავისუფლად ეშვება ქვემოთ დინების მიმართულებით; სიღრმეს ზომავენ იმ მომენტში, როდესაც გემი აღმოჩნდება გასაზომ კვეთში. შემდეგ გემი მოძრაობს დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით ისეთი კუთხით, რომ გასაზომ კვეთში აღმოჩნდეს მომდევნო სიღრმით ვერტიკალზე და ა. შ.

სიღრმეებს აითვლიან 1 სმ-მდე სიზუსტით და შეაქვთ სტანდარტულ ჟურნალში, რომლის სახელწოდებაა „სიღრმეებისა და ყინულის საფარის გაზომვის

შედეგების ჩასაწერი ჟურნალი“. როდესაც სიღრმეების გაზომვის სიზუსტე მცირდება, მაგალითად, ღელვის დროს, მაშინ სიღრმეებს აითვლიან Δh სიზუსტით, რომელიც დამოკიდებულია h (მ–ობით) სიღრმეზე:

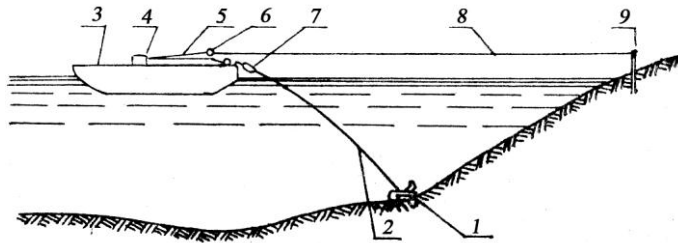
როცა $1 < h \leq 3$, მაშინ $\Delta h = 2$ სმ;

როცა $3 < h \leq 5$, მაშინ $\Delta h = 5$ სმ;

როცა $h > 5$, მაშინ $\Delta h = 10$ სმ.

სიღრმეების გაზომვა დისტანციური ჰიდროსტატიკური პროფილოგრაფით ხდება დანიშნულ კვეთში ფსკერზე ხელსაწყოს გათრევით.

ამოსავალ ნაპირზე, წყლის კიდიდან 2–3 მ-ით ზემოთ, ასობენ პალოს, რომელზეც აბამენ საზომი ძაფის 8 ბოლოს (ნახ. 21). შემდეგ მიმყოლ საძირავს უშვებენ წყალში.



ნახ. 21. დისტანციური ჰიდროსტატიკური პროფილოგრაფის გამოყენების სქემა:

1 – მიმყოლი საძირავი; 2 – გვარლი–კაბელი; 3 – კატარდა; 4 – რეგისტრატორი; 5 – შემაერთებული კაბელები; 6 – ჰორიზონტალური მანძილების საზომი კვანძი; 7 – საბორტო ამორტიზატორი; 8 – საზომი ძაფი; 9 – პალო

განივი პროფილის გადაღებისას წყალში ჩაშვებული საზომი გვარლის სიგრძე მდინარის სიგანეზე მეტი და სველ პერიმეტრზე რამდენადმე ნაკლებია.

დისტანციური პროფილოგრაფით სიღრმეებს ზომავენ მოძრავი კატარლიდან. ამ პროფილოგრაფით გაზომვები შეიძლება ჩატარდეს საძირავის ტვირთის, საბორტო ამორტიზატორისა და მანძილების საზომის გარეშე. შემსუბუქებული ხელსაწყოთი მუშაობა შესაძლებელია მაშინ, თუ კატარლის მოძრაობის სიჩქარე არ აღემატება 5 კმ/სთ.

საძირავის ბუქსირების სიჩქარე განისაზღვრება ფსკერის ხასიათით. სწორი მკვრივი ფსკერის შემთხვევაში (ქვიშა, კენჭები, თიხა, წვრილი ქვა) მან შეიძლება მიაღწიოს 10–12 კმ/სთ. ლამოვანი ან ქვიშიანი არასწორი ფსკერის შემთხვევაში კი,

და აგრეთვე ფსკერზე მცენარეული საფარის არსებობისას, სიჩქარემ არ უნდა გადააჭარბოს 6 კმ/სთ, რათა თავიდან იქნას აცილებული საძირავის გაჩხირვა.

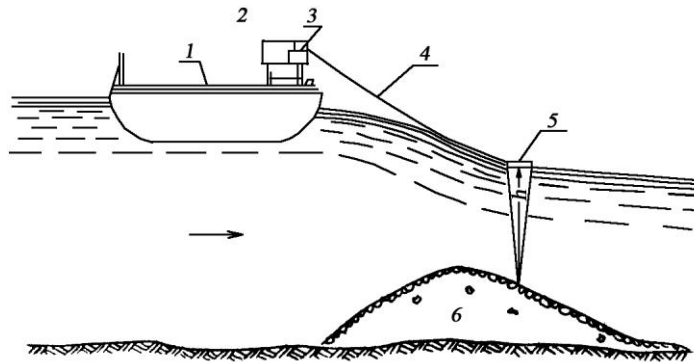
აკუსტიკური პროფილოგრაფებით სიღრმეებს ზომავენ გემის სვლის მიმართულებით. მიმღები და გადამცემი მოწყობილობების განლაგების ადგილს ისე არჩევენ, რომ ხელსაწყოს ჩვენებაზე არ იმოქმედოს აგრიგვლამ, აერაციამ და გემის მოძრაობით წარმოქმნილმა ტალღებმა. გემის კორპუსსა და გარსმედინს შორის მანძილს იღებენ 70 სმ-ს. გარსმედინის ზედა სიბრტყე უნდა იმყოფებოდეს წყალქვეშ, არა ნაკლებ 10 სმ-ის. ცენტრალურ ხელსაწყოს ათავსებენ ჰორიზონტალურ მდებარეობაში გემის ბორტზე ან კაიუტაში.

ЭЛО ტიპის პროფილოგრაფში გათვალისწინებულია ქაღალდის წევის სიჩქარეების გადართვის შესაძლებლობა. კერძოდ, კატარდის 10 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობისას ქაღალდის წევის სიჩქარე შეადგენს 333 მმ/წთ-ს, ხოლო 5კმ/სთ სიჩქარისას – 166,5 მმ/წთ-ს. აპარატურას განუწყვეტლივ შეუძლია იმუშაოს 8 სთ-ის განმავლობაში. აკუმულატორის ბატარეა მოთავსებულია მშრალ ადგილას. კაბელების სიგრძე ცენტრალური ხელსაწყოდან ვიბრატორამდე შეადგენს 6 მ-ს, ხოლო კვების ბლოკიდან კვების წყარომდე – 3 მ-ს. ბორტსიქითა მოწყობილობის გარსმედინის ღერძი კატარდის დიამეტრალური სიბრტყის პარალელური უნდა იყოს. ცენტრალურ ხელსაწყოში მოთავსებულია ოპერატიული ნიშნულების კნოპი, რომლის დანიშნულებაა ლენტის მთელ სიგანეზე განივი წირების დატანა დროის მომენტების აღსანუსხავად. აუცილებელია თვალყური ვადევნოთ, რომ საბორტო ქსელის ან აკუმულატორების ძაბვა არ გადაიხაროს ნომინალური მნიშვნელობიდან $\pm 5\%$ -ზე ზევით.

ექოლოტი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სიღრმეების გასაზომად ყინულის საფარის არსებობის შემთხვევაშიც. მიმღები და გადამცემი მოწყობილობების ყინულთან შეხების ადგილი უნდა დასველდეს წყლით.

წყლის სიღრმეების გაზომვის ულტრაბგერითი მეთოდი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს წყლის უფრო რთული მოძრაობის შემთხვევაშიც, მაგალითად, მდინარის კალაპოტების გადაკეტვისას. ასეთი სამუშაოების მეთოდიკა დაამუშავა ს. ჟუკის სახელობის ინსტიტუტმა „ჰიდროპროექტმა“. ასეთ შემთხვევაში ვიბრატორ-გამომსხივარი და ვიბრატორ-მიმღები თავსდება ტივტივაზე (ნახ.22),

რაც ცენტრალური ხელსაწყოდან 3 საჭირო მანძილზე (75 მ-მდე) მათი დაცილების შესაძლებლობას იძლევა. ცენტრალური ხელსაწყო თავსდება ავტომობილზე, რომელიც გადაადგილდება მდინარის კალაპოტის გადაკეტვისას აგებული მცურავი ხიდის 1 ამრიდი ძელის გასწვრივ. სიღრმეები შეიძლება გაიზომოს ბანკეტის გრძივ პროფილში – ავტომობილის სვლის მიმართულებით და განივ პროფილში – ხიდიდან ქვემოთ დინების მიმართულებით. შემაერთებული 4 კაბელების დიდი სიგრძის გამო მოითხოვება ულტრაბერითი იმპულსების გაძლიერება და ვიბრატორ-მიმღების მგრძნობიარობის გაზრდა.



ნახ. 22. ტივტივაზე მოთავსებული აკუსტიკური პროფილოგრაფის გამოყენების სქემა მდინარის კალაპოტის გადაკეტვისას:

1 – მცურავი ხიდი; 2 – ავტომობილი; 3 – ცენტრალური ხელსაწყო; 4 – შემაერთებული კაბელები; 5 – ტივტივა ვიბრატორ-გამომსხივებლით და ვიბრატორ-მიმღებით; 6 – ბანკეტი

სიღრმეების კოორდინირება. სიღრმეებით ვერტიკალებს ნიშნავენ ნაკადის განივ, გრძივ და ირიბ კვეთებში. ამის შესაბამისად განასხვავებენ სიღრმეების გაზომვასა და კოორდინირებას განივი, გრძივი და ირიბი მიმართულებით. სიღრმეებს განივი მიმართულებით ზომავენ ხიდებიდან, ჰიდრომეტრიული გადასასვლელებიდან, კატარლებიდან, ნავებიდან და შვეულმფრენებიდან; გრძივი მიმართულებით – კატარლებიდან, ნავებიდან და შვეულმფრენებიდან; ირიბი მიმართულებით – კატარლებიდან და ნავებიდან. ხიდიდან (სარკინიგზო, ავტოსაგზაო და მცურავი) სამუშაოების წარმოებისას სიღრმითი ვერტიკალების მდებარეობა განისაზღვრება გაზომვებით ხიდის ფენილის გასწვრივ საზომი ლენტის შემწეობით. მცურავი ხიდიდან სიღრმეების გაზომვის შემთხვევაში მდინარის კალაპოტის გადაკეტვის დროს აუცილებელია გასაყრის ძელის

გასწვრივ წინასწარ საღებავით მოინიშნოს ჰორიზონტალური მანძილები. ჰიდრომეტრიული გადასასვლელებით აღჭურვილ ჰიდრომეტრიული სადგურების განივკვეთებში სიღრმეების კოორდინირებას აწარმოებენ მდინარეზე გადაჭიმული მონიშნული (დანაყოფებიანი) გვარლის საშუალებით, ხოლო ყინულის საფარის არსებობისას – საზომი ლენტით.

თუ მდინარის სიგანე $B \leq 300$ მ და დინების სიჩქარე წყლის ზედაპირზე $u_{\text{ზედ}} \leq 1,5$ მ/წმ, მაშინ სიღრმითი ვერტიკალების მდებარეობას განსაზღვრავენ მდინარეზე გადაჭიმული ფოლადის დანაყოფებიანი გვარლის საშუალებით, რომლის დიამეტრიც დაახლოებით 3 მმ-ია. მოცემულ პროფილში სიღრმეების გაზომვის დამთავრების შემდეგ გვარლი, ტალი და ჯალამბარი გადააქვთ ქვემოთ დინების მიმართულებით, მომდევნო კვეთში; იქვე გადაინაცვლებს ნავი, რომლიდანაც ხდება გაზომვა. მდინარეთა სიგანის დიაპაზონი, რომლის დროსაც შესაძლებელია სიღრმეების გაზომვა და კოორდინირება, შეიძლება გაფართოვდეს 500 მ-მდე, თუ გამოვიყენებთ შუალედურ ტივტივას საყრდენს გვარლისათვის, მაგალითად, ლითონის კასრს.

ჰიდროსტატიკური პროფილოგრაფებით განივკვეთებში სიღრმეების გაზომვისას სიღრმეთა კოორდინირება წყდება ავტომატურად.

განიერ მდინარეებზე ($B > 300$ მ) სიღრმეების კოორდინირება ხდება გეოდეზიური ხერხებით. იგივე ხერხები გამოიყენება მაშინაც, როცა $B < 300$ მ-ზე, მაგრამ გვარლით სარგებლობა ნაკლებეფექტურია, მაგალითად, მდინარის შესასწავლ უბანზე ინტენსიური ნაოსნობის შემთხვევაში.

თუ გემი არ ჩანს ნაპირიდან, ან გემიდან არ ჩანს ნაპირი, მაშინ სიღრმეების კოორდინირება ხდება რადიოგეოდეზიური ხერხებით.

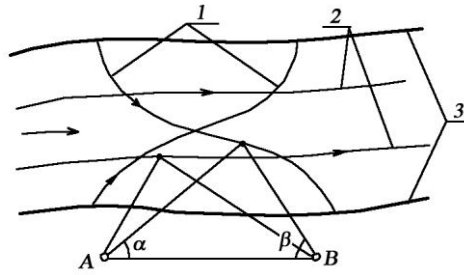
ს ი ლ რ მ ე ბ ი ს კ ო ო რ დ ი ნ ი რ ე ბ ი ს გ ე ო დ ე ზ ი უ რ ი ხ ე რ ხ ე ბ ი . ასეთ შემთხვევაში სიღრმითი ვერტიკალების მდებარეობას გეგმაში განსაზღვრავენ კუთხსაზომი ხელსაწყოებით (დაჭდევით). ჭდეები შეიძლება დაფიქსირდეს როგორც ნაპირიდან–თეოდოლიტით ან კიპრეგელიანი მენზურით, ისე გემიდან–სექსტანტით. უკანასკნელს უპირატესობა ეძლევა ძნელადმისაწვდომი ნაპირების მქონე დიდ მდინარეებზე.

თუ გემი, რომლიდანაც ზომავენ სიღრმეებს, გადაადგილდება ზუსტად განივ კვეთში ან ადგილზე აღნიშნულ სხვა კვეთში (წყლის კვეთი უნდა იყოს ბრტყელი), მაშინ სიღრმეების კოორდინირებას აწარმოებენ ერთი ხელსაწყოთი. თეოდოლიტს ან კიპრეგელიან მენზულას ათავსებენ მაგისტრალზე და ორიენტაციას იღებენ მისი მიმართულებით. განივ კვეთს ადგილზე აღნიშნავენ მაჩვენებელი ნიშნებით (ორ–ორი თითოეულ ნაპირზე). როცა $B < 500$ მ, შეიძლება შემოვიფარგლოთ ორი ნიშნის მოთავსებით ერთ ნაპირზე. თუ საჭიროა გაიზომოს სიღრმეები კვეთში ვერტიკალების თანაბარი განაწილებისას, მაშინ მენზურაზე წინასწარ აღნიშნავენ განივი კვეთის აუცილებელ წერტილებს, ხოლო თეოდოლიტის გამოყენების შემთხვევაში – გამოთვლიან შესაბამის კუთხეებს და ზომავენ სიღრმეებს კატარლიდან, ნაპირიდან მიცემული სიგნალების მიხედვით. ჭდეების სისტემატიზაციის მიზნით მენზურაზე ინსტრუმენტის დგომის გამომსახველი წერტილიდან ატარებენ კონცენტრულ წრეხაზებს, რომლებზედაც აღნიშავენ განივი კვეთებისა და სიღრმითი ვერტიკალების ნომრებს მარჯვენა და მარცხენა ნაპირების წყლის კიდეების ჩვენებით.

სიღრმეების გაზომვისას გემის სვლის მიმართულებით შეიძლება შემოვიფარგლოთ მეორე ან მესამე ვერტიკალის დაჭდევით.

მდინარეებზე, რომლებიც წყლის დინების დიდი სიჩქარეებით ხასიათდება ($u > 1,5$ მ/წმ), უმჯობესია სიღრმეები გაიზომოს გრძივი 2 (თავისუფლად მოძრავი გემიდან) ან ირიბი მიმართულებით 1 (ნახ. 23). უკანასკნელ შემთხვევაში ირიბი მიმართულება მდინარის ფარვატერთან უნდა შეადგენდეს $30-45^\circ$ -იან კუთხეს.

სიღრმეების კოორდინირება ნაპირიდან ხორციელდება ორი თეოდოლიტით ან კიპრეგელიანი მენზურით, რომლებსაც ათავსებენ მაგისტრალის A და B პუნქტებში. სიღრმითი ვერტიკალების მდებარეობას განსაზღვრავენ α და β კუთხეების მიხედვით.



ნახ.23. სიღრმეების კოორდინირება: 1 – ირიბი მიმართულებები; 2 – გრძივი მიმართულებები; 3 – წყლის კიდეები

აკუსტიკური პროფილოგრაფით სიღრმეების გაზომვისას დაჭდვის მომენტში რთავენ ოპერატიული ნიშნულების კნოპს. წერტილები წარმოქმნის უწყვეტ შავ წირს, რომელსაც ბატიგრამის მიმართ განივი მდგომარეობა უკავია. ეს წირები ბატიგრამაზე აუცილებელია მისი შემდგომი დამუშავებისათვის, რადგანაც გემი აკუსტიკური პროფილოგრაფით ზოგად შემთხვევაში გადაადგილდება ცვლადი, ხოლო ბატიგრამა–მუდმივი სიჩქარით.

განსახილველ სამუშაოთა წარმოების პროცესშივე ხდება დონეების გაზომვა და წყლის ზედაპირის გრძივი პროფილის ნიველირება, წინააღმდეგ შემთხვევაში ნაკადის ფსკერის ნიშნულებს ვერ გამოვთვლით.

გარდა ამისა, ფსკერული დანალექის შესასწავლად იღებენ ფსკერის გრუნტის სინჯებს ხელსაწყოების საშუალებით, რომელთაც ფსკერულ ცეცებს უწოდებენ. გრუნტის სინჯებს აკვირდებიან ვიზუალურად, აკეთებენ მათ ლაბორატორიულ ანალიზს, რათა განისაზღვროს დანალექის მექანიკური შემადგენლობა.

სიღრმეების კოორდინირების რადიოგეოდეზიური ხერხები. მათ იყენებენ დიდი მანძილების გასაზომად პირდაპირი მხედველობის საზღვრებს გარეთ. რადიოგეოდეზიური გაზომვებისას სარგებლობენ იმპულსური და ფაზური მეთოდებით. პირველ შემთხვევაში l მანძილს გამოთვლიან ფორმულით:

$$l = \frac{u_{\text{გზ}} t}{2}, \quad (14)$$

მეორე შემთხვევაში–ფორმულით

$$l = \lambda n = \frac{u_{\text{გზ}}}{f} n, \quad (15)$$

სადაც $u_{\text{გზ}}$ არის რადიოტალღების გავრცელების ჯგუფური სიჩქარე, ე. ი. ტალღების ჯგუფისაგან შემდგარი სიგნალის გავრცელების სიჩქარე;

t –ელექტრომაგნიტური ტალღების ჯგუფისაგან შემდგარი იმპულსის მიერ გამოსხივებისა და მიღების ადგილიდან მიზნამდე და უკან გავლის დრო;

λ –დიოტალღის სიგრძე;

n –გაზომილი რადიოტალღების (ცნობილი სიგრძის) რიცხვი;

$u_{ფაზ}$ –რადიოტალღების გავრცელების ფაზური სიჩქარე, ე. ი. განსაზღვრული ფაზის რხევების სივრცეში გადაადგილების სიჩქარე დამყარებული პროცესის დროს;

f –ელექტრომაგნიტურ რხევათა სიხშირე.

ჰიდრომეტრიაში უფრო ფართოდაა გამოყენებული ფაზური მეთოდი, რომელსაც სხვანაირად რადიოინტერფერენციული მეთოდი ეწოდება. 760 მმ ატმოსფერული წნევის, ჰაერის 15°C ტემპერატურისა და 70% ფარდობითი ტენიანობის დროს ფაზური სიჩქარე $u_{ფაზ} = 299687$ კმ/წმ.

რადიოინტერფერენციული ხერხი, რომელიც კოჰერენტული რხევების ფაზების სხვაობის გაზომვაზეა დამყარებული, გამოიყენება სხვადასხვა ვარიანტით. წყლის ობიექტებზე სამუშაოთა წარმოების პირობებს უკეთესად შეესაბამება სიღრმეთა კოორდინირების ორი ხერხი რადიოლაგის ან ფაზური ზონდის საშუალებით. განვიხილოთ მათი მოქმედების პრინციპი.

რადიოლაგი შედგება ერთი მოძრავი (გადამცემი) და ორი ბაზისური, ანუ სტაციონარული (ამრეკლავი) რადიოსადგურებისაგან, რომლებიც მკაცრად სტაბილიზებულ კოჰერენტულ სიხშირეებზე მუშაობენ (ნახ.24,ა). გადამცემი რადიოსადგური თითოეულ ამრეკლავ სადგურთან ერთად ქმნის გაზომვების ორ არხს. გემზე დადგმული სადგური წარმოქმნის და სივრცეში ასხივებს კვარცით მკაცრად სტაბილიზებული სიხშირის რხევებს. ეს რხევები მიიღება ამრეკლავი რადიოსადგურების მიერ, გარდაიქმნება სხვა სიხშირის რხევებად და გამოსხივდება ფაზის მუდმივი დამატებითი ძვრის პირობებში. მოძრავი რადიოსადგურის მიმღების შესაბამისი არხით მიღებული ტრანსფორმირებული რხევები (გადამცემი რადიოსადგურის რხევებთან ერთობლიობაში) გადაეცემა წყვილ–წყვილად: ფაზურ მრიცხველს და კათოდური ოსცილოგრაფის ურთიერთპერპენდიკულარულ ელექტროდებს. ოსცილოგრაფის ეკრანზე

გამოისახება ფიგურები, რომლებიც ახასიათებენ ძირითადი და მიღებული რხევების ფაზათა სხვაობას; ფაზური მრიცხველი აღნუსხავს ფაზურ ციკლებს.

რადიოლაგის საშუალებით საზღვრავენ გადამცემ და ამრეკლავ რადიოსადგურებს შორის მანძილების ΔR ნაზრდებს მარშრუტის საწყისი A წერტილიდან ნებისმიერი მომდევნო B წერტილამდე (ნახ. 24,ბ). ამასთან დაკავშირებით, აუცილებელია ვიცოდეთ R_0 მანძილი მარშრუტის საწყისი წერტილიდან სტაციონარულ რადიოსადგურებამდე. საძიებელი R მანძილი მოძრავი რადიოსადგურიდან ბაზისურ რადიოსადგურებამდე იქნება:

$$R = R_0 + \Delta R = R_0 + K \sum \gamma, \quad (16)$$

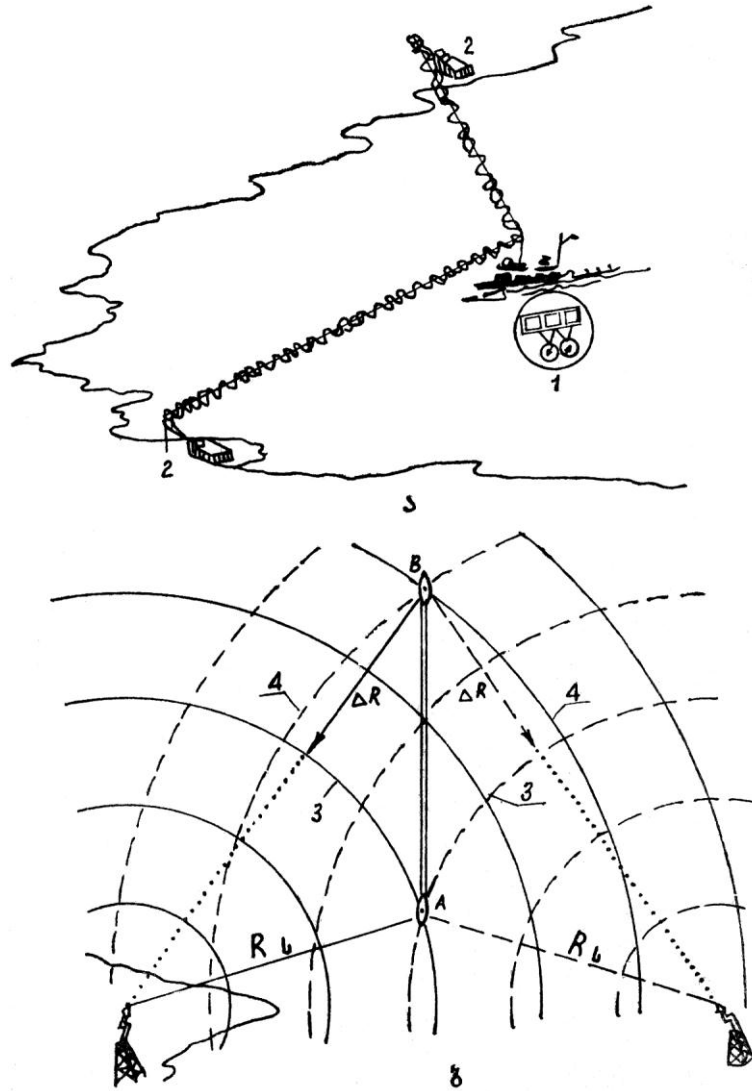
სადაც K არის ფაზური ციკლის წრფივი მნიშვნელობა მოცემული გაზომვების არხით;

$\sum \gamma$ –ფაზური ციკლების ჯამი საწყის და მომდევნო გასაზომ წერტილებს შორის.

სიღრმითი ვერტიკალების მდებარეობა რადიოლაგის ხერხით მუშაობისას განისაზღვრება კოორდინატთა ბიპოლარულ სისტემაში (ნახ. 24,ბ). იმ წრეწირების რკალები, რომელთა ცენტრშიც მოთავსებულია ამრეკლავი რადიოსადგურები, იკვეთებიან გადამცემი რადიოსადგურის მდებარეობის ადგილას წყლის სიღრმეების გაზომვის მომენტში.

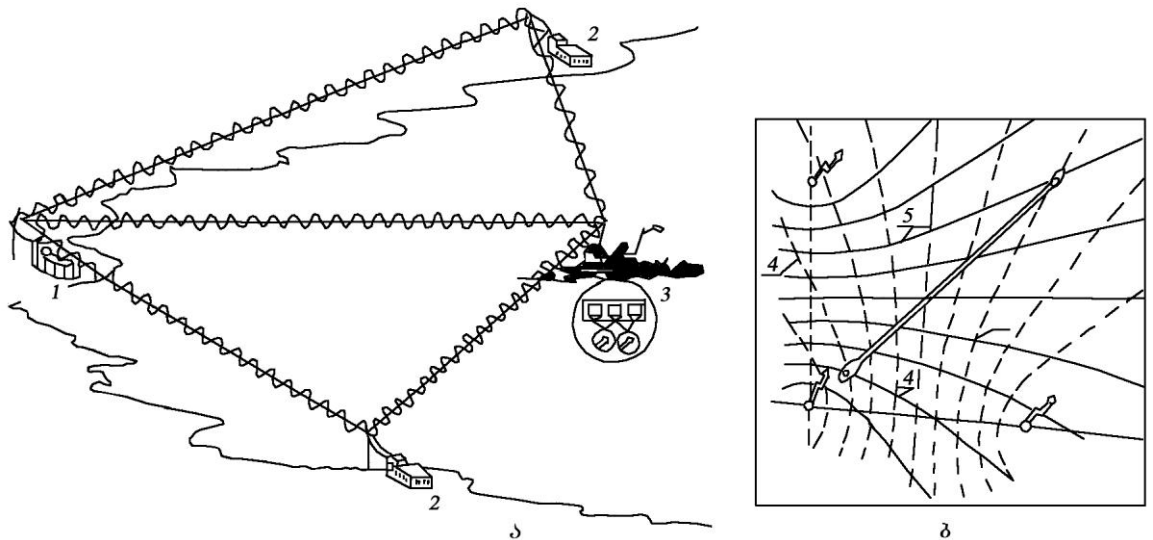
ფაზური ზონდი შედგება ბაზისური რადიოსადგურების (ჩვეულებრივად, ერთი გადამცემი და ორი ამრეკლავი რადიოსადგურის) კომპლექტისა და გემზე მოთავსებული ერთი ან რამდენიმე ზონარული მიმღებ–მარეგისტრირებელი მოწყობილობისაგან (ნახ. 25,ა). ბაზისური რადიოსადგურების მოქმედების ზონაში იქმნება მდგრადი ფაზური ველი. გადამცემი რადიოსადგური განსაზღვრავს ამრეკლავი რადიოსადგურების მიერ გამოსხივებული რხევების სიხშირეს. მოძრავი ფაზური ზონდის არხები ღებულობს ბაზისური რადიოსადგურების რხევებს. გადამცემი რადიოსადგურის მიერ გამოსხივებული რხევების ფაზას ადარებენ ამრეკლავი რადიოსადგურებიდან მოსული რხევების ფაზას. ორი წყვილი რხევის ფაზათა სხვაობა განპირობებულია რადიოტალღების მიერ განვლილი მანძილების სხვაობით. მოძრავ ფაზურ ზონდსა და ბაზისურ რადიოსადგურებს შორის მანძილების სხვაობის გაზრდით ან შემცირებით იცვლება ფაზების სხვაობაც.

მოძრავი რადიოსადგურის და, მაშასადამე, სიღრმითი ვერტიკალის მდებარეობაც განისაზღვრება კოორდინატთა ჰიპერბოლურ სისტემაში (ნახ. 25,ბ) იმ ჰიპერბოლების შტოების გადაკვეთით, რომელთა ფოკუსებშიც მოთავსებულია ბაზისური რადიოსადგურები.



ნახ.24. სიღრმეების კოორდინირება რადიოლაგის საშუალებით:

ა – რადიოლაგის მუშაობის სქემა; ბ – სიღრმითი ვერტიკალების მდებარეობის განსაზღვრის სქემა კოორდინატთა ბიპოლარულ სისტემაში; 1 – გადამცემი რადიოსადგური; 2 – ამრეკლავი რადიოსადგურები; 3 – საწყისი წირები; 4 – საბოლოო წირები



ნახ. 25. სიღრმეების კოორდინირება ფაზური ზონდის საშუალებით:

ა – ფაზური ზონდის მუშაობის სქემა; ბ – კოორდინატა ჰიპერბოლურ სისტემაში სიღრმითი ვერტიკალების მდებარეობის განსაზღვრის სქემა: 1 – გადამცემი რადიოსადგური, 2 – ამრეკლავი რადიოსადგურები; 3 – ზონდი; 4 – საწყისი წირები; 5 – საბოლოო წირები

ფაზური ზონდით გაზომილი მანძილების სიზუსტე რადიოლაგით გაზომილი მანძილების სიზუსტეზე დაბალია. სიზუსტე ძირითადად დამოკიდებულია ფაზური ველების სტაბილურობაზე. პრაქტიკაში ფაზური სისტემები უზრუნველყოფენ მანძილების გაზომვის სიზუსტეს სანტიმეტრებიდან რამდენიმე მეტრამდე. მთელი სისტემის მუშაობის სიზუსტეზე გავლენას ახდენს რადიოსადგურების განლაგება. არ შეიძლება ბაზისური რადიოსადგურების მოთავსება 1 კმ-ზე უფრო ახლოს სხვა რადიოსადგურებიდან და მაღალძაბვიანი გადაცემის ხაზებიდან; მათი მოთავსება უმჯობესია ნაპირებთან ახლოს, რადგანაც ეს ქმნის ხელსაყრელ პირობებს წყლის ზედაპირზე რადიოტალღების გავრცელებისათვის. ანტენა ჰიდრომეტრიულ გემზე რადიოლაგის სქემით მუშაობისას უნდა იყოს სიმეტრიული, T -სებრი; ფაზური ზონდის სქემით მუშაობისას შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ნებისმიერი ტიპის ანტენა.

გასაზომი კვეთებისა და სიღრმითი ვერტიკალების განლაგება. წყლის კვეთებს, რომლებშიც განლაგებულია სიღრმითი (გასაზომი) ვერტიკალები, უწოდებენ გასაზომ კვეთებს ან გასაზომ პროფილებს. გასაზომი კვეთები უნდა აღინიშნოს ადგილზე; მანძილები გასაზომ კვეთებსა ($L_{გას}$) და სიღრმით

ვერტიკალებს შორის (L_3) დანიშნული უნდა იქნეს წყალქვეშა რელიეფის სირთულის მიხედვით. რაც რთულია მისი ფორმა, მით მეტი კვეთებისა და სიღრმითი ვერტიკალების აღებაა საჭირო. მაშასადამე, $L_{გას}$ და L_3 სიდიდეები ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში უნდა დავნიშნოთ წყლის ობიექტის ჰიდროლოგიური პირობებისა და წყალქვეშა რელიეფის გადაღების მასშტაბის გათვალისწინებით.

მდინარისათვის $L_{გას}$ და L_3 სიდიდეების მნიშვნელობებს საორიენტაციოდ ღებულობენ მდინარის B სიგანის მიხედვით. ფსკერის რელიეფის ზოგადად შესწავლისათვის, ე. ი. მისი ჰორიზონტალებში ისეთივე სიზუსტით გამოსახვისათვის, როგორც ეს ნაპირებისათვის კეთდება, $L_{გას}$ -ის მნიშვნელობებად შეგვიძლია ავიღოთ: განივი მიმართულებით სიღრმეების გაზომვისას – $L_{გას} = [0,5 - 1,5]B$; გრძივი მიმართულებით – $L_{გას} = [0,05 - 2,0]B$; ირიბი მიმართულებით – $L_{გას} = [1,2 - 2,0]B$.

გრძივი კვეთების სიხშირე მდინარის ნაპირებთან მეტია. მდინარის დიდი სიგანის შემთხვევაში იყენებენ ჯვარედინი ირიბი მიმართულებების ორმაგ სისტემას. სიღრმით ვერტიკალებს შორის მანძილი $l \approx 0,05 B$.

მდინარეების (დაურეგულირებელი ჩამონადენით) სანაოსნოდ გამოყენების შემთხვევაში ფსკერის რელიეფს დაწვრილებით შეისწავლიან. ამ დროს ე. ბლიზნიაკის რეკომენდაციით $L_{გას} = 25 \div 250$ მ და $L_3 = 5 \div 20$ მ, თუ $B = 100 \div 1000$ მ. ლუბრმის შემთხვევაში $L_{გას}$ 2-ჯერ იზრდება.

ჰიდროლოგიური სადგურებისა და საგუშაგოების განივ კვეთებში სიღრმეების გაზომვისას L_3 მანძილს ღებულობენ 0,5–2,0 მ–დან ($B < 20$ მ) 50 მ–მდე ($B > 800$ მ).

დიდ წყალსაცავებზე სიღრმეების გაზომვის დროს ჰიდრომეტრიული გემი ხშირად იმყოფება ნაპირების მხედველობის არის გარეთ და ამიტომ არ შეუძლია მოძრაობა სანაპირო კვეთების წირის მიმართულებით. კომპასის საშუალებით მოძრაობისას კი გასაზომი კვეთების განლაგების სისტემა შეიძლება დაირღვეს მოცემული კურსიდან გემის შესაძლო გადახვევის გამო. ამ შემთხვევაში გასაზომი კვეთები უნდა განვალაგოთ იზოფაზებზე, თუ გამოიყენება სიღრმითი ვერტიკალების კოორდინირების რადიოგეოდეზიური ხერხები. იზოფაზებს

უწოდებენ ფაზების ტოლი სხვაობების წირებს, რომელთა გასწვრივაც მოძრაობს ჰიდრომეტრიული გემი.

რადიოლაგის სქემით სამუშაოთა წარმოებისას გასაზომ კვეთებს გეგმაში წრეწირების ფორმა აქვს (ნახ. 24,ბ), ხოლო ფაზური ზონდის სქემის გამოყენების შემთხვევაში – ჰიპერბოლური მრუდების ფორმა (ნახ. 25,ბ).

გემის მართვისათვის იზოფაზების გასწვრივ იყენებენ ხელსაწყოს, რომელსაც ფაზის მაჩვენებელს უწოდებენ. იზოფაზებს ისე ნიშნავენ, რომ მათ გადაკვეთონ წყალსაცავი მის სიგანეზე, ხოლო დიდ მდინარეებზე მუშაობისას – დაახლოებით მდინარის ღერძისადმი ნორმალზე. იზოფაზებს შორის მანძილს ადგენენ ფსკერის რელიეფის სირთულისა და გადაღების მასშტაბის მიხედვით; ის უნდა შეესაბამებოდეს ფაზური ციკლების მთელ რიცხვს. იზოფაზაზე გემის გამოსვლის მომენტი ხასიათდება ფაზის მაჩვენებლის ისრის ნულოვანი მდებარეობით მოცემული ციკლისათვის. გემი (ჰიდრომეტრიული კატარღა) აკუსტიკური პროფილოგრაფით მოძრაობს ისე, რომ ფაზის მაჩვენებლის ისარი დარჩეს ნულოვან მდებარეობაში.

§ 6. წყლის სიღრმეების დამუშავება

ჰიდრომეტრიაში წყალქვეშა რელიეფს გამოსახავენ ისე, როგორც გეოდეზიაში, ჰორიზონტალების საშუალებით. ეს გეგმები ფართოდაა გამოყენებული ჰიდროტექნიკური ნაგებობების და ხიდების პროექტირებისა და მშენებლობისათვის.

სიღრმეების სივრცითი განაწილება ხასიათდება ტოლი სიღრმეების წირებით, რომლებსაც იზობატებს უწოდებენ. მდინარეების გეგმებს იზობატებში იყენებენ სატრანსპორტო მიზნებისათვის–სანაოსნო რუკების შესადგენად, მიწის ამოხაპვის სამუშაოთა წარმოებისათვის და სხვ. წყლის დონე (H) სიღრმეებისა და ნაკადის სხვა მახასიათებლების გაზომვისას იცვლება, ამიტომ შედარებისათვის აუცილებელია სხვადასხვა დროს გაზომილი h სიღრმეები წინასწარ დავიყვანოთ დროის ერთ მომენტზე.

სიღრმეების დაყვანა წყლის მყისიერ დონეზე. წყლის მყისიერი დონე შეიძლება დადგინდეს წყლის ზედაპირის დონეზე დროის ერთ მომენტში

ჩასობილი პალოების ნიველირებით ან წყალსაზომ საგუშაგოებზე წარმოებულ დაკვირვებათა მიხედვით. სამუშაოთა ასეთ მეთოდუკას, რომელიც დაამუშავა ე. ბლიზნიაკმა, შეიძლება გავეცნოთ სპეციალურ კურსში.

პირობით მყისიერ დონეს, რომელიც, ჩვეულებრივად, ახლოსაა იმ უდაბლეს დონესთან, რომელზედაც დაიყვანება წყალსადინარის უბანზე გაზომილი სიღრმეები, უწოდებენ წყლის დაყვანილ დონეს.

წყლის დონეს, სიღრმეებისა და ნაკადის სხვა მახასიათებლების გაზომვის დროს, ეწოდება მუშა დონე.

მუშა და მყისიერ (დაყვანილ) დონეებს შორის სხვაობების განსაზღვრას უწოდებენ დონეების დაყვანას.

წყალსადინარის განივი პროფილი. წყალსადინარის განივ პროფილს აგებენ სიღრმეების ან ფსკერის ნიშნულების მიხედვით. პროფილს ქვეშ უწერენ: მანძილებს მუდმივი სათავიდან (მაგისტრალიდან, რეპერიდან), სიღრმეებს, ფსკერის ნიშნულებს. მიუთითებენ სიღრმეების გაზომვის თარიღს და ფსკერის შემადგენელი გრუნტების ხასიათს. წყლის ზედაპირს აღნიშნავენ ჰორიზონტალური წირით და აწერენ მუშა დონის ნიშნულს ან დონის ნიშნულს გრაფიკის ნულის ქვემოთ. თუ სიღრმეები გაზომილია წყალსაზომი საგუშაგოს კვეთში, მაშინ პროფილზე აღნიშნავენ გრაფიკის ნულს და უწერენ შესაბამის ნიშნულს.

მდინარის განივი პროფილების აგებისას ვერტიკალური მასშტაბი ჰორიზონტალურზე მსხვილი უნდა იყოს. ჰორიზონტალური მასშტაბის მნიშვნელის ფარდობა ვერტიკალური მასშტაბის მნიშვნელთან აღვნიშნოთ n -ით. ვიწრო და ღრმა მდინარეებისათვის $n=2$ ან $n=5$; ჩვეულებრივი მდინარეებისათვის $n=10$; განივი და მცირე სიღრმის მდინარეებისათვის $n=20$. მარცხენა და მარჯვენა ნაპირების წყლის კიდეები ნახაზზე უნდა მოთავსდეს, შესაბამისად, მარცხნივ და მარჯვნივ.

ჰიდროსტატიკური პროფილოგრაფის მიერ ჩაწერილი ბატიგრამის დასამუშავებლად ნახაზზე დააქვთ წყლის ზედაპირის შესაბამისი წირი, მარჯვენა და მარცხენა ნაპირების წყლის კიდეები და სამასშტაბო სკალები. აკუსტიკური

პროფილოგრაფით შედგენილ ბატიგრამას ამუშავებენ წყალსადინარის განივი პროფილის შედგენის მიზნით მოცემულ ჰორიზონტალურ მასშტაბში.

წყალსადინარის განივი პროფილების მიხედვით საზღვრავენ მათ მორფოლოგიურ მახასიათებლებს, რომლებიც საჭიროა ჰიდროლოგიური და ჰიდრავლიკური გაანგარიშების ჩასატარებლად; კერძოდ, გამოითვლიან:

წყლის კვეთის ω ფართობს (პლანიმეტრის საშუალებით ან კვეთის უმარტივეს ფიგურებად–სამკუთხედებად და ტრაპეციებად დაყოფის გზით);

$$\text{საშუალო სიღრმეს } h_{\text{სშ}} = \frac{\omega}{B};$$

$$\text{ჰიდრავლიკურ რადიუსს } R = \frac{\omega}{\chi}$$

სველი პერიმეტრის სიგრძე გამოითვლება ფორმულით

$$\chi = \sum \left[\sqrt{b_{i+1}^2 + (h_i - h_{i+1})^2} \right],$$

სადაც b_{i+1} არის მანძილი სიღრმით ვერტიკალებს შორის;

h_i, h_{i+1} – სიღრმეების მეზობელ ვერტიკალებზე; თითქმის ყველა შემთხვევაში წყლის კიდეებთან $h = 0$. განიერი წყალსადინარებისათვის (ჩვეულებრივად, მდინარეებისათვის) $R \approx h_{\text{სშ}}$.

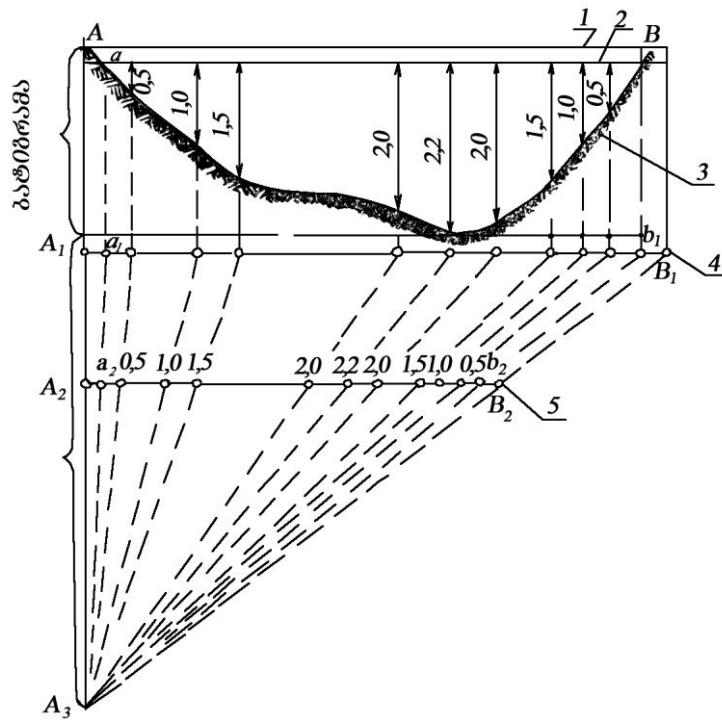
წყალსადინარის გეგმა ჰორიზონტალებში და იზობატებში. წყლის ზედაპირის ნიშნულსა და h სიღრმეს შორის სხვაობა იძლევა წყალსადინარის (წყალსატევის) ფსკერის ნიშნულს. ფსკერის ნიშნულების მიხედვით ადგენენ გეგმას ჰორიზონტალებში, რომელზედაც დააქვთ წყლის კიდეების წირები დაყვანილი დონის შემთხვევაში. მდინარეებისა და არხების წყლის კიდეები შეიძლება გადაიკვეთონ ჰორიზონტალებთან.

იზობატებში წყალსადინარის გეგმის შედგენისას მასზე დააქვთ სიღრმითი ვერტიკალები წყლის მყისიერ დონეზე დაყვანილი სიღრმეების ჩვენებით. ამისათვის მიზანშეწონილია წინასწარ ავაგოთ წყლის კვეთების პროფილები გეგმის მასშტაბის ტოლ ჰორიზონტალურ მასშტაბში.

აკუსტიკური პროფილოგრაფით სარგებლობისას ბატიგრამა გეგმის მასშტაბზე შეიძლება დავიყვანოთ გრაფიკული, მექანიკური და ოპტიკური ხერხით. გრაფიკული ხერხი ნაჩვენებია 26–ე ნახაზზე.

მილიმეტრებიან ქაღალდს აწებებენ ისე, რომ მისი ჰორიზონტალური ხაზები ბატიგრამის ჰორიზონტალური ხაზების პარალელური იყოს. მილიმეტრებიან ქაღალდზე ატარებენ დამხმარე წირს 4 (A_1B_1). A_1 და B_1 წერტილები წარმოადგენენ მუშა დონის შემთხვევაში წყლის კვეთის საწყისი და ბოლო წერტილების გეგმილებს, ხოლო a_1 და b_1 – წყლის კვეთის a და b წერტილების გეგმილებს დაყვანილი დონის შემთხვევაში. A_1B_1 წირზე ჩამოაგეგმილებენ სიღრმითი ვერტიკალების მდებარეობებს: ყველა დამახასიათებელ წერტილში (თუ საჭიროა აგებულ იქნეს წყლის კვეთი მოცემულ ჰორიზონტალურ მასშტაბში) და სიღრმეების ტოლი შუალედებით (თუ მოითხოვება წყალსადინარის გეგმის აგება იზობატებში). შემდეგ A_1B_1 წირის მართობულად გადაზომავენ ნებისმიერი სიგრძის A_1A_3 წირს და A_3 წერტილიდან ატარებენ სხივებს A_1B_1 წირის წერტილებამდე. A_2B_2 (5) წირი წარმოადგენს გასაზომი პროფილის სიგრძეს გეგმის მასშტაბში. თუ ამ წირთან სხივების გადაკვეთის წერტილებიდან ქვემოთ გადავზომავთ სიღრმეებს, მივიღებთ წყლის კვეთის პროფილს მოცემულ ჰორიზონტალურ მასშტაბში.

იმის გამო, რომ გეგმაზე ნაჩვენებია დაყვანილი დონის შესაბამისი წყლის კიდეები, სიღრმითი ვერტიკალების მდებარეობა ბატიგრამიდან გეგმაზე გადააქვთ შემდეგნაირად. გეგმიდან მილიმეტრებიანი ქაღალდის ზოლზე გადააქვთ წყლის კიდეებს შორის მანძილი დაყვანილი დონის შემთხვევაში. ამ ზოლს გადაადგილებენ A_1B_1 წირის პარალელურად კიდეების A_3a_1 და A_3b სხივებთან შეთავსებამდე. A_2B_2 წირზე წყლის კიდეები დაყვანილი დონის შემთხვევაში იმყოფებიან a_2 და b_2 წერტილებში. a_2b_2 წირის სხვა სხივებთან გადაკვეთის წერტილებთან აწერენ სიღრმის მნიშვნელობებს; სიღრმითი ვერტიკალების მდებარეობა მილიმეტრებიანი ქაღალდის ზოლიდან ადვილად გადაიტანება გეგმაზე.



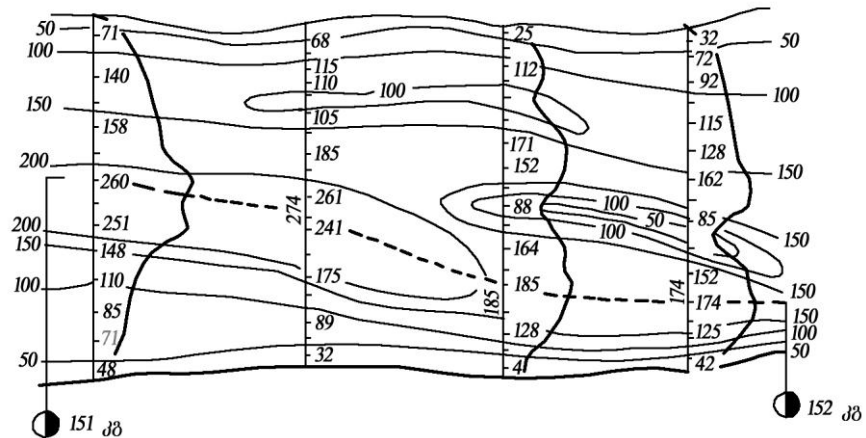
ნახ. 26. აკუსტიკური პროფილოგრაფით აღნუსხული ბატიგრამის დაყვანა გეგმის მასშტაბზე: 1 – წყლის მუშა დონე; 2 – წყლის დაყვანილი დონე; 3 – სიღრმეების წირი; 4 – დამხმარე წირი; 5 – გასაზომი პროფილის სიგრძე გეგმის მასშტაბში

იმ შემთხვევებში, როცა სიღრმითი ვერტიკალების კოორდინირებას აწარმოებენ გეოდეზიური და რადიოგეოდეზიური ხერხებით, დამხმარე წირზე 4 პირველ რიგში გადააქვთ ვერტიკალების დაჭდვის მომენტში ბატიგრამაზე დატანილი წირები. სიღრმითი ვერტიკალები გადააქვთ ცალ-ცალკე აღნიშნული ჭდეებით შემოსაზღვრული ინტერვალების მიხედვით. A_3 წერტილი თანმიმდევრულად განლაგდება ვერტიკალურ წირებზე, რომლებიც წირზე 4 გადატანილ ჭდეებზე გადის.

ბატიგრამა გეგმის მასშტაბზე დაყავთ მექანიკური ხერხით პროპორციული ფარგლის საშუალებით.

გეგმაზე აღნიშნული სიღრმითი ვერტიკალებისა და სიღრმეების მიხედვით ატარებენ იზობატებს (ნახ. 27); მეტი სიზუსტისათვის ახდენენ მათ ინტერპოლირებას. ეს ამოცანა წყდება გრაფიკულად, მხოლოდ წინასწარ უნდა ავაგოთ ნახაზის სიბრტყესთან შეთავსებული წყლის კვეთების პროფილები. იზობატების კვეთს ($h_{\sigma\phi}$) ნიშნავენ 0,2–დან 2,0 მ–მდე იმის მიხედვით, თუ როგორია

წყალქვეშა რელიეფის პროფილის სირთულე, სიღრმეების ამპლიტუდა და გეგმის მასშტაბი.



ნახ.27. წყალსადინარის გეგმა იზობატებში

წყლის კიდის წირები წარმოადგენენ იზობატებს ნულოვანი სიღრმეებით.

პროფილებში უდიდესი სიღრმეების შესაბამისი წერტილების შემაერთებული მრუდი წარმოქმნის უდიდესი სიღრმის წირს. ასეთი წირებით გამოითვლიან მდინარის სიგრძეს. კილომეტრების ათვლას იწყებენ მდინარის შესართავთან (რეპერიდან, წყალსაზომი საგუშაგოდან და სხვ.).

მდინარის გრძივი პროფილი. მდინარის გრძივ პროფილს ადგენენ უდიდესი სიღრმეების წირის მიხედვით. წირი წარმოადგენს რთული ფორმის მქონე იმ ვერტიკალური ზედაპირის ჰორიზონტალურ გეგმილს, რომელზედაც გამოსახავენ ფსკერის რელიეფსა და ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის ფორმას წყლის სხვადასხვა დონის შემთხვევაში. აღნიშნული ზედაპირის შლილი წარმოადგენს გეგმაში მრუდწირული მოხაზულობის მქონე წყალსადინარის გრძივ პროფილს (ნახ.28). ნაკადის მახასიათებელი სიდიდეების გარდა მის გრძივ პროფილზე გეგმილის სახით უჩვენებენ ნაპირების გრძივ პროფილებსაც. პროფილები დააქვთ მოცემული შემთხვევისათვის ერთნაირ მანძილზე უდიდესი სიღრმეების წირიდან ან წყლის კიდეებიდან. მდინარის გრძივ პროფილზე აღნიშნავენ წყალსაზომ საგუშაგოებს, რეპერებს, სხვადასხვა ნაგებობებს და დასახლებულ პუნქტებს მათი მაღლივი მდებარეობის გათვალისწინებით. დასახლებულ პუნქტს მდინარის გასწვრივ აღნიშნავენ ჰორიზონტალური ხაზით (მასშტაბში), რომელსაც ატარებენ პუნქტის ყველაზე დაბალ ნიშნულზე; გვერდით უწერენ როგორც ამ ნიშნულს, ისე ყველაზე მაღალ ნიშნულსაც.

თავი III წყლის დინების სიჩქარეები

§ 7. სიჩქარეების განაწილება ნაკადში

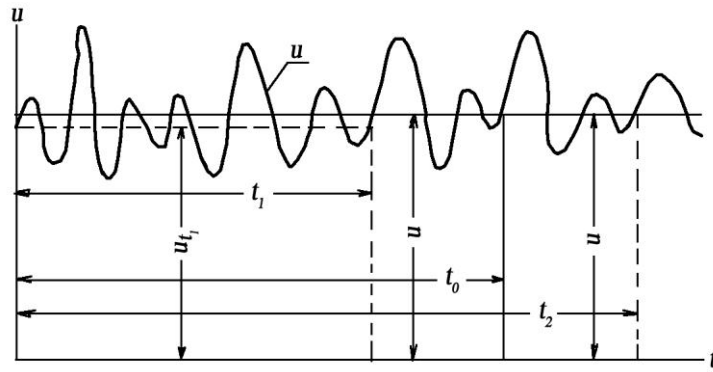
სითხის დინების სიჩქარეების გაზომვის მეთოდები განპირობებულია ნაკადის კინემატიკის კანონზომიერებით. ამიტომ სიჩქარეების გასაზომი ხელსაწყოების აღწერას და მათი გამოყენების მეთოდიკის ჩამოყალიბებას წინ უსწრებს სითხის ძრითადი კინემატიკური მახასიათებლების განხილვა და მოკლე ცნობების გადმოცემა მათი ნაკადში განაწილების შესახებ.

დინების სიჩქარეების გაზომა ხშირად დაკავშირებულია წყლის ხარჯების განსაზღვრასთან, თუმცა მას დიდი დამოუკიდებელი მნიშვნელობაც აქვს ზღუდარების აგებისა და რღვევის, მდინარეთა კალაპოტების გადაკეტვის, ხიდების მშენებლობისა და გემების უსაფრთხო ცურვის უზრუნველყოფის საკითხების გადაწყვეტისათვის.

სითხის დინების სიჩქარის პულსაცია. ზოგად შემთხვევაში დინების სიჩქარის სიდიდე და მიმართულება იცვლება დროსა და სითხის ნაკადის მიერ დაკავებულ სივრცეში. u სიჩქარეს ნაკადის მოცემულ წერტილში დროის მოცემულ მომენტში ადგილობრივ მყისიერ სიჩქარეს უწოდებენ. ადგილობრივი სიჩქარის სიდიდისა და მიმართულების რხევას დროის მიხედვით ეწოდება სიჩქარის პულსაცია. ტურბულენტური მოძრაობისას ყოველთვის შეიმჩნევა სიჩქარის პულსაცია, რაც სითხის ნაწილაკების განუწყვეტელი შერევით აიხსნება.

29-ე ნახაზზე გამოსახულია $u = u(t)$ ფუნქციის გრაფიკი ტურბულენტური ნაკადის რაიმე წერტილისათვის. გასაშუალებული ადგილობრივი სიჩქარე $\bar{u}$ დროის საკამრისი t_0 შუალედისათვის წარმოადგენს კოორდინატა ღერძებითა და $u = u(t)$ მრუდით შემოსაზღვრული ფართობის ფარდობას t_0 დროსთან, ე. ი.

$$\bar{u} = \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} u dt.$$



ნახ. 29. ნაკადის ადგილობრივი (მყისიერი) სიჩქარეების გასაშუალებების სქემა

დროის საკმარისი შუალედის ცნება აქ იმ აზრით იხმარება, რომ გასაშუალებების პერიოდის გაზრდა, მაგალითად, $t_2 > t_0$ -მდე, არ გამოიწვევს $\bar{u}$ -ს ცვლილებას. გასაშუალებების პერიოდის შემცირებამ, მაგალითად, t_1 -მდე, შეიძლება გამოიწვიოს გასაშუალებული ადგილობრივი სიჩქარის შემცირება (ან გაზრდა) $\bar{u}_{t1}$ სიჩქარემდე, რაც დამოკიდებულია სიჩქარის პულსაციის ხასიათზე დროის t შუალედში. აქედან ნათელია, რომ სითხის დინების სიჩქარის გასაზომი ხელსაწყო ნაკადის წერტილში არასაკმარისი დროით მოთავსებისას დააფიქსირებს u_t სიჩქარეს, რომელიც განსხვავებული იქნება ნამდვილი გასაშუალებული ადგილობრივი სიჩქარისაგან. $\frac{\bar{u} - \bar{u}_{t1}}{\bar{u}}$ შეცდომამ შეიძლება გადააჭარბოს თვით საზომი ხელსაწყო კონტრუქციაზე დამოკიდებულ შეცდომას. ამიტომ დინების სიჩქარეების გაზომვისას უნდა დავიცვათ განსაზღვრული მოთხოვნები ნაკადის წერტილში საზომი ხელსაწყო მოთავსების დროის მიმართ, რათა შევძლოთ ადგილობრივი სიჩქარის გასაშუალება მოცემული სიზუსტით.

სიჩქარის პულსაციის მოვლენა ხასიათდება ადგილობრივი მყისიერი u სიჩქარეების საშუალოკვადრატული σ_u გადახრით ω_i სიხშირისა და $\frac{1}{\omega_i}$ პულსაციის პერიოდის მქონე გასაშუალებული ადგილობრივი $\bar{u}$ სიჩქარისაგან. $u - \bar{u}$ სხვაობას ეწოდება პულსაციური სიჩქარე.

პულსაციის საშუალო სიხშირე $\omega_i = \frac{N}{t_0}$, სადაც N არის ექსტრემუმების რიცხვის ნახევარი ადგილობრივი მყისიერი სიჩქარეების მრუდზე, ე. ი. მინიმუმების ან მაქსიმუმების რიცხვი $u = u(t)$ მრუდზე გასაშუალებების t_0 პერიოდისათვის (29-ე ნახაზზე $N = 8$). სიხშირის შებრუნებული სიდიდე, ე. ი. $\frac{t_0}{N} = \frac{1}{\omega_i}$, წარმოადგენს

პულსაციის პერიოდს. $\frac{\sigma_u}{\bar{u}}$ ფარდობას ეწოდება ტურბულენტობის ხარისხი ან ტურბულენტობის ინტენსიურობა (მ. ველიკანოვის პარამეტრი).

წყლის დინების გასაშუალებული ადგილობრივი სიჩქარეების პროფილი. ნაკადში სიჩქარეთა განაწილების სირთულის გამო ჯერ უნდა განვიხილოთ გასაშუალებულ ადგილობრივ სიჩქარეთა პროფილები, ხოლო შემდეგ დავახასიათოთ $\bar{u}$ სიდიდეთა განაწილება ნაკადის ცოცხალ კვეთში.

ზედაპირს, რომელიც გატარებულია სითხის ნაკადის ფარგლებში და თავის ყველა წერტილში შესაბამისი ადგილობრივი სიჩქარის ვექტორის მართობულია, ეწოდება ნაკადის ცოცხალი კვეთი. მდოვრედცვლადი მოძრაობისას ნაკადს გააჩნია ბრტყელი ცოცხალი კვეთები.

ნაკადის ცოცხალი კვეთის მართობულ ვერტიკალურ სიბრტყეში ადგილობრივი სიჩქარეების განაწილებას ეწოდება $\bar{u}$ სიჩქარეების პროფილი ან სიჩქარეთა ეპიურა ვერტიკალზე. შემდგომში გასაშუალებულ ადგილობრივ სიჩქარეთა პროფილების განხილვისას გასაშუალებების „–“ ნიშანს სიმარტივისათვის გამოვტოვებთ.

$u = u(y)$ სიჩქარეთა პროფილის სახე, სადაც y არის მანძილი ათვლილი ნაკადის ფსკერიდან (მყარი ზედაპირიდან), დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. უშუალო გაზომვები ტურბულენტურ ნაკადში გვიჩვენებს, რომ u სიჩქარის ზრდა ფსკერთან (მყარ ზედაპირთან) დასაწყისში გაცილებით ინტენსიურია, ვიდრე შემდეგ. შედარებით არსებითი განსხვავება სიჩქარეთა პროფილების ფორმაში შეიმჩნევა უდაწნეო (ე. ი. თავისუფალი ზედაპირის მქონე ნაკადი) და დაწნევითი მოძრაობისას. სიჩქარეთა პროფილების ძირითადი ტიპები მოცემულია 30–ე ნახაზზე.

სიჩქარეთა განაწილების საკითხს კედლის მახლობლად მდებარე თხელ შრეში (დაახლოებით 1 მმ–მდე) ჩვენ აქ არ განვიხილავთ. პრაქტიკული თვალსაზრისით ფსკერთან სიჩქარეთა სასრული მნიშვნელობების გამოყენებას არსებითი გარკვეულობა შეაქვს ჰიდრომეტრიის ამოცანების გადაწყვეტაში, განსაკუთრებით კი ნაკადის წარეცხვადი ფსკერის შემთხვევაში. $u_{ფსკ}$ სიჩქარეს (ნახ. 30, ა, ბ) ვუწოდებთ ადგილობრივ ფსკერულ სიჩქარეს ან ფსკერულ სიჩქარეს ვერტიკალზე.

უდაწნეო ნაკადისათვის (ნახ. 30, ა) $u = u_{\text{მეშ}}$, როცა $y = h$, ე. ი. $u_{\text{მეშ}}$ შეიმჩნევა წყლის თავისუფალ ზედაპირზე.

ჰიდრომეტრიული ხელსაწყოების შექმნის მომენტიდან რეკომენდებულია სიჩქარეთა პროფილის რამდენიმე ფორმულა: პარაბოლური, ელიფსური, ლოგარითმული და სხვ. შედარებით საიმედოდ ითვლება პარაბოლა ცვლადი მაჩვენებლით და სხვა ფორმულები, რომლებიც გამოსახავენ ადგილობრივი u სიჩქარის ფარდობითი უკმარისობის დამოკიდებულებას ფარდობითი სიღრმის ($\eta = y/h$) ფუნქციაზე. u სიჩქარის ფარდობითი უკმარისობა ეწოდება $\varphi = \frac{u_{\text{მეშ}} - u}{u_*}$ სიდიდეს, სადაც $u_* = \sqrt{ghI}$ არის დინამიკური სიჩქარე ვერტიკალზე. ქვემოთ მოყვანილია ორი ფორმულა φ -ის გამოსათვლელად პირველი დამყარებულია მოძრაობის რაოდენობის გადატანის თეორიაზე (ლოგარითმული)

$$\varphi = \frac{1}{k} \ln \frac{1}{\eta} \quad (17)$$

ან

$$u = u_{\text{მეშ}} - \frac{u_*}{k} \ln \frac{1}{\eta}, \quad (18)$$

ხოლო მეორე – გრიგალების გადატანის თეორიაზე:

$$\varphi = \frac{\sqrt{2}}{k'} (\arcsin \sqrt{1 - \eta} - \sqrt{\eta} \sqrt{1 - \eta}), \quad (19)$$

სადაც k და k' წარმოადგენენ ცვლად პარამეტრებს, ამასთან

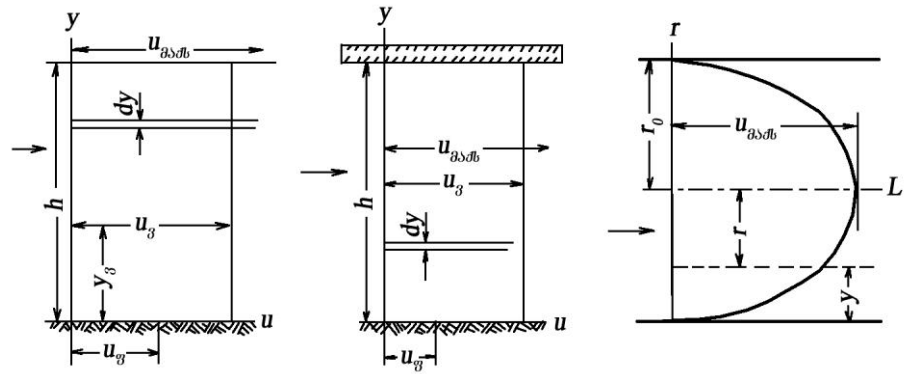
$$k' = 0,56 k.$$

k პარამეტრს განსაზღვრავენ გ. ჟელეზნიაკოვის ფორმულით:

$$k = 0,3 + \frac{2}{1 + C_3^*}, \quad (20)$$

სადაც $C_3^* = \frac{\overline{C_3}}{vg}$ არის შეზის უგანზომილებო კოეფიციენტი ვერტიკალზე;

C_3 -შეზის განზომილებიანი კოეფიციენტი ($m^{0,5}/\text{წმ}$).



ნახ. 30. ნაკადის გასაშუალებულ ადგილობრივ სიჩქარეთა პროფილები (ეპიურები): ა – უდაწნეო ნაკადის; ბ – დაწნევითი ნაკადის ცინულის საფარქვეშ; გ – დაწნევითი ნაკადის მილსადენში

(17) და (19) ფორმულებს შორის განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ პირველი იძლევა ფსკერული სიჩქარის არარეალურ მნიშვნელობას (როცა $y = 0$, მაშინ $u = u_{ფსკ} = -\infty$), ხოლო მეორე-ფსკერული სიჩქარის ($u_{ფსკ}$) სასრულ მნიშვნელობას. თუმცა აღნიშნული განტოლებების მიხედვით აგებული მრუდებითა და y და u ღერძებით შემოსაზღვრული ფართობები, როგორც გამოთვლები გვიჩვენებს, განსხვავდებიან გაზომვათა სიზუსტის ფარგლებში. ამიტომ ზოგად შემთხვევაში ეს ფორმულები ტოლფასია იმ პირობით, რომ ფსკერული სიჩქარის გამოსათვლელად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მხოლოდ (19) ფორმულა.

სიჩქარეთა პროფილის პარაბოლურ ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$u = u_{ფსკ} \eta^{\frac{1}{m}}. \quad (21)$$

m -სთვის გ. ჟელეზნიაკოვის მიერ რეკომენდებულია შემდეგი დამოკიდებულება:

$$m = kC_3^*. \quad (22)$$

(21) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ, როცა $y = 0 (\eta = 0)$, მაშინ სიჩქარე $u_{ფსკ} = 0$.

სიჩქარეთა პროფილის ფორმულებიდან ჩანს, რომ ვერტიკალზე სიჩქარეთა განაწილებაზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორებია წყლის თავისუფალი ზედაპირის ქანობი I და ნაკადის ფსკერის ხორკლიანობა (C_3 დამოკიდებულია ხორკლიანობაზე).

სიჩქარეთა აღნიშნული განაწილება ვერტიკალზე შეიმჩნევა თანაბარი ან ისეთი მოძრაობის პირობებში, რომელიც ახლოსაა თანაბარ მოძრაობასთან (მდინარეებში შედარებით მოკლე სწორ უბნებზე). 30,ა ნახაზზე გამოსახული მრუდი $u = u(y)$ ზოგიერთ შემთხვევაში დებულობს გაცილებით რთულ მოხაზულობას. კერძოდ, უდიდესი სიჩქარე u_{max} შეიძლება შეიმჩნეს წყლის თავისუფალი ზედაპირიდან ქვემოთ, რაც განპირობებულია შემხვედრი ქარით, განივი ცირკულაციით (თუ ვერტიკალი მდებარეობს მდინარის მოხვეულობაზე) და სხვა მიზეზებით. $u = u(y)$ მრუდის ფორმა იცვლება ნაკადის ფსკერის მახლობლადაც, რაც აიხსნება ფსკერის რელიეფის (უსწორმასწორობის) გავლენით. მაგალითად, თუ ვერტიკალი მოთავსებულია უშუალოდ ქვიშის ტალღის იქით, მაშინ ფსკერის მახლობლად წარმოიქმნება უკუდინებები, ე. ი. 30,ა ნახაზზე გამოჩნდება u -ს უარყოფითი აბსცისები.

სიჩქარეთა ფრიად რთული განაწილება შეიმჩნევა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ქვედა ბიეფებში. ნათელია, რომ, რაც რთულია სიჩქარეთა პროფილი, მით მეტ წერტილებში უნდა გაიზომოს u სიჩქარე $u = u(y)$ ეპიურის ასაგებად.

ყინულით დაფარული მდინარეებისა და არხებისათვის სიჩქარეთა პროფილი დაწნევითი მოძრაობისას გამოსახულია 30, ბ ნახაზზე. ყინულის ქვედა ზედაპირის გავლენა u სიჩქარეზე ფსკერის გავლენის ანალოგიურია: ნაკადი თითქოსდა სადაწნო წყალსატარში მოძრაობს. მაქსიმალური u_{max} სიჩქარის მდებარეობა არსებითად დამოკიდებულია ფსკერისა და ყინულის ქვედა ზედაპირის ხორკლიანობათა თანაფარდობაზე. ყინულის ქვედა ზედაპირი ყინულის წარმოქმნის პირობების მიხედვით შეიძლება იყოს გლუვი, თოშის ფენით დაფარული და სხვ. ყოველივე ეს განაპირობებს ყინულის ქვედა ზედაპირის ხორკლიანობის კოეფიციენტის (n) მნიშვნელოვან დიაპაზონს. ჩვეულებრივად, n_y მისი უდიდესი მნიშვნელობიდან $n_y \approx 0,15$ -გაცივნის პირველ პერიოდში, თანდათანობით მცირდება $n_y \approx 0,01$ -მდე-გაცივნის დასასრულისათვის. ამიტომ სიჩქარეთა პროფილი ყინულის საფარქვეშ მყოფი ნაკადისათვის იცვლება დროის მიხედვით წყლის ხარჯის სულ მცირე ცვლილებების დროსაც კი. $u = u(y)$ ეპიურამ (ნახ. 30,ბ) შეიძლება მიიღოს ფრიად რთული მოხაზულობა ნაკადის ცოცხალ კვეთში თოშის განაწილების მიხედვით.

$u = u(y)$ მრუდით, ნაკადის ფსკერით, წყლის ზედაპირითა და h სიღრმის წირით შემოსაზღვრული ფართობი განზომილებით შეესაბამება წყლის ხარჯს ნაკადის სიგანის ერთეულზე (q) და ეწოდება წყლის ხარჯი ვერტიკალზე. 30, ა, ბ ნახაზიდან გამომდინარეობს:

$$q = \int_0^h u dy \quad (23)$$

ან

$$q = h \int_0^1 u d\eta.$$

q ხარჯი წარმოადგენს Q ხარჯის წარმოებულს ნაკადის სიგანით, გამოსახულს $m^2/წმ$ -ობით, ე. ი. $q = dQ/db$ (იხ. ფორმულა 96). ვერტიკალზე წყლის ხარჯის ფარდობას სიღრმესთან, ე. ი. $q/h = u_3$, ეწოდება საშუალო სიჩქარე ვერტიკალზე.

(18) და (23) ფორმულების გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$u_3 = \frac{1}{h} \int_0^h \left(u_{\text{მეშ}} - \frac{u_*}{k} \ln \frac{h}{y} \right) dy,$$

საიდანაც ინტეგრებით ვიპოვიტ

$$u_3 = u_{\text{მეშ}} - \frac{u_*}{k}. \quad (24)$$

რიცხობრივად u_3 სიჩქარე q ფარდობის მქონე სწორკუთხედის ჰორიზონტალური ორდინატის ტოლია.

30,ბ ნახაზზე გამოსახულია ნაკადის გასაშუალებულ ადგილობრივ სიჩქარეთა პროფილი ცილინდრულ მილში. (17), (19) და (21) ფორმულები აქ ინარჩუნებენ თავიანთ მნიშვნელობას; ამასთან, ფარდობითი სიღრმე $\eta = \frac{y}{r_0} = \frac{r_0-r}{r}$, სადაც r_0 არის მილის შიგა რადიუსი. როცა $r = 0$, მაშინ $u = u_{\text{მეშ}}$. სიჩქარეთა განაწილება ცილინდრულ მილებში შედარებით მარტივია მდინარეებში სიჩქარეთა განაწილებასთან შედარებით.

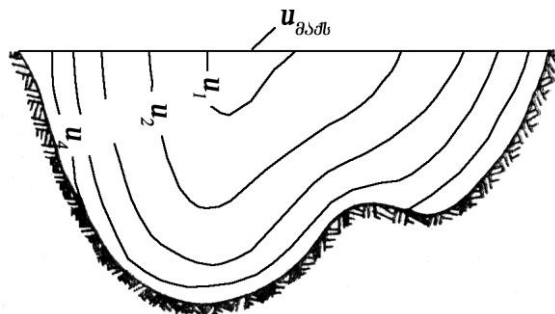
მილებში განსახილველ კვეთთან (მოხვეულობა, მილის შევიწროება და სხვ.) სითხის მოსვლის პირობების მიხედვით ირღვევა დიამეტრალურ სიჩქარეთა პროფილების სიმეტრია.

იზოტაქები და ტაქიგრაფიული მრუდი. განვიხილოთ გასაშუალებულ ადგილობრივ სიჩქარეთა განაწილება ნაკადის მთელი ცოცხალი კვეთის ფარგლებში. ყველაზე უფრო ნათელ წარმოდგენას ამის შესახებ იძლევიან ტოლ ადგილობრივ სიჩქარეთა წირები, რომლებსაც იზოტაქებს უწოდებენ. ნაკადის

ცოცხალი კვეთის სხვადასხვა წერტილში გაზომილი სიჩქარეების მიხედვით იზოტაქებს ისევე აგებენ, როგორც ჰორიზონტალებს გეოდეზიაში. იზოტაქების ხასიათი მდინარის უდაწნეო (ღია) ნაკადისათვის ნაჩვენებია 31-ე ნახაზზე.

იზოტაქების მოხაზულობა მჭიდროდაა დაკავშირებული კალაპოტის განიკვეთის ფორმასთან, აგრეთვე გეგმაში მის რელიეფთან. წყლის კიდეებთან მიახლოებისას u სიჩქარეები მცირდება, რაც აისახება იზოტაქების მოხაზულობაზე.

$u_1 - u_2 = u_2 - u_3 = u_{i-1} - u_i = \Delta u_{ოზ}$ სხვაობას იზოტაქების კვეთი ეწოდება. ნათელია, რომ $u_i - u_{ფსკ},_{\text{მინ}} < u_{ოზ}$ და $v_{ბჟს} - u_1 < \Delta u_{ოზ}$, სადაც $u_{ფსკ},_{\text{მინ}}$ არის უმცირესი ფსკერული სიჩქარე, ხოლო $v_{ბჟს}$ -უდიდესი სიჩქარე ნაკადის ცოცხალ კვეთში. ნაკადის სიგანეზე სხვადასხვა ფსკერული სიჩქარეების შემთხვევაში იზოტაქები კვეთენ ფსკერის წირს. თუ $u_{ფსკ} = 0$, მაშინ სველი პერიმეტრი შეიძლება განვიხილოთ როგორც ნულოვანი იზოტაქი. ნაკადის ფსკერთან მიახლოებისას მეზობელ იზოტაქებს შორის მანძილი მცირდება, რაც ზემონათქვამით აიხსნება.



ნახ. 31. იზოტაქები თავისუფალი ზედაპირის მქონე მდინარის ნაკადის განიკვეთში

ყინულის საფარქვეშ მყოფი ნაკადისათვის იზოტაქებს აქვთ ჩაკეტილი ან გაშლილი (რომლებიც კვეთენ ფსკერს და ყინულის ქვედა ზედაპირს) მრუდების ფორმა. სადაწნეო მილსადენში იზოტაქები წარმოადგენს კონცენტრულ წრეწირებს (სიჩქარეთა ერთნაირი პროფილებით რადიალური მიმართულებით).

სიჩქარეთა ველი განიკვეთში საერთოდ ხასიათდება ტაქიგრაფიული მრუდით $u = u(\omega_u)$, სადაც ω_u არის u სიჩქარის შესაბამისი იზოტაქით შემოსაზღვრული ფართობი. 32-ე ნახაზზე გამოსახულია ტაქიგრაფიული მრუდი $u_{ფსკ} = 0$ -ს შემთხვევისათვის. როცა $u = v_{ბჟს}$, მაშინ $\omega_u = 0$; როცა $u = u_{ფსკ} = 0$,

მაშინ $\omega_u = \omega$, სადაც ω არის ნაკადის განივკვეთის ფართობი. ასეთ პირობას პასუხობს ტაქიგრაფიული მრუდის განტოლება:

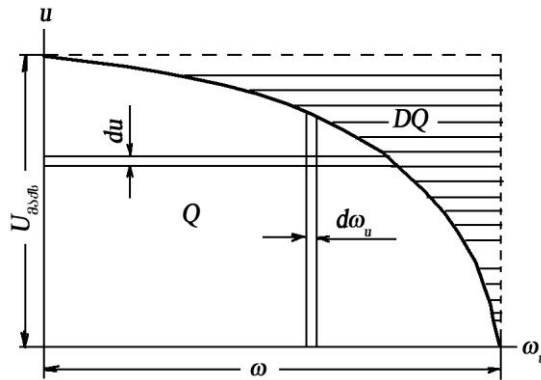
$$u = v_{\text{მაქს}} \left(1 - \frac{\omega_u}{\omega}\right)^{K_2^*}. \quad (25)$$

32-ე ნახაზზე გამოვყოთ ვერტიკალური ელემენტარული ფართობი. ფართობი რიცხობრივად წყლის ელემენტარული ხარჯის ტოლია $dQ = u d\omega_u$, რადგანაც $d\omega_u$ არის u სიჩქარის იზოტაქის შესაბამისი ცოცხალი კვეთის ელემენტური ფართობი. მაშასადამე, ტაქიგრაფიული მრუდით შემოსაზღვრული ფართობი გამოსახავს წყლის ხარჯს. (25) ფორმულის გათვალისწინებით

$$Q = v_{\text{მაქს}} \int_0^\omega \left(1 - \frac{\omega_u}{\omega}\right)^{K_2^*} d\omega_u.$$

ინტეგრებით მივიღებთ

$$Q = \frac{1}{K_2^* + 1} \omega v_{\text{მაქს}}. \quad (26)$$



ნახ. 32. ტაქიგრაფიული მრუდი

წყლის Q ხარჯის ფარდობა ცოცხალი კვეთის ფარდობასთან წარმოადგენს ნაკადის საშუალო სიჩქარეს, ე. ი.

$$v = \frac{Q}{\omega}.$$

(26) განტოლების ამოხსნით K_2^* -ის მიმართ მივიღებთ:

$$K_2^* = \frac{v_{\text{მაქს}}}{v} - 1 = \frac{1 - K_2}{K_2}. \quad (27)$$

მაშასადამე, K_2^* წარმოადგენს კინემატიკურ პარამეტრს, რომელიც დამოკიდებულია სიჩქარეთა ფარდობაზე $\frac{v}{v_{\text{მაქს}}} = K_2$.

ცოცხალ კვეთში სითხის ყველა ნაწილაკი რომ მოძრაობდეს $u = v_{\text{მაქს}}$ სიჩქარით, მაშინ წყლის ხარჯი, როგორც ეს 32-ე ნახაზიდან ჩანს, $\omega v_{\text{მაქს}}$ ნამრავლის ტოლი იქნებოდა. სინამდვილეში სიჩქარეთა უთანაბრო განაწილების გამო, რაც

ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობებით არის განპირობებული, წყლის ფაქტიური ხარჯი რიცხობრივად ნაკლები იქნება $\omega v_{\text{გაქ}}$ ხარჯზე დამტრიახული ფარდობის ტოლი სიდიდით.

შემოვიტანოთ ჰიდრავლიკიდან ცნობილი ნაკადის საშუალო სიჩქარის ფარდობითი დეფიციტის ცნება:

$$D = \frac{v_{\text{გაქ}} - v}{v_*},$$

სადაც $v_{\text{გაქ}} - v$ არის ნაკადის საშუალო სიჩქარის აბსოლუტური დეფიციტი;

$$v_* - \text{ნაკადის დინამიკური სიჩქარე; } v_* = \sqrt{gRI} \approx \sqrt{gh_{\text{საშ}}I}.$$

ამ გამოსახულების ორივე ნაწილი გავამრავლოთ ω -ზე და გადავწეროთ ის შემდეგი სახით:

$$v_{\text{გაქ}} \cdot \omega - Q = v_* \omega D = DQ_*,$$

სადაც $v_* \omega = Q_*$ არის დინამიკური ხარჯი.

მაშასადამე, 32-ე ნახაზზე დამტრიახული ფართობი რიცხობრივად DQ_* ნამრავლის ტოლია. მდინარის ნაკადის ტაქტიკური მრუდები პირველად შედარებით სრულად გამოიკვლია ვ. გლუშკოვმა.

§ 8. წყლის დინების სიჩქარეთა საზომი ხელსაწყოები

სითხის დინების სიჩქარეთა საზომი ხელსაწყოები მოქმედების პრინციპის მიხედვით შეიძლება კლასიფიცირებულ იქნას შემდეგნაირად:

ჰიდრომეტრიული ტივტივები (დამყარებულია წყალთან ერთად ისეთი სხეულის გადაადგილებაზე, რომელიც თავისი ფიზიკური და ქიმიური თვისებებით განსხვავდება წყლისაგან);

ჰიდრომეტრიული ტრიალა (სითხის დინების სიჩქარეს განსაზღვრავენ დროის ერთეულში იმ ხრახნის ან მუშა თვლის ბრუნთა რიცხვის მიხედვით, რომელიც მოძრაობაში მოდის წყლის ნაკადის ზემოქმედებით);

ჰიდრომეტრიული მილაკები (სიჩქარის გაზომვა დამყარებულია ნაკადის სიჩქარესა და ჰიდროდინამიკურ წნევას შორის კავშირზე);

ჰიდრომეტრიული ფლუგერები (სითხის დინების სიჩქარეს განსაზღვრავენ ნაკადის ზემოქმედებით ფირფიტის მობრუნების კუთხის მიხედვით);

ჰიდრომეტრიული დინამომეტრები (სიჩქარის გაზომვა დამყარებულია სიჩქარესა და ტენზომეტრულ ზამბარაზე სითხის დინამიკური წნევის მოქმედებით

გამოწვეული ღუნვის ხარისხს შორის დამოკიდებულებაზე). წნევის მიმდების სახით (პირველადი გადამწოდის) შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ფირფიტა ან ბურთულა. გადამწოდზე ნაკადის (და, მაშასადამე, სიჩქარის) ძალური ზემოქმედების ელექტრულ სიგნალებად გარდაქმნა ხდება მექანოტრონების საშუალებით;

ჰიდროკატაზონდები (სიჩქარის გაზომვა დამყარებულია ნაკადის მხრივ ისეთ სხეულზე სითბური ზემოქმედების ეფექტზე, რომლის ტემპერატურა განსხვავებულია სითხის ტემპერატურისაგან; ასეთ ხელსაწყოებს სხვანაირად თერმოჰიდრომეტრებსაც უწოდებენ);

სიჩქარის ულტრაბგერითი საზომები (სიჩქარის გაზომვა დამყარებულია ნაკადში ულტრაბგერის სიხშირის დრეკადი რხევების წარმოქმნაზე; ამ რხევების გადაადგილება დამოკიდებულია სითხის დინების სიჩქარეზე);

სიჩქარის რადიოაქტიური საზომები (სითხის მოძრაობის სიჩქარეს განსაზღვრავენ ნაკადში შეყვანილი რადიოაქტიური ხსნარის მიერ წინასწარ ცნობილი მანძილის გავლისათვის საჭირო დროის მიხედვით);

ბატომეტრები-ტაქიმეტრები (დინების სიჩქარეს განსაზღვრავენ ხელსაწყოთა ბალონში დროის ერთეულში შემოსული წყლის მოცულობით).

ჰიდრომეტრიული ტივტივები. გასაზომი სიჩქარის მიხედვით (ადგილობრივი, ვერტიკალზე საშუალო ან მთელ ცოცხალ კვეთში საშუალო) ჰიდრომეტრიული ტივტივები იყოფა წერტილოვან და ინტეგრაციულ ტივტივებად. წერტილოვანი ტივტივებით ზომავენ u სიჩქარეს ტივტივას მოძრაობის ტრაექტორიის სიგრძეზე გასაშუალებით, ხოლო ინტეგრაციული ტივტივებით- u_x სიჩქარეს ვერტიკალის სიღრმეზე და სიგრძეზე გასაშუალებით და v სიჩქარეს მთელ კვეთში და ნაკადის სიგრძეზე გასაშუალებით. წერტილოვან ტივტივებს ყოფენ ზედაპირულ და სიღრმით ტივტივებად. სიღრმითი ტივტივების საშუალებით შეიძლება გაიზომოს ადგილობრივი u სიჩქარე ნებისმიერ სიღრმეზე. სიღრმით ტივტივებს მიეკუთვნება ჰიდროკინემატიკური ინდიკატორები (წყლის ხვედრითი წონის მქონე მცირე ზომის თხევადი სხეულები). მათ იყენებენ ლაბორატორიულ პირობებში ნაკადზე ვიზუალური დაკვირვებისათვის.

ინტეგრაციული ტივტივების ძირითადი ტიპებია: ჰიდრომეტრიული ლატანი და შეწონილი ტივტივა u_3 სიჩქარის გასაზომად, ტივტივა-ეკრანი – v სიჩქარის გასაზომად. ეს უკანასკნელი წარმოადგენს ბრტყელ ფარს, რომელიც გადაკეტავს ნაკადის განივ კვეთს და გადაადგილდება წყალთან ერთად; ტივტივა-ეკრანის გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ სწორი ფორმის ხელოვნურ კალაპოტებში.

ზ ე დ ა პ ი რ უ ლ ი ტ ი ვ ტ ი ვ ე ბ ი . ზედაპირული ტივტივას სახით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს: ხის ძელაკები, მორიდან მოხერხილი 3–7 სმ სიმაღლის ცილინდრული ნაჭრები, ჯვარედინად მიკრული ორი ფიცარი და სხვ. ნაპირიდან უკეთესი ხედვისათვის ტივტივები აღჭურვილია მკვეთრი ფერის ალმებით. ტივტივას მოძრაობის სიჩქარეს განსაზღვრავენ მისი მოძრაობის ტრაექტორიის სიგრძის მიხედვით დროის შესაბამის შუალედში. მდინარეებზე ყინულსვლისას ამ მიზნისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მცურავი ყინულები. ჰაერიდან ტივტივების მოძრაობის ტრაექტორიის დასადგენად სარგებლობენ დაახლოებით 1×1 მ ზომის მქონე ხის ფარებით. ქარის ზემოქმედების შესამცირებლად ტივტივების წყალზედა ნაწილის ზომები დიდი არ უნდა იყოს.

მცურავი სხეულის სიჩქარე ყოველთვის უფრო მეტია, ვიდრე ნაკადის შესაბამისი ადგილობრივი სიჩქარე. ეს აიხსნება იმით, რომ სიმძიმის ძალის მდგენელი მოძრაობის მიმართულებაზე GI არ წონასწორდება ჰიდროდინამიკური წნევით (ნახ. 33):

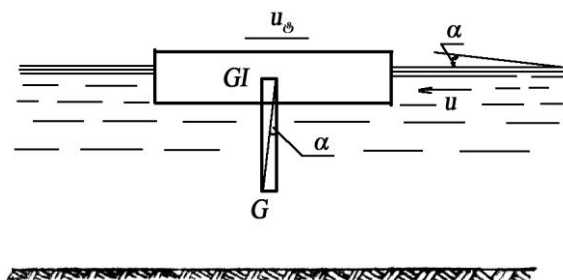
$$G \sin \alpha = \gamma_{\phi} \cdot VI,$$

სადაც G არის ტივტივას წონა;

γ_{ϕ} – მასალის ხვედრითი წონა, რომლისგანაც დამზადებულია ტივტივა;

V – ტივტივას მოცულობა;

I – წყლის ზედაპირის ქანობი.



ნახ. 33 ტივტივას მოძრაობის სქემა

აღნიშნული ძალა იწვევს ტივტივას დამატებით აჩქარებას მანამდე, სანამ არ გაწონასწორდება სითხის R წინაღობის ძალით. რადგანაც ამწევი ძალა წყლის თავისუფალი ზედაპირის პერპენდიკულარულია, ხოლო R_{θ} ძალა მიმართულია მოძრაობის პარალელურად, ამიტომ ძალების გეგმილების ჯამი თანაბარი სწორხაზოვანი ნაკადის მოძრაობის მიმართულებაზე, ი. კონოვალოვის მიხედვით, ნულის ტოლია:

$$GI - R_{\theta} = 0 \quad (28)$$

მოძრავი სხეულისადმი (ტივტივასადმი) წყლის წინაღობის ძალას საზღვრავენ ფორმულით:

$$R_{\theta} = \xi F_{\theta} \frac{\gamma}{2g} (u_{\theta} - u)^2, \quad (29)$$

სადაც ξ არის წინაღობის კოეფიციენტი;

F_{θ} – წყალქვეშა მიდელური კვეთის ფართობი;

γ – წყლის ხვედრითი წონა;

u_{θ} – ტივტივას მოძრაობის სიჩქარე;

u – დინების ადგილობრივი სიჩქარე; იგულისხმება, რომ ეს უკანასკნელი ერთნაირია წყლის ზედაპირიდან ტივტივას ჩაძირვის ფარგლებში.

თუ R_{θ} -ს (29) დამოკიდებულებას ჩავსვამთ (28) განტოლებაში, მივიღებთ:

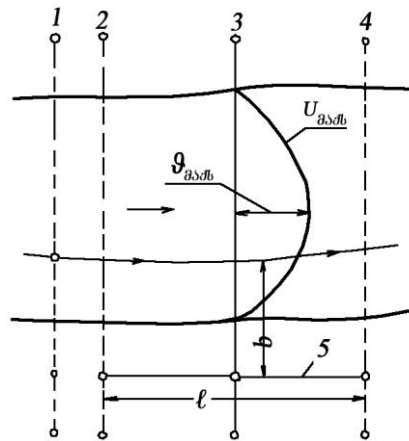
$$u = u_{\theta} - \sqrt{\frac{2\gamma\theta g VI}{\gamma \xi F_{\theta}}}. \quad (30)$$

ამ განტოლებიდან ჩანს, თუ რა მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს ტივტივა, რომ მისი მოძრაობის სიჩქარე u_{θ} მცირედით განსხვავდებოდეს ნაკადის ადგილობრივი u სიჩქარისაგან. ნათელია, რომ $\frac{\gamma\theta}{\gamma}$ ფარდობა უნდა იყოს მცირე. მაშასადამე, უნდა გამოვიყენოთ მცირე მოცულობის მსუბუქი ტივტივები, თუმცა დიდი F_{θ} ფართობით და ξ კოეფიციენტით. აქედან ცხადია, რომ ჰიდრომეტრიული ტივტივები არ უნდა იყოს კარგი გარსდენის მქონე ფორმის. აღნიშნულის გათვალისწინებით, მცირე ქანობების შემთხვევაში შეგვიძლია მივიღოთ $u = u_{\theta}$, რასაც სინამდვილეში ადგილი აქვს მდინარეებისა და არხებზე მუშაობისას.

წყლის დინების სიჩქარეთა გასაზომად წყალსადინარის უბანს სარყეების გამოყენებით ყოფენ წყლის მოძრაობის მიმართულების პერპენდიკულარულ კვეთებად (ნახ. 34). 2,3 და 4 კვეთები უნდა მიეზას მაგისტრალს 5. 2 და 4 კვეთებს

შორის L მანძილს ღებულობენ ტივტივას მოძრაობის ტრაექტორიის სიგრძედ. ამ მანძილს ისე ირჩევენ, რომ ტივტივას სვლის ხანგრძლივობა t_{ϕ} 2 და 4 კვეტებს შორის, უდიდესი $v_{\text{მაქს}}$ სიჩქარის გაზომვისას, 20 წმ–ზე ნაკლები არ იყოს. თუ $v_{\text{მაქს}} \leq 2$ მ/წმ და გართულებულია მდინარის სწორხაზოვანი უბნის შერჩევა, მაშინ გამონაკლისის სახით ტივტივას სვლის დროდ შეიძლება ავიღოთ 10 წმ.

$B < 50$ მ შემთხვევაში ტივტივებს გასაშვებ კვეტში აგდებენ ნაპირიდან, ხოლო $B > 50$ მ შემთხვევაში – ნავიდან.



ნახ. 34. ზედაპირული ტივტივებით წყლის დინების სიჩქარეთა გაზომვის სქემა: 1 – გასაშვები კვეთი; 2 – ზედა კვეთი; 3 – მთავარი კვეთი; 4 – ქვედა კვეთი; 5 – მაგისტრალი

კვეტში 3 ტივტივას გავლის მომენტში საზღვრავენ b მანძილს (ნახ.34). როცა $B < 100$ მ, მაშინ b სიდიდეს აითვლიან წყალსადინარზე გადაჭიმული დანაყოფებიანი გვარლის მიხედვით; სასურველია გვარლის ნულოვანი დანაყოფი მაგისტრალს შევუთავსოთ. განიერ მდინარეებზე, სადაც გვარლის გამოყენება გამწელებულია, ტივტივების ტრაექტორიების მთავარ კვეთთან გადაკვეთის კოორდინატები განისაზღვრება გეოდეზიური ხერხებით. ჩვეულებრივად, მდინარის სიგანეზე თანაბრად ანაწილებენ 15–25 ტივტივას. $u_{\text{მაქს}} = \frac{L}{t_{\phi}}$ და b სიდიდეების მიხედვით აგებენ ნაკადის სიგანეზე ზედაპირული სიჩქარეების განაწილების ეპიურას (ნახ. 34). თუ განვსაზღვრავთ b -ს მნიშვნელობებს რამდენიმე კვეტში, მაშინ ადვილად ვიპოვით ტივტივების მოძრაობის ტრაექტორიასაც.

მნიშვნელოვანი სიგრძის დიდ მდინარეებზე სიჩქარეები და დინებათა მიმართულებები უკეთესია გაიზომოს აეროფოტოგადაღების საშუალებით. ასეთი გაზომვის არსი მდგომარეობს თვითმფრინავიდან ან შვეულმფრენიდან ხის ფარებისაგან დამზადებული ტივტივების (ყინულსვლის პერიოდში ყინულის ნატეხების–ხორგის) თანმიმდევრულ ფოტოგრაფირებაში; ფარები და ხორგი ასრულებენ ნიშანდებული საგნების როლს. აეროფოტოგადაღებას ასრულებენ ისე, რომ სურათებზე მიღებულ იქნეს ნაპირებისა და უძრავი კონტურული წერტილების გამოსახულება; ამასთან, სურათებს შორის გრძივი გადაფარვა უნდა შეადგენდეს დაახლოებით 60%–ს. 35–ე ნახაზზე სქემატურად გამოსახულია ორი აეროფოტოსურათი, რომლებიც ერთმანეთს გადაფარავენ; ერთი მათგანი გადაღებულია t_1 დროის მომენტში, ხოლო მეორე – დროის შემდგომ t_2 მომენტში. მაშასადამე, $t_2 - t_1 = \Delta t$ სხვაობა წარმოადგენს დროის ინტერვალს ექსპოზიციებს შორის. Δt დროის განმავლობაში ტივტივების გამოსახულება (1, 2, ..., n -მარცხენა ნახაზზე; 1', 2', ..., n' -მარჯვენა ნახაზზე) წყლის დინების გამო გადაადგილდება. ეს გადაადგილებები ტოლია:

$$l'_1 - l_1 = \Delta l_1; l'_2 - l_2 = \Delta l_2 \dots l'_n - l_n = \Delta l_n.$$

l სიდიდეს აითვლიან წყლის კიდის მახლობლად მდებარე a და b (a' და b') კონტურულ წერტილებზე გამავალი სწორი ხაზიდან. ხაზი დაახლოებით ნაკადის მოძრაობის მიმართულების მართობული უნდა იყოს. ტივტივას მოძრაობის სიჩქარე გაითვლება ფორმულით $u_{აჟს} = \frac{\Delta l}{\Delta t} m$, სადაც m არის აეროფოტოგადაღების მასშტაბის მნიშვნელი; ის ფრენის H სიმაღლისა და აეროფოტოკამერის f საფოკუსო მანძილის ფარდობის ტოლია.

მაშასადამე,

$$u_{აჟს} = \frac{\Delta H}{t \Delta f}. \quad (31)$$

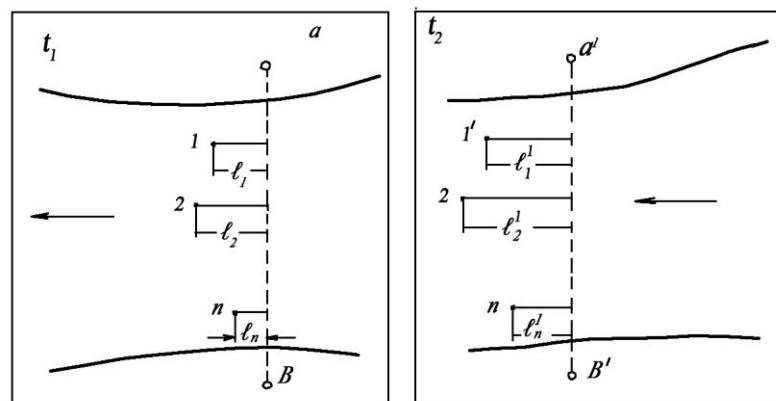
H სიმაღლეს ზომავენ რადიოსიმაღლის საზომით; ცდომილება 2–3 მ–ს არ აღემატება. Δt დროს საზღვრავენ 0,1 წმ–მდე სიზუსტით. მდინარის შესასწავლი უბნის თანამიმდევრული ფოტოგრაფირება თვითმფრინავიდან შესაძლებლობას იძლევა შესაბამისი 1 და 1', 2 და 2', ..., n და n' წერტილების გადაადგილებით ავაგოთ დინებათა გეგმა, რადგანაც აღნიშნული წერტილების გადაადგილების წირები წარმოადგენს ზედაპირული ტივტივების მოძრაობის ტრაექტორიებს.

წყლის ზედაპირის ნიშანდებისათვის გამოიყენება გემიდან გაშვებული ტივტივები, თვითმფრინავიდან ჩამოყრილი ქაღალდის თეთრი ფურცლები, ყინულსვლის პერიოდში ყინულის ნატეხები, სამანქანო ზეთის ლაქები.

აეროჰიდრომეტრიული სამუშაოების წარმოების მეთოდებმა დიდი განვითარება ჰპოვეს სახელმწიფო ჰიდროლოგიურ ინსტიტუტში ვ. ურივაევის ხელმძღვანელობით. ტივტივების აეროფოტოგადაღებისას ნეგატიურ მასალად გამოიყენება იზოორთოქრომატული ფოტოფირი. ეს ფოტოფირი მგრძნობიარეა სპექტრის მწვანე ნაწილის მიმართ, რაც ურანიის ტივტივების აეროგადაღების შესაძლებლობას იძლევა (ეს ტივტივები წყლის ზედაპირზე მწვანე ლაქების სახით მოჩანს).

სურათების დამუშავებისას Δl სიდიდე, რომელიც (31) ფორმულაში შედის, შეიძლება განისაზღვროს სტერეოსკოპული ხერხით.

აეროჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა შედეგების მიხედვით აგებენ ზედაპირულ დინებათა გეგმებს, რომლებზედაც ტრაექტორიის წერტილებს შორის მანძილები შეესაბამება Δt დროში ტივტივების მიერ განვლილ გზას. ამ მომაცემებით გამოთვლიან სიჩქარეებს ნებისმიერ კვეთში, რომლებსაც გამოსახვენ ვექტორების ან ზედაპირულ სიჩქარეთა ეპიურების სახით (ნახ. 35).

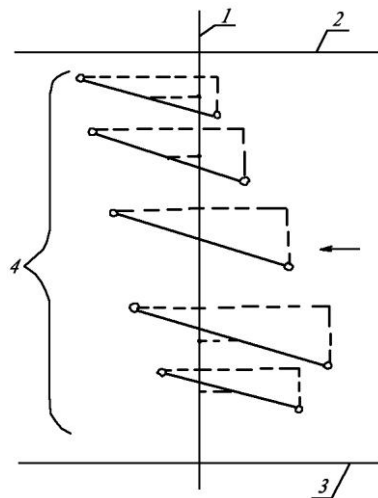


ნახ. 35. აეროფოტოგადაღებით სიჩქარეებისა და დინების მიმართულების განსაზღვრის სქემა

36-ე ნახაზზე სქემატურად ნაჩვენებია ტივტივების ტრაექტორიების გეგმილები კვეთის მართობულ მიმართულებებზე. აქვეა ნაჩვენები ვექტორების შუალედური წერტილების გეგმილები კვეთის წირზე, წერტილები განსაზღვრავენ დინების ზედაპირული სიჩქარეების სიჩქარითი ვერტიკალების მდებარეობას.

სახელმწიფო ჰიდროლოგიური ინსტიტუტის აეროჰიდრომეტრიული სამუშაოების მეთოდულ კამპანიაში გათვალისწინებულია გაზომილი სიჩქარეების შესწორება ქარის მოქმედებით გამოწვეული უზუსტობის გამო.

ლაბორატორიულ პირობებში ტრაექტორიების მდებარეობას და ზედაპირულ სიჩქარეებს საზღვრავენ მოძრავი ტივტივების მრავალჯერადი ვერტიკალური ფოტოგრაფირებით. ფოტოაპარატს ათავსებენ ჰიდრავლიკური ღარის ზემოთ; აპარატის საკეტი იღება და იკეტება ავტომატურად. ფოტოგრაფირება შეიძლება ნაკადის დაბნელებით ან დაუბნელებლად. პირველ შემთხვევაში იყენებენ მაშუქ ტივტივებს და აპარატის საკეტი იკეტება მხოლოდ დროის მოკლე შუალედში (წამის მეათედი ან მეასედი ნაწილი); სურათზე მიიღება ტრაექტორიები შტრიხების სახით. შტრიხის სიგრძე დამოკიდებულია სითხის მოძრაობის სიჩქარეზე და ექსპოზიციაზე. მეორე შემთხვევაში მოითხოვება ნაკადის დამატებითი განათება (დაახლოებით 1000 ვტ 1 მ²-ზე). აქ შეიძლება გამოვიყენოთ სხვადასხვა ფორმის ქაღალდის ტივტივები. აპარატის საკეტი იღება ერთი ან რამდენიმე წამის შემდეგ 0,01 წმ-მდე ექსპოზიციით. სურათზე მიღებულ წერტილებზე ატარებენ მოძრაობის ტრაექტორიებს, ხოლო შემდეგ გამოთვლიან $u_{\text{შეფ}}$ სიჩქარეს.



ნახ. 36. სიჩქარითი ვერტიკალების მდებარეობის განსაზღვრის სქემა აეროფოტოგადაღების საშუალებით ზედაპირული სიჩქარეების გაზომვისას:

1 – ნაკადის საერთო მიმართულებების პერპენდიკულარული კვეთი; 2 – მარჯვენა ნაპირი; 3 – მარცხენა ნაპირი; 4 – ტივტივების, მათი მოძრაობის ტრაექტორიებისა და სიჩქარითი ვერტიკალების მდებარეობა

ს ი ლ რ მ ი თ ი ტ ი ვ ტ ი ვ ა. სილრმითი ტივტივა შედგება ერთმანეთთან წვრილი ძაფით დაკავშირებული ზედა (ზედაპირული) და h სილრმეზე ჩაძირული ქვედა (თვით სილრმითი) ტივტივებისაგან. ზედა ტივტივა ასრულებს მიმართულების მაჩვენებლის როლს; ამავე დროს, მას უნდა ჰქონდეს ცურვადობის საკმარისი მარაგი, რათა h სილრმეზე დააკავოს ქვედა ტივტივა. ეს უკანასკნელი რამდენადმე მძიმე უნდა იყოს წყალზე. ორივე ტივტივა ნაკადში თავსდება ისე, როგორც ეს 37-ე ნახაზზეა ნაჩვენები. ტივტივების ასეთი განლაგება განპირობებულია u ადგილობრივი სიჩქარის შემცირებით ნაკადის ზედაპირიდან ფსკერისაკენ. ამ დროს დაცულია უტოლობები:

$$u_{ზედ} > u_{ტ} \text{ და } u_h < u_{ტ},$$

სადაც $u_{ზედ}$ არის წყლის დინების ზედაპირული სიჩქარე;

u_h – სითხის დინების სიჩქარე h სილრმეზე;

$u_{ტ}$ – ტივტივათა სისტემის მოძრაობის სიჩქარე. ზედა და ქვედა ტივტივებზე მოქმედი $P_{ზედ}$ და P_h ძალების შესაბამისად ტოლია:

$$P_{ზედ} = \xi_1 F_1 \frac{\gamma}{2g} (u_{ზედ} - u_{ტ})^2; \quad (32)$$

$$P_h = \xi_2 F_2 \frac{\gamma}{2g} (u_{ტ} - u_h)^2, \quad (33)$$

სადაც ξ_1 არის ზედა ტივტივას წინაღობის კოეფიციენტი;

ξ_2 – ქვედა ტივტივას წინაღობის კოეფიციენტი;

F_1 – ზედა ტივტივას წყალქვეშა მიდელური კვეთის ფართობი;

F_2 – ქვედა ტივტივას მიდელური კვეთის ფართობი.

მიდელის კვეთი წარმოადგენს სხეულის გეგმილს სითხის მოძრაობის მიმართულების პერპენდიკულარულ სიბრტყეზე.

ძალების გეგმილების ჯამი მოძრაობის მიმართულებაზე $P_{ზედ} - P_h = 0$, ამიტომ

$$\xi_1 F_1 (u_{ზედ} - u_{ტ})^2 = \xi_2 F_2 (u_{ტ} - u_h)^2;$$

აქედან, საძიებელი u_h სიჩქარე ტოლია:

$$u_h = u_{ტ} - (u_{ზედ} - u_{ტ}) \sqrt{\frac{\xi_1 F_1}{\xi_2 F_2}}. \quad (34)$$

თუ $\xi_1 \ll \xi_2$ ან $F_1 \ll F_2$, მაშინ $u_h \approx u_{ტ}$, ე. ი. გაზომილი სიჩქარე $u_{ტ}$ შეიძლება მივიჩნიოთ სიჩქარედ h სილრმეზე. ჩვეულებრივად, ასეთ შემთხვევაში ზედა

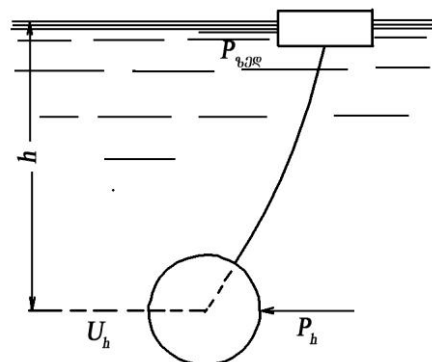
ტივტივა ზომებით 4–5-ჯერ ნაკლებია ქვედა ტივტივაზე. ზედა ტივტივასათვის გამოიყენება საცობი, ხოლო ქვედა ტივტივასათვის–ოლიფაში გამოხარშული ხის ბურთულა. როდესაც $\xi_1 = \xi_2$ და $F_1 = F_2$ (ე. ი. როდესაც ზედა და ქვედა ტივტივების ფორმა და ზომები ერთნაირია), (34) განტოლება მიიღებს ასეთ სახეს:

$$u_h = 2u_{\text{ტ}} - u_{\text{ზედ}} \quad (35)$$

აქედან ჩანს, რომ u_h სიჩქარის გასაზომად ჯერ უნდა გავუშვათ ორმაგი ტივტივა და განვსაზღვროთ $u_{\text{ტ}}$, ხოლო შემდეგ ცალკე–ზედაპირული ტივტივა ისეთივე ჩადირვის სიღრმით, რაც ორმაგ ტივტივას ჰქონდა. გაზომილი $u_{\text{ტ}}$ და $u_{\text{ზედ}}$ სიდიდეების მიხედვით გამოთვლიან u_h სიჩქარეს.

ქვედა ტივტივას ჩადირვის სიღრმის რეგულირება ხდება დამაკავშირებელი ძაფის საშუალებით, რომელიც ზედა ტივტივაზე დამაგრებულია სამაგრთან.

ზედაპირული და სიღრმითი ტივტივებით წყლის დინების სიჩქარეთა გაზომვის მეთოდები შეიძლება ერთნაირი იყოს. მაგრამ, რადგანაც სიღრმითი ტივტივები, ჩვეულებრივად, გამოიყენება წყლის დინების მცირე სიჩქარეების გასაზომად ($u < 0,15$ მ/წმ), ამიტომ მანძილი კვეთებს შორის შეადგენს 2–4 მ–ს. კვეთები შეიძლება აღვნიშნოთ სამი ჰორიზონტალური ლარტყით, რომელთა ერთი ბოლო დამაგრებული იქნება გაჩერებულ გემზე. ლარტყებს აყენებენ წყლის დინების მიმართულების პერპენდიკულარულად. ტივტივას უშვებენ ლატანის შემწეობით ზემო კვეთიდან 0,25–0,50 მ მანძილზე ისე, რომ მან გაიაროს გემის ბორტიდან არა უახლოეს 1 მ–ზე.



ნახ. 37. სიღრმითი ტივტივა

შეწონილი ტივტივა–ინტეგრატორი. ტივტივა–ინტეგრატორის საშუალებით ზომავენ საშუალო სიჩქარეს ვერტიკალზე (u_3). თუ ნაკადის ფსკერზე მოვათავსებთ წყალზე ნაკლები ხვედრითი წონის მქონე სხეულს (ნახ. 38), მაშინ

მისი გადაადგილება ნაკადის მიმართულებით ამოტივტივების პროცესში წყლის დინების სიჩქარის პროპორციული იქნება. dt დროში ტივტივა-ინტეგრატორი ვერტიკალური მიმართულებით გადაადგილდება $dh = wdt$ მანძილზე, ხოლო ჰორიზონტალური მიმართულებით – $dl = udt$ მანძილზე, სადაც w არის სხეულის ამოტივტივების სიჩქარე; u – ნაკადის ადგილობრივი სიჩქარე. როდესაც ტივტივა-ინტეგრატორი წყლის ზედაპირს მიაღწევს, ის საწყისი ვერტიკალიდან l მანძილზე აღმოჩნდება:

$$l = \int_0^t u dt = \int_0^h \frac{u}{w} dh.$$

თუ w სიჩქარეს მუდმივად ჩავთვლით, მივიღებთ:

$$l = \frac{1}{w} \int_0^h u dh. \quad (36)$$

(23) ფორმულის თანახმად გვაქვს:

$$\int_0^h u dh = hu_3.$$

თუ (36) გამოსახულებაში ინტეგრალს შევცვლით $h \cdot u_3$ ნამრავლით, ვიპოვით u_3 სიჩქარეს:

$$u_3 = \frac{lw}{h}. \quad (37)$$

მაშასადამე, u_3 სიჩქარის განსაზღვრისათვის, როცა w ცნობილია, საჭიროა გავზომოთ l და h .

w სიჩქარეს ადგენენ ტივტივა-ინტეგრატორის ტარირებით დამდგარ წყალში, თუმცა, უნდა აღინიშნოს, რომ ამ სიჩქარის მნიშვნელობები დამდგარი წყლისათვის და ნაკადისათვის რამდენადმე განსხვავებულია. იმის გათვალისწინებით, რომ $w = \frac{h}{t}$, (37) გამოსახულება შეიძლება ასეთი სახით ჩავწეროთ

$$u_3 = \frac{l}{t}. \quad (38)$$

აქედან ჩანს, რომ u_3 სიჩქარე შეიძლება განისაზღვროს სხვა გზითაც, კერძოდ l და t –ს გაზომვის გზით.

ტივტივა-ინტეგრატორი უფრო ხშირად გამოიყენება წყლის დინების მცირე სიჩქარეების გასაზომად ($u < 0,2$ მ/წმ).

ტივტივა-ინტეგრატორის გასაშვებად და l მანძილის გასაზომად შეიძლება ვისარგებლოთ მოწყობილობით, რომელიც შედგება ჰორიზონტალური მცურავი დანაყოფებიანი ლარტყისა და ვერტიკალური ლარტყისაგან. ვერტიკალური

ლარტყის ბოლოზე მიმაგრებულია ბუდე, რომელშიაც თავსდება 30–35 მმ დიამეტრის ტივტივა–ინტეგრატორი. ვერტიკალური ლარტყა ამახინჯებს სიჩქარეთა პროფილს, ამიტომ უკეთესია ლარტყა წვრილი გვარლით შეიცვალოს.

ტივტივა–ინტეგრატორების ერთდროულად გაშვებისას მთელ ცოცხალ კვეთში შეიძლება განისაზღვროს ნაკადის v საშუალო სიჩქარე. რადგანაც $u_3 h = q$, ამიტომ (37) გამოსახულება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$q = wl.$$

თუ ვერტიკალზე ხარჯის q მნიშვნელობიდან ნაკადის Q ხარჯზე გადავალთ, გვექნება:

$$Q = \int_0^B q db = w \int_0^B l db. \quad (39)$$

ამ გამოსახულების მარჯვენა ნაწილის ინტეგრალი წარმოადგენს წყალსადინარის B სიგანითა და ტივტივა–ინტეგრატორების წყლის ზედაპირზე ამოსვლის წერტილების შემაერთებელი მრუდით შემოსაზღვრულ F ფართობს. v სიჩქარის გამოსათვლელ ფორმულას მივიღებთ (39) გამოსახულებიდან:

$$v = w \frac{F}{\omega}, \quad (40)$$

სადაც ω არის ცოცხალი კვეთის ფართობი.

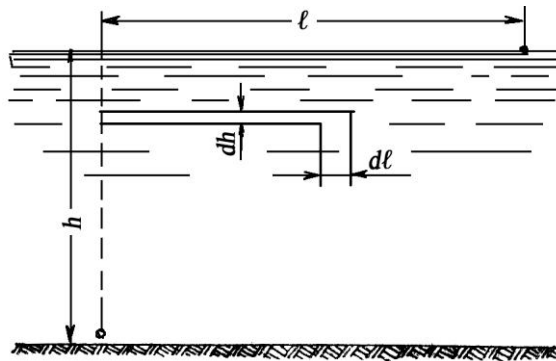
პატარა მდინარეებსა და არხებზე ვ. ვიდის წინადადებით ფართობს საზღვრავენ ამოტივტივებული ჰაერის ბუშტულების ფოტოგრაფირებით. ბუშტულები გამოდის წყალსადინარის ფსკერზე მოთავსებული პერფორირებული შლანგიდან. ჰაერი შლანგში მიეწოდება ნაპირიდან. ფოტოგადიდეების ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს საზღვრავენ ადგილზე პოლიგონის სამკუთხედებად დაყოფის გზით. სამკუთხედის ფართობის ფარდობა შესაბამის ფართობთან ფოტოსურათზე წარმოადგენს ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს; ნათელია, რომ $F = cf$, სადაც f არის $l(b)$ ეპიურის ფართობი სურათზე.

ნაკადის ტურბულენტობის გამო ჰაერის ბუშტულები წყლის ზედაპირზე წარმოქმნის არა წერტილებს, არამედ არეებს; ამიტომ l ეპიურას აგებენ ამ არეების შუაში განლაგებული წერტილების მიხედვით.

რუსეთის (ყოფილი საკავშირო) სატრანსპორტო მშენებლობის სამეცნიერო–კვლევით ინსტიტუტში დამუშავებულია დიდ მდინარეებზე ტივტივა–ინტეგრატორების შვეულმფრენიდან ან თვითმფრინავიდან ჩამოყრის გზით

სიჩქარეთა გაზომვის სამუშაოების წარმოების მეთოდოლოგია. F ფართობს საზღვრავენ აეროფოტოსურათების მიხედვით, რომელთა გადაღებაც ხდება თხევადი ტივტივა-ინტეგრატორების გაშვების შემდეგ (თხევადი ტივტივა-ინტეგრატორი წარმოადგენს საავიაციო ზეთისა და ნავთის ნარევის პროპორციით 1:1). ტივტივების გასაშვებად იყენებენ 0,75 ლ ტევადობის ბოთლს პლასტმასის ხვრეტებიანი საცობით. ფსკერზე ბოთლის დავარდნის შემდეგ ინდიკატორი თანდათან გამოედინება ხვრეტებიდან, ადის წყლის ზედაპირზე და აფიქსირებს l სიდიდეს.

ზეთის წვეთები წყლის ზედაპირზე წარმოქმნის ლაქას, რომელიც დინების გავლენით იჭიმება გრძელ ვიწრო ზოლად. ასეთ შემთხვევაში l ეპიურა უნდა აიგოს ზეთის ზოლების დასაწყისის მიხედვით.



ნახ. 38. შეწონილი ტივტივა- ინტეგრატორი

ჰიდრომეტრიული ტრიალა. ჰიდრომეტრიულ ტრიალაში სიჩქარის გადამწოდის როლს ასრულებს მუშა თვალი (როტორი). რაც მეტია სიბრტყის დინების u სიჩქარე, მით სწრაფად ბრუნავს როტორი. მაშასადამე, $n = n(u)$, სადაც n არის როტორის ბრუნთა რიცხვი დროის ერთეულში. თუმცა n წარმოადგენს u -ს ფუნქციას, მაგრამ მათ შორის კავშირს პირობითად წერენ $u = u(n)$ ფორმით, რადგანაც ასეთი ჩაწერა პრაქტიკული თვალსაზრისით უფრო მოხერხებულია. თუ გვეცოდინება n -ის და u -ს დამოკიდებულება, მაშინ საანგარიშო-კონტაქტური მექანიზმის შემწეობით განვსაზღვრავთ N ბრუნთა რიცხვს t დროში, რაც საშუალებას მოგვცემს $n = \frac{N}{t}$ სიდიდის მიხედვით გამოვთვალოთ u .

ჰიდრომეტრიული ტრიალა გამოიყენება წყლის დინების u ადგილობრივი სიჩქარის გასაზომად იმ შემთხვევაში, როდესაც მისი როტორის ზომები მნიშვნელოვნად ნაკლებია ნაკადის განივი კვეთის ზომებზე. თუ მუშა თვლის დიამეტრი მცირედით განსხვავდება მრგვალი სადაწნეო მილის შიგა

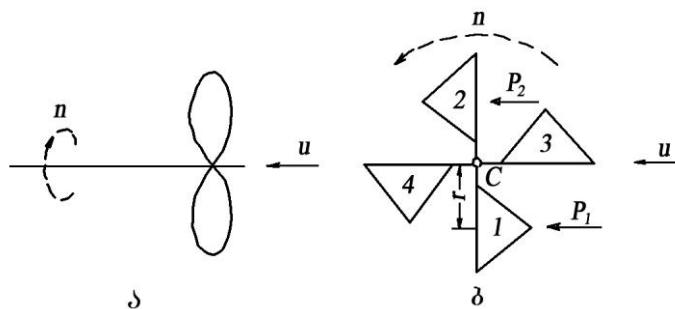
დიამეტრისაგან, მაშინ n ბრუნთა რიცხვი დამოკიდებულია ნაკადის v საშუალო სიჩქარეზე, ე. ი. $n = n(v)$. მოცემული ცოცხალი კვეთისათვის $n = n(Q)$, რადგანაც $Q = \omega v$; ამიტომ ჰიდრომეტრიული ტრიალა გარკვეულ პირობებში ხარჯსაზომს წარმოადგენს.

ტრიალას გააჩნია მთელი რიგი ღირსებებისა, რომელთაგან უმნიშვნელოვანესია u სიჩქარეების ან Q ხარჯების უწყვეტი ავტომატური გაზომვის შესაძლებლობა.

ტრიალას კონსტრუქცია მრავალგვარია, რაც მათი გამოყენების სხვადასხვა პირობებით აიხსნება. ტრიალას ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტებია—მუშა თვალი ბრუნვის ღერძით, კორპუსი, საანგარიშო—კონტაქტური მექანიზმი, კუდის ფრთაშესხმულობა.

ზოგადი წარმოდგენა ტრიალას ტიპებზე შეიძლება მივიღოთ ნ. ბოჩკოვის კლასიფიკაციის საშალებით. ძირითადი საკლასიფიკაციო ნიშნებია: როტორის ფორმა და მისი ღერძის მდებარეობა ნაკადში; ტრიალას ნაკადში მოთავსების ხერხი, რასაც კავშირი აქვს ჰიდრომეტრიული ტრიალებით გაზომვათა წარმოების მეთოდუკასთან. როტორის ღერძის მდებარეობა განაპირობებს მის ფორმასაც.

ნაკადში როტორის ღერძის მდებარეობის მიხედვით განასხვავებენ ტრიალას ჰორიზონტალური (ნახ. 39, ა) და ვერტიკალური (ნახ. 39, ბ) ბრუნვის ღერძებით.

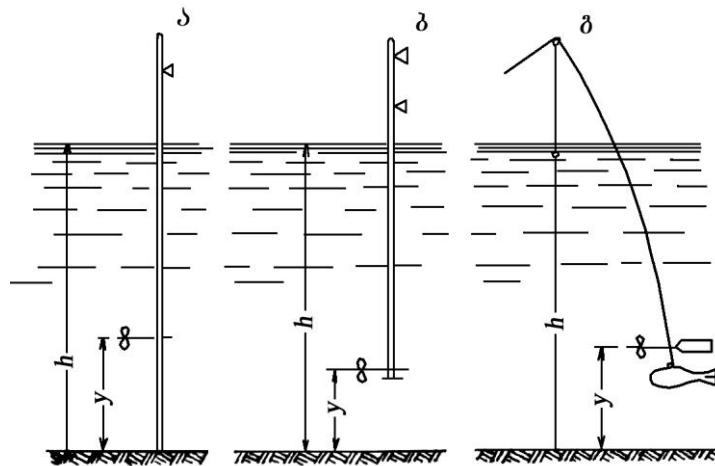


ნახ. 39. ტრიალას კონსტრუქციის სქემა: ა – ბრუნვის ჰორიზონტალური ღერძით, ბ – ბრუნვის ვერტიკალური ღერძით

ჰორიზონტალურღერძიანი როტორი წარმოადგენს ფრთებიან ხრახნს ორი ან რამდენიმე ფრთით. ძალა, რომლითაც ნაკადი მოქმედებს ხრახნის ზედაპირზე, შეიძლება დაიშალოს ფრთის მართობულ და მხებ მდგენელებად. პირველი მდგენელი იწვევს სწორედ ფრთებიანი (ლაპოტიანი) ხრახნის ბრუნვას.

ვერტიკალურდერმიან ტრიალას გააჩნია ჯამური ან სხვა ტიპის როტორი, რომელიც შედგება კონუსური ან სფერული ჯამებისაგან, ან კიდევ ვერტიკალურად განლაგებული ფრთებისაგან. ბრუნვის ვერტიკალური ღერძი გეგმილდება C წერტილში. ჯამური როტორის ბრუნვა განპირობებულია 1 და 2 (შესაბამისად, 3 და 4) ჯამების წინააღობის ξ კოეფიციენტების სხვადასხვაობით. ჯამებს, რომლებიც თავიანთი შიგა ზედაპირით მიმართულია ნაკადის შემხვედრად, აქვთ წინააღობის უფრო დიდი კოეფიციენტი, ვიდრე იმ ჯამებს, რომლებიც ნაკადისადმი მიმართულია გარე ზედაპირით.

ნაკადში მოთავსების მიხედვით განასხვავებენ შტანგიან (ნახ. 40, ა, ბ), გვარლიან (ნახ. 40,ბ) და უნივერსალურ (რომელიც გამოსადეგია როგორც შტანგით, ისე გვარლით მუშაობისას) ტრიალებს. შტანგიანი ტრიალა შეიძლება დამაგრდეს როგორც საბრჯენ, ისე დაკიდებულ შტანგაზე (ნახ. 40,ბ). გვარლის გადახრის კუთხის შესამცირებლად ტივტივას ქვეშ კიდებენ კარგი გარსდენის მქონე ტვირთს. შტანგიანი ტრიალას ღერძი ნაკადის განივი კვეთის მართობული უნდა იყოს. გვარლიანი ტრიალა კუდის ფრთაშესხმულობით თავსდება ჭავლის მიმართულებით, ამიტომ თუ ჭავლი იხრება ნაკადის განივი კვეთის ნორმალიდან, საჭიროა გაიზომოს დინების მიმართულება.



ნახ. 40. ნაკადში ტივტივას მოთავსების ხერხები: ა – საბრჯენ შტანგაზე; ბ – დაკიდებულ შტანგაზე; გ – გვარლზე

როტორის ბრუნვა რიცხვის რეგისტრაციის ხერხის მიხედვით განასხვავებენ ტრიალას მექანიკური, ელექტრული, ელექტრომაგნიტური და ფოტოელექტრული სიგნალიზაციით. როტორის ღერძისათვის საყრდენებისა და საკისრების

მოწყობილობის მიხედვით განასხვავებენ ტრიალას, რომლის ღერძიც ეყრდნობა წვეტებიან საყრდენს, და ტრიალას, რომლის ღერძიც ეყრდნობა ბურთულებიან საკისრებს.

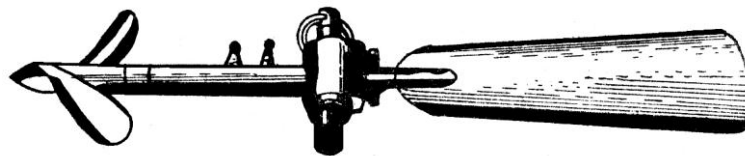
როტორის ტექნიკური შესაძლებლობის მიხედვით—გაზომოს სიჩქარის გეგმილი მისი ღერძის მიმართულებაზე—განასხვავებენ კომპონენტურ და არაკომპონენტურ ტრიალას.

მცირე განივი ზომების ნაკადის სიჩქარეთა გასაზომად გამოიყენება ტრიალა, რომელსაც მიკროტრიალა ეწოდება; მათი როტორის დიამეტრი სულ რამდენიმე მილიმეტრია. სითხის დინების მცირე სიჩქარეების გაზომვისას უფრო ზუსტი ჩვენებების მისაღებად შექმნილია ტრიალა შიგა მექანიზმში ხახუნის ძალების კომპენსაციით. არის ისეთი ტრიალაც, რომელიც სითხის დინების სიჩქარის სიდიდისა და მიმართულების ერთდროულად გაზომვის საშუალებას იძლევა.

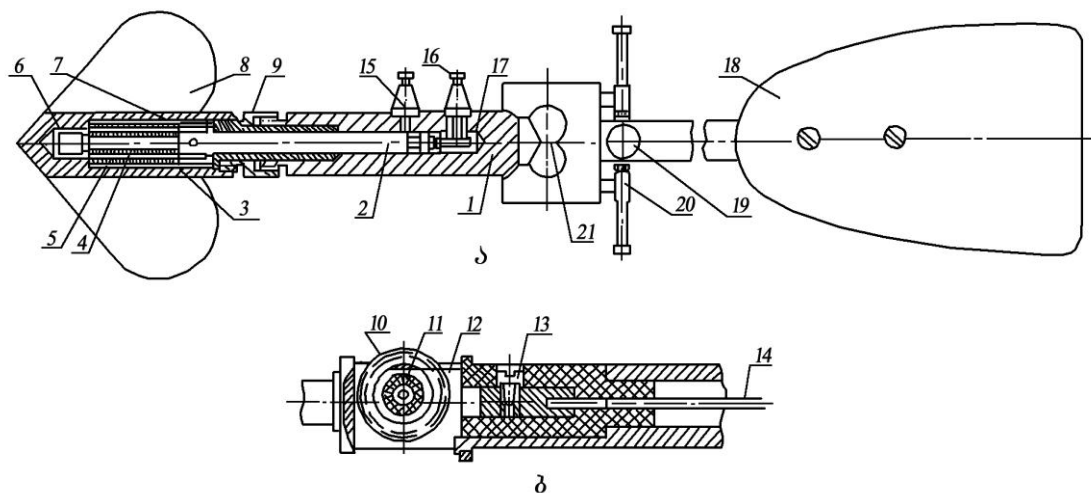
ნ. ჟ ე ს ტ ო ვ ს კ ი ს ტ რ ი ა ლ ა. ამ ტიპის ტრიალა ყველაზე უფრო გავრცელებულია. მე-41 ნახაზზე ნაჩვენებია Ж-3 ტრიალას საერთო ხედი, ხოლო 42-ე ნახაზზე—ნ. ჟესტოვსკის მოდერნიზებული ტრიალას ГР-21-ის სქემა. კორპუსის - 1 ცილინდრულ ღრუში მოთავსებულია ტრიალას მუშა ნაწილი, რომელიც დამაგრებულია კორპუსის გვერდით მდებარე საჩერებელი ხრახნით. მუშა ნაწილი შედგება ღერძისაგან - 2 (საკონტაქტო მექანიზმთან ერთად), ორი რადიალურ-საბრჯენი ბურთულებიანი საკისრისაგან - 3, შიგასაბრჯენი მილისაგან - 4, გარე საბრჯენი მილაკისაგან - 5, ღერძული ქანჩისაგან - 6, ღერძზე საკისრის სამაგრი ჰილზისაგან ჭია მილისათი - 7, ფრთებიანი ხრახნისა - 8 (*N1* ან *N2*) და მომჭერი ქუროსაგან - 9. საკონტაქტო მექანიზმი შედგება ჭია კბილანასაგან 10 ოცი კბილაკით, საკონტაქტო შტიფტისაგან - 11, საკონტაქტო ზამბარისაგან - 12, საკონტაქტო ხრახნისა - 13 (საკონტაქტო ზამბარის დასამაგრებლად) და დენგამტარი ღეროსაგან - 14, რომელიც იზოლირებულია მასისაგან და საკონტაქტო ზამბარას აერთებს შტეფსელის ბუდესთან - 17.

ელექტრული სასიგნალო ქსელის ერთი ჩართვა შეესაბამება ფრთებიანი ხრახნის - 20 ბრუნს. ელექტრული დენი ორი გალვანური ელემენტისაგან შემდგარი ბატარეის უარყოფითი პოლუსიდან მიდის საფუთავი ყუთის პანელზე მოთავსებულ მინუსნიშნიან მომჭერთან (კლემასთან), შემდეგ გამტარით—

იზოლირებულ მომჭერთან - 16, ხოლო იქიდან შტეფსელის - 17 ბუდესთან; ამის შემდეგ ღეროთი - 14 და საკონტაქტო ზამბარით - 12 დენი მიიყვანება საკონტაქტო შტიფტთან - 11, ჭია კბილანასთან - 10, ღერძის მასასთან - 2, კორპუსის მასასთან - 1 და ბოლოს მასურ მომჭერთან - 15. აქედან მეორე გამტარით დენი მიდის პანელის პლუსნიშნიან მომჭერთან, ხოლო შემდეგ-ელექტრული ზარის ან ვარვარების ნათურის გავლით-ბატარეის დადებით პოლუსთან. ელექტრული ქსელის კვება ხორციელდება 1,5 ვ ძაბვის მქონე ორი გალვანური ელემენტის საშუალებით. კუდის ფრთაშესხმულობა - 18 მაგრდება ხრახნით - 19. შტანგურ მილისას აქვს ფიგურული ხვრეტი მაჩვენებლით - 21, რომლის შემწეობითაც ხდება ტრიალას მდებარეობის ფიქსაცია შტანგზე. ეს უკანასკნელი მაგრდება ხრახნებით - 20. ტრიალა აღჭურვილია ზედაპირის მრუდწირულმსახველიანი ორი ფრთიანი ხრახნით. საწყისი სიჩქარე $u_0 = 0,04$ მ/წმ. ფრთიანი ხრახნი **N1 120** მმ დიამეტრით და 215 მმ გეომეტრიული ბიჯით გამოიყენება 0,1-დან 2 მ/წმ-მდე სიჩქარეების გასაზომად. გაზომვის სიზუსტე შეადგენს $\pm 2\%$ -ს. როცა $u < 0,1$ მ/წმ, მაშინ გაზომვის სიზუსტე მცირდება და როცა $u = 2u_0$, გაზომვის სიზუსტემ შეიძლება მიაღწიოს $\pm 10\%$ -ს. ფრთიანი ხრახნი **N2 120**მმ დიამეტრით და 500 მმ გეომეტრიული ბიჯით გამოიყენება 2-დან 5 მ/წმ-მდე სიჩქარეების გასაზომად. გაზომვის ცდომილება შეადგენს $\pm 2\%$ -ს. საფუთავი ყუთის გაბარიტებია **390 × 210 × 165** მმ. მუშაობის დამთავრების შემდეგ ტრიალა უნდა გაშრეს, გაირეცხოს ნავთით და გაიწმინდოს ზეთში დასველებული ჩვრით.



ნახ. 41. ნ. ჟესტოვსკის ჰიდრომეტრიული ტრიალა (Ж-3)

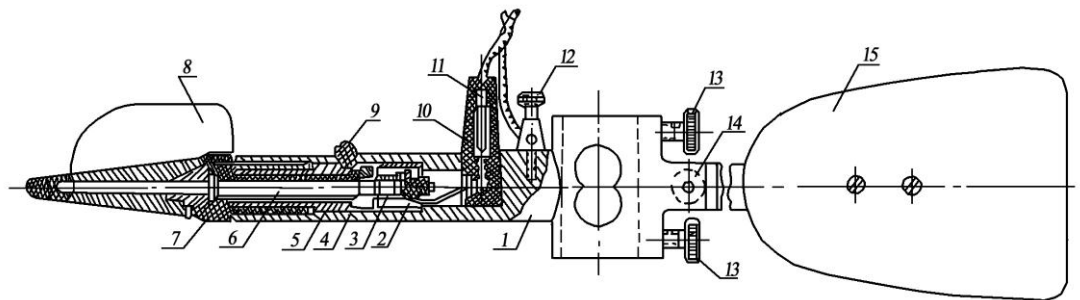


ნახ. 42. ნ. ჟესტოვსკის მოდერნიზებული ჰიდრომეტრიული ტრიალა-ГР-21: 1 – კორპუსი; 2 – ღერძი; 3 – საკისარები; 4 – შიგა საბრჯენი მილისი; 5 – გარე საბრჯენი მილაკი; 6 – ღერძული ქანჩი; 7 – ჭიახრახნიანი მილისი; 8 – ფრთებიანი ხრახნი; 9 – მომჭერი ქურო; 10 – ჭიახრახნიანი კბილანა; 11 – საკონტაქტო წკირი; 12 – საკონტაქტო ზამბარა; 13 – საკონტაქტო ხრახნი; 14 – დენგამტარი ღერო; 15 – მასითი მომჭერი; 16 – იზოლირებული მომჭერი; 17 – შტეფსელის ბუდე; 18 – კუდის ფრთაშესხმულობა; 19 – ხრახნი; 20 – მომჭერი ხრახნები; 21 – მაჩვენებელი

ტრიალას მუშა ნაწილს ინახავენ ტრანსფორმატორის ზეთში.

ვ. ბ უ რ ც ე ვ ი ს ГР-11 ტ ი პ ი ს ტ რ ი ა ლ ა. 1 - კორპუსის წინა ცილინდრულ ღრუში (ნახ. 43) მოთავსებულია ზეთით შევსებული მუშა ნაწილი საკონტაქტო მექანიზმით - 2. მუშა ნაწილი მაგრდება ხრახნით - 9. კორპუსის ზურგის ნაწილში გაკეთებულია ფიგურული ხვრეტი შტანგისათვის. ამ უკანასკნელს ამაგრებენ ხრახნებით - 13. **N1** ხრახნის გეომეტრიული ბიჯი შეადგენს 110 მმ-ს, ხოლო **N2**-ის - 200 მმ-ს. ტრიალას ღერძი - 6 მასზე დამაგრებული სამფრთიანი ხრახნით 8 და ექსცენტრიკით 3 ბრუნავს ორ 4 და 7 რადიალურ ბურთულეებიან საკისრებში. ფრთებიანი ხრახნის ყოველი შემობრუნებისას ექსცენტრიკის შვერილი აწვება საკონტაქტო ფირფიტას და რთავს კონტაქტებს. საკონტაქტო მოწყობილობა თავმოყრილია კორპუსში მოთავსებულ დამოუკიდებელ კვანძში. მომჭერი - 11, შტეფსელის ბუდე - 10, საკონტაქტო ფირფიტები და მასითი მომჭერი - 12 ქმნის ელექტრულ ქსელს (ჯაჭვს). კუდის ფრთაშესხმულობა - 15 შედგება ორი ფირფიტისაგან და მაგრდება კორპუსზე ხრახნით - 14. ტრიალას კომპლექტში შედის აგრეთვე საანგარიშო-იმპულსური მექანიზმი, რომელიც შედგება

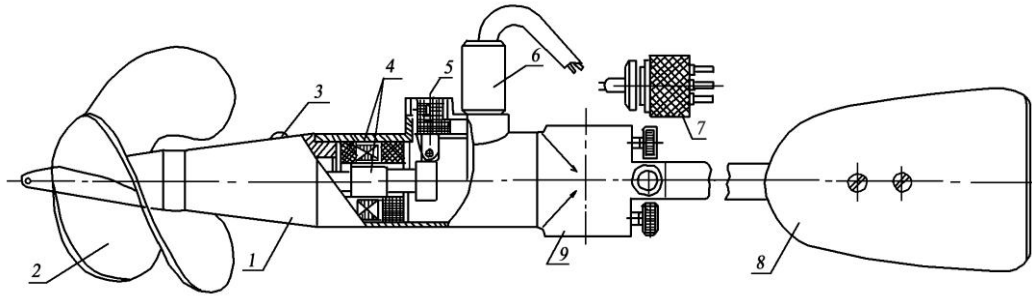
ელექტროიმპულსური მრიცხველისა და წამმზომისაგან. ეს უკანასკნელი ტრიალას სასიგნალო ქსელში ავტომატურად რთავს ელექტროიმპულსურ მრიცხველს 100 წმ-ზე. მრიცხველი აჯამებს საკონტაქტო მექანიზმის მიერ გაგზავნილ ელექტრულ იმპულსებს. მისი საიმედოდ მუშაობისათვის მიმდევრობით შეერთებული ბატარეების საერთო ძაბვა უნდა იყოს დაახლოებით 25 ვ. ამ ტრიალას მთავარი ღირსება იმაში მდგომარეობს, რომ ის იძლევა სიჩქარის გეგმილის (ტრიალას ღერძზე) გაზომვის საშუალებას ღერძის 40° -მდე გადახრის შემთხვევაში, ე. ი. წარმოადგენს კომპონენტურ ტრიალას. გაზომვის სიზუსტე შეადგენს $\pm 3\%$ -ს. რადგანაც ხელსაწყოს ექსპოზიციის ხანგრძლივობა 100 წმ მოცემულია, ამიტომ $n = 0,01.N$. საწყისი სიჩქარე $u_0 = 0,06$ მ/წმ. ტრიალას მუშა ნაწილს ინახავენ ტრანსფორმატორის ზეთში. საფუთავი ყუთის გაზარიტებია $460 \times 160 \times 180$ მმ.



ნახ. 43. პ. ბურცევის ჰიდრომეტრიული ტრიალა ГР-11:

1 – კორპუსი; 2 – საკონტაქტო მექანიზმი; 3 – ექსცენტრიკი; 4 – საკისარი; 5 – მილისი; 6 – ტრიალას ღერძი; 7 – საკისარი; 8 – ფრთებიანი ხრახნი; 9 – ხრახნი; 10 – შტეფსელის ბუდე; 11 – მომჭერი; 12 – მასიტი მომჭერი; 13 – ხრახნები; 14 – ხრახნი; 15 – კუდის ფრთაშესხმულობა

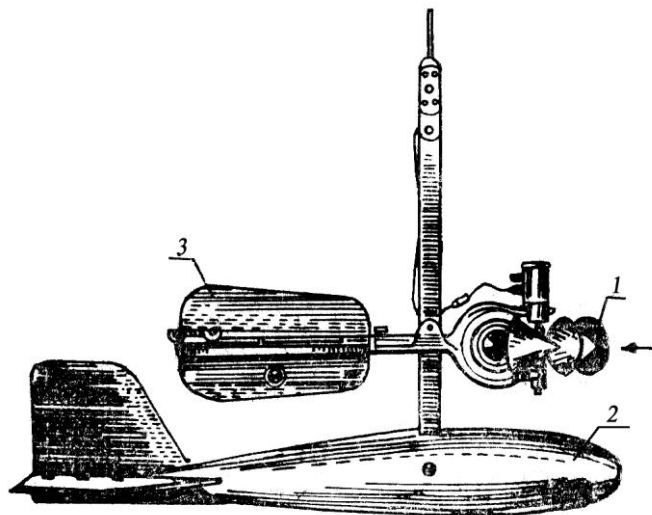
პ. ბურცევის ББ-57 ტიპის ტრიალა. ჰიდრომეტრიული ტრიალების მუშაობა $u < 0,25$ მ/წმ სიჩქარეების შემთხვევაში არასაკმარისად სტაბილური და ზუსტია, რაც გამოწვეულია მექანიზმში ხახუნის არსებობით. პ. ბურცევის ტრიალაში გათვალისწინებულია მოწყობილობა, რომელიც კომპენსაციას უკეთებს ხახუნს იმით, რომ მუშა თვალი ღებულობს დამატებით მბრუნავ მომენტს.



ნახ. 44. პ. ბურცევის ჰიდრომეტრიული ტრიალა BF-57:

1 – კორპუსი, 2 – სავალი ნაწილი; 3 – სამაგრი ხრახნი; 4 – საკომპენსაციო მოწყობილობა; 5 – საკონტაქტო ჯგუფი; 6,7 – შემაერთებული გასართები; 8 – კუდის ფრთაშესხმულობა; 9 – ხვრეტი შტანგისათვის

ტრიალა შედგება კორპუსისაგან - 1 (ნახ. 44), ხელსაწყოს მუშა ნაწილისაგან - 2, კომპენსაციური მოწყობილობისაგან - 4, საკონტაქტო ჯგუფისა - 5 და კუდის ფრთაშესხმულობისაგან - 8. მუშა ნაწილის კორპუსისაგან განსაცალკევებლად წინასწარ უშვებენ სამაგრ ხრახნს - 3. შტანგი იდგმება ხვრეტში - 9. ტრიალას მიერთება გენერატორთან ხდება კაბელით შემაერთებული ჩანგლების (6 და 7) საშუალებით.



ნახ. 45. პრაისის ჰიდრომეტრიული ტრიალა: 1 – ჯამისებური როტორი; 2 – ტვირთი; 3 – კუდის ფრთაშესხმულობა

ტრიალას კორპუსის წაგრძელებულ ნაწილში არის სიღრუე, რომელშიც მოთავსებულია ტრიალას მუშა ნაწილი; ფრთებიანი ხრახნი, ჭიახრახნი და მუშა ნაწილის ღუზა ღერძის მიმართ უძრავია. მოძრავი ნაკადის ზემოქმედებით ფრთებიანი ხრახნის ბრუნვისას ჭიახრახნი აბრუნებს საკონტაქტო მოწყობილობის

კბილანას, რომელიც ცალკე საკანში არსებულ დამოუკიდებელ კვანძში არის მოთავსებული.

საკონტაქტო მოწყობილობა, ფრთებიანი ხრახნის 20-ჯერ შემობრუნებისას, სასიგნალო ჯაჭვში იძლევა ერთ ჩართვას. მუშა ნაწილის სათავსი დახურული ტიპისაა და ივსება ზეთით; თუმცა თბილ ამინდში ის შეიძლება სუფთა წყლითაც შეივსოს, რადგანაც მუშა ნაწილის ყველა დეტალი დამზადებულია კოროზიამდეგი ლითონისაგან (დერძი და ბურთულსაკისარები დამზადებულია უჟანგავი ფოლადისაგან). საკანის შესავსებად უმჯობესია გამოვიყენოთ გამოხდილი ან წვიმის წყალი.

საკონპენსაციო მოწყობილობა შედგება ასინქრონული ელექტროძრავისაგან, რომელიც გათვალისწინებულია წყალში მუშაობის პირობებისათვის. სტატორის ჰერმეტიზაცია ხდება ძრავის AKP-7 აკრილატით შევსებისას. ასინქრონული ძრავას კვების კვანძი შედგება აკუმულატორის ბატარეისა (12 ვ ძაბვით და 10 ამპერ-საათის ტევადობით) და მუდმივი დენის გარდამქმნელისაგან 400 ჰვ სიხშირის ცვლად დენად. გარდამქმნელი აწყობილია Π4 ნახევარგამტარიან ტრიოდებზე. ელექტროძრავას ღუზის მიერ განვითარებული მბრუნავი მომენტი ჰიდრომეტრიული ტრიალას მუშა ნაწილს გადაეცემა დამატებითი მბრუნავი მომენტის სახით, რომელიც იწვევს სწორედ მუშა ნაწილში ხახუნის კომპენსაციას.

ტრიალას სტაბილური მუშაობის უზრუნველსაყოფად საკომპენსაციო მოწყობილობამ უნდა შექმნას ისეთი დამატებითი მომენტი, რომ მუშა ნაწილმა უძრავ წყალში შეასრულოს $n_0 = 0,33 \pm 0,005$ ბრუნი წამში. პრაქტიკაში უფრო მოსახერხებელია ვისარგებლოთ არა n_0 სიდიდით, არამედ საკონტაქტო მოწყობილობის ორ სიგნალს შორის დროის ინტევალით, რომელიც $60,5 \pm 1$ წმ-ს შეადგენს.

პოსტსაბჭოთა სივრცეში და დასავლეთ ევროპაში ძირითადად გამოიყენება ტრიალა ბრუნვის ჰორიზონტალური ღერძით. ვერტიკალურღერძიანი ჰიდრომეტრიული ტრიალა ჯამისებრი როტორით ფართოდაა გავრცელებული ამერიკის შეერთებულ შტატებში. აშშ-ის გეოლოგიური სამსახურის სტანდარტული ტრიალა (პრაისის ტრიალა) ნაჩვენებია 45-ე ნახაზზე.

ჰიდრომეტრიული ტრიალას მოწყობილობა. ტრიალას მოსათავსებლად ნაკადის მოცემულ წერტილში საჭიროა შტანგი, სამიზნებელი, გვარლი, ბიფილარული საკიდი, ტვირთი და ჯალამბარი; როტორი ბრუნთა რიცხვის აღსარიცხავად – წამმზომი, ბატარეა, ელექტრული კაბელი, ზარი (ნათურა) ან ბრუნთა ელექტრული მრიცხველი; ხელსაწყოს ასაწყობად, დასაშლელად და მოსავლელად–გასადები, საზეთე, სახრახნისი, ჯაგრისი და სხვ. ბრუნთა რიცხვის მთლიანად ავტომატიზება შესაძლებელია ქრონოგრაფის ან ოსცილოგრაფის გამოყენებით.

შესაფუთ ყუთში ტრიალას გარდა ინახება მეორე ფრთა, სამიზნებელი, ზარი, ელემენტები, სათადარიგო ნაწილები და სხვა წვრილმანი. ყოველ ტრიალას თან ახლავს სატარირო მოწყობა.

შტანგი, ტრანსპორტირების გაადვილების მიზნით, შედგება რამდენიმე რგოლისაგან. სამიზნებელი, რომელიც ტრიალას მუშა თვლის ჰორიზონტალური ღერძის კვეთის წირის პერპენდიკულარულად მოთავსებას ემსახურება, წარმოადგენს ლითონის მოკლექუროიან ღეროს, რომელიც გადაადგილდება შტანგის გასწვრივ; მისი ღერძი ტრიალას მუშა თვლის ღერძის მართობული უნდა იყოს. შტანგს აყენებენ სამიზნებელის საშუალებით; ამასთან, ორიენტირება ხდება კვეთის ნიშნების ან მდინარეზე გადაჭიმული გვარლის მიხედვით.

ჰიდრომეტრიული ტრიალას მახასიათებლები. ჯერ განვიხილოთ $u = u(n)$ დამოკიდებულება ხელსაწყოს მექანიზმში ხახუნის ძალისა და მისი ნაკადით გარსშემოდინებისას წარმოქმნილ ჰიდრავლიკურ წინაღობათა გაუთვალისწინებლად. მუშა თვლის არსებითად სხვადასხვა ფორმის გამო საჭიროა მოიძებნოს დამოკიდებულება u და n სიდიდეებს შორის როგორც ჰორიზონტალურღერძიანი, ისე ვერტიკალურღერძიანი ტრიალასათვის.

dt დროის განმავლობაში ტრიალას ჰორიზონტალური ღერძის პარალელურად მოძრავი სითხის ნაწილაკი გადაადგილდება $dl = udt$ მანძილზე. სითხის იგივე ნაწილაკი, რომელიც თავისი მოძრაობის გზაზე როტორის ფრთას ხვდება, გადაადგილდება წრეწირზე. $dl_\theta = tgadl = tgaudt$ სიდიდით, სადაც α არის ფრთის დახრის კუთხე ბრუნვის ღერძის პერპენდიკულარული სიბრტყისადმი. რადგანაც როტორის წრიული სიჩქარე $2\pi rn$ -ის ტოლია, ამიტომ

$dl_g = 2\pi r n dt$, სადაც r არის მანძილი ფრთის ცენტრიდან ბრუნვის ღერძამდე. მაშასადამე, $tg a dt = 2\pi r n dt$. თუ შემოვიტანთ აღნიშვნას $k_g = 2\pi r / tg a$, გვექნება:

$$u = k_g \cdot n \quad (41)$$

აქ k_g წარმოადგენს ფრთებიანი ხრახნის გეომეტრიულ ბიჯს. (41) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ k_g არის მანძილი, რომელსაც სითხე გადის როტორის ერთი ბრუნვისათვის საჭირო დროის განმავლობაში. k_g -ს მნიშვნელობა სხვანაირადაც შეიძლება ავხსნათ. ვთქვათ, უძრავ სითხეში ტრიალა გადაადგილდება თანაბრად და სწორხაზოვნად, მაშინ k_g იქნება გზის მონაკვეთი, რომელსაც გაივლის ტრიალა როტორის ერთხელ შემობრუნებისათვის საჭირო დროის განმავლობაში.

ჯამისებური როტორის მუშაობა განპირობებულია მისი ჯამების წინააღობის კოეფიციენტებს შორის არსებული განსხვავებით (ნახ. 39, ბ). წყლის დინებისადმი გარე ზედაპირით მიმართულ ჯამზე მოქმედი ძალა გამოითვლება ფორმულით:

$$P_1 = \zeta_1 \frac{\gamma}{2g} F(u + u_x)^2,$$

ხოლო დინებისადმი შიგა ზედაპირით მიმართულ ჯამზე მოქმედი ძალა:

$$P_2 = \zeta_2 \frac{\gamma}{2g} F(u - u_x)^2,$$

სადაც ζ_1 და ζ_2 წარმოადგენენ ჯამების წინააღობის კოეფიციენტებს, ამასთან $\zeta_1 < \zeta_2$;

F – ჯამის გეგმილის ფართობი;

u_x – ჯამის ცენტრის მოძრაობის სიჩქარე; $u_x = 2\pi r n$; აქ r არის მანძილი ჯამის ცენტრიდან ბრუნვის ვერტიკალურ ღერძამდე.

როტორის დამყარებული (თანაბარი) მოძრაობის დროს $P_1 = P_2$; ამიტომ, წინა ფორმულებიდან გვექნება:

$$u = \frac{1 + \sqrt{\frac{\zeta_1}{\zeta_2}}}{1 - \sqrt{\frac{\zeta_1}{\zeta_2}}} 2\pi r n.$$

თუ n მამრავლის წინ მდგომ გამოსახულებას აღვნიშნავთ k_g -თი, მივიღებთ იმავე (41) ფორმულას, რომელიც ჰორიზონტალურღერძიანი ტრიალასათვის გვექნა.

განვიხილოთ $u = u(n)$ ფუნქციის სახე მუშა თვლის ბრუნვისადმი წინააღობის გათვალისწინებით. ნათელია, რომ აქ არსებობს ორი სახის წინააღობა: ჰიდრავლიკური და მექანიკური. პირველი განპირობებულია როტორისა და სხვა

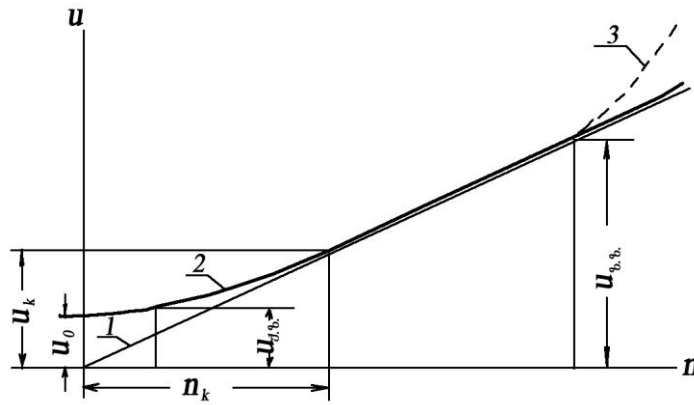
დეტალების ზედაპირის სითხესთან ხახუნით და გრიგალწარმოქმნით; მეორე-საკისარებსა და საკონტაქტო მექანიზმში ხახუნის არსებობით. წინააღმართა გავლენით $u = u(n)$ ფუნქციის გრაფიკი ღებულობს მრუდის 2 ფორმას. უფრო შესამჩნევია გრაფიკის - 2 გადახრა წრფისაგან - 1, რომელიც მის ასიმპტოტას წარმოადგენს მცირე u სიჩქარეების შემთხვევაში. ჰიდრომეტრიული ტრიალას მუშაობის ყველა ზონის მომცველი ზოგადი თეორიული განტოლება ჯერჯერობით არ არსებობს. ნახევრადემპირიული განტოლება ჰიპერბოლის ფორმით.

$$u = an + \sqrt{bn^2 + c} \quad (42)$$

სრულიად დამაკმაყოფილებლად ასახავს ამ დამოკიდებულებას, სადაც a , b და c პარამეტრებია. როცა $n = 0$ -ს, მაშინ $u = \sqrt{c} = u_0$ -ს, სადაც u_0 არის იმ წერტილის განმსაზღვრელი მონაკვეთი u ღერძზე, რომლიდანაც იწყება მრუდი 2. u -ს დიდი მნიშვნელობების შემთხვევაში, ე. ი. როდესაც u_0 არსებითად ნაკლებია u -ზე, (42) ფორმულა შეიძლება ასეთი სახით ჩავწეროთ:

$$u = (a + \sqrt{b})n = kn. \quad (43)$$

ვღებულობთ (41) სახის განტოლებას, მხოლოდ k -ს სხვა მნიშვნელობით, რომელიც ითვალისწინებს მუშა თვლის არა მარტო გეომეტრიას, არამედ მოძრაობისადმი მის წინააღმართსაც. როტორის ბიჯს მოძრაობისადმი წინააღმართის გათვალისწინებით ჰიდრავლიკური ბიჯი ეწოდება. k_g გეომეტრიული ბიჯი რამდენადმე ნაკლებია $k = u/n$ ჰიდრავლიკურ ბიჯზე, რადგანაც ერთი და იმავე u სიჩქარის დროს როტორი რეალურ პირობებში აკეთებს ნაკლებ ბრუნთა რიცხვს, ვიდრე ეს მიიღება თეორიული გაანგარიშებით წინააღმართა გაუთვალისწინებლად; განსხვავება შეადგენს 1-4%-ს (ნ. ბოჩკოვის გამოკვლევებით).



ნახ. 46. დამოკიდებულება ტრიალას მუშა თვლის ბრუნთა რიცხვსა და წყლის დინების სიჩქარეს შორის: 1 – წინალობათა გაუთვალისწინებლად; 2 – წინალობათა გათვალისწინებით; 3 – დინების დიდი სიჩქარეებისას

გარემოს (მაგალითად, წყლის და ჰაერის) სიმკვრივე (ρ) და სიბლანტე მცირე გავლენას ახდენს ჰიდრავლიკურ ბიჯზე (დაახლოებით 2–3%), მაშინ როდესაც u_0 არსებითად დამოკიდებულია ρ -ზე. წყლის გარემოდან ჰაერზე გადასვლისას u_0 იზრდება 28–ჯერ.

განვიხილოთ დამახასიათებელი სიჩქარეები $u = u(n)$ გრაფიკზე (ნახ. 46).

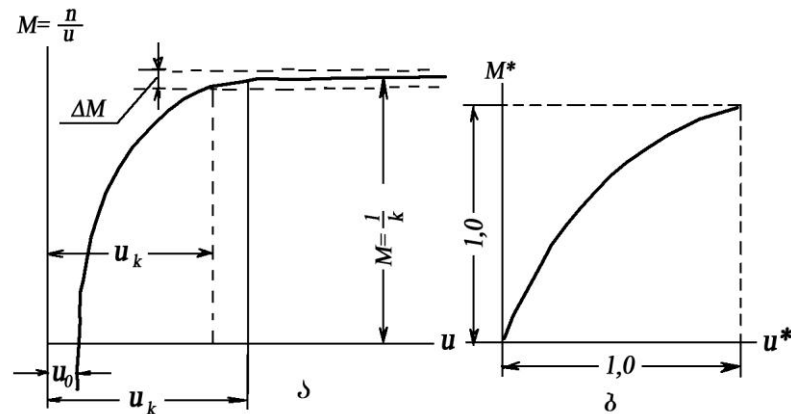
ს ა წ ყ ი ს ი ს ი ჩ ქ ა რ ე . ეს არის ტრიალაზე მოდინებული ნაკადის ის უმცირესი u_0 სიჩქარე, რომლის დროსაც როტორი იწყებს ბრუნვას (არათანაბრად). $u < u_0$ სიჩქარის შემთხვევაში როტორი არ ბრუნავს, რადგანაც ამ დროს ნაკადის ზემოქმედების ძალა (P) არასაკმარისია მექანიკურ წინალობათა (T) გადასალახავად. $u = u_0$ სიჩქარის შემთხვევაში ეს ძალები წონასწორდება, ე. ი. $P = T$. u სიჩქარის ზრდისას, u_0 სიჩქარესთან შედარებით, როტორი იწყებს ბრუნვას შედარებით თანაბრად. უმეტესი ტრიალებისათვის $u_0 = 0,03 - 0,06$ მ/წმ (წყალში). რიგ შემთხვევებში, მაგალითად, წყალსაცავებში, $u < u_0$, ამიტომ ტრიალას ახალი კონსტრუქციების დამუშავებისას ცდილობენ შეამცირონ საწყისი u_0 სიჩქარე. გ. ჟელეზნიაკოვის გამოკვლევების მიხედვით არსებობს k -ს ოპტიმალური მნიშვნელობა, რომელიც საწყისი სიჩქარის უმცირეს მნიშვნელობას შეესაბამება. პ. ბურცევას გამოკვლევებით, u_0 სიჩქარეზე გავლენას ახდენს როტორის d დიამეტრიც. ამის საფუძველზე დადგენილია, რომ u_0 -ის მინიმალურ მნიშვნელობას შეესაბამება ფრთებიანი ხრახნის ფარდობითი დიამეტრის $\left(\frac{d}{k}\right)$ ოპტიმალური მნიშვნელობა.

ტ რ ი ა ლ ა ს გ ა მ ო ყ ე ნ ე ბ ი ს ქ ვ ე დ ა ზ ღ ვ ა რ ი. ეს არის ისეთი u_j სიჩქარე, რომლის დროსაც და რომლის ზემოთაც შეიძლება ტრიალა გამოყენებულ იქნეს პრაქტიკაში. u_0 -დან u_j სიჩქარემდე ტრიალების ჩვენება არამდგრადია, გაზომვების ცდომილებამ შეიძლება მიაღწიოს 10%-ს და მეტს.

კ რ ი ტ ი კ უ ლ ი ს ი ჩ ქ ა რ ე . ეს არის სითხის მოძრაობის ისეთი u_j სიჩქარე, რომლის დროსაც და ზემოთაც მექანიკურ წინაღობათა გავლენა როტორის ბრუნვაზე სტაბილურია და უმნიშვნელო, ე. ი. როცა $u > u_j$ მაშინ $\frac{du}{dn} = const$. თუ n და u სიდიდეებს შორის დამოკიდებულების გამომსახველი სწორი გადის კოორდინატთა სათავეზე, მაშინ $\frac{u}{n} = const = k$ და, მაშასადამე, ეს ფარდობა როტორის ჰიდრავლიკური ბიჯის ტოლია. როცა $u < u_j$ მაშინ $\frac{u}{n}$ ფარდობა წარმოადგენს ცვლად სიდიდეს, რომელიც შეიძლება განვიხილოთ როგორც ცვლადი ჰიდრავლიკური ბიჯი. შემდგომში ტერმინს „ჰიდრავლიკური ბიჯი“ ჩვენ ვიხმართ $k = const$ შემთხვევისათვის (როცა $u \geq u_j$) იმის გათვალისწინებით, რომ მისი რიცხვითი მნიშვნელობა ახლოსაა გეომეტრიული ბიჯის რიცხვით მნიშვნელობასთან.

u_j და n_j კოორდინატების მქონე წერტილი და სხვა ტიპური ზონები $u = u(n)$ გრაფიკზე ადვილად გამოვლინდება $M = M(u)$ გრაფიკის ან სხვა $M^* = M^*(u^*)$ უგანზომილებო გრაფიკის აგებით. აქ $M = \frac{n}{u}$ არის როტორის ბრუნთა რიცხვი მასზე გამავალი ნაკადის ერთეულოვანი სიგრძის (1მ) შემთხვევაში; $M^* = \frac{M}{M_j}$, სადაც M_j არის M -ის მნიშვნელობა $u \geq u_j$ შემთხვევაში. მაშასადამე, $M_j = \frac{1}{k}$; $u^* = \frac{u-u_0}{u}$. $M = M(u)$ და $M^* = M^*(u)$ გრაფიკების სახე ნაჩვენებია 47-ე ნახაზზე. რაც მცირეა u_j და ΔM სიდიდეები, მით მაღალია ხელსაწყოს ხარისხი; $\pm 0,5 \Delta M$ გადახრა ახასიათებს ჰიდრომეტრიული ტრიალას მუშაობის სიზუსტეს $u \geq u_j$ შემთხვევაში. თუ ცდის მონაცემების საფუძველზე დავადგენთ ΔM -ის განსაზღვრულ მნიშვნელობას, მაშინ n და u სიდიდეებს შორის წრფივი დამოკიდებულება შეიძლება გაფართოვდეს u_j და u_j' სიდიდეების შემცირების ხარჯზე (ნახ. 47, ა). დაწნევით ნაკადებში ტრიალას ხარჯსაზომად გამოყენებისას ანალოგიურ მრუდს აგებენ $\frac{n}{Q}$ და Q კოორდინატებში.

როცა $u = u_0$, მაშინ $u^* = 0$ და $M^* = 0$, ე. ი. მრუდი 47, ბ ნახაზზე უნდა გადიოდეს კოორდინატთა სათავეზე. როცა $u \geq u_p$, მაშინ $M^* = 1$ -ს, ხოლო u^* მიისწრაფვის 1-კენ; მაშასადამე, $M^* = M^*(u)$ უგანზომილებო მრუდი ამოზნექილობით მიმართული უნდა იყოს M^* ღერძისაკენ. ამ მრუდის შემწეობით ადვილად ხდება n და u სიდიდეებს შორის ურთიერთკავშირის გამოვლინება წყლის დინების მცირე სიჩქარეების დროს.



ნახ. 47. ჰიდრომეტრიული ტრიალასათვის ფუნქციათა გრაფიკების ზოგადი სახე: ა – $M = M(u)$; ბ – $M^* = M^*(u)^*$

$u < u_p$ შემთხვევაში ტრიალას ჩვენებებზე არსებით გავლენას ახდენს საკისრების ცვეთა, მყარი ნაწილაკების მოხვედრა ხელსაწყო მექანიზმში და სხვ., ხოლო სავალი ნაწილისა და საკონტაქტო მექანიზმის შესაზეთი საკნების გამოყენების შემთხვევაში წყლის ტემპერატურაც. წყლის ტემპერატურის შემცირებისას ზეთის სიბლანტე იზრდება, რის შედეგადაც იქმნება როტორის ბრუნვისადმი წინაღობის დამატებითი მომენტი. ექსპერიმენტულად დამტკიცებულია, რომ ზეთის სიბლანტე არსებით გავლენას ახდენს ტრიალას მუშაობაზე $u < 0,20-0,35$ მ/წმ სიჩქარეების შემთხვევაში.

შესაზეთი საკნით აღჭურვილი ტრიალებით სიჩქარეთა გაზომვის სიზუსტე წყლის ცვლადი ტემპერატურის დროს (0–დან 25°-მდე) შეიძლება გავზარდოთ ისეთი ზეთების გამოყენებით, რომლებიც სიბლანტის უმნიშვნელო რყევით ხასიათდებიან.

ტ რ ი ა ლ ა ს გ ა მ o ყ ე ნ ე ბ ი ს ზ ე დ ა ზ ღ ვ ა რ ი . სიჩქარის ეს ზღვარი ($u_{ფ.ზ}$) არასაკმარისად არის შესწავლილი მიუხედავად იმისა, რომ პრაქტიკაში ხშირად საქმე გვაქვს ძალიან დიდი სიჩქარეების გაზომვასთან, მაგალითად, მთის

მდინარეებზე, წყალსაშვებზე, მილსადენებში, სწრაფდენებზე და სხვ. ზოგჯერ $u_{\text{ფ.ფ}}$ სიჩქარეს ნიშნავენ ხელსაწყოთა სიმტკიცის, საკისრების ცვეთის, ნაკადში ტრიალას მოთავსების და სხვა მოსაზრებებიდან გამომდინარე. თუმცა მხედველობიდან არ უნდა გამოგვრჩეს ისეთი ჰიდრომექანიკური მოვლენებიც, როგორიც არის კავიტაცია, ინტენსიური გრიგალების წარმოქმნა და სხვ. ასეთ პირობებში (43) ფორმულის, როგორც ექსტრაპოლაციური განტოლების გამოყენება ნაკლებდასაბუთებულია. ე. მინსკისა და გ. ჟელეზნიაკოვის მიერ 1,5 მ დიამეტრის აეროდინამიკურ მილში ჩატარებული ცდების საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ ჰაერის ნაკადის დიდი სიჩქარეების შემთხვევაში (43) დამოკიდებულება უმართებულო ხდება. გარკვეული სიჩქარის შემდეგ (რომელიც ზოგად შემთხვევაში სხვადასხვა ტრიალასათვის სხვადასხვაა) მკვეთრად მცირდება ტრიალას როტორის n ბრუნთა რიცხვი. n -ის ასეთი შემცირების ხასიათი სქემატურად ნაჩვენებია 46-ე ნახაზზე (მრუდი 3). საორიენტაციოდ $u_{\text{ფ.ფ}} = 15\text{--}20$ მ/წმ; $u_{\text{ფ.ფ}}$ სიჩქარის შესაბამისი ბრუნთა რიცხვი $n_{\text{ფ.ფ}}$ როტორის დიამეტრის ზრდასთან ერთად კლებულობს.

კ. ზვორიკინის აზრით, (43) დამოკიდებულება შეიძლება დაირღვეს წყლის ნაკადის დიდი სიჩქარეების შემთხვევაშიც.

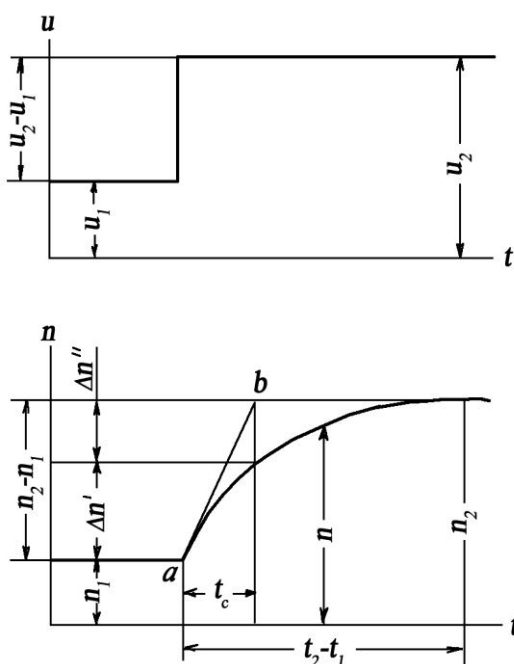
$u = u(n)$ გრაფიკზე მოცემული დამახასიათებელი სიჩქარეების განხილვიდან გამომდინარეობს, რომ ჰიდრომექტრიული ტრიალა შედარებით დიდი სიზუსტით მუშაობს $u_{\text{კ}}$ -დან $u_{\text{ფ.ფ}}$ -მდე ფარგლებში.

ნაკადის ტურბულენტობის გავლენა ჰიდრომექტრიული ტრიალას ჩვენებაზე. ტურბულენტური ნაკადის და საერთოდ არასტაციონარული (დაუმყარებელი) დინების სიჩქარეთა გაზომვისას ისმის საკითხი ტრიალას როტორის უნარის შესახებ-შეიცვალოს ბრუნვის სიჩქარე ნაკადის u სიჩქარის ცვლილების შესაბამისად. რაც მეტია როტორის ინერციის მომენტი I , მით ნაკლებია მისი რეაგირების უნარი u სიჩქარის ახალი ცვლილების მიმართ. თუ I ინერციის მომენტი ძალიან დიდია, მაშინ u სიჩქარის უნიშვნელო ცვლილება ზოგად შემთხვევაში შეიძლება არასაკმარისი აღმოჩნდეს როტორის ბრუნვის სიჩქარის შესაცვლელად. ხახუნი ტრიალას საკისრებსა და საკონტაქტო მექანიზმში ზრდის ტრიალას ინერციულობას. ამგვარად, სითხის არასტაციონარული მოძრაობისას

როტორის n ბრუნთა რიცხვის ცვლილება დინების u სიჩქარის ცვლილების მიმართ ასინქრონულად (არაერთდროულად) ხდება.

დავუშვათ, რომ u სიჩქარე მყისიერად შეიცვალა u_1 -დან u_2 -მდე (ნახ. 48). ინერციულობის გამო, n ბრუნთა რიცხვის შესაცვლელად n_1 -დან n_2 -მდე, რომელიც u_2 სიჩქარეს შეესაბამება, საჭირო იქნება $t_2 - t_1$ დრო. ტრიალას ინერციულობის შეფასებისათვის გ. საბინინი იძლევა მახასიათებელს, რომელსაც სინქრონიზაციის დრო ეწოდება. ეს უკანასკნელი წარმოადგენს იმ $t_{\text{სინ}}$ დროს, რომლის განმავლობაშიც განსხვავება როტორის ბრუნვის სიჩქარეებს შორის პირველსაწყისი სიდიდიდან $\frac{1}{e}$ სიდიდემდე მცირდება, სადაც e არის ნატურალური ლოგარითმის ფუძე.

ანალოგიურ მახასიათებელს უწოდებენ დროის მუდმივას და განსაზღვრავენ როგორც დროის ინტერვალს დინების სიჩქარის ცვლილებიდან ab მხების იმ წირთან გადაკვეთის a წერტილამდე, რომელიც პასუხობს როტორის ბრუნვის მდგრად (დამყარებულ) სიჩქარეს. როტორის ბრუნვის სიჩქარის ცვლილება დროის მიხედვით გამოისახება მაჩვენებლიანი ფუნქციით. $t_{\text{სინ}}$ დროის განმავლობაში როტორის ბრუნთა რიცხვი იზრდება $\Delta n' = \left(1 - \frac{1}{e}\right)(n_2 - n_1)$ სიდიდით, ე. ი. $n_2 - n_1$ სხვაობა მცირდება $\Delta n'' = \frac{1}{e}(n_2 - n_1)$ სიდიდემდე.



ნახ. 48. დინების სიჩქარისა (u) და ტრიალა როტორის ბრუნთა რიცხვის (n) დროის მიხედვით ცვლილებების სქემა

როტორის ბრუნვის სიჩქარე, რომელიც n_2 ბრუნთა რიცხვით ხასიათდება, სინქრონულია, ე. ი. შეესაბამება ნაკადის u_2 სიჩქარეს. ფარდობით განსხვავებას–
 $S = \frac{n_2 - n_1}{n_2}$ უწოდებენ ტრიალას სრიალს; ეს უკანასკნელი ახასიათებს როტორის ბრუნვის სიჩქარის სითხის მოძრაობის სიჩქარესთან ფარდობითი შეუსაბამობის ხარისხს. თუ გვეცოდინება $t_{\text{ბოფ}}$ სინქრონიზაციის დრო და ნაკადის u სიჩქარე, ვიპოვით სინქრონიზაციის გზის სიგრძეს $l_{\text{ბოფ}} = ut_{\text{ბოფ}}$, ე. ი. მანძილს, რომელიც უნდა გაიაროს ნაკადმა ტრიალას შემხვედრად, რომ როტორის ბრუნვის სიჩქარეთა შორის სხვაობა პირველსაწყისი სიდიდიდან $\frac{1}{e}$ სიდიდემდე შემცირდეს.

აღნიშნულისა და აგრეთვე სიჩქარის პულსაციის მახასიათებლის (§7) გათვალისწინებით ჰიდრომეტრიული ტრიალას გამოყენების პირობა სიჩქარეთა გასაზომად შეიძლება ასე ჩამოვყალიბოთ: ტრიალას $t_{\text{ბოფ}}$ სინქრონიზაციის დრო ნაკლები უნდა იყოს u სიჩქარის პულსაციის $\frac{1}{\omega_1}$ პერიოდზე, ე. ი.

$$t_{\text{ბოფ}} = \frac{l_{\text{ბოფ}}}{u} < \frac{1}{\omega_1}. \quad (44)$$

ამიტომ მოცემული $l_{\text{ბოფ}}$ და u სიდიდეებისათვის ტრიალა რეაგირებს რხევებზე, რომელთა სიხშირეებიც ნაკლებია რომელიმე ზღვარზე. ამის შედეგად ხდება მყის სიჩქარეთა ერთგვარი გათანაბრება. მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ ტრიალა არ რეაგირებს ნაკადში ისეთ აგზნებებზე, რომლებიც ძალზე მცირეა ტრიალას ზომებთან შედარებით. დიდი ზომის როტორის მქონე ტრიალა ასაშუალებს სიჩქარეებს სივრცეში, რის გამოც $u = u(t)$ მრუდს მდორე წირის სახე აქვს.

მ. ველიკანოვისა და ნ. ბოჩკოვის მონაცემების მიხედვით პრაისის ტიპის ტრიალასათვის $l_{\text{ბოფ}} = 2,5$ სმ. მაგალითად, $u = 1$ მ/წმ სიჩქარისათვის (44) დამოკიდებულებიდან მივიღებთ $\omega_1 < \frac{100}{2,5} = 40 \frac{1}{\text{წმ}}$, ე. ი. ასეთ პირობებში შეიძლება რეგისტრირებულ იქნას u სიჩქარის პულსაცია, თუ მისი სიხშირე 40 ჰც-ს არ აღემატება. u სიჩქარის ზრდით, როგორც ეს (44) გამოსახულებიდან ჩანს, ფართოვდება ტრიალას გამოყენების სფერო.

მდინარის ნაკადში უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება მცირე სიხშირის (2–10 ჰც) პულსაციას, რომელიც შეესაბამება ნაკადის ვერტიკალური ზომების სადარ მსხვილმასშტაბიან აღზნებას (შემფოთებას). შეიძლება აღინიშნოს, რომ

ჰიდრომეტრიული ტრიალა წარმოადგენს საიმედო ხელსაწყოს სითხის დაუმყარებელი დინების სიჩქარეთა გასაზომად.

ტრიალასა და სხვა ჰიდრომეტრიულ ხელსაწყოთა ჩვენებები–ხელსაწყოთა და ნაკადის ურთიერთქმედების შედეგია.

ნათელია, რომ ტურბულენტურ ნაკადში ტრიალა განიცდის სხვადასხვა სიდიდისა და მიმართულების მქონე სიჩქარეთა ზემოქმედებას.

თეორიულად დასაბუთებულია, რომ ნაკადში ტრიალას მიერ რეგისტრირებული გასაშუალებული ადგილობრივი სიჩქარე ყოველთვის მეტია ნამდვილ სიჩქარეზე. სხვაობა აღნიშნულ სიჩქარეებს შორის მით მეტია, რაც მეტია სინქრონიზაციის გზის $L_{\text{სი}}$ სიგრძე, ω_i სიხშირე და სიჩქარის პულსაციათა ამპლიტუდა.

როდესაც ვიხილავთ ჭავლის მიმართულების ნორმალიდან გადახრის გავლენას ტრიალას ჩვენებებზე, საჭიროა გავითვალისწინოთ ამ ჩვენებებს შორის არსებული განსხვავება, რომელიც გამოწვეულია ტრიალას მუშაობის პირობებით; კერძოდ, ტრიალა, რომელიც გვარლის საშუალებით არის ნაკადში ჩაშვებული, კუდის ფრთაშესხმულობის შემწეობით თვითონ იკავებს დინების მიმართულებას. სიჩქარის გეგმილი განივკვეთის ნორმალის ტოლია

$$u_{\beta} = u \cos \beta, \quad (45)$$

სადაც β არის u სიჩქარის ვექტორითა და ნაკადის განივკვეთის ნორმალის შედგენილი კუთხე.

ნაკადში შტანგის საშუალებით ჩაშვებული ტრიალას ღერძი იკავებს გარკვეულ (დაფიქსირებულ) მდებარეობას: ფრთებიანი ხრახნით აღჭურვილი ტრიალას ღერძი უნდა თანხვდეს ნაკადის განივკვეთის ნორმალის მიმართულებას; ჯამისებრი ან სხვა ანალოგიური როტორის მქონე ტრიალას ღერძი თავსდება ვერტიკალურად, ხოლო ცალულისებრი ჩარჩო–ნაკადის განივკვეთის პერპენდიკულარულ ვერტიკალურ სიბრტყეში.

შტანგზე მოთავსებული კომპონენტური ტრიალას მოქმედება ემორჩილება 45–ე განტოლებას. ამაში მდგომარეობს მათი განსაკუთრებული მნიშვნელობა, რამდენადაც ისინი ახდენენ ნორმალზე სიჩქარის გეგმილის, ე. ი. u_{β} სიჩქარის

ავტომატურ რეგისტრაციას. (45) განტოლება (43) ფორმულის გათვალისწინებით ასე ჩაიწერება:

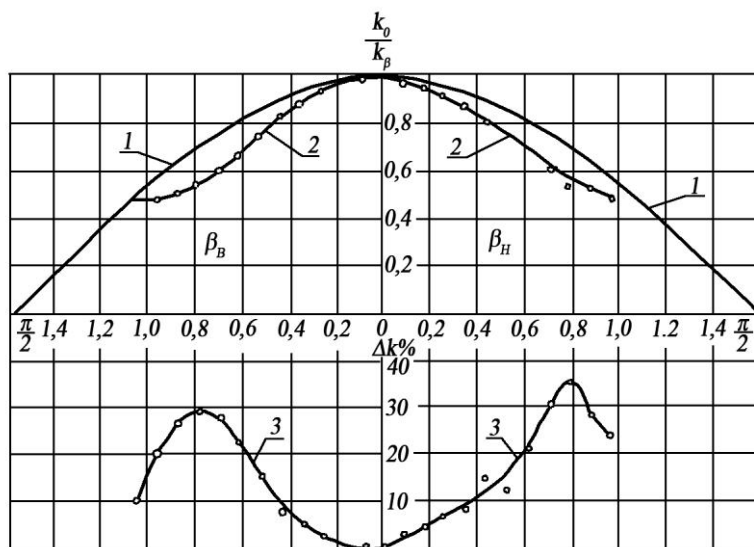
$$\frac{k_0}{k_\beta} = \cos \beta, \quad (46)$$

სადაც k_0 და k_β არის ჰიდრავლიკური ბიჯის მნიშვნელობები, როცა, შესაბამისად, $\beta = 0$ და $\beta \neq 0$.

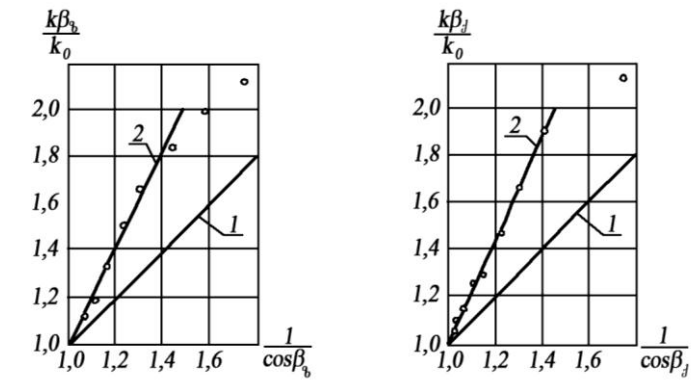
განვიხილოთ არაკომპონენტური ტრიალას მუშაობა. β კუთხის გავლენას ტრიალას ჩვენებებზე შეისწავლიან მდგარ წყალში გადაადგილების გზით, ათავსებენ რა მას მოძრაობის მიმართულებისადმი სხვადასხვა კუთხით (ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ სიბრტყეებში). ზოგჯერ აღნიშნული საკითხის შესასწავლად ტრიალას ათავსებენ არა მდგარ წყალში, არამედ წყლის ნაკადში, ასეთ შემთხვევაში β კუთხეების ათვლა ხდება დინების სიჩქარის მიმართულებიდან. 49-ე ნახაზზე მაგალითის სახით მოცემულია ბრუნვის ჰორიზონტალური ღერძის მქონე არაკომპონენტური ტრიალას გამოცდის შედეგები. ტრიალას მდგარ წყალში გადაადგილება ხდება ნორმალიდან ღერძის ზემოთ (β_Φ) და ქვემოთ (β_Ψ) გადახრით. 49, ა ნახაზზე მრუდი - 1 აგებულია (46) განტოლების საფუძველზე, ე. ი. ის წარმოადგენს კომპონენტური ტრიალას მახასიათებელს. მრუდი - 2 გამოსახავს ექსპერიმენტული გზით მიღებულ დამოკიდებულებას $\frac{k_0}{k_\beta}$ ფარდობასა და β კუთხეს (რადიანებში) შორის. მრუდი 3 იძლევა პროცენტულ განსხვავებას 1 და 2 მრუდებს შორის, ე. ი. $\Delta k = 100 \left(\frac{k_\beta}{k_0} \cos \beta - 1 \right)$. ეს უკანასკნელი გვიჩვენებს, თუ რამდენად შემცირებულია არაკომპონენტური ტრიალატი გაზომილი სიჩქარის გეგმილის მნიშვნელობა კომპონენტური ტრიალატი გაზომილ მნიშვნელობასთან შედარებით. Δk -ს მნიშვნელობებში β_Φ და β_Ψ კუთხეებისათვის აღინიშნება ერთგვარი განსხვავება.

$\beta = 10^\circ$ -მდე კუთხეების შემთხვევაში შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ტრიალა სიჩქარეთა გაზომვის სიზუსტის ფარგლებში (2-3%) აღრიცხავს u სიჩქარის გეგმილს ნორმალზე; დიდი კუთხეებისათვის საჭიროა შეტანილ იქნეს შესწორება u_β სიჩქარის მნიშვნელობაში ტრიალას არაკომპონენტურობაზე. ტრიალას არაკომპონენტურობის ხარისხი თვალსაჩინოდ არის ილუსტრირებული 49, ბ ნახაზზე 1 და 2 წირების ფარდობითი მდებარეობით;

ეს წირები 49, ა ნახაზზე გამოსახული 1 და 2 მრუდების ანამორფოზას წარმოადგენენ ($\beta < 50^\circ$ კუთხეების შემთხვევაში). u სიჩქარის ვექტორის შესაძლო გადახრას ნორმალიდან $\beta > 50^\circ$ კუთხეებისათვის მდინარეებსა და არხებში იშვიათად აქვს ადგილი. წირი 1 (ნახ. 49, ბ) შეესაბამება 46-ე განტოლებას, ხოლო წირი 2-გ. ჟელეზნიაკოვის განტოლებას:



ა



ბ

ნახ. 49. β კუთხის გავლენა ფრთებიანი ხრახნის მქონე ტრიალას ჩვენებაზე: ზემოთ – $\frac{k_0}{k_\beta}$ და Δk სიდიდეთა შორის დამოკიდებულება β კუთხის მიხედვით (β გამოსახულია რადიანობით); ქვემოთ – $\frac{k_\beta}{k_0}$ და $\frac{1}{\cos \beta}$ სიდიდეებს შორის დამოკიდებულება

$$\frac{k_\beta}{k_0} = \psi \left(\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right) + 1, \quad (47)$$

როცა $u \geq u_j$ -ზე, მაშინ

$$\frac{u_6}{u} = \frac{1}{\psi\left(\frac{1}{\cos\beta} - 1\right) + 1}, \quad (48)$$

სადაც ψ არის ჰიდრომეტრიული ტრიალას არაკომპონენტურობის პარამეტრი, რომელიც დამოკიდებულია ფრთებიანი ხრახნის კონსტრუქციასა და ბიჯზე (ეს უკანასკნელი დაახლოებით ორის ტოლია). კომპონენტური ტრიალასათვის $\psi = 1$ -ს და (47) და (48) ფორმულები ღებულობენ შესაბამისად (46) და (45) გამოსახულებათა სახეს.

როცა $u < u_p$ -ზე, მაშინ ტრიალას კომპონენტურობა ირღვევა როგორც ფრთებიანი ხრახნის კონსტრუქციისა და ბიჯის ცვლილების შედეგად, ისე u_6 სიჩქარეზე მექანიკურ წინაღობათა გავლენის შედეგადაც. ამიტომ კომპონენტური ტრიალასათვის u და n სიდიდეებს შორის კავშირი უნდა იყოს წრფივი.

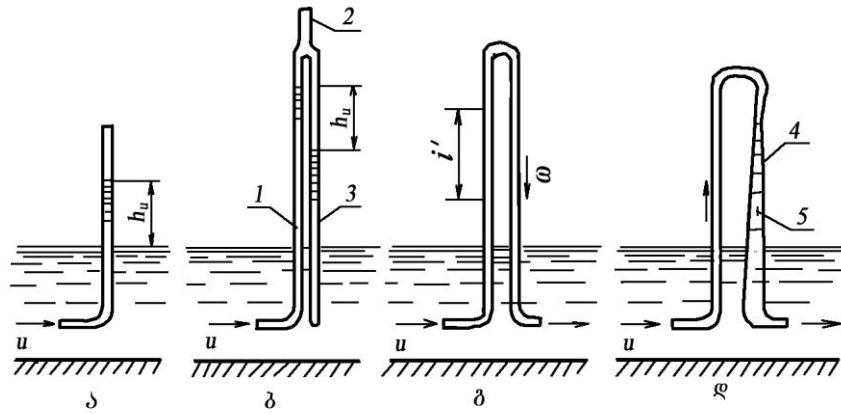
ვერტიკალურდერმიანი ტრიალას როტორი სხვაგვარად რეაგირებს ჭავლის გადახრაზე ნაკადის განივკვეთის ნორმალური მიმართულებიდან.

ტურბულენტურ ნაკადში ტრიალების ჩვენებათა ჰიდრომექანიკური ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ჰორიზონტალურდერმიანი ტრიალა უფრო სრულყოფილია, ვიდრე ვერტიკალურდერმიანი ტრიალა ჯამისებრი როტორით. ტრიალების ჰიდრომექანიკური და ტექნიკური მახასიათებლების შედარებით სრული ანალიზი მოცემულია ნ. ბოჩკოვის მიერ.

ჰიდრომეტრიული მილაკები. ჰიდრომეტრიული მილაკების მოქმედება დამყარებულია სითხის სიჩქარესა და წნევას შორის ურთიერთკავშირზე. ჩავუშვათ ნაკადში სწორი კუთხით მოხრილი მილაკი (ნახ. 50,ა) ისე, რომ ქვედა მუხლის ღერძი შეუთავსდეს ადგილობრივი u სიჩქარის მიმართულებას, ხოლო მილაკის ხვრეტი მიმართული იყოს სითხის დინების საწინააღმდეგოდ. სითხე რომ უძრავ მდგომარეობაში ყოფილიყო, მაშინ იგი ვერტიკალურ მილაკში აიწევდა მხოლოდ თავისუფალი ზედაპირის დონემდე. არაბლანტი სითხის მოძრაობისას სიჩქარის გავლენით დონემ მილაკში უნდა აიწიოს სიჩქარითი დაწნევის $\left(\frac{u^2}{2g}\right)$ ტოლ სიმაღლეზე, ხოლო ბლანტი სითხის მოძრაობისას – $h_u = \frac{u^2}{\varphi_m^2 2g}$ სიმაღლეზე. ამ უკანასკნელი გამოსახულებიდან

$$u = \varphi_m \sqrt{2gh_u}, \quad (49)$$

სადაც φ_m არის ერთთან ახლოს მდგარი ცდისეული კოეფიციენტი.



ნახ. 50. ჰიდრომეტრიული მილაკების სქემა:

ა – გ. პიტოს მილაკი; ბ – გ. პიტოსა და გ. დარსის მილაკი; გ–ა.ლოსიევსკის მილაკი; დ – სიჩქარის ტივტივიანი გადამწოდით; 1 – დინამიკური მილაკი; 2 – მილაკი ჰაერის ამოსატუმბად; 3 – სტატიკური მილაკი; 4 – კონუსური მილაკი სკალით; 5 – ტივტივა

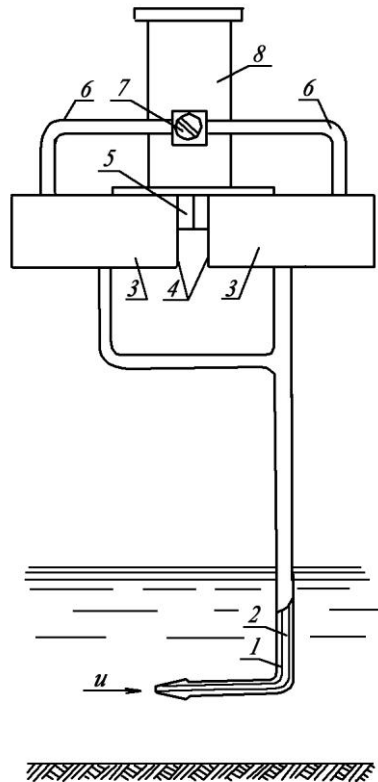
თუ ცნობილი იქნება h_u სიდიდე, მაშინ (49) განტოლებიდან შეიძლება განისაზღვროს u სიჩქარე. პიტოს უმარტივესი ჰიდრომეტრიული მილაკი (ნახ.50, ა) მოუხერხებელია, რადგანაც h ანათვლის აღება ხდება უშუალოდ წყლის ზედაპირიდან. გარდა ამისა, ასეთი მილაკით შეუძლებელია დაწნევიითი ნაკადის სიჩქარის გაზომვა. აღნიშნული უარყოფითი მხარეები გათვალისწინებული იქნა დარსის მიერ, რომელმაც ერთ ხელსაწყოში გააერთიანა ორი მილაკი (ნახ. 50,ბ): დინამიკური (სადაწნეო) - 1 და სტატიკური (პიეზომეტრიული) - 3. სტატიკური მილაკის ქვედა გადანაჭერის სიბრტყე u სიჩქარის მიმართულების პარალელურია. თუ ორივე მილაკში წნევას შევამცირებთ (მილაკიდან - 2 ჰაერის ამოტუმბვის გზით), მაშინ დინამიკური და სტატიკური დონეები მაღლა აიწევს, რაც ანათვლის აღებას გაამარტივებს; ამასთან, h_u სიდიდის მნიშვნელობა არ შეიცვლება.

დინამიკურ და სტატიკურ მილაკებს რეზინის მილის საშუალებით აერთებენ მანომეტრთან, რომელიც h_u სიდიდეს ზომავს. ის შედგება დაახლოებით 1 სმ დიამეტრის ორი ვერტიკალური მინის მილისაგან, სკალისა და დონეების ასათვლელი დიოპტრისაგან. თუ დონეებს დინამიკურ და სტატიკურ მილაკებში აღვნიშნავთ, შესაბამისად, h_d და h_b -ით, მაშინ $h_u = h_d - h_b$. h_u სიდიდის გაზომვის სიზუსტის გაზრდის მიზნით გამოიყენება დიფერენციალური სითხიანი მანომეტრები. h_d და h_b ანათვლების აღებამდე მილაკიდან - 2 (ნახ. 50, ბ) ხდება

ჰაერის ამოტუმბვა. მას შემდეგ, რაც ამ ხვრეტიდან გამოვა წყლის მცირე რაოდენობა, h_d და h_s დონეებს აყენებენ ათვლისათვის მოსახერხებელ სიმაღლეზე. ჰიდრომეტრიული მილაკის ჩვენებაზე გავლენას ახდენს ნაკადის ტურბულენტობა, მილაკში მოხვედრილი ქვიშის ნაწილაკები, ჰაერის ბუშტულები და სხვ.

სითხის დინების მცირე სიჩქარეებისას არსებით როლს ასრულებს მილაკებში სითხის გადაადგილებისას წარმოქმნილი მენისკების წინააღმდეგობა. მენისკების გავლენით განისაზღვრება მილაკის საწყისი u_0 სიჩქარე, რომელიც 10–15 სმ/წმ-ს შეადგენს. სითხის დინების დიდი სიჩქარეები ჰიდრომეტრიული მილაკით შეიძლება გაიზომოს 2–3%-მდე სიზუსტით. სიჩქარის პულსაციის გასაშუალების მიზნით აუცილებელია 1–2 წუთის განმავლობაში მოხდეს h_u სიდიდის 4–5-ჯერ გაზომვა, გამოითვალოს მისი საშუალო მნიშვნელობა, ხოლო შემდეგ 49-ე ფორმულით განისაზღვროს სიჩქარე.

51-ე ნახაზზე მოცემულია თ. ოდილაგაძის მიერ რეკომენდებული ჰიდრომეტრიული მილაკი ელექტრონულ-მექანიკური გარდამქმნელით (მექანოტრონით). ამ ხელსაწყოში სითხე წნევას გადასცემს ნაკადის გასაზომი წერტილიდან გარდამქმნელამდე. საკნებით - 3 შეერთებული ონკანით - 7 აღჭურვილი მილების - 6 საშუალებით იქმნება ჰერმეტიკულად დახურული სადაწნეო სისტემა. ამის გამო სიჩქარითი დაწნევის ცვლილება სტატიკური - 1 და დინამიკური - 2 მილების ბოლოსთან მყისიერად გადაეცემა მემბრანის - 4 საშუალებით მექანიტრონის - 8 დეროს - 5. შედეგად ხდება მოძრავი ანოდების გადაადგილება მექანოტრონის უძრავი კათოდის მიმართ; ელექტრული ხიდის ბალანსი ირღვევა და ხიდის დიაგონალზე წარმოიქმნება გასვლის ელექტრული სიგნალი, რომელიც გაძლიერებას არ საჭიროებს. მექანოტრონის დიდი მგრძნობიარობა საშუალებას იძლევა გაიზომოს არა მარტო დროის მიხედვით გასაშუალებული სიჩქარე წერტილში, არამედ სიჩქარის მსხვილმასშტაბიანი პულსაციაც. იმის გამო, რომ სითხის მოცულობა სტატიკურ და დინამიკურ მილაკებში და აგრეთვე საკნებში არ იცვლება, ხვრეტები არ იჭედება ქვიშის ნაწილაკებით და ჰაერის ბუშტუებით; ეს კი საშუალებას იძლევა ხელსაწყო გამოვიყენოთ ორფაზიანი ნაკადების სიჩქარეთა გასაზომად.



ნახ. 51. ჰიდრომეტრიული მილაკის სქემა ელექტრონულ-მექანიკური გარდამქმნელით: 1 – სტატიკური მილაკი; 2 – დინამიკური მილაკი; 3 – კამერები; 4 – მემბრანები; 5 – მექანიტრონის მემბრანა; 6 – ჰაერის ამოსატუმბი მილაკები; 7 – ონკანი; 8 – მექანოტრონი

ა. ლოსიევსკიმ ჰიდრომეტრიული მილაკის მოქმედებაში შეიტანა არსებითი ცვლილებები, რამაც გამოიწვია საწყისი u_0 სიჩქარის შემცირება. მან წამოაყენა წინადადება სტატიკური და დინამიკური მილაკების მთლიანად სითხით შევსების შესახებ (ნახ. 50, გ). ასეთ შემთხვევაში სიჩქარითი დაწნევა მოქმედებს მილაკში მოთავსებულ მთელ სითხეზე და მოყავს ის მოძრაობაში. მოძრაობის w სიჩქარე დამოკიდებულია u სიჩქარეზე. მაშასადამე, თუ გვეცოდინება w , შეიძლება განვსაზღვროთ u სიჩქარე.

50, დ ნახაზზეც ნაჩვენებია ანალოგიური მილაკი. ის უკვე განხილული კონსტრუქციისაგან განსხვავდება მხოლოდ ვერტიკალური განშლადი მილაკით - 4. მასში მოთავსებულია ტივტივა - 5, რომლის ფარდობითი წონაც რამდენადმე ნაკლებია 1-ზე. როცა $u = 0$ -ს, ტივტივა იკავებს ადგილს სკალის ნულოვანი დანაყოფის გასწვრივ. რაც მეტია u , მით ქვემოთ იწევს ტივტივა. მაშასადამე, u

სიჩქარე შეიძლება ვიპოვოთ ტივტივას მდებარეობით. იგივე პრინციპი უდევს საფუძვლად მილებში წყლის ხარჯების გასაზომ ხელსაწყოს–როტამეტრს.

50, გ ნახაზზე გამოსახულ მილაკში მოძრავი სითხის სიჩქარითი დაწნევის სიდიდე ტოლია

$$\frac{(u-w)^2}{\varphi_m^2 2g},$$

ე. ი. გამოითვლება არა სრული u სიჩქარით, არამედ $u-w$ სხვაობით. ეს დაწნევა იხარჯება იმ წინაღობათა გადასალახავად, რომლებიც წარმოიქმნება მილაკში სითხის მოძრაობისას w საშუალო სიჩქარით. თუ მილაკის შიგა d დიამეტრს ისე შევარჩევთ, რომ მოძრაობა მასში ლამინარული იქნება, მაშინ მივიღებთ:

$$\frac{(u-w)^2}{\varphi_m^2 2g} = \frac{32vlw}{gd^2},$$

სადაც v არის სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი;

l – მილაკის ყველა არხის სიგრძე.

ამ განტოლების მარჯვენა ნაწილი წარმოადგენს ლამინარული ნაკადის დაწნევის დანაკარგს მილის სიგრძეზე. თუ ამ განტოლებას ამოვხსნით u -ს მიმართ, მივიღებთ:

$$u = w + \frac{8\varphi_m}{d} \sqrt{v l w}. \quad (50)$$

რადგანაც v დამოკიდებულია სითხის t ტემპერატურაზე, ამიტომ ა. ლოსიევსკის მილაკით u სიჩქარის განსაზღვრისათვის აუცილებელია გაიზომოს როგორც w სიჩქარე, ისე t ტემპერატურა. მილაკის კონსტრუქციაში გათვალისწინებულია წყლის პერანგი, რათა სითხის მოძრაობა მილაკის არხებში ხდებოდეს წყლის ტემპერატურის პირობებში. w სიჩქარეს ზომავენ მილაკის შიგნით შეყვანილი ანილინის საღებავის ხსნარის წვეთის მოძრაობის მიხედვით; ამ დროს ხდება წვეთის მიერ განვლილი l' გზის (ნახ. 50, გ) აღნუსხვა. მოსახერხებელია ანათვლები ავილოთ საღებავის წვეთის მახვილი წვეროს მიმართ. ამ შემთხვევაში $w = 0,5 w_{\text{მავს}}$ სადაც $w_{\text{მავს}}$ არის სიჩქარე მილაკის ღერძზე ლამინარული მოძრაობის დროს. 50–ე განტოლება შესაბამისად ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$u = 0,5 w_{\text{მავს}} + \frac{5,7\varphi_m}{d} \sqrt{v l w_{\text{მავს}}}. \quad (51)$$

ა. ზედგინიძის კონსტრუქციის ანალოგიურ მილაკში w სიჩქარეს ზომავენ ტივტივათი, რომლის ფარდობითი წონა უდრის ერთს.

ჰიდრომეტრიული მილაკების კლასიფიკაცია შეიძლება შემდეგნაირად:

სიჩქარის გადამწოდის (მიმღები ნაწილის) ფორმის მიხედვით—ცილინდრული და სფერული; ცილინდრულ მილაკებს ნაკადში ათავსებენ ჰორიზონტალურად ან ვერტიკალურად;

მილაკები, რომლებიც ზომავენ მხოლოდ ადგილობრივი სიჩქარის სიდიდეს, და მილაკები რომლებიც ზომავენ სითხის სიჩქარის როგორც სიდიდეს, ისე მიმართულებას;

აღმსრულებელი ნაწილის მოწყობილობის მიხედვით—მილაკები, რომლებშიც სითხის ხვედრითი კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნება სიჩქარით h_u სიმაღლეში (ნახ. 50, ბ); მილაკები, რომლებშიც კუთრი კინეტიკური ენერგია იხარჯება w სიჩქარის შექმნაზე საზომ უბანზე (ნახ. 50 გ); მილაკები, რომლებშიც დინამიკურ და სტატიკურ წნევათა სხვაობა აღინუსხება მექანოტრონის მოძრავ ღეროსთან მიერთებული მემბრანის საშუალებით.

ჰიდროკატაზონდი. სხეულისა და გარემოს თბური ურთიერთქმედება გამოსახება განტოლებით

$$G = \alpha(\Theta - t)S\tau, \quad (52)$$

სადაც G არის სითბოს რაოდენობა, რომელიც იკარგება სითბოს გამცემი სხეულის S ზედაპირიდან;

Θ – სხეულის ტემპერატურა;

t – გარემოს ტემპერატურა;

τ – დრო;

α – თბოგაცემის კოეფიციენტი.

ტემპერატურათა სხვაობის კლება $\Theta - t = 0$ გამოსახება მაჩვენებლიანი ფუნქციით:

$$\vartheta = \vartheta_0 e^{-m(\tau - \tau_0)}, \quad (53)$$

სადაც ϑ_0 არის ტემპერატურათა სხვაობა ϑ დროის საწყის τ მომენტში;

m – გაცივების ტემპი.

ამ ფუნქციის გრაფიკი გამოსახულია 52-ე ნახაზზე.

ნათელია, რომ ნაკადის სიჩქარის ზრდით იზრდება თბოგაცვლის ინტენსივობა, რაც, თავის მხრივ, იწვევს α კოეფიციენტის გაზრდას, ე. ი. $\alpha = \alpha(u)$.
თუ სხეული ელექტროდენით თბება, მაშინ

$$\frac{G}{\tau} = 0,24 I^2 R,$$

სადაც I არის სხეულში გამავალი დენის ძალა;

R – წინაღობა.

აღნიშნულის გათვალისწინებით 52-ე გამოსახულება შემდეგნაირად წარმოვიდგინოთ:

$$0,24 I^2 R = [\alpha(u)](\Theta - t)S. \quad (54)$$

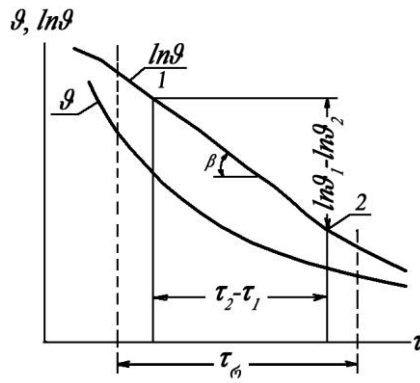
დღეისათვის არსებობს ჰიდროკატაზონდის (თერმოჰიდრომეტრის) მრავალი ტიპი, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ელექტრული სქემითა და სიჩქარის გადამწოდის (ზონდის) კონსტრუქციით. (53) და (54) განტოლებებიდან გამომდინარეობს სითხის დინების სიჩქარის სითბური გაზომვის სამი ძირითადი ხერხი:

მუდმივი წინაღობის; მუდმივი დენის ძალის; გაცივების რეგულარული რეჟიმის.

თუ R წინაღობას და, მაშასადამე, ზონდის ტემპერატურას მუდმივს შევინარჩუნებთ, მაშინ დენის ძალა (I) შეიცვლება სითხის u სიჩქარის მიხედვით. სითხის უცვლელი ტემპერატურისას შეიძლება მივიღოთ:

$$I^2 = I_0^2 + b(u - u_0)^n, \quad (55)$$

სადაც I_0 არის უძრავ სითხეში ზონდის მუდმივი ტემპერატურის შესანარჩუნებლად საჭირო ძალა;



ნახ. 52. $\theta = \theta(\tau)$ ფუნქციების გრაფიკები ჩვეულებრივ და ნახევრადლოგარითმულ კოორდინატებში

b – პარამეტრი, რომელიც დამოკიდებულია გარემოს ფიზიკურ თვისებებზე, ზონდის თერმულ მახასიათებლებსა და ზომებზე და განისაზღვრება ცდით;

n – ხარისხის მაჩვენებელი; $n = 0,5$ შეესაბამება სიჩქარეთა განსაზღვრულ დიაპაზონს;

u_0 – საწყისი სიჩქარე, ე. ი. ისეთი სიჩქარე, რომლის ზემოთაც ჰიდროკატაზონდი იჭერს სითხის გადატანით მოძრაობას.

სიჩქარის გავლენა თბოგაცვლაზე აისახება მხოლოდ მაშინ, როდესაც სითხის ნაწილაკების გადატანითი მოძრაობის ინტენსივობა მეტი აღმოჩნდება $\theta - t$ ტემპერატურული სხვაობით გამოწვეული კონვექციური დენების ინტენსივობაზე. ამითაა განპირობებული u_0 საწყისი სიჩქარის ფიზიკური არსი. რაც ნაკლებია $\theta - t$ სხვაობა, მით მცირეა u_0 . წყლის დინების სიჩქარეთა გასაზომ სხვა ხელსაწყოებთან შედარებით ჰიდროკატაზონდებს აქვთ u_0 -ის ძალზე მცირე მნიშვნელობები, რის გამოც 55-ე ფორმულა, როცა $n = 0,5$, შეიძლება ასეთი სახით ჩავწეროთ:

$$I^2 = I_0^2 + b\sqrt{u}. \quad (56)$$

თუ I დენის ძალას მუდმივს შევინარჩუნებთ, მაშინ θ ტემპერატურა და R წინაღობა შეიცვლება სითხის u სიჩქარის მიხედვით (მუდმივი დენის ძალის ხერხი).

სითხის დინების სიჩქარეთა სითბური გაზომვის შედარებით გავრცელებულ მეთოდად ითვლება გაცივების რეგულარული რეჟიმის ხერხი; ამ ხერხის გამოყენებისას არ არის აუცილებელი, რომ θ , t და $\theta - t$ სიდიდეები მუდმივი იყოს. აღნიშნულ მეთოდს საფუძვლად უდევს გ. კონდრატევის მიერ დამუშავებული

გაცივების რეგულარული რეჟიმის თეორია. რეგულარული სითბური რეჟიმის მახასიათებლად მიღებულია m სიდიდე, რომელიც 53-ე ფორმულაში შედის. ამ უკანასკნელის τ -თი დიფერენცირებით მივიღებთ:

$$d\vartheta = -\vartheta_0^{e^{-m(\tau-\tau_0)}} m d\tau = -m\vartheta d\tau,$$

საიდანაც

$$m = -\frac{1}{\vartheta} \frac{d\vartheta}{d\tau}. \quad (57)$$

მაშასადამე, m არის ზონდისა და გარემოს (ნაკადის) ტემპერატურათა სხვაობის ფარდობითი ცვლილებების სიჩქარე. მას გაცივების ტემპს უწოდებენ. თუ 57-ე გამოსახულებას ასეთი სახით ჩავწერთ:

$$\frac{d(\ln\vartheta)}{d\tau} = -m,$$

შევნიშნავთ, რომ m იმ სწორი ხაზის კუთხური კოეფიციენტია (ნახევრად-ლოგარითმულ კოორდინატებში)

$$\ln\vartheta = -m\tau,$$

რომელიც τ ღერძის მიმართ β კუთხით არის დახრილი. აქედან ნათელია, რომ m -ის გეომეტრიული ინტერპრეტირებისათვის უნდა ავაგოთ $\vartheta = \vartheta(\tau)$ ფუნქციის ნახევრად ლოგარითმული ანამორფოზა (ნახ. 52). გაცივების რეგულარულ რეჟიმს შეესაბამება დროის τ ინტერვალი. დამოკიდებულება $\ln\vartheta$ და τ სიდიდეებს შორის ამ ინტერვალში წრფივია. თუ 58-ე განტოლებას დავწერთ გაცივების ორი τ_1 და τ_2 პერიოდისათვის, მივიღებთ m -ის გამოსათვლელ ფორმულას:

$$m = \frac{\ln\vartheta_1 - \ln\vartheta}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (59)$$

სადაც ϑ_1 და ϑ_2 შეესაბამებიან დროის τ_1 და τ_2 მომენტებს; m -ის განზომილებაა $\frac{1}{\text{სმ}}$; რაც მეტია m , მით ინტენსიურად ხდება ზონდის გაცივება, იმის გამო, რომ ნაკადის სიჩქარის ზრდა იწვევს თბოგაცვლის ინტენსივობის ზრდას, ამიტომ $m = m(u)$. m -ის გაზომვით შეგვიძლია ვიპოვოთ u . ამაში მდგომარეობს სითხის დინების სიჩქარის გაზომვის იდეა გაცივების რეგულარული რეჟიმის ხერხით.

ხელსაწყოს ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტია სიჩქარის პირველადი გადამწოდი და ზონდი, რომელიც თავის თავზე ღებულობს ნაკადის გამაცივებელ მოქმედებას. გაცივების ტემპი (m) განისაზღვრება თერმოელექტრული დიფერენციალური ხერხით. თერმოწყვილის ერთი მარჩილი (თბილი)

მოთავსებულია სიჩქარის გადამწოდში, სადაც ტემპერატურა θ -ის ტოლია, ხოლო მეორე – t ტემპერატურის მქონე ნაკადში.

ცნობილია თერმოჰიდრომეტრის სხვადასხვა ტიპები, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან სიჩქარის გადამწოდის კონსტრუქციით და ელექტრული სქემით. ფართოდაა გავრცელებული დანიური ფირმის DISA-ს თერმოჰიდრომეტრები (თერმოანემომეტრები).

§ 9. წყლის დინების სიჩქარეთა გასაზომი ხელსაწყოების ტარირება

გამოცდას, რომლის საშუალებითაც ხდება სითხის დინების სიჩქარესა და ჰიდრომეტრიული ხელსაწყოს პირვანდელი გადამწოდის ჩვენებას შორის დამოკიდებულების დადგენა, ხელსაწყოს ტარირება ეწოდება. აღნიშნული დამოკიდებულება შეიძლება გამოსახულ იქნეს ანალიზურად ან გრაფიკულად. ამის შესაბამისად შემოღებულია ტერმინები „სატარირო განტოლებები“ და „სატარირო მრუდები“. განტოლებათა პარამეტრებს სატარირო კოეფიციენტებს უწოდებენ.

ხელსაწყოს დანიშნულებისა და ექსპლოატაციის პირობების მიხედვით განასხვავებენ ქარხნული წესით, საკონტროლო (განმეორებით) და პრეციზიულ (მაღალი სიზუსტით) ტარირებას. პირველი ტარირება ხდება ქარხანაში უშუალოდ ხელსაწყოს დამზადების შემდეგ. საკონტროლო ტარირება აუცილებელია იმიტომ, რომ სატარირო განტოლება იცვლება ხელსაწყოს ნაწილების ცვეთის, კოროზიის, მექანიკურ დაზიანებათა, რემონტისა და სხვ. გამო. პრეციზიული ტარირება კი ხდება სხვადასხვა სახის მეცნიერულ კვლევებთან დაკავშირებით.

ყოველ ჰიდრომეტრიულ ხელსაწყოს უნდა ჰქონდეს მოწმობა ტარირების შესახებ (ხელსაწყოს პასპორტი), რომელშიც ნაჩვენებია იქნება მოწმობის ნომერი, ტარირების თარიღი და ხელსაწყოს ნომერი.

ხელსაწყოთა ტარირება შეიძლება როგორც ნაკადში (წყლის ან ჰაერის), ისე უძრავ სითხეში. საჰაერო ტარირებას ახდენენ ჰიდრომექანიკურ მილებში, სითხითს ჰიდრავლიკურ ღარებში და სადაწნეო მილებში. ორივე შემთხვევაში ჰიდრომეტრიულ ხელსაწყოს ათავსებენ ნაკადში, აღნუსხავენ ხელსაწყოს გადამწოდის ჩვენებებსა და ხელსაწყოზე მოქმედი ნაკადის სიჩქარეს და მიღებული შედეგების საფუძველზე ადგენენ სატარირო განტოლებას.

უძრავ წყალში ტარირების ხერხი დაფუძნებულია იმ დაშვებაზე, რომ ნაკადის სიჩქარისა და უძრავ წყალში ხელსაწყოს გადაადგილების სიჩქარის ზემოქმედება პირველად გადამწოდზე ერთნაირია აღნიშნულ სიჩქარეთა ფარდობითი ტოლობის შემთხვევაში. ეს დაშვება ნაკლებად მართებული ხდება ნაკადის ტურბულენტობის ხარისხის ზრდისას.

იმის მიხედვით, თუ როგორია საცდელი ხელსაწყოს გადაადგილების ტრაექტორიის ფორმა, უძრავ წყალში ტარირებას აწარმოებენ წრიულ და სწორხაზოვან აუზებში (არხებში).

ტარირება შეიძლება შესრულდეს როგორც ხელსაწყოზე მოქმედ სიჩქარეთა უშუალოდ განსაზღვრის გზით, ისე ხელსაწყოს ჩვენებათა შედარების გზით ისეთი სანიმუშო ხელსაწყოს ჩვენებებთან, რომლის მახასიათებლებიც ცნობილია.

უძრავ წყალში ტარირებისას ხელსაწყოზე მოქმედ სიჩქარეს განსაზღვრავენ ფორმულებით:

სწორხაზოვანი აუზებისათვის

$$u = \frac{L}{T},$$

წრიული აუზებისათვის

$$u = \frac{\pi n d}{T},$$

სადაც L არის ხელსაწყოს გარბენის მანძილი T დროის განმავლობაში;

d – იმ წრის დიამეტრი, რომელზედაც გადაადგილდება ხელსაწყო;

m – ისრის ბრუნთა რიცხვი, რომლის საშუალებითაც ხდება ხელსაწყოს გადაადგილება.

ტარირება შეიძლება შევასრულოთ საცდელი ხელსაწყოს ჩვენებათა რეგისტრაციის გზით, იმავე წერტილში ხელსაწყო–ეტალონით წყლის დინების სიჩქარის შემდგომი გაზომვით.

ტარირებას ასეთივე ხერხით არხებში (აუზებში) ასრულებენ საცდელი ხელსაწყოსა და ხელსაწყო–ეტალონის ერთდროული გადაადგილების გზით.

ჰიდრომეტრიული ხელსაწყოების ტარირება შეიძლება შესრულდეს ლაბორატორიულ და საველე პირობებში.

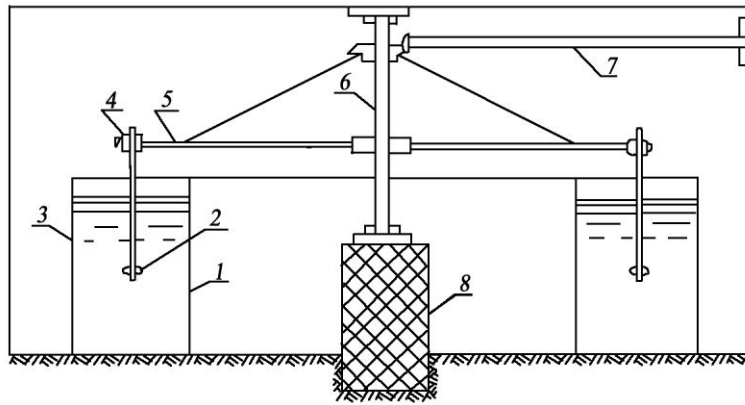
საველე ჰიდრომეტრიული ხელსაწყოების (ტრიალების) ტარირება ძირითადად ხდება უძრავ წყალში (არხში).

სატარირო სადგურები. ხელსაწყოთა მახასიათებლების ექსპერიმენტულად დასადგენ ლაბორატორიას, რომელიც აღჭურვილია წყლის აუზებით, ნაკადის შესაქმნელი დანადგარებითა და მექანიზმებით, წყალში ხელსაწყოს მოსათავსებელი და გადასაადგილებელი მოწყობილობებით და აგრეთვე მარეგისტრირებელი (აღმნუსხავი) აპარატურით, სატარირო ლაბორატორია ან სატარირო სადგური ეწოდება. სადგურის ძირითადი აღჭურვილობაა: ურიკა სატარირო ხელსაწყოს გადასაადგილებლად (სწორხაზოვან არხში) და უღელი საცდელი და სანიმუშო ხელსაწყოების ბრუნვისათვის (წრიულ არხში); მარეგისტრირებელი აპარატურა.

სწორხაზოვან სატარირო არხებში ტრიალას ტარირება შეიძლება როგორც შტანგით, ისე გვარლით.

სწორხაზოვანი არხის ორივე ნაპირზე დაგებულია ლიანდაგი, რომელზედაც მოძრაობს ურიკა. ხელსაწყოთა ტარირების სიზუსტე დამოკიდებულია არხის ზომებზე (მისი მინიმალური ზომებია: სიგრძე 70 მ, სიღრმე 1,3 მ, სიგანე 1,5 მ). თუ აგებულია ფართო არხი რამდენიმე ხელსაწყოს ერთდროული ტარირებისათვის, მაშინ მანძილი ხელსაწყოდან ფსკერამდე და გვერდით კედლებამდე არ უნდა იყოს 0,6 მ-ზე ნაკლები, ხოლო მანძილი ორ მეზობელ ხელსაწყოს შორის—0,8 მ-ზე ნაკლები. არხის სიგრძის ნაწილი გამოიყენება ურიკის გარბენისა და დამუხრუჭებისათვის. ურიკის, და, მაშასადამე, დასატარირებელი ხელსაწყოს მიერ განვლილი მანძილის გასაგებად მთელ გზაზე ყოველ 2–5 მ-ზე მოწყობილია საკონტაქტო ჩამკეტი. მათი ჩართვა ხდება ურიკაზე დამონტაჟებული საკონტაქტო ზამბარის საშუალებით. მართვის პულტი და მარეგისტრირებელი აპარატურა შეიძლება მოთავსებული იყოს ურიკაზე ან ცალკე.

ზოგჯერ აუზის სახით იყენებენ ტბას ან ტბორს, რომელზედაც აგებენ ლიანდაგიან ესტაკადას. თუ ესტაკადა ნაპირზე მდებარეობს, მაშინ დასატარირებელ ხელსაწყოს ამაგრებენ ისარზე.



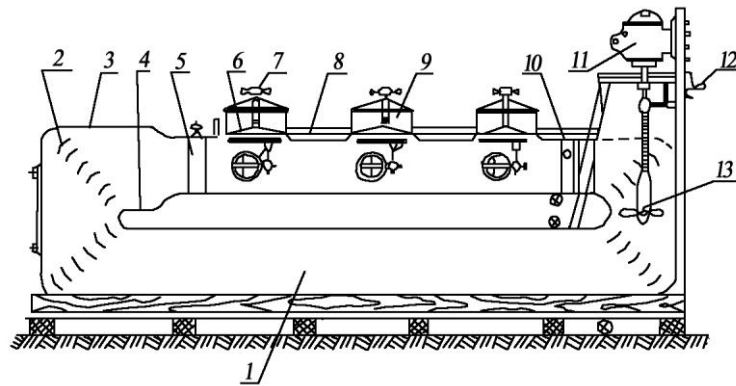
ნახ. 53. რგოლური სატარირო აუზის სქემა:

1 – შიგა ცილინდრი; 2 – ტრიალა; 3 – გარე ცილინდრი; 4 – შტანგის შესაკავებელი; 5 – კარუსელი; 6 – ვერტიკალური ლილვი; 7 – ჰორიზონტალური ლილვი; 8 – სამირკველი

წრიული სატარირო აუზი ორი სახისაა: რგოლური და წყლით მთლიანი შევსების. განსხვავება მათ შორის ისაა, რომ რგოლურ აუზში წარმოიქმნება შედარებით მოწესრიგებული ინტენსიური ზურგის ნაკადი. ხოლო მთლიანი შევსების აუზში–ნაკლებად მოწესრიგებული და არაინტენსიური (წყლის დიდი მასის არსებობის გამო). პირველ შემთხვევაში ზურგის ნაკადის გათვალისწინება ხდება ტარირების პროცესში ხელსაწყო–ეტალონის გამოყენებით, მეორე შემთხვევაში ზურგის ნაკადი სუსტდება რადიალური მიმართულების ვერტიკალური დამაწყნარებელი ფარებით. 53-ე ნახაზზე ნაჩვენებია ორი კონცენტრული ცილინდრისაგან - 1 და 3 შემდგარი რგოლური სატარირო აუზის სქემა. აუზის ცენტრში ფუნდამენტზე - 8 დამაგრებულია კარუსელი - 5 ვერტიკალური ლილვით - 6, შტანგმჭერით - 4 და ჰიდრომეტრიული ტრიალათი-2. კარუსელი ბრუნავს ჰორიზონტალური ლილვის -7 გარშემო მოტორის საშუალებით. წყლით შევსებული რგოლური სივრცის სიგანე და სიღრმე 1 მ-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს.

ჰიდრომეტრიული ტრიალას ტარირება შეიძლება შესრულდეს ვ. ურივაევის სატარირო ღარში. მასში გამოსაცდელ ტრიალასთან ერთად ათავსებენ სანიმუშო ტრიალასაც. სწორკუთხა რეზერვუარის ფორმის მქონე ღარის სიგრძეა 3,5 მ, სიმაღლე 0,9 მ და სიგანე 0,4 მ. რეზერვუარი გაყოფილია ჰორიზონტალური ტიხრით - 4 (ნახ. 54), რომლის მეშვეობითაც მისი შიგა ნაწილი გადაქცეულია

ჩაკეტილ ოვალურ არხად; ამ უკანასკნელში შესაძლებელია წყლის ცირკულაცია. არხის ზედა ნაწილი $0,3 \times 0,4$ მ კვეთით წარმოადგენს ღარის მუშა უბანს. რეზერვუარის კუთხეებში მოთავსებულია მიმმართველი ფრთები - 2, ხოლო მუშა უბნის თავსა და ბოლოში გისოსები - 5. არხის ზედა კედელზე დამონტაჟებულია სამი საძრომი - 9, ხუფებით - 6 და ხრახნებით - 7. არე საძრობის ხუფებს ქვემოთ ნახევრად წყლით შევსებული უნდა იყოს. მილაკი - 8 აერთებს აღნიშნულ არეებს ერთმანეთთან და ღარის ყელთან და ათანაბრებს წყლის დონეებს საძრომებში. ნაკადსა და ტრიალას მუშაობაზე დაკვირვებისათვის ღარის გვერდით კედლებზე მოწყობილია სამი ილუმინატორი. ღარის უკანა ნაწილი საშუალოზე რამდენადმე მაღლა მდებარეობს, რის გამოც რეზერვუარის წყლით შევსებისას ამ ადგილას გროვდება ჰაერი. მისი გამოშვება ხდება საცობის - 3 საშუალებით. ღარს წინა ნაწილში აქვს ყელი, რომელშიც ჩაშვებულია სანავე ხრახნი - 13 საბრუნო ფრთებით. ეს საშუალებას იძლევა შევქმნათ სხვადასხვა სიჩქარით მოძრავი ნაკადი. ფრთების მობრუნების კუთხე იცვლება სახელურით - 12; კუთხის მნიშვნელობები შეიძლება ავითვალოთ სკალაზე. სანავე ხრახნი ბრუნავს - 5 კვტ-მდე სიმძლავრის ელექტრომოდტორით - 11. ღარის ვიზრაციის თავიდან აცილების მიზნით მოტორი დამონტაჟებულია ცალკე დგარზე.



ნახ. 54. ვ. ურივაევის სატარირო ღარი:

1 – რეზერვუარი, 2 – მიმმართველი ფრთები; 3 – საცობი, 4 – ტიხარი; 5 – გისოსი; 6 – სახურავი; 7 – ხრახნი; 8 – მილაკი; 9 – საძრომი; 10 – ჟალუზებიანი გისოსი; 11 – ელექტრომოდტორი

წყლის მოძრაობის მცირე სიჩქარეების რეგულირება ხდება ჟალუზებიანი გისოსით - 10, რომლის ვერტიკალური ფირფიტებიც შეიძლება ერთდროულად

მობრუნდეს. ტრიალას შტანგები მაგრდება საძრომის სახურავებზე. ღარის დასამონტაჟებლად აუცილებელია ფუნდამენტი. ღარს ქვემოდან მიერთებული აქვს ონკანი წყლის გამოსაშვებად. სატარირო ღარის კომპლექტში შედის აგრეთვე ქრონოგრაფი ტრიალას ბრუნთა რიცხვისა და დროის სარეგისტრაციოდ. ღარი წინასწარ უნდა იქნეს გამოცდილი, რათა დადგინდეს დამოკიდებულება ნაკადის სიჩქარესა და სანავე ხრახნის ფრთების მობრუნების კუთხეს შორის. ამ დამოკიდებულებით შეიძლება ვისარგებლოთ ღარში სიჩქარის მხოლოდ საორიენტაციოდ დასანიშნად.

ჰიდრომეტრიული ტრიალას ტარირება. ტრიალას პირველი ტარირება ხდება მისი დამზადების შემდეგ, ხოლო შემდგომი (საკონტროლო) – წყლის 20–50 ხარჯის გაზომვის შემდეგ. რაც დიდია წყლის ხარჯი და ნაკადის სიმღვრივე, მით ხშირია ტრიალას ტარირება. საშუალოდ ტრიალას განმეორებითი ტარირება ხდება 2 წელიწადში ერთხელ. ასეთ შემთხვევებში წინასწარ ადგენენ ტრიალას შეკეთების ხასიათს და დამატებითი კომპლექტაციის მოთხოვნას. განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევენ როტორის მდგომარეობას; ჰაერის ნაკადით მოძრაობაში მოყვანილი როტორი უნდა ჩერდებოდეს სხვადასხვა მდგომარეობაში და არ უნდა ჰქონდეს უკუსვლა. გვარლზე ჩამოკიდებული ტრიალა (კუდის ფრთაშესხმულობით–საჭით) წყალში უნდა იკავებდეს ჰორიზონტალურ მდებარეობას.

ტარირების წინ ტრიალას შლიან, რეცხავენ ბენზინით, ამშრალევენ და აწყობენ; ზეთის კამერაში ასხამენ ტრანსფორმატორის ზეთს; ამოწმებენ საკონტაქტო მექანიზმის მუშაობას. ტრიალას ამუშავენ 5 წთ–ის განმავლობაში ვენტილატორით შექმნილ ჰაერის ნაკადში.

სწორხაზოვან აუზში ტრიალას ტარირება ხდება საჭით. ტრიალას ჰორიზონტალური ღერძის მიმართულება უნდა შეუთავსდეს სატარირო ურიკის მოძრაობის მიმართულებას.

ტრიალას ტარირებას იწყებენ მისი საწყისი u_0 სიჩქარის განსაზღვრით, რაც შეიძლება ორი ხერხით შესრულდეს. სატარირო ურიკას გადაადგილებენ ისეთი სიჩქარით, რომ უზრუნველყოფილი იყოს ფრთებიანი ხრახნის თანაბარი ბრუნვა; შემდეგ ურიკის სიჩქარეს ამცირებენ მანამდე, სანამ არ დაიწყება ხრახნის

არათანაბარი ბრუნვა და დროებითი შეჩერებები; ურიკის ეს სიჩქარე მიიღება სწორედ u_0 საწყის სიჩქარედ. u_0 -ის ასეთი ხერხით განსაზღვრისას შეცდომა საშუალოდ $\pm 20\%$ -ს აღწევს.

u_0 - ის განსაზღვრის მეორე ხერხი მდგომარეობს n ბრუნთა რიცხვისა და შესაბამის u სიჩქარეთა განსაზღვრაში 3–4 სხვადასხვა სიჩქარისათვის, რომლებიც რამდენადმე მეტია u_0 -ზე და უზრუნველყოფენ ხრახნის თანაბარბრუნვას. u_0 -ს განსაზღვრავენ $u = u(n)$ მრუდის გრაფიკული ექსტრაპოლაციით $n = 0$ -ს მნიშვნელობამდე. ასეთ შემთხვევაში u_0 -ის დადგენა ხდება დიდი სიზუსტით. შემდეგ ტრიალას ატარირებენ 15–20 სხვადასხვა სიჩქარისათვის, რომელთაგან ნახევარი კრიტიკულ სიჩქარეზე ნაკლებია $u \leq u_c$. ტრიალას ტარირება რეკომენდებულია შემდეგ სიჩქარეებზე (u_0 საწყისი სიჩქარის დასადგენი სიჩქარეების ჩათვლით): 0,05; 0,06; 0,08; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,35; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50; 1,75; 2,0; 2,25; 2,50 მ/წმ. თუ ტრიალა გათვალისწინებულია დიდი სიჩქარეების გასაზომად, მაგალითად, სადაწნო წყალსადინარებში, სწრაფდენებზე, მთის მდინარეებში, მაშინ ტარირების ზედა ზღვარი უნდა ავწიოთ 4–5 მ/წმ-მდე და ზევით.

ტარირების დაჩქარების მიზნით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ურიკის როგორც პირდაპირი, ისე უკუსვლა. ამისათვის ურიკის მოძრაობის მიმართულების შეცვლისას შტანგი უნდა შემობრუნდეს 180° -ით. ყოველ ახალ მოძრაობას ურიკა იწყებს აუზში წყლის მთლიანად დაწყნარების შემდეგ. გვარლზე ჩამოკიდებული ტრიალას ტარირებისას მანძილი ტვირთსა და ტრიალას ღერძებს შორის ისეთივე უნდა იყოს, როგორც მდინარეზე მუშაობისას, ჩვეულებრივად 0,30 მ. ურიკის მიერ განვლილი მანძილის, დროისა და აგრეთვე ტრიალას სიგნალების რეგისტრაციისას სასურველია, რომ ქრონოგრაფის ლენტის 100 მმ არხის მუშა უბანზე მოდიოდეს. არხის მუშა სიგრძეს მიეკუთვნება სიგრძე იმ უბნების გამოკლებით, რომლებზედაც ხდება ურიკის გაქანება და დამუხრუჭება. ქრონოგრამაზე უთითებენ ტრიალას ტიპს, ხრახნის ნომერსა და ტარირების თარიღს.

წრიულ აუზებში ტრიალას ტარირება ხდება შტანგებზე, საჭის გარეშე. სანიმუშო და დასატარირებელი ტრიალა ერთი ტიპის უნდა იყოს. წრიული

აუზების მქონე სატარირო სადგურებს უნდა ჰქონდეს სწორხაზოვან აუზში გულდასმით ტარირებული სანიმუშო ტრიალას კომპლექტი (ოთხ-ოთხი ეგზემპლარი, გავრცელებული ტიპის). ერთი წყვილი ტრიალა მუშა დანიშნულებისაა, მეორე-საკონტროლო (მუშა ტრიალას შესამოწმებლად). სანიმუშო ტრიალას ჰიდრავლიკური ბიჯები (k) არ უნდა განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან 5%-ზე მეტით, ხოლო სანიმუშო ტრიალათი ერთდროულად გაზომილი სიჩქარეები 1%-ზე მეტით ($u \geq u_p$ შემთხვევაში).

საწყის სიჩქარეს წრიულ აუზში საზღვრავენ შემდეგნაირად: ტრიალიან კარუსელს აბრუნებენ საწინააღმდეგო მიმართულებით, დაახლოებით 0,4 მ/წმ სიჩქარით, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ზურგის ნაკადი. კ. ზვორიკინის მიერ ყოფილ სახელმწიფო ჰიდროლოგიური ინსტიტუტის აუზში ჩატარებულ გამოკვლევებში, ზურგის ნაკადის სიჩქარე კარუსელის ბრუნვის სიჩქარის 40%-ს შეადგენდა. კარუსელი ჩერდება ზურგის ნაკადის დაახლოებით 0,20 მ/წმ სიჩქარის დროს. ინერციით მოძრავი ნაკადი აბრუნებს ფრთებიან ხრახნს. ნაკადის სიჩქარე მცირდება და შესაბამისად ეცემა ფრთებიანი ხრახნის n ბრუნთა რიცხვიც. როცა $n = 0$, სიღრმითი (ორმაგი) ტივტივას საშუალებით ზომავენ ზურგის ნაკადის სიჩქარეს წყლის თავისუფალი ზედაპირიდან ფრთებიანი ხრახნის ჩაძირვის სიღრმეზე. ეს სიჩქარე მიიღება საწყის u_0 სიჩქარედ.

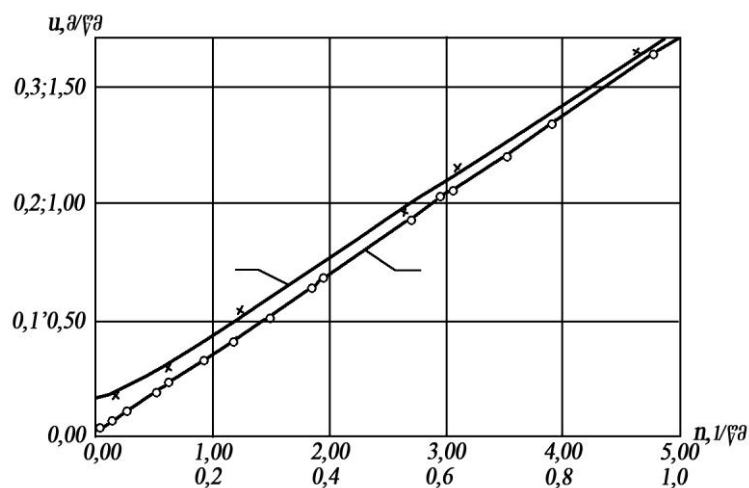
ყველა ტრიალა დასატარირებელიც და სანიმუშოც უნდა მოძრაობდეს ერთი და იმავე ტრაექტორიით. კ.ზვორიკინის რეკომენდაციით ტრიალა ჰორიზონტალური ბრუნვის ღერძით უნდა მოთავსდეს მოძრაობის ტრაექტორიისადმი მხრების მიმართულებით; ამ დროს მიჩნეულია, რომ შეხების წერტილი ფრთებიანი ხრახნის ცენტრთან არის შეთავსებული.

ტარირება ხდება ზემოაღნიშნული სიჩქარეებისას. თუმცა უნდა გავითვალისწინოთ ის, რომ ტრიალაზე მოქმედი ნაკადის u სიჩქარის მისაღებად კარუსელი უნდა ბრუნავდეს u სიჩქარეზე რამდენადმე მეტი სიჩქარით. ტარირება შეიძლება შესრულდეს კარუსელის შეუჩერებლად. ამ უკანასკნელის ერთი სიჩქარიდან მეორეზე გადასვლისას აუცილებელია დაველოდოთ ზურგის ნაკადის სტაბილიზაციას. ზურგის ნაკადი ითვლება მოწესრიგებულად, თუ მისი სიჩქარის

რხევა არ აღემატება 10%-ს. კარუსელის მუშა სვლის ხანგრძლივობაა 20-დან (ტარირების დიდი სიჩქარეებისას) 300 წმ-მდე (მცირე სიჩქარეებისას).

დასატარირებელ ტრიალაზე მოქმედ სიჩქარეს განსაზღვრავენ სანიმუშო ტრიალას ბრუნთა რიცხვით (n). დასატარირებელი ტრიალას გარსშემოძინების რთული პირობები ზურგის ნაკადის წარმოქმნით მხედველობაში მიიღება და კომპენსირდება სანიმუშო ტრიალათი.

ჰიდრომეტრიული ტრიალას ტარირების შედეგების დამუშავებას იწყებენ ქრონოგრამის გაშიფვრით. შემდეგ ითვლიან $n = \frac{N}{t}$ და $u = \frac{L}{t}$ სიდიდეებს. $u = u(n)$ გრაფიკი ან განტოლება n და u ექსპერიმენტულ კოორდინატებთან ერთად წარმოადგენს მოწმობას ტრიალას ტარირების შესახებ. სატარირო მრუდს [$u = u(n)$] აგებენ ერთ ნახაზზე ორ მასშტაბში: ერთს წვრილ მასშტაბში სიჩქარეთა მთელი დიაპაზონისათვის (ნახ. 55, მრუდი 1), მეორეს მსხვილ მასშტაბში $u < u_j \approx 0,4 - 0,5$ მ/წმ სიჩქარეებისათვის (მრუდი 2). სატარირო მრუდი ითვლება დამაკმაყოფილებლად, თუ (u, n) წერტილები $u > u_j$ შემთხვევაში არ გამოდიან 2% სიგანის ზოლის საზღვრებს გარეთ u ღერძის მიმართულებით. სხვანაირად, წერტილების გაბნევა გამასაშუალებელი წირის მიმართ არ უნდა შეადგენდეს 1%-ზე მეტს. როდესაც ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა წარმოებისას დიდი სიზუსტე მოითხოვება, აღნიშნული ნორმატივი დაყავთ 0,5 %-მდე.



ნახ. 55. ტრიალას სატარირო მრუდი (მაგალითი): 1 – წვრილი მასშტაბით, 2 – მსხვილი მასშტაბით

სატარირო განტოლება, როცა $u < u_j$ -ზე, გამოიყენება (42) გამოსახულების ფორმით, ხოლო $u > u_j$ -ზე შემთხვევაში-(43)-ის ფორმულით. შევნიშნავთ, რომ $u = u(n)$ გრაფიკის მრუდწირული უბანი მკვეთრად ჩანს M და u კოორდინატებში აგებულ სატარირო მრუდზე (ნახ. 47).

იმისათვის, რომ გამოვთვალოთ (42) და (43) განტოლებათა პარამეტრები, უპირველეს ყოვლისა, აუცილებელია მოიძებნოს კრიტიკული u სიჩქარე, რაც საშუალებას მოგვცემს ტარირების მონაცემებიდან ცალ-ცალკე გამოვყოთ არაწრფივი ფუნქციის $u = u(n)$ და წრფივი ფუნქციის მონაცემები. u_j სიჩქარე იზრდება u_0 საწყისი სიჩქარის ზრდასთან ერთად და გამოითვლება გ. ჟელეზნიაკოვის ფორმულით:

$$u_j = 7,1 \frac{u_0}{\sqrt{\beta}}, \quad (60)$$

$$\text{სადაც } \beta = 6,9u_0 - 0,06 + \sqrt{(2,3u_0 - 0,055)^2 + 0,0058}. \quad (61)$$

ამ ფორმულებით გამოთვლილი u_j და β მნიშვნელობები მოცემულია მე-4 ცხრილში.

ც ხ რ ი ლ ი 4.

u_j და β -ს მნიშვნელობები

u_0 მ/წმ	u_j მ/წმ	β	u_0 მ/წმ	u_j მ/წმ	β
0,000	0,000	0,000	0,045	0,571	0,305
0,010	0,305	0,049	0,050	0,594	0,350
0,015	0,371	0,057	0,060	0,636	0,440
0,020	0,427	0,105	0,070	0,676	0,532
0,025	0,470	0,136	0,080	0,714	0,623
0,030	0,500	0,175	0,090	0,750	0,715
0,035	0,527	0,216	0,100	0,785	0,807
0,040	0,549	0,260			

ფრთებიანი ხრახნის ჰიდრავლიკური ბიჯის (k) გამოსათვლელად ღებულობენ, რომ ცდისეული წერტილების $u = kn$ წრფიდან გადახრის ალგებრული ჯამი ნულის ტოლია, ე. ი. $\Sigma(u - kn) = 0$, საიდანაც

$$k = \frac{\sum u}{\sum n}. \quad (62)$$

აუცილებელია შეჯამდეს u და n , როცა $u \geq u_j$.

(42) განტოლებაში შემავალი c პარამეტრი გამოითვლება იმ პირობიდან, რომ როცა $n = 0$, $u = u_0 = \sqrt{c}$; ამიტომ

$$c = u_0^2. \quad (63)$$

a და b პარამეტრებს პოულობენ ფორმულებით:

$$a = (0,99 - \beta)k, \quad (64)$$

$$b = (k\beta)^2. \quad (65)$$

წრფივ და არაწრფივ განტოლებათა გამოყენების არე დამოკიდებულია ფრთებიანი ხრახნის ბრუნთა რიცხვზე და მითითებულია $n > n_j$ და $n < n_j$ შემთხვევებისათვის; ამასთან, $n_j = u_j/k$.

განტოლებებს ამოწმებენ, მათი ერთობლივი ამოხსნით, რის შედეგადაც უნდა მივიღოთ u_j და n_j -ს მნიშვნელობები, და ამ განტოლებებით გრაფიკის აგების გზით. ცდით მიღებული წერტილები უნდა დალაგდეს მრუდებზე დასაშვებ ფარგლებში გადახრით.

მრავალჯერადი გაზომვისას მოსახერხებელია ვისარგებლოთ n – დან u – ზე გადასასვლელი სატარირო ცხრილით, რომელშიც ვერტიკალურად ამოიწერენ n –ს $0,1 \frac{1}{\text{წმ}}$ ინტერვალით, ხოლო ჰორიზონტალურად – $0,01 \frac{1}{\text{წმ}}$ ინტერვალით. სატარირო ცხრილის შედგენისას u მნიშვნელობებს იღებენ მსხვილი მასშტაბით აგებული სატარირო მრუდიდან ან გამოითვლიან განტოლებით. ე. ბლიზნიაკისა და გ. ჟელეზნიაკოვის გამოკვლევებით დადგენილია, რომ ტარირების სიზუსტე შეიძლება ავიყვანოთ 0,25%-მდე. მასთან ერთად, შეცდომებმა ტარირებაში შედარების ხერხის გამოყენებისას ცალკეულ შემთხვევაში შეიძლება გადააჭარბოს 2%-ს.

§ 10. წყლის დინების სიჩქარეთა გაზომვის მეთოდика

არსებობს წყლის დინების სიჩქარეთა გაზომვის ორი ხერხი–წერტილოვანი და ინტეგრაციული. პირველი ხერხით წყლის დინების ადგილობრივ სიჩქარეთა (u) გაზომვა ხდება ნაკადის მკაცრად ფიქსირებულ წერტილებში. ამ წერტილებს სიჩქარითი წერტილები ეწოდება. წერტილოვანი ხერხით სიჩქარეთა გაზომვისას

ძირითადად უნდა გადაიჭრას ორი საკითხი: როგორ ავირჩიოთ ნაკადში სიჩქარითი წერტილები და როგორი უნდა იყოს გაზომვის ხანგრძლივობა სიჩქარის პულსაციის მოვლენის მხედველობაში მიღებით.

ინტეგრაციული ხერხი ითვალისწინებს გასაშუალებული სიჩქარის გაზომვას რაიმე მიმართულებით: ვერტიკალური, ჰორიზონტალური ან ირიბი მიმართულებით. მაგალითად, თუ ჰიდრომეტრიულ ტრიალას ნაკადში ვერტიკალურად გადავაადგილებთ, უშუალოდ შევძლებთ ვერტიკალზე - u_z საშუალო სიჩქარის განსაზღვრას. ტივტივა-ინტეგრატორის მოქმედების პრინციპს საფუძვლად ინტეგრაციული მეთოდი უდევს. პრინციპული განსხვავება წერტილოვან და ინტეგრაციულ ხერხებს შორის ის არის, რომ პირველი საშუალებას იძლევა სიჩქარე გავასაშუალოთ დროში, ხოლო მეორე-სივრცეში.

ვერტიკალს, რომელზედაც იზომება ადგილობრივი სიჩქარე ან უშუალოდ საშუალო სიჩქარე (u_z), სიჩქარითი ვერტიკალი ეწოდება.

წყლის დინების სიჩქარეთა გაზომვის წერტილოვანი ხერხი. ცოცხალი კვეთის წერტილებს, რომლებშიც ადგილობრივ u სიჩქარეებს ზომავენ, გარკვეული სისტემით ირჩევენ. ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში უნდა ავირჩიოთ შედარებით მოხერხებული მიმართულების მქონე წირები, რომლებზედაც განლაგდება სიჩქარითი წერტილები. მაგალითად, წრიული კვეთის მილში სითხის დაწნევითი მოძრაობისას შედარებით ხელსაყრელია რადიალური მიმართულება. სწორკუთხა განივკვეთის მქონე უდაწნეო და დაწნევით ნაკადებში სიჩქარითი წერტილების განლაგება ერთნაირად მოსახერხებელია როგორც ჰორიზონტალური, ისე ვერტიკალური მიმართულებით.

მდინარეებსა და არხებში u სიჩქარეს ზომავენ სიჩქარით ვერტიკალებზე, რადგანაც სიჩქარეთა განაწილება ვერტიკალზე უკეთესად არის შესწავლილი, ვიდრე სხვა მიმართულებაზე. გარდა ამისა, საზომი აპარატურის განსაზღვრულ ადგილზე მოთავსებით შეიძლება ერთდროულად შევასრულოთ რამდენიმე გაზომვა ერთ ვერტიკალზე, შემდეგ გადავინაცვლოთ მეორე ვერტიკალზე და შევასრულოთ ანალოგიური გაზომვები. სიჩქარითი წერტილების რიცხვი ცალკეულ სიჩქარით ვერტიკალზე და მთლიანად ცოცხალ კვეთში საკმარისი უნდა იყოს იზოტაქების ასაგებად. სიჩქარით წერტილებს შორის მანძილი ნაკადის

საზღვრებთან (ფსკერთან, ყინულის ქვედა ზედაპირთან) მიახლოებასთან ერთად უნდა მცირდებოდეს სიჩქარის გრადიენტის ზრდის გამო. ადგილობრივ სიჩქარეებს ვერტიკალებზე ზომავენ 6, 5, 3, 2 ან ერთ წერტილში, იმის მიხედვით, თუ როგორია სიჩქარითი ვერტიკალის მუშა სიღრმე (h), წყალსადინარის მდგომარეობა და სიჩქარის გასაზომი გადამწოდის ზომები.

მუშა სიღრმედ იგულისხმება უშუალოდ u სიჩქარეთა განსაზღვრისას გაზომილი სიღრმე; მის მიხედვით ადგენენ სიჩქარითი წერტილების განლაგებას. ძირითადად იღებენ ხუთ წერტილს, რომლებშიც ზომავენ სიჩქარეს. ეს წერტილებია: წყლის ზედაპირთან, წყლის ზედაპირიდან 0,2 h ; 0,6 h ; 0,8 h -ზე და ფსკერთან. ყინულის საფარის ან წყალმცენარეთა არსებობისას უმატებენ მეექვსე წერტილს – 0,4 h . სიჩქარეებს ამ წერტილებში აღნიშნავენ: $u_{\text{ზედ}}$, $u_{\text{ფსკ}}$, $u_{0,2}$ და ა.შ. მუშა სიღრმის (h), ტრიალას ფრთებიანი ხრახნის დიამეტრისა (d) და წყალსადინარის მდგომარეობის მიხედვით გადადიან ვერტიკალზე სიჩქარითი წერტილების შემცირებულ რაოდენობაზე (ცხრილი 5). აღნიშნული ხერხის ძირითადი ღირსება იმაში მდგომარეობს, რომ წერტილების (გარდა ფსკერთან და ზედაპირთან მდებარე წერტილებისა) ფარდობითი მდებარეობა ვერტიკალზე მუდმივია. $\eta_3 = \frac{y_3}{h}$ –ით აღვნიშნოთ იმ წერტილის ფარდობითი მდებარეობა (ფსკერიდან) სიჩქარით ვერტიკალზე, რომელშიც ადგილობრივი სიჩქარე ვერტიკალზე საშუალო სიჩქარის ტოლია, ე. ი. $u = u_3$ (იხ. ნახ. 30).

ც ხ რ ი ლ ი 5

სიჩქარითი წერტილების მდებარეობა ვერტიკალზე

h , მ		სიჩქარითი წერტილების ფარდობითი და აბსოლუტური (ზედაპირი, ფსკერი) მდებარეობა წყლის ზედაპირიდან
$d = 5 - 7$ სმ	$d = 12 - 13$ სმ	

წყალმცენარეთა არარსებობისას; ყინულის არარსებობისას

$> 0,60$	$> 1,00$	ზედ.; 0,2; 0,6; 0,8 ფსკ.
0,40–0,60	0,60–1,00	0,2; 0,6; 0,8
0,20–0,40	0,35–0,60	0,3; 0,8;
0,10–0,20	0,20–0,35	$1-\eta_3$

წყალმცენარეთა არსებობისას; ყინულის არსებობისას

>0,60	>1,00	ზედ.; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 ფსკ.
0,25–0,60	0,40–1,00	0,15; 0,50; 0,85
0,08–0,25	0,15–0,40	1– η_3

მდინარეებსა და არხებზე სამუშაოთა დასაჩქარებლად (წყალმცენარეებისა და ყინულის არარსებობისას) გადადიან სიჩქარეთა გაზომვაზე ორ წერტილში (0,2h და 0,8h) ან ერთ წერტილშიც კი (η_3 წერტილში).

η_3 -ს პოულობენ თეორიულად (21) და (23) ფორმულების საშუალებით:

$$u_3 = \frac{q}{h} = \frac{1}{h} \int_0^h u dy = \frac{u_{\text{ფსკ}}}{h} \int_0^h \eta^{\frac{1}{m}} dy = \frac{u_{\text{ფსკ}}}{h} \int_0^h \left(\frac{y}{h}\right)^{\frac{1}{m}} dy.$$

ინტეგრებით მივიღებთ:

$$u_3 = \frac{m}{1+m} u_{\text{ფსკ}}. \quad (66)$$

(21) და (66) განტოლებების ერთობლივი ამოხსნით გვექნება:

$$\frac{u}{u_3} = \frac{1+m}{m} \eta^{\frac{1}{m}} \quad (67)$$

როცა $u = u_3$, $\eta = \eta_3$; მაშასადამე,

$$\frac{1+m}{m} \eta_3^{\frac{1}{m}} = 1,$$

საიდანაც

$$\eta_3 = \left(\frac{m}{1+m}\right)^m. \quad (68)$$

თუ m -ს ავიღებთ (22) დამოკიდებულებიდან, მივიღებთ გ. ჟელეზნიაკოვის ფორმულას:

$$\eta_3 = \left(\frac{kC_3^*}{1+kC_3^*}\right)^{kC_3^*}. \quad (69)$$

k და C_3^* -ს მნიშვნელობების მიხედვით, რომლებიც, შესაბამისად, (20) და (69) ფორმულებით გამოითვლება, შედგენილია ცხრილი 6, რომელშიც მოყვანილია η_3 და $C_3 = C_3^* \sqrt{g}$ სიდიდეები.

(69) ფორმულიდან და მე-6 ცხრილიდან ჩანს, რომ $C_3 = 25-60 \theta^{0,5} / \sqrt{g}$ მნიშვნელობისათვის $\eta_3 \approx 0,4$. აქედან გამომდინარეობს ღია ნაკადის ვერტიკალზე საშუალო სიჩქარის ერთწერტილოვანი გაზომვის წესი: სიჩქარის საზომი ხელსაწყო უნდა მოვათავსოთ 0,4 h მანძილზე წყლის ზედაპირიდან. ამგვარად, თუ

სიჩქარითი წერტილების მდებარეობას დავაფიქსირებთ ნაკადის ზედაპირიდან, მაშინ C_3 -ს აღნიშნული დიაპაზონისათვის შეიძლება მივიღოთ: $1 - \eta_3 = 0,6$.

ც ხ რ ი ლ ი 6

ვერტიკალზე საშუალო სიჩქარის მქონე წერტილის ფარდობითი მდებარეობა

C_3^*	$C_3 \partial^{0,5}/\partial z$	η_3	C_3^*	$C_3 \partial^{0,5}/\partial z$	η_3
1,59	5	0,455	6,88	20	0,410
2,23	7	0,455	12,7	40	0,400
2,87	9	0,435	22,3	70	0,390
3,82	12	0,425	31,8	100	0,388

ხორკლიანობის გაზრდით და ნაკადის სიღრმის შემცირებით ფარდობითი სიღრმე

იზრდება. ძალიან დიდი ხორკლიანობისა (ნოღა კალაპოტები, ირიგაციული არხები წყალმცენარეებით) და მცირე სიღრმეების შემთხვევაში η_3 – მნიშვნელობა არსებითად განსხვავდება 0,4–ისაგან.

შტანგის ტრიალატი მუშაობისას სიჩქარითი წერტილების აბსოლუტური მდებარეობა მოიძებნება მუშა სიღრმის (h) გამრავლებით ფარდობით სიღრმეზე. ტრიალას წყლის ზედაპირთან მოთავსებისას საჭიროა ყურადღება მივაქციოთ იმას, რომ ფრთებიანი ხრახნი არ გაშიშვლდეს, ფსკერული სიჩქარის გაზომვისას კი ტრიალა ფსკერიდან დაცილებული იყოს 1–2 სმ–ით. ჰიდრავლიკურ ღარებში სიჩქარეების მიკროტრიალატი გაზომვისას ეს მანძილი შეიძლება ნაკლები იყოს. გვარლზე მიბმული ტრიალასათვის სიჩქარითი წერტილის მდებარეობის შერჩევა ფსკერთან განპირობებულია ტვირთის ზომებით; ეს მანძილი, ჩვეულებრივ, შეადგენს 15–40 სმ–ს. ის შეიძლება შევამციროთ, თუ ტრიალას უშუალოდ დავამაგრებთ ტვირთის წინა ნაწილში მოთავსებულ მანჭვალზე.

გვარლიანი ტრიალას სიჩქარით წერტილში მოსათავსებლად მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ გვარლის წყალქვეშა ნაწილის სიგრძე და შესწორება მის დაქანებაზე. თუ სიჩქარეთა გაზომვისას აღნიშნულ შესწორებას არ გავითვალისწინებთ, მაშინ აუცილებელია გამოვთვალოთ ტრიალას ჩადირვის ნამდვილი სიღრმეები და მიღებული მონაცემებით ვისარგებლოთ სიჩქარეთა

პროფილის აგებისას. ვთქვათ, მაგალითად, გვარლის წყალქვეშა ნაწილის სიგრძე არის 8 მ, ხოლო მანძილი ტრიალას ღერძსა და ტვირთის ქვედა ზედაპირს შორის – 0,30 მ. თუ ფარდობითი სიღრმე არის 0,8, მაშინ ფსკერთან სიჩქარის გაზომვის შემდეგ გვარლი ამოიწევა $8 - 8 \cdot 0,8 - 0,3 = 1,3$ მ სიგრძეზე. მაგალითად, თუ შესწორებამ გვარლის დაქანებაზე შეადგინა 0,65 მ, მაშინ ნამდვილი სიღრმე ვერტიკალზე ტოლი იქნება $8 - 0,65 = 7,35$ მ-ის, და, მაშასადამე, სიჩქარე გაზომილი ყოფილა წყლის ზედაპირიდან (ვერტიკალურად) $7,35 \times 0,8 = 5,88$ მ მანძილზე.

წყლის დაუმყარებელი მოძრაობისას, განსაკუთრებით ქვედა ბიეფში წყლის პერიოდული გაშვებით წარმოქმნილი ტალღური მოძრაობის პირობებში, წყლის დონეები და სიჩქარეთა ველი იცვლება არათუ ერთი სიჩქარითი ვერტიკალიდან მეორეზე გადასვლისას, არამედ ცალკეულ ვერტიკალზე სიჩქარეთა გაზომვის პროცესშიაც კი. იმისათვის, რომ გაზომვის სამუშაოები დაჩქარდეს, ტრიალას ათავსებენ $0,2h$ და $0,8h$ წერტილებში ან მხოლოდ $1 - \eta_3 = 0,6$ წერტილში და მუშაობენ რამდენიმე ვერტიკალზე პარალელურად.

გაზომვის შედეგები აუცილებლად მიღებული უნდა იქნეს დროის ერთ და იმავე მომენტისათვის. სამუშაოთა ორგანიზაცია დაუმყარებელი მოძრაობისას რაციონალურია მაშინ, თუ სიჩქარეები ყველა დაგეგმილ ვერტიკალზე იზომება სინქრონულად. ამის გამო ცოცხალ კვეთში ათავსებენ რამდენიმე ტრიალას მათ მიერ გადაცემული სიგნალების ავტომატური რეგისტრაციისათვის.

დონეების სწრაფი ცვლისას ვერტიკალებზე სიჩქარითი წერტილების ფარდობითი მდებარეობის მუდმივობის შენარჩუნება ვერ ხერხდება.

გაზომილი სიჩქარეებით მოსახერხებელ მასშტაბში აგებენ სიჩქარეთა პროფილს; ამასთან ხდება $u = u(y)$ მრუდის გრაფიკული ექსტრაპოლაცია წერტილებში: $y = 0$ და $y = h$. სიჩქარეთა პროფილს განსაზღვრავენ პლანიმეტრირებით; ის q ხარჯის ტოლია. პლანიმეტრის დანაყოფთა რიცხვი უნდა გამრავლდეს სიჩქარისა და სიღრმის მასშტაბზე. საშუალო სიჩქარე ვერტიკალზე ტოლი იქნება $u_3 = \frac{q}{h}$. ამაში მდგომარეობს u_3 -ის გამოთვლის გრაფიკულ-მექანიკური ხერხი.

სიჩქარითი წერტილების გარკვეული სისტემით განლაგება საშუალებას იძლევა ფართოდ გამოვიყენოთ u_3 -ის გამოთვლის ანალიზური ხერხი. ვთქვათ, გვაქვს ღია ნაკადის ვერტიკალის ხუთ სტანდარტულ წერტილში გაზომილი სიჩქარეების მნიშვნელობები. ასეთ შემთხვევაში q ხარჯი შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც ოთხი ტრაპეციის ფარდობთა ჯამი:

$$q = 0,5(u_{\text{ფედ}} + u_{0,2}) \cdot 0,2h + 0,5(u_{0,2} + u_{0,6}) \cdot 0,4h + 0,5(u_{0,6} + u_{0,8}) \cdot 0,2h + 0,5(u_{0,8} + u_{\text{ფსკ}}) \cdot 0,2h.$$

მსგავსი წევრების შეერთებით და h -ზე გაყოფით მივიღებთ:

$$u_3 = 0,1(u_{\text{ფედ}} + 3u_{0,2} + 3u_{0,6} + 2u_{0,8} + u_{\text{ფსკ}}). \quad (70)$$

სიჩქარეებს $0,2h$, $0,6h$ და $0,8h$ სიღრმეებზე წინ უზით 1-ზე მეტი კოეფიციენტები. (70)-ე ფორმულა რეკომენდებულია ღია ნაკადისათვის მცენარეული საფარის არარსებობისას. ისეთივე პირობებისათვის სამ, ორ და ერთ სტანდარტულ წერტილებში გაზომილი სიჩქარეებისათვის (ცხრილი 5) u_3 -ის მნიშვნელობები გამოითვლება ფორმულებით:

$$u_3 = 0,25(u_{0,2} + 2u_{0,6} + u_{0,8}), \quad (71)$$

$$u_3 = 0,5(u_{0,2} + u_{0,8}), \quad (72)$$

$$u_3 = u_1 - \eta_3. \quad (73)$$

როცა $C_3 \geq 25 \sigma^{0,5} / \sqrt{g}$, მაშინ $u_{1-\eta_3} = u_{0,6}$, და, მაშასადამე,

$$u_3 = u_{0,6}. \quad (74)$$

(70), (71) და (72) ფორმულებით u_3 -ის გაანგარიშების სიზუსტე C_3 კოეფიციენტის უკუპროპორციულია.

ნაკადებისათვის, რომელსაც მცენარეული და სქელი ყინულის საფარი აქვს, სარგებლობენ ფორმულებით:

$$u_3 = 0,1(u_{\text{ფედ}} + 2u_{0,2} + 2u_{0,4} + 2u_{0,6} + 2u_{0,8} + u_{\text{ფსკ}}), \quad (75)$$

$$u_3 = \frac{1}{3}(u_{0,15} + u_{0,5} + u_{0,85}). \quad (76)$$

ვერტიკალზე საშუალო სიჩქარის მქონე წერტილის (η_3) ფარდობითი მდებარეობა ყინულის საფარის მქონე ნაკადისათვის დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, კერძოდ, ფსკერისა და ყინულის ქვედა ზედაპირის ხორკლიანობათა თანაფარდობაზე.

წყლის დინების ფსკერული სიჩქარეების განსაზღვრა. ნაკადის ფსკერული სიჩქარეების ცოდნას სულ უფრო და უფრო დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ფსკერის

დეფორმაციის და ფსკერული ნატანის ტრანსპორტირების, კალაპოტის გამაგრებისა და სხვა საკითხების შესწავლასთან დაკავშირებით. ფსკერული ადგილობრივი სიჩქარეების უშუალოდ გაზომვის სირთულე განპირობებულია ტრიალას ფრთებიანი ხრახნის შედარებით დიდი ზომებით; ამის შედეგად ხელსაწყოს ფსკერთან ან კედელთან მიახლოებისას ირღვევა სიჩქარეთა ველი. იმ შემთხვევაში, თუ ფსკერი დეფორმირებადია, იწყება ადგილობრივი წარეცხვა და ნაკადის ფსკერული სიჩქარეების ველი კიდევ უფრო მეტად მახინჯდება. ამიტომ, ისმის საკითხი ფსკერულ სიჩქარეთა გაანგარიშების შესახებ ნაკადის სხვა უკვე გაზომილი ელემენტების მიხედვით. ქვემოთ მოყვანილია ნაკადის სიგანეზე ადგილობრივ ფსკერულ სიჩქარეთა (u_{θ}) განაწილების გაანგარიშების ხერხები გ. ჟელეზნიაკოვის მიხედვით, u_{θ} -ის გაანგარიშების მეთოდის საფუძველი არსებული ჰიდრომეტრიული მასალებია. განვიხილოთ ზოგიერთი შემთხვევა.

1. ცნობილია ვერტიკალის სამ და მეტ წერტილში გაზომილი u სიჩქარე. მაშინ u_{θ} -ს განსაზღვრავენ სიჩქარეთა უგანზომილებო პროფილის ექსტრაპოლაციით. პროფილის ასაგებად ერთნაირ მასშტაბში ვერტიკალურ ღერძზე გადაზომავენ $\eta = \frac{y}{h}$, ხოლო ჰორიზონტალურ ღერძზე $\theta = \frac{u}{u_{\theta_{\text{max}}}}$ სიდიდეებს. $0,2h$, $0,6h$ და ა.შ., სიჩქარითი წერტილებისათვის დებულობენ $\eta = 0,8$; $0,4$ და ა. შ., რადგანაც y აითვლება ფსკერიდან. ფსკერთან მდებარე წერტილისათვის აუცილებელია გამოვთვალოთ $\eta_{\text{ფსკ}}$ ტვირთის ძირიდან ტრიალას ღერძამდე მანძილი h -ზე გაყოფით. $u_{\theta_{\text{max}}}$ სიჩქარეს პოულობენ სიჩქარეთა განზომილებიანი პროფილის ექსტრაპოლაციით; ეს სიჩქარე ახლოსაა $u_{0,2}$ თან. $\theta = \theta(\eta)$ ეპიურის აგების შემდეგ, გრაფიკული ექსტრაპოლაციით, როცა $\eta = 0$, ვპოულობთ θ_{θ} -ს, საიდანაც $u_{\theta} = \theta_{\theta} \cdot u_{\theta_{\text{max}}}$. ერთმანეთისაგან უნდა განვასხვავოთ u_{θ} და $u_{\text{ფსკ}}$, θ_{θ} და $\theta_{\text{ფსკ}}$. მათგან პირველნი წარმოადგენენ განზომილებიან და უგანზომილებო ფსკერულ სიჩქარეებს, ხოლო მეორენი-სიჩქარეებს ფსკერთან, ე. ი. ტვირთის ძირიდან ტრიალას ღერძამდე მანძილზე. ვერტიკალზე სიჩქარეთა სამ წერტილში გაზომვისას ($0,2$; $0,6$; $0,8$) $u_{\text{ფსკ}}$ და $\theta_{\text{ფსკ}}$ არ არსებობს. სიჩქარეთა უგანზომილებო პროფილის ექსტრაპოლაცია u_{θ} -ს გასაგებად გამორიცხავს სხვადასხვა ნაკადის u და h სიდიდეთა მასშტაბების გარდუვალი განსხვავების გავლენას. თუ

გვეცოდინება u_g , ადვილად ავაგებთ ნაკადის სიგანეზე u_g -ს განაწილების მრუდს $u_g = u_g(b)$.

2. ცნობილია ვერტიკალზე უდიდესი ან საშუალო სიჩქარე და წყლის ზედაპირის ქანობი.

თუ (19) ფორმულაში ჩავსვამთ $\eta = 0$ და $u = u_g$, მივიღებთ:

$$\frac{u_{გვერდი}-u_g}{u_*} = \frac{\pi\sqrt{2}}{2k'} = \frac{\pi\sqrt{2}}{2 \cdot 0,56k'}$$

საიდანაც

$$u_g = u_{გვერდი} - \frac{4}{k} u_*. \quad (77)$$

(77) და (78) ფორმულით განვსაზღვრავთ ფსკერულ სიჩქარეებს (u_g), რის შემდეგაც ვაგებთ $u_g = u_g(b)$ მრუდს.

3. ცნობილია ნაკადის წყლის ხარჯი (Q), ცოცხალი კვეთის პროფილი და ქანობი (I).

შეზის კოეფიციენტს ვერტიკალზე (C_3) გამოვთვლით ნ. პავლოვსკის ფორმულით:

$$C_3 = \frac{1}{n} h^y, \quad (79)$$

სადაც n არის ფსკერის ხორკლიანობის კოეფიციენტი;

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{h}(\sqrt{n} - 0,10). \quad (80)$$

საშუალო სიჩქარე ვერტიკალზე

$$u_3 = C_3^* u_* = \frac{C_3}{\sqrt{g}} u_* = C_3 \sqrt{hI}. \quad (81)$$

თუ გავითვალისწინებთ (79) და (81) ფორმულებს და აგრეთვე იმას, რომ $q = u_3 h$, მაშინ Q ხარჯი შეიძლება ასეთი სახით წარმოვადგინოთ;

$$Q = \int_0^B q db = \int_0^B \frac{h^y}{n} h \sqrt{hI} db. \quad (82)$$

აღვნიშნოთ $m_* = \frac{\sqrt{I}}{n}$, მაშინ წინა განტოლებიდან მივიღებთ:

$$m_* = \frac{Q}{\int_0^B h^{1,5+y} db}. \quad (83)$$

გავითვალისწინოთ, რომ უკვე ცნობილი m_* -თვის u_3 სიჩქარე შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით

$$u_3 = m_* h^{0,5+y}. \quad (84)$$

მაშინ (78) გამოსახულებიდან გვექნება:

$$u_g = m_* h^{0.5+y-\frac{3}{k}} u_*. \quad (85)$$

ინტეგრალს (83) გამოსახულებაში განსაზღვრავენ $h^{1.5+y}(b)$ ეპიურის პლანიმეტრირებით; თუ მივიღებთ, რომ $y = \frac{1}{6}$, მაშინ აიგება გრაფიკი $h^{5/3}(b)$, ხოლო (85) ფორმულა დებულობს სახეს:

$$u_g = m_* h^{2/3} - \frac{3}{k} u_*. \quad (86)$$

ქანობების შესახებ მონაცემების არარსებობის შემთხვევაში დინამიკურ სიჩქარეს გამოთვლიან ფორმულით

$$u_* = \frac{\sqrt{g}}{c_3} u_3, \quad (87)$$

რომელიც გამომდინარეობს (81) განტოლებიდან. მას შემდეგ, რაც გვეცოდინება u_g -ს განაწილება ნაკადის სიგანეზე, შეიძლება გამოვთვალოთ მთელი ნაკადის საშუალო ფსკერული სიჩქარე (v_g). ამ უკანასკნელის ზოგად გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე

$$v_g = \frac{1}{\omega} \int_0^B q_g db = \frac{1}{\omega} \int_0^B u_g h db, \quad (88)$$

სადაც q_g არის ადგილობრივი ფსკერული სიჩქარითა (u_g) და სიღრმით (h) გამოთვლილი წყლის ხარჯი ვერტიკალზე. ნათელია, რომ $q_g < q$. ინტეგრალი (88) გამოსახულებაში მოიძებნება $q_g(b)$ ეპიურის აგების გზით და იმ ფართობის პლანიმეტრირებით, რომელიც შემოსაზღვრულია ამ ეპიურით და წყლის ზედაპირის წირით.

წყლის დინების ადგილობრივ სიჩქარეთა გაზომვის ხანგრძლივობა. ადგილობრივ სიჩქარეთა (u) გაზომვის ხანგრძლივობა (t_0) დამოკიდებულია $\Delta u = u - \bar{u}$ პულსაციური სიჩქარის სიდიდეზე (ნახ. 29). დროის რაიმე შუალედში გაზომილი სიჩქარე მათ ახლოს არის ნამდვილ გასაშუალებულ ადგილობრივ u სიჩქარესთან, რაც მეტია მისი გაზომვის ხანგრძლივობა. სიჩქარის საზომი სხვადასხვა ხელსაწყო სხვადასხვაგვარად ასაშუალებს მას. იმ ოპტიმალური t_0 დროის გასაგებად, რომლისთვისაც u სიჩქარე მოიძებნება აუცილებელი სიზუსტით, ჩატარებულ იქნა გაზომვები უმთავრესად ჰიდრომეტრიული ტრიალათი სხვადასხვა ხანგრძლივობით და სხვადასხვა პირობებში. u სიჩქარის გაზომვის ცდომილებად მიღებულ იქნა საშუალო ფარდობითი პულსაციური

სიჩქარე $\frac{\Delta u}{u}$. სიჩქარის გაზომვის ხანგრძლივობა შეადგენდა 10, 20, 30 წმ–ს და მეტს, ხოლო u –ს ასაშუალებდნენ 10 წთ–ს და მეტს. შედეგად დადგინდა, რომ $\frac{\Delta u}{u}$ ფარდობა კლებულობს t –ს გაზრდით, იზრდება ნაკადის საზღვრებთან მიახლოებისას და კლებულობს u სიჩქარის გაზრდით. ასეთნაირად იქნა დადგენილი წყლის დინების ადგილობრივ სიჩქარეთა გაზომვის ნორმები. პოსტსაბჭოთა სივრცეში სტანდარტულ სიდიდედ მიღებულია $t_0 = 100$ წმ.

რეკომენდებულია გაზომვები: 1) ტრიალას ცალკეული სიგნალების მიღების დროის რეგისტრაციით და 2) მხოლოდ მთლიანი t_0 დროის რეგისტრაციით. პირველი ხერხი საშუალებას იძლევა თვალყური ვადევნოთ სიჩქარის პულსაციის გავლენას და ერთდროულად გადავწყვიტოთ საკითხი გაზომვის პროცესში t_0 –ის გაზრდის შესახებ. განსხვავება დროში გაზომვათა პირველ და მეორე ნახევარპერიოდებს შორის 5 წმ–ზე მეტი არ დაიშვება. ყოველ ნახევარპერიოდში ფრთებიანი ხრახნის ბრუნთა რიცხვი ერთნაირი უნდა იყოს. მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ დიდი ტურბულენტობის შემთხვევაში (მთის მდინარეები) და სიჩქარეების ფსკერთან გაზომვისას (განსაკუთრებით წარეცხვად ფსკერთან) $t_0 = 100$ წმ არასაკმარისია სიჩქარეთა გასაზომად 2%–ის სიზუსტით. ასეთ შემთხვევაში t_0 დრომ შეიძლება 10 წთ–ს მიაღწიოს.

ადგილობრივ სიჩქარეთა დაჩქარებულ გაზომვას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს კაშხლების ქვედა ბიეფში წყლის დაუმყარებელი მოძრაობის შესწავლისათვის, წყალდიდობის დროს წყლის ხარჯების გაზომვისათვის და სხვ. გარკვეულ ინტერესს წარმოადგენს ადგილობრივ სიჩქარეთა გაზომვის მეთოდოლოგია შეზღუდულ დროში, ე. ი. პულსაციურ სიჩქარეთა ნაწილობრივი გასაშუალებით.

ამ მიზნით გ. ჟელეზნიაკოვისა და ა. ვასილიევის მიერ გაანალიზებულ იქნა რამდენიმე მდინარეზე ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგები. ტრიალათი სიჩქარის გაზომვის შეზღუდულ ხანგრძლივობად მიღებულ იქნა 20 წმ შუალედი. ნამდვილ გასაშუალებულ $\bar{u}$ სიჩქარედ მიიღებოდა 10 წთ–ის განმავლობაში გასაშუალებული სიჩქარე. დადგინდა, რომ ტრიალას ჩვენებაზე გავლენას ახდენს არა ცალკეულად აღებული $\bar{u}$ ან $h - y$, არამედ მათი ერთობლივი მოქმედება.

კინემატიკურობის ლოკალური პარამეტრის $f_r = \frac{\bar{u}^2}{g(h-y)}$ შემოტანით ექსპერიმენტული მონაცემები განზოგადებულ იქნა შემდეგი ფორმულების სახით:

$$\frac{\Delta u}{\bar{u}} \% = \frac{1,1}{\sqrt{f_r}}; \quad (89)$$

$$\frac{\Delta u_{\text{ავს}}}{\bar{u}} \% = \frac{3,1}{\sqrt{f_r}}, \quad (90)$$

სადაც $\frac{\Delta u}{\bar{u}}$ და $\frac{\Delta u_{\text{ავს}}}{\bar{u}}$, შესაბამისად, სიჩქარის გაზომვის საშუალო და უდიდესი ცდომილებაა $t_0 = 20$ წმ დროის შემთხვევაში.

(89) და (90) ფორმულებიდან ჩანს, რომ სიჩქარის პულსაციის გასაშუალება შეზღუდული t_0 დროისათვის დიდი სიზუსტით მიიღება ნაკადში ტრიალას მცირე სიღრმეებით ჩაძირვისა და დიდი სიჩქარეების $(\bar{u})$ შემთხვევაში.

ვთქვათ, მაგალითად, ნაკადის სიღრმე $h = 5,0$ მ-ს; სიჩქარე გაზომილია წყლის ზედაპირიდან $0,6 h$ წერტილში, რაც შეესაბამება $y = 0,4h = 2$ მ-ს და $u = 1,5$ მ/წმ-ს. (89) და (90) ფორმულებიდან გვექნება: $\Delta u / \bar{u} = 4\%$ და $\Delta u_{\text{ავს}} / \bar{u} = 11\%$.

წყლის დინების სიჩქარეთა გაზომვის ინტეგრაციული ხერხები. ამ მეთოდით სიჩქარეთა გაზომვისას განასხვავებენ სიჩქარეთა ინტეგრაციის ვერტიკალებს, ჰორიზონტალებსა და მთელ ცოცხალ კვეთზე.

ინტეგრაციული ხერხები საჭიროებენ შედარებით რთულ მოწყობილობას, მაგრამ სამაგიეროდ აჩქარებენ სიჩქარეთა გაზომვის პროცესს. ტრიალამ უნდა გადმოსცეს სიგნალები ფრთებიანი ხრახნის ყოველ შემობრუნებაზე და ავტომატურად აღწუსოს ისინი. იმისათვის, რომ რეგისტრირებულ იქნას მომენტი, როცა ტრიალა ფსკერს მიაღწევს, შტანგს ან ტვირთს უნდა ჰქონდეს ფსკერული კონტაქტები.

ს ი ჩ ქ ა რ ე თ ა ინ ტ ე გ რ ა ც ი ა ვ ე რ ტ ი კ ა ლ ე ბ ზ ე. ვთქვათ, ტრიალა ბრუნვის ჰორიზონტალური ღერძით თანაბრად გადაადგილდება ვერტიკალზე $w = \frac{h}{T}$ სიჩქარით, სადაც T არის ტრიალას გადაადგილების დრო h სიღრმის ვერტიკალზე.

რადგანაც $dy = wdt$ და $u = kn$, როცა $u > u_p$, ამიტომ საშუალო სიჩქარე ვერტიკალზე

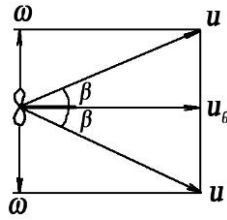
$$u_3 = \frac{k}{h} \int_0^h n dy = \frac{k w}{h} \int_0^T n dt = \frac{k}{T} \int_0^T n dt. \quad (91)$$

ინტეგრალი ამ უკანასკნელ გამოსახულებაში წარმოადგენს ფრთებიანი ხრახნის ბრუნთა ჯამურ რიცხვს ტრიალას გადაადგილების T დროის განმავლობაში, ამიტომ

$$u_3 = k \frac{N}{T} = k \cdot \bar{n}, \quad (92)$$

სადაც $\bar{n}$ არის საშუალო ბრუნთა რიცხვი წამში ტრიალას ვერტიკალზე გადაადგილების დროის განმავლობაში. ტრიალას ინერციულობის გამო ღია ნაკადში მისი ჩაშვებისას სიჩქარე იზრდება, ამოღებისას მცირდება. ამიტომ ღია ნაკადში u_3 სიჩქარის გაზომვისას რეკომენდებულია ტრიალას ჩაშვება და ამოღება მოხდეს მოცემულ ვერტიკალზე. თუ გაზომვებს აწარმოებენ მრგვალი კვეთის დაწნევით ნაკადში, მაშინ საკმარისია ერთი გადაადგილება დიამეტრზე, რადგანაც ამ დროს ტრიალა გაივლის ზონას მცირე სიჩქარეებიდან (კედელთან) უდიდესამდე (მილის ღერძზე) და პირიქით; მიზანშეწონილია ტრიალას გადაადგილება ჰორიზონტალური და ვერტიკალური დიამეტრების მიმართულებით, რათა გათვალისწინებულ იქნას იზოტაქების შესაძლო ასიმეტრია.

ინტეგრაციული ხერხით გაზომვისას ფრთებიან ხრახნზე მოქმედებს w და $u_{\mathcal{E}}$ სიჩქარეთა ტოლქმედი (ნახ. 56), რომელიც შტანგიანი ტრიალას ღერძის მიმართულებასთან ადგენს β კუთხეს, ამასთან $tg\beta = \frac{w}{u_{\mathcal{E}}}$. თეორიულად β სიდიდეს შტანგიანი კომპონენტური ტრიალასათვის არსებითი მნიშვნელობა არა აქვს, რადგანაც ტრიალა აღნუსხავს სიჩქარის მხოლოდ ჰორიზონტალურ მდგენელს ($u_{\mathcal{E}}$), ე. ი. სიჩქარის გეგმილს ცოცხალი კვეთის ნორმალზე. ამ შემთხვევაში w სიჩქარე შეიძლება დავნიშნოთ იმ ტექნიკური მოსაზრებებიდან გამომდინარე, რომლებსაც განაპირობებს ტრიალას ვერტიკალური გადაადგილებისათვის საჭირო აპარატურა. არაკომპონენტური ტრიალას გამოყენებისას w -ს და β -ს დიდი მნიშვნელობებისათვის საჭირო იქნებოდა გაზომილი სიჩქარეების მიხედვით $u_{\mathcal{E}}$ -ის გამოსათვლელად გვესარგებლა (48) ფორმულით. $\beta = \beta_{\text{მონ}} \leq 10-15^\circ$ (§8) ფარგლებში არაკომპონენტური ტრიალა შეიძლება განვიხილოთ როგორც კომპონენტური, ეს კი მოითხოვს, რომ $w = u_{\mathcal{E}} tg\beta_{\text{მონ}}$. როცა $\beta_{\text{მონ}} = 15^\circ$, მაშინ $w \approx 0,25 u_{\mathcal{E}}$. მაშასადამე, ტრიალას ვერტიკალური გადაადგილების სიჩქარე არ უნდა იყოს წყლის დინების ერთ მეოთხედზე მეტი.



ნახ. 56. ტრიალაზე მოქმედი სიჩქარეები მისი ვერტიკალურად გადაადგილებისას

გვარლიანი ტრიალა ფრთიანი კუდის გავლენით თავსდება ტოლქმედი სიჩქარის მიმართულებით; ამიტომ აუცილებელია ან ვიცოდეთ β კუთხეები გაზომილი სიჩქარეებიდან u_0 სიჩქარეებზე გადასასვლელად, ანდა ტრიალა გადავაადგილოთ ისე ნელა, რომ შეიძლებოდეს β კუთხის გავლენის უგულებელყოფა.

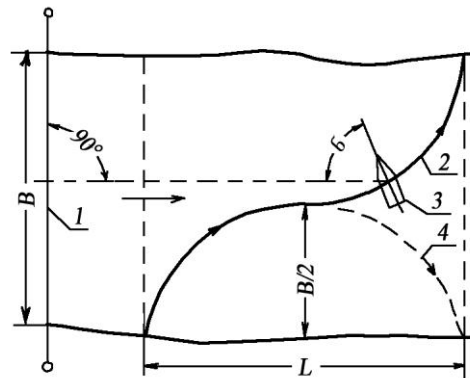
მოსკოვის რკინიგზის ტრანსპორტის ინჟინერთა ინსტიტუტში ლაბორატორიული პირობებისათვის დამუშავებულია ვერტიკალზე სიჩქარეთა ინტეგრაციის ელექტრონულ-მექანიკური ხერხი სიჩქარეთა ეპიურის ოსცილოგრამაზე ჩაწერით. ამავე დროს ხდება ნაკადის სიღრმეზე სიჩქარის პულსაციის ცვლილების რეგისტრაცია.

ს ი ჩ ქ ა რ ე თ ა ინ ტ ე გ რ ა ც ი ა ჰ ო რ ი ზ ო ნ ტ ა ლ ე ბ ზ ე . სწორკუთხა კვეთის არხებში მიზანშეწონილია რამდენიმე შტანგიანი ტრიალა გადავაადგილოთ ჰორიზონტალური მიმართულებით; ეს საშუალებას მოგვცემს ერთი გადაადგილებით ვიპოვოთ მთელი ნაკადის საშუალო სიჩქარე.

ნაკადის სიგანეზე სიღრმეების რთული განაწილების შემთხვევაში (მდინარეები და წარეცხვადი არხები) მიზანშეწონილია სიჩქარეთა ინტეგრაცია თავისუფალ ზედაპირზე. გაზომილი საშუალო ზედაპირული სიჩქარიდან ნაკადის საშუალო სიჩქარეზე გადასვლა ხდება ისე, როგორც ეს მე-13 პარაგრაფში არის ჩამოყალიბებული. სიჩქარეთა ინტეგრაცია შეიძლება ჩავატაროთ განივი (ნახ. 57) ან ირიბი მიმართულებით (ვ. გლუშკოვის ხერხი).

განივი მიმართულებით სიჩქარეთა ინტეგრაციის დროს იყენებენ ჰიდრომეტრიულ ტრიალებს ბრუნვის ჰორიზონტალური ღერძით; ამასთან, ტრიალების გადაადგილება ხდება მუდმივი განივი სიჩქარით, რისთვისაც სარგებლობენ სხვადასხვა ჰიდრომეტრიული გადასასვლელით. გვარლიანი

ტრიალას წყალში ჩასაშვებად გამოიყენება დისტანციური ჰიდრომეტრიული დანადგარები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ტრიალას მოძრაობა ვმართოთ ნაპირიდან.



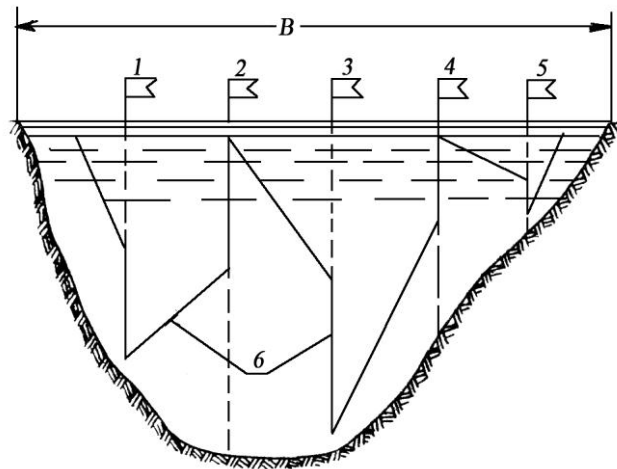
ნახ. 57. ზედაპირული სიჩქარეების ინტეგრაცია: 1 – განივი მიმართულებით; 2 – ირიბი მიმართულებით; 3 – ნავი; 4 – მორკალური ირიბი მიმართულებით

ირიბი მიმართულებით სიჩქარეთა ინტეგრაციის დროს სიჩქარეთა გასაზომად გამოიყენება მოძრავი გემი (ნავი), რომელიც ერთგვარ ინტეგრაციულ ტივტივას წარმოადგენს. საშუალო ზედაპირულ სიჩქარეს ($v_{\text{ზედ}}$) განსაზღვრავენ ნავის გადაადგილების L სიდიდით (ნახ. 57), ერთი ნაპირიდან მეორეზე T დროში გადაადგილებისას. მიახლოებით $v_{\text{ზედ}} = \frac{L}{T}$. ნავის გადაყვანისას ერთი ნაპირიდან მეორეზე α კუთხე უნდა შეადგენდეს დაახლოებით 80° -ს.

მოღუნული ირიბი მიმართულებით სიჩქარეთა ინტეგრაციის დროს ნავმა უნდა მიცუროს შუა მდინარემდე, ხოლო შემდეგ მობრუნდეს უკან იმავე ნაპირისაკენ. მდინარის პროფილის ასიმეტრიის გავლენისა და მდინარის შუაგულის არაზუსტად განსაზღვრის თავიდან აცილების მიზნით, მდინარის სხვადასხვა უბანზე, ასრულებენ 2–3 გაზომვას. ეს ხერხი რეკომენდებულია ისეთი მდინარეებისათვის, რომლებიც ხასიათდებიან მკვეთრად გამოხატული დაუმყარებელი მოძრაობითა და კალაპოტის ინტენსიური დეფორმაციით.

ს ი ჩ ქ ა რ ი ს ი ნ ტ ე გ რ ა ც ი ა ც ო ც ხ ა ლ კ ვ ე თ შ ი . ნ. გირილოვიჩის წინადადებით, ტრიალამ ცოცხალი კვეთის ტოლი ნაწილები უნდა გაიაროს დროის ტოლ შუალედებში. ამ პირობის შესასრულებლად ჰიდრომეტრიული გემის ან საკიდელას (ტრიალასთან ერთად) მოძრაობის სიჩქარე კვეთში უნდა იყოს ცვლადი და მდინარის სიღრმის უკუპროპორციული. ამ პირობას მიახლოებით შეესაბამება

ბ. სიმბირსკის სიჩქარეთა ინტეგრაციის სქემა, რომლის ტექნიკური დამუშავება ეკუთვნის გ. დემენტიევს (ნახ. 58).



ნახ. 58. სიჩქარეთა ინტეგრაცია მდინარის ცოცხალ კვეთში: 1, 2, 3, 4, 5 – სიჩქარითი ვერტიკალები; 6 – ტრიალას მოძრაობის ტრაექტორიები

სიჩქარით ვერტიკალებს ნიშნავენ ტოლ მანძილებზე. ტრიალას გადაადგილების ყოველი ციკლი მოიცავს ორ დახრილ და ორ ვერტიკალურ ტრაექტორიას.

საკიდელა (ნავი) ვერტიკალებს შორის გადაადგილდება თანაბრად, თუმცა ვერტიკალზე ჩერდება მანამ, სანამ ტვირთი არ შეეხება ფსკერს ან სანამ ტრიალა არ აიწევს ზედაპირზე. ეს დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორია ტრიალას მოძრაობის მიმართულება. თუ გასაზომი სიჩქარეები მოთავსებულია ტრიალას სატარირო მრუდის სწორხაზოვანი ნაწილის ფარგლებში, ე. ი. $u > u_p$, მაშინ სიჩქარეთა ინტეგრაციის სიზუსტე შედარებით მაღალია.

ფრთებიანი ხრახნის ბრუნთა მიღებული ჯამის (N) გაყოფით ინტეგრაციის საერთო დროზე (T) დებულობენ ხრახნის ბრუნთა რიცხვს წამში (n), ხოლო შემდეგ, ინტეგრაციის შედეგად–საშუალო სიჩქარეს (ტრიალას სატარირო მრუდით).

მთელ ცოცხალ კვეთში სიჩქარეთა ინტეგრაციის დროს ტრიალას ფრთებიანი ხრახნი განიცდის წყლის დინების სიჩქარისა და (u) და ტრიალას ვერტიკალური და ჰორიზონტალური გადაადგილების სიჩქარეების ($u_{\text{გვ}}, u_{\text{ჰვ}}$) ზემოქმედებას. ამის შედეგად ტრიალა აღწესხავს აღნიშნულ სიჩქარეთა w ტოლქმედის შესაბამის ბრუნთა რიცხვს, ამიტომ

$$u = \sqrt{\omega^2 \vartheta^2 - u^2}.$$

ჩვეულებრივად, ლებულობენ: $u_{\vartheta} = 0,05 - 0,10$ მ/წმ, ხოლო $u_{\vartheta} = 0,1 - 0,4$ მ/წმ. გარდა ამისა, დაცული უნდა იყოს პირობა $u_{\vartheta} \leq 0,25w$.

წყლის დინების სიჩქარეთა გაზომვის ინტეგრაციული ხერხები წერტილოვან ხერხებთან შედარებით ნაკლებად ზუსტია.

თ ა ვ ი IV. წყლის ხარჯები

§ 11. წყლის ხარჯების განსაზღვრის ზოგადი პრინციპები

სანამ წყლის ხარჯების გაზომვის ხერხების ჩამოყალიბებას შევუდგებოდეთ, აუცილებელია განვიხილოთ თვითონ წყლის ხარჯის ცნების კინემატიკური და გეომეტრიული არსი.

1. სითხის ნაკადის ხარჯის მოდელი. $d\omega$ ელემენტარულ ფართობში გამავალი ელემენტარული dQ ხარჯი ტოლია:

$$dQ = u_{\vartheta} d\omega,$$

სადაც u_{ϑ} არის ადგილობრივი u სიჩქარის გეგმილი $d\omega$ ფართობის ნორმალზე;

$$u_{\vartheta} = u \cos \alpha;$$

α – კუთხე u სიჩქარის მიმართულებასა და აღნიშნულ ნორმალს შორის. მთელი ნაკადის ხარჯი

$$Q = \int_{\omega} u_{\vartheta} d\omega, \quad (93)$$

ხოლო თუ ω ფართობის ფარგლებში u სიჩქარის ვექტორის მიმართულება მუდმივია, ე. ი. $\alpha = \text{const}$, მაშინ

$$Q = \cos \alpha \int_{\omega} u d\omega. \quad (94)$$

თუ ამასთან ერთად ნაკადის განივი კვეთი u სიჩქარის მიმართულების პერპენდიკულარულად მდებარეობს, ე. ი. $\alpha = 0$, მაშინ ის უთავსდება ნაკადის ცოცხალ კვეთს და, მაშასადამე,

$$Q = \int_{\omega} u d\omega. \quad (95)$$

ნაკადის ხარჯების განსაზღვრის მეთოდურად საფუძვლად დავუდოთ უკანასკნელი გამოსახულება და სპეციალურად გავარკვიოთ ნაკადში ცოცხალი კვეთის მდებარეობა.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $d\omega = dydb$ (ნახ. 59), მაშინ (95) გამოსახულებას შეიძლება ასეთი სახე მივცეთ:

$$Q = \int_0^B \int_0^h u dydb = \int_0^B q db, \quad (96)$$

სადაც q არის ხარჯი ვერტიკალზე და განისაზღვრება (23) ფორმულით.

წარმოვიდგინოთ, რომ ცოცხალი კვეთის ყველა წერტილში აღმართულია u სიგრძის პერპენდიკულარები და ამ ვექტორების ბოლოებზე გატარებულია ზედაპირი. ამ ზედაპირის ფორმა, რომელიც $u = u(y, b)$ განტოლებით გამოისახება, დამოკიდებულია ნაკადში სიჩქარეთა განაწილებაზე. ეს ზედაპირი (ნახ. 59), **AFEDC** ცოცხალი კვეთი, **AMGNC** თავისუფალი ზედაპირი და სველი ზედაპირი (თუ ფსკერული სიჩქარეები ნულზე მეტია) სითხის ნაკადში წარმოქმნიან მოცულობას, რომელიც რიცხობრივად Q ხარჯის ტოლია. ასეთ მოცულობას სითხის ნაკადის ხარჯის მოდელი ეწოდება. აქედან ცხადი ხდება, რომ Q ხარჯის უშუალოდ განსაზღვრისათვის საჭიროა გაიზომოს ნაკადის კინემატიკური და გეომეტრიული ელემენტები.

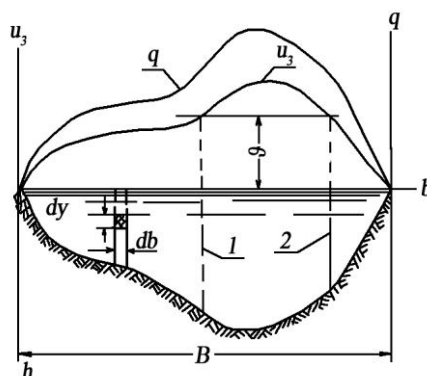
დავუშვათ, მაგალითად, რომ განიხილება ნაკადის მოძრაობა მრგვალ მილში.

სიჩქარეთა პროფილის მობრუნებით მილის ღერძის გარშემო მივიღებთ ხარჯის მოდელის მოცულობას, რომელიც ლამინარული მოძრაობის შემთხვევაში ბრუნვით პარაბოლოიდს წარმოადგენს.

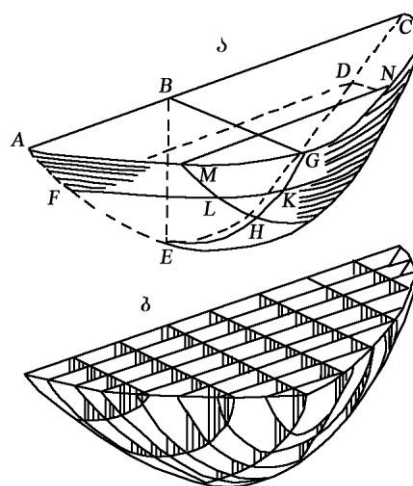
თუ ხარჯის მოდელს დინების მიმართულების მქონე ვერტიკალური სიბრტყეებით გადავკვეთავთ (ნახ. 60, ა), მივიღებთ $u = u(y)$ სიჩქარეთა პროფილებს (მაგალითად, **BGHEB**); თუ სიბრტყეებს ცოცხალი კვეთის პარალელურად განვალაგებთ, ვიპოვით იზოტაქებს (მაგალითად, **MLHNM**). ხარჯის მოდელის გადაკვეთისას წყლის ზედაპირის პარალელური სიბრტყეებით, მივიღებთ სიჩქარეთა განაწილებას $[u = u(b)]$ ნაკადის სიგანეზე (მაგალითად, **FLKDF**). როცა $y = h$, გვაქვს ზედაპირულ სიჩქარეთა განაწილების ეპიურა **AMGNCBA**. 60, ბ ნახაზზე ვერტიკალურად დაშტრიხული ფართობები გამოსახვენ წყლის q ხარჯებს ვერტიკალებზე.

ჰიდრომეტრიული კვეთი. სითხის სწორი დაწნევითი ნაკადისათვის ცოცხალი კვეთი ნაკადის კედლების მსახველის პერპენდიკულარულია. უფრო რთული მოძრაობის შემთხვევაში, მაგალითად, მდინარის ნაკადში, დინების მიმართულება

იცვლება ნაკადის სიგანეზე და, გარდა ამისა, დამოკიდებულია წყლის დონეზეც. ამიტომ ისმის საკითხი დინების მიმართულების გასაშუალების შესახებ. კვეთს, რომელიც წყლის დინების საშუალო მიმართულების პერპენდიკულარულია, ჰიდრომეტრიული კვეთი ეწოდება.



ნახ. 59. ნაკადის განივი კვეთი და 1 და 2 რეპრეზენტატიული ვერტიკალების მდებარეობის განსაზღვრა

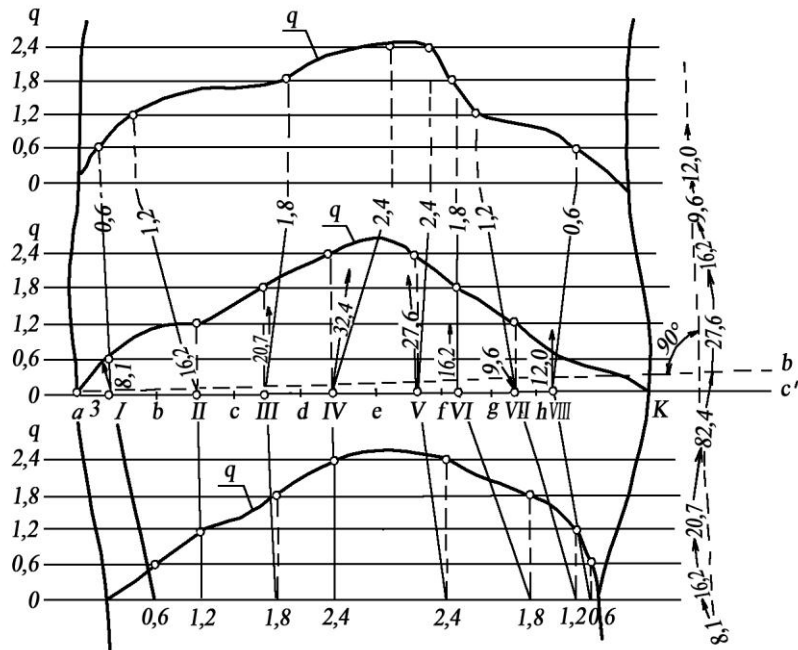


ნახ. 60. სითხის ნაკადის ხარჯის მოდული: ა – Q ხარჯის ტოლი მოცულობა; ბ – იგივე მოცულობა და წყლის q ხარჯები ვერტიკალებზე (დამტრისული)

რთული რელიეფის მქონე ფსკერის მდინარეებში ჰიდრომეტრიული კვეთის მიმართულებას განსაზღვრავენ ნ. ჟუკოვსკის ხერხით. ამისათვის დასაგეგმარებელი ჰიდროლოგიური სადგურის უბანზე სამ მეზობელ კვეთში ტრიალათი ზომავენ (შეძლებისდაგვარად ერთდროულად) სიჩქარეებს 6–10 ვერტიკალზე. კვეთებს ირჩევენ ნაკადის დინების საერთო მიმართულების პერპენდიკულარულად. საშუალო კვეთი განიხილება როგორც წინასწარი ჰიდრომეტრიული კვეთი. სიჩქარეთა პროფილების ფართობებს, რომლებიც

რიცხოვრივად ვერტიკალებზე q ხარჯების ტოლია, მოსახერხებელ მასშტაბში გეგმაზე გადაზომავენ სიჩქარეთა ვერტიკალების განლაგების ადგილებში. შემდეგ აგებენ $q = q(b)$ ეპიურებს (ნახ. 61) და q -ს დამრგვალებული მნიშვნელობის შესაბამის წერტილებში, ატარებენ კვეთის პარალელურ წირებს. მათი გადაკვეთის წერტილები $q = q(b)$ მრუდებთან გადააქვთ განიკვეთებზე და აგებენ ვერტიკალებზე ტოლი ხარჯების წირებს. საშუალო კვეთზე აღნიშნავენ $a, b, c, \dots, k$ შუაწერტილებს ერთნაირი q ხარჯების შესაბამის მეზობელ წირებს შორის. ნაწილობრივი სიგანეების (მაგალითად, bc, cd) გამრავლებით q -ს შესაბამის დამრგვალებულ მნიშვნელობებზე ღებულობენ წყლის ნაწილობრივ ხარჯებს. ამ უკანასკნელთ გადაზომავენ საშუალო კვეთში q წირის მხებად ვექტორების სახით; მათი შეჯამებით ძალთა მრავალკუთხედის ხერხით პოულობენ იმ ტოლქმედის მიმართულებას, რომლის პერპენდიკულარიც იძლევა სწორედ ჰიდრომეტრიული კვეთის მდებარეობას.

ჰიდრომეტრიული კვეთის მდებარეობის განსაზღვრის შედარებით მარტივი და გავრცელებული ხერხი ითვალისწინებს დინებათა მიმართულების გაზომვას ზედაპირული ტივტივებით. ერთდროულად ზომავენ წყლის დინების სიჩქარეებსაც. ტივტივების ტრაექტორიები დააქვთ წყალსადინარის გეგმაზე: შემდეგ ტივტივების მოძრაობის ტრაექტორიათა მხებზე გადაზომავენ სიჩქარის ვექტორებს და ძალთა მრავალკუთხედის ხერხით პოულობენ ტოლქმედის მიმართულებას. ტოლი q ხარჯების წირებს და ტივტივების ტრაექტორიებს სქემატურად ატარებენ ტეხილი წირების სახით, რადგანაც ამ შემთხვევაში მათი მხებების გავლება უფრო ზუსტად შეიძლება.



ნახ. 61. ჰიდრომეტრიული კვეთის მიმართულების განსაზღვრა

გეგმაზე გაზომილი აზიმუტის მიხედვით ჰიდრომეტრიული კვეთი გადააქვთ ადგილზე და ამაგრებენ ბოძებით–რეპერებით.

აუცილებელია ყურადღება მივაქციოთ ვერტიკალებზე დინებათა მიმართულებასა და საშუალო მიმართულებას შორის α კუთხეების მნიშვნელობებს. როცა $\alpha < 10^\circ$, მიზანშეწონილია გაზომვა მოხდეს შტანგიანი ტრიალათი. $\alpha = 10-30^\circ$ შემთხვევაში გაზომვები ტარდება გვარლიანი ტრიალათი და გამოითვლება u_δ სიჩქარე. როცა $\alpha > 30^\circ$, კვეთს ირჩევენ სხვა ადგილას.

თუ დინების საშუალო მიმართულებები ძირითად და ნოლა კალაპოტებში ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან 30° -ზე მეტი კუთხით, მაშინ ჰიდრომეტრიულ კვეთს აძლევენ ტეხილი წირის სახეს. ნაპირს ჰიდრომეტრიული კვეთის ზემოთ და ქვემოთ 5–10 მ სიგანეზე წმენდენ ბუჩქნარისა და მაღალი წყალმცენარეულობისაგან.

წყლის ხარჯების განსაზღვრის ხერხების კლასიფიკაცია. სითხის ხარჯების განსაზღვრის ხერხები უმთავრესად განპირობებულია მოძრაობის ფორმებით და გასაზომი ხარჯების სიდიდით. ქვემოთ მოყვანილია ხარჯების განსაზღვრის ხერხების ზოგადი კლასიფიკაცია. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება აბსოლუტური ხერხები–წონითი და მოცულობითი, რომლებიც მოითხოვენ სითხის წონის (მოცულობის) და დროის გაზომვას. გარკვეულ ზომამდე აბსოლუტურად შეიძლება

ჩაითვალოს ისეთი ხერხებიც, რომლის დროსაც ხარჯის მოდელის ყველა ელემენტი, კერძოდ, ადგილობრივი სიჩქარეები და სიღრმეები, მიიღება უშუალო გაზომვათა გზით. რამდენადაც სიღრმეებიდან გადადიან ცოცხალი კვეთის ფართობებზე, ამ წესს ზოგჯერ შემოკლებით ფართობ–სიჩქარის ხერხს უწოდებენ. ყველა ეს ხერხი მიეკუთვნება ჰიდრომეტრიულს, რადგანაც Q ხარჯის გასაგებად არ არის საჭირო სხვა რაიმე დამატებითი გაზომვების შესრულება.

ხარჯის განსაზღვრას შეიძლება სხვა მხრიდან მივუდგეთ, თუ გვექნება ჰიდრაულიკის მეთოდებით მიღებული ხარჯის რაიმე მკაცრი განტოლება. მაგალითად, წყალსაშვზე სითხის მოძრაობისათვის არსებობს დამოკიდებულება დაწნევისა და წყლის ხარჯს შორის, რომლის მიხედვითაც, თუ გვეცოდინება დაწნევა, გამოვთვლით ხარჯს. დაწნევითი ან უდაწნეო ნაკადის შევიწროება იწვევს სიჩქარის გაზრდას და, მაშასადამე, წნევის შემცირებას. ბერნულის განტოლების საშუალებით შეიძლება დავადგინოთ კავშირი წნევის ვარდნასა და წყლის ხარჯს შორის. დამოკიდებულება ჰიდრაულიკური ნახტომის შეუღლებულ სიღრმეებსა და ხარჯს შორის შეიძლება გამოყენებულ იქნას ჰიდრომეტრიული მიზნებისათვის.

ხარჯების განსაზღვრის ხერხებს, რომლებშიც უშუალოდ ჰიდრაულიკის კანონები გამოიყენება, უწოდებენ ჰიდრაულიკურს. მათთვის დამახასიათებელია იმ კანონზომიერებათა გათვალისწინება, რომელთაც ადგილი აქვთ ნაკადის შედარებით მოკლე უბანზე პოტენციური ენერგიის კინეტიკურში გადასვლისას და პირიქით. არსებობს ისეთი ხერხებიც, რომლებიც შეიცავენ როგორც ჰიდრომეტრიული, ისე ჰიდრაულიკური ხერხებისათვის დამახასიათებელ ნიშნებს. მათ შეიძლება ვუწოდოთ ჰიდრაულიკურ–ჰიდრომეტრიული. მკაცრად რომ ვთქვათ, ფართობ–სიჩქარის ხერხშიც არის გამოყენებული ჰიდრაულიკური კანონზომიერებანი, რადგანაც ვერტიკალზე სიჩქარეთა გაზომვის მეთოდიკაში (§10) გათვალისწინებულია სიჩქარეთა პროფილების თავისებურებანი.

აღნიშნულ ჰიდრაულიკურ ხერხებში ცხადი სახით არ არის გათვალისწინებული ნაკადის სტრუქტურა. მაგრამ არსებობს ხარჯის განსაზღვრის ხერხი, რომელსაც საფუძვლად უდევს სწორედ ნაკადის ტურბულენტური სტრუქტურა; როგორც ცნობილია, ეს უკანასკნელი არის სითხის ნაწილაკების ერთმანეთში შერევის მიზეზი, ამიტომ აღნიშნულ ხერხს შერევის ხერხი ეწოდება.

ბოლო ხანებში გავრცელება ჰპოვეს დაწნევითი ნაკადის ხარჯების განსაზღვრის ისეთმა ხერხებმა, რომლებშიც გამოყენებულია სითბოს გაცვლის, ულტრაბგერის და ელექტრომაგნიტიზმის მოვლენები. ამ ჯგუფს პირობითად ფიზიკურ ხერხს უწოდებენ.

განსაკუთრებულ ჯგუფად შეიძლება გამოვყოთ მდინარის ხარჯების განსაზღვრის ჰიდროლოგიური ხერხები. ეს უკანასკნელნი არაპირდაპირი ხერხებია, რადგანაც არ მოითხოვენ თვით ნაკადის რაიმე ელემენტების გაზომვას; ისინი დაფუძნებულია წყლის ხარჯებსა და მდინარის აუზის ფიზიკურ-გეოგრაფიულ ფაქტორებს შორის არსებულ კავშირზე და საშუალებას იძლევიან მიახლოებით (10–30%–მდე სიზუსტით) გამოვთვალოთ ხანგრძლივი პერიოდისათვის საშუალო და ექსტრემალური ხარჯები. ეს ხერხები განხილულია საინჟინრო ჰიდროლოგიის კურსში.

ამგვარად, შეიძლება გამოვყოთ წყლის ხარჯების განსაზღვრის შემდეგი ხერხები: ჰიდრომეტრიული, ჰიდრაულიკური, ჰიდრაულიკურ–ჰიდრომეტრიული, შერევის, ფიზიკური და ჰიდროლოგიური. თუმცა ასეთი კლასიფიკაცია პირობითია, მაგრამ ის მოსახერხებელია ჰიდრომეტრიის, როგორც დისციპლინის, ჩამოყალიბების თვალსაზრისით. დაწნევითი ნაკადებისათვის არსებობს სითხის (აგრეთვე აირის და ორთქლის) ხარჯების განსაზღვრის ხერხების უფრო დეტალური კლასიფიკაცია.

წყლის ხარჯების განსაზღვრა მოცულობითი და წონითი ხერხებით. ეს ხერხი მდგომარეობს იმაში, რომ მთელ ნაკადს მიმართავენ დაგრადუირებულ რეზერვუარში (ავზში), ხოლო შემდეგ საზღვრავენ მისი შევსების t დროს და წყლის W მოცულობას. ხარჯი $Q = \frac{W}{T}$. წონითი ხერხით ხარჯის გამოთვლისას რეზერვუარში შემოსულ სითხეს წონიან და ხარჯს წონის ერთეულებში გამოითვლიან ფორმულით;

$$rQ = \frac{G}{t}, \quad (97)$$

სადაც G არის სითხის წონა რეზერვუარში;

r –წყლის ხვედრითი წონა.

ხარჯის განსაზღვრის მოცულობით წესს იყენებენ ჰიდრაულიკურ ლაბორატორიებში, აგრეთვე საველე პირობებში მცირე წყალსადინარების

ხარჯების გასაზომად (წყაროების, ნაკადულების). მოცულობითს და წონით ხერხებს, როგორც ყველაზე უფრო ზუსტს, იყენებენ სხვადასხვა სახის ხარჯსაზომ მოწყობილობათა ტარიერებისათვისაც. ლაბორატორიებისათვის შექმნილია დანადგარები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ხარჯების გაზომვის ფრიად მაღალ სიზუსტეს (0,05–0,1 %).

საველე პირობებში მოცულობითი ხერხის გამოსაყენებლად საჭიროა დანადგარი, რომლის კომპლექტში შედის ნაკადის გადამღობი კედელი, წყალჩასაშვები (ღარის სახით) და საზომი რეზერვუარი. ამ უკანასკნელის მოცულობა დამოკიდებულია გასაზომი ხარჯის მოცულობაზე. თუ მივიჩნევთ, რომ ხარჯის გაზომვის ცდომილება (ΔQ) ძირითადად დამოკიდებულია დროის გაზომვის ცდომილებაზე (Δt), მაშინ $\Delta Q = \frac{W}{t^2} \Delta t$ (აბსოლუტური სიდიდით). რამდენადაც $t = \frac{W}{Q}$, ვიპოვოთ $W = \frac{Q^2}{\Delta Q} \Delta t$. დროს წამმზომზე აითვლიან 0,2 წმ–მდე სიზუსტით, მაგრამ გაზომვების დაწყების წინ და დამთავრებისას დროში დაშვებულ შეცდომათა გათვალისწინებით $\Delta t = 0,4$ წმ–ს. წყლის ხარჯის მოცემული სიზუსტით (მაგალითად, 1%) გაზომვისას $\frac{\Delta Q}{Q} = 0,01$, ამიტომ $W = 40Q$. საზომი რეზერვუარი წინასწარ უნდა იყოს ტარიერებული. ავზის არასაკმარისი ზომების შემთხვევაში გაზომვებს იმეორებენ რამდენჯერმე.

§ 12. წყლის ხარჯების განსაზღვრა ნაკადის ადგილობრივი სიჩქარეებით და სიღრმეებით

ქვემოთ მოყვანილია წყლის ხარჯების განსაზღვრის წესი უმთავრესად მდინარეებსა და არხებში. ამ წესის თავისებურებანი მიღების შემთხვევაში განხილული იქნება ცალკე. მდინარეებსა და არხებში ხარჯების განსაზღვრისათვის საჭირო სამუშაოების შემადგენლობაში შედის: წყალსადინარის მდგომარეობის აღწერა, დონეების, სიღრმეებისა და დინების სიჩქარეების გაზომვა ჰიდრომეტრიულ კვეთში, წყლის ზედაპირის ქანობის განსაზღვრა. წყლის დონეებს ზომავენ ყველა სხვა გაზომვათა დაწყებამდე და დამთავრების შემდეგ. სწრაფად ცვალებად დონეებს ზომავენ მუშაობის პროცესში დროის თანაბარ შუალედებში (ისე, რომ შესაძლებელი იყოს $H = H(t)$ გრაფიკის აგება) ან ვერტიკალზე სიჩქარეების გაზომვის მომენტში, ხოლო წერტილოვანი ხერხის გამოყენების

შემთხვევაში – ტრიალას ჩაძირვისას 0,6 *h* სიღრმეზე. თუ წყალსაზომი საგუშაგოს კვეთი არ უთავსდება ჰიდრომეტრიულ კვეთს, მაშინ დონეებს სამუშაოს დაწყების წინ და შემდეგ ზომავენ ორ საგუშაგოსთან, ხოლო დამატებით–მხოლოდ ჰიდროლოგიურ კვეთში. არხებსა და მდინარეებზე სამუშაოთა შესრულებისას აუცილებელია დავიცვათ ჰიდრომეტრიული სამუშაოთა წარმოების უსაფრთხოების ტექნიკა.

სიჩქარითი ვერტიკალების განლაგება წყალსადინარის ცოცხალ კვეთში. სიჩქარით ვერტიკალებს განლაგებენ ნაკადის ცოცხალი კვეთის ფორმის გათვალისწინებით. ვერტიკალების და აგრეთვე მათზე სიჩქარითი წერტილების განლაგებამ უნდა უზრუნველყოს იზოტაქების აგება ერთნაირი ფარდობითი ცდომილებით მთელი ცოცხალი კვეთის ფარგლებში. ამ მოთხოვნას პასუხობს ვერტიკალების განლაგება სველი პერიმეტრის მკვეთრი გარდატეხის წერტილებში. სიჩქარით ვერტიკალებს ნიშნავენ იმის მიხედვით, თუ რომელი ხერხით იზომება წყლის ხარჯი.

დეტალური ხერხი ითვალისწინებს ნაკადის კინემატიკის დაწვრილებით შესწავლას; ამიტომ აღნიშნული ხერხის გამოყენებისას ზრდიან ვერტიკალებისა და სიჩქარითი წერტილების რიცხვს. თუ ნოღა კალაპოტში ხარჯის წილი მცირეა და სიღრმეები მასში შედარებით თანაბრადაა განაწილებული, მაშინ ვერტიკალების რიცხვი ნოღა კალაპოტში შეიძლება შევამციროთ. რაც მეტია მდინარის სიგანე (*B*), მით მეტია სიჩქარით ვერტიკალებს შორის მანძილი. ჩვეულებრივად, ღებულობენ $b \approx (0,07 - 0,10) B$.

ძირითადი ხერხი ითვალისწინებს ვერტიკალების შედარებით ნაკლებ რაოდენობას, მაგრამ არა ნაკლებ ხუთისა. სიჩქარითი ვერტიკალების რიცხვის შემცირება განპირობებულია დეტალური და ძირითადი ხერხებით გაზომილ ხარჯებს შორის არსებული განსხვავებით. აუცილებელია შედარდეს 20–30 ხარჯი სხვადასხვა დონის შემთხვევაში. აღნიშნული განსხვავება 15–20 ხარჯში არ უნდა გამოვიდეს ± 3 -ის ფარგლებს გარეთ.

შემოკლებული ხერხი ითვალისწინებს სიჩქარეთა გაზომვას ღია კალაპოტში ერთ–ორ ვერტიკალზე 0,2 *h* და 0,8 *h* ან ერთ 1– η_3 (მიახლოებით 0,6*h*) წერტილებში; ყინულის ან მცენარეული საფარის არსებობისას გაზომვა ხდება სამ

ვერტიკალზე $0,15 h$, $0,50 h$ და $0,85 h$ წერტილებში. ეს ხერხი გამოსადეგია უმნიშვნელო დეფორმაციების მქონე კალაპოტებისათვის. ცალკეულ სიჩქარით ვერტიკალებს, რომელთა საშუალებით გამოთვლილი სიჩქარეებითაც შეიძლება ვიპოვოთ მთელი ნაკადის ხარჯი, პირობითად ვუწოდოთ რეპრეზენტატული ვერტიკალები. ასეთი ვერტიკალების მდებარეობა შეიძლება განვსაზღვროთ შემდეგნაირად: ნაკადის შუაწყალში ირჩევენ ვერტიკალს, რომლისთვისაც k_n კოეფიციენტი $v = k_n u_3$ განტოლებაში მიიღება შედარებით მდგრადი წყლის სხვადასხვა დონეების შემთხვევაში. ამ ფორმულით გამოთვლილი სიჩქარე არ უნდა განსხვავდებოდეს ფაქტიურისაგან $\pm 10\%$ -ზე მეტით. შეიძლება აღმოჩნდეს, რომ სხვადასხვა დონის დროს k_n კოეფიციენტი შედარებით სტაბილურია რეპრეზენტატული ვერტიკალის ცვლადი მდებარეობისას; აქედან იზადება აზრი იმ ვერტიკალის პოვნის შესახებ, რომლისთვისაც $k_n = 1$, მაშინ ხარჯი $Q = v\omega = u_3\omega$.

გაზომვებისა და გაანგარიშების შედეგების მიხედვით აგებენ u_3 და q -ს ეპიურებს (ნახ. 59). q -ს ეპიურით შემოსაზღვრული ფართობი იძლევა Q ხარჯის სიდიდეს. თუ წყლის სარკის ზედაპირიდან $v = \frac{q}{\omega}$ მანძილზე გავატარებთ ჰორიზონტალურ წირს, მაშინ u_3 -ის მრუდთან გადაკვეთაში მივიღებთ ორ წერტილს, რომლებიც განსაზღვრავენ 1 და 2 რეპრეზენტატული ვერტიკალების მდებარეობას. ამ ვერტიკალებზე უნდა გაიზომოს სწორედ სიჩქარეები (ლე თხაკ კანის წინადადებით) იმის გათვალისწინებით, რომ $u_3 = 0,5(u_{31} + u_{32})$. ასეთი ვერტიკალების მდებარეობა ზოგად შემთხვევაში დამოკიდებულია დონეზე. თუ ცოცხალ კვეთში სიჩქარეები არ გვაქვს გაზომილი, მაშინ შეიძლება ავაგოთ $C_3\sqrt{h}$ სიდიდეთა ეპიურა და $C\sqrt{h_{საშ}}$ მანძილზე გავატაროთ წყლის ზედაპირის პარალელური წირი. მათი გადაკვეთა მოგვცემს რეპრეზენტატური ვერტიკალების მიახლოებით მდებარეობას.

შერჩეულ სიჩქარით ვერტიკალებს უჩვენებენ პროფილზე ჰიდრომეტრიულ კვეთში და ნომრავენ. სიჩქარითი ვერტიკალებიდან საწყის წერტილამდე მანძილებს ჭდეებით აღნიშნავენ მდინარეზე გადაჭიმულ გვარლზე ან ხიდის ფიცარნაგზე. როდესაც მდინარის სიგანე 300 მ-ზე მეტია, ნაჭდევებიანი გვარლის გამოყენება გაძნელებულია; ამიტომ ვერტიკალების მდებარეობას აფიქსირებენ ნაპირზე მარაოსებური ან ირიბი კვეთების დაკვალვით. გამოიყენება აგრეთვე

ვერტიკალების დაჭდევა კიპრეგელით ან თეოდოლიტით მდინარის ნაპირიდან და სექსტანტით–გემიდან.

ჰიდრომეტრიული გადასასვლელები. ჰიდრომეტრიული კვეთის აღჭურვა ხდება ტექნიკური მოწყობილობებით, რომლებიც საშუალებას იძლევიან სწრაფად და საჭირო სიზუსტით შევასრულოთ ჰიდრომეტრიული სამუშაოები ნებისმიერი დონეებისა და წყალსადინრის ნებისმიერი მდგომარეობის დროს. ნაკადის კინემატიკური სურათის ცვლილება, რასაც იწვევს მასში სხვადასხვა კონსტრუქციის შეტანა, უნდა იყოს უმნიშვნელო. ამიტომ მდინარეებსა და არხებზე ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა შესასრულებლად აწყობენ ჰიდრომეტრიულ გადასასვლელებს, რომელთაც მიეკუთვნება: ჰიდრომეტრიული ხიდები, საკიდელები, ბორნით და ნავით გადასასვლელები.

ჰიდრომეტრიულმა გადასასვლელმა უნდა უზრუნველყოს სამუშაოთა წარმოების უსაფრთხოება. მათი დაგეგმარებისას ითვალისწინებენ კონსტრუქციის საკუთარ წონას, თოვლის და ქარის დატვირთვას, წყლისა და გრუნტის წნევას ნაგებობის ცალკეულ ელემენტებზე, ჰიდრომეტრიული მოწყობილობის წონას და ხალხის წონით გამოწვეული დატვირთვის კრიტიკულ შემთხვევას.

გადასასვლელის ტიპი განპირობებულია ჰიდრომეტრიულ კვეთში მდინარის მაქსიმალური სიღრმის შესაბამისი სიგანით ($B_{\text{მაქს}}$). მაქსიმალურ სიღრმეს მარაგისათვის ემატება 0,5 მ. სასურველია გამოყენებულ იქნეს ერთ–მალიანი კონსტრუქცია შუალედური საყრდენების გარეშე (განსაკუთრებით კალაპოტის შუა ნაწილში), რაც უზრუნველყოფს ნაკადის სიჩქარეთა ველის მინიმალურ დამახინჯებას.

კოჭები ან ხიდებს აგებენ მდინარეებზე ლითონის ან ხის გრძივებით $B_{\text{მაქს}} < 10$ მ შემთხვევაში. 6 მ–დან 10 მ–მდე მაღის მქონე ხიდებში გრძივებად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს რკინიგზის რელსები. ხიდის სრული სიგანე 1,75 მ–ია, ფეხით მოსიარულეთათვის სავალი ნაწილი შეადგენს 0,92 მ–ს.

შპრენგელური და რიგელ–მისაბჟენიანი ხიდების გამოყენება რეკომენდებულია იმ შემთხვევაში, როცა $B_{\text{მაქს}} < 20$ მ–ზე და ერთმალიანი კოჭებიანი ხიდის მოწყობა გართულებულია.

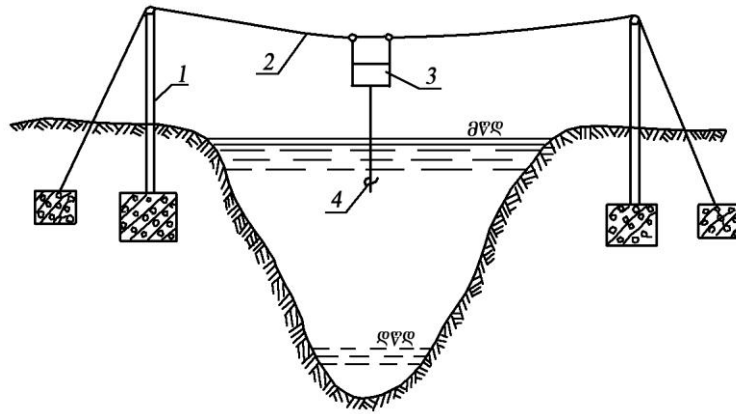
დროებით ჰიდრომეტრიულ კვეთებში (პატარა მდინარეებზე არამდგრადი კალაპოტით, სარწყავ და დამშრობ არხებზე 8–10 მ სიგანით) მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს მსუბუქი კონსტრუქციის ლითონის გადასატანი ხიდები.

კიდული ხიდები რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნეს $B_{გელ} < 80-100$ მ შემთხვევაში. ასეთი ხიდი შედგება მდინარეზე გადაჭიმული ორი ფოლადის გვარლისაგან. გვარლებს შორის მანძილი 0,80 მ-ია.

არასიმეტრიული მოხაზულობის მქონე კალაპოტის შემთხვევაში, როდესაც ცალი ნაპირი კლდოვანია, ხიდს აგებენ ერთი მაღალი საყრდენით; მეორე საყრდენად გამოიყენება კლდეში ჩამაგრებული კაუჭები, რომლებზეც ეცმება მზიდი გვარლების ბოლოები.

საკიდელა გადასასვლელი გამოიყენება $B_{გელ} = 150-200$ მ შემთხვევაში (ნახ. 62). ის შედგება საყრდენისაგან - 1, მზიდი გვარლისაგან - 2 და საკიდელისაგან - 3, რომლის საშუალებითაც ჰიდრომეტრიულ ხელსაწყოებს - 4 უშვებენ ნაკადში. საკიდელა გადასასვლელის კონსტრუქცია უფრო მარტივია, ვიდრე დაკიდული ხიდის. დინების მცირე სიღრმისა და სიჩქარის შემთხვევაში რეკომენდებულია ცალმხრივი გადასასვლელი; ამასთან, წყლის ზედაპირიდან საკიდელას ფსკერამდე მანძილი 2–3 მ-ზე მეტი არ უნდა იყოს. გვარლზე გადასადგილებლად საკიდელას აქვს ორი სავალი გორგოლაჭი საავარიო ცალუდებით; საკიდელა აღჭურვილია სამუხრუჭო მოწყობილობით. ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა წარმოების რთული პირობების შემთხვევაში უნდა გამოვიყენოთ ორმხრივი საკიდელა გადასასვლელები. გვარლები შეიძლება განლაგდეს როგორც ჰორიზონტალურ, ისე ვერტიკალურ სიბრტყეში; გვარლების განლაგების მეორე ვარიანტს ენიჭება უპირატესობა, რადგან ერთ-ერთი გვარლის მოულოდნელად გაწყვეტის შემთხვევაშიც კი საკიდელა არ კარგავს მდგრადობას.

გადასასვლელებიდან ყველაზე სრულყოფილია დისტანციური ჰიდრომეტრიული დანადგარი, რომელშიც გვარლიანი ტრიალა გადაადგილდება მზიდ გვარლზე და თავსდება ნაკადის საჭირო წერტილში. ტრიალას მოძრაობის მართვა ხორციელდება ნაპირიდან სიჩქარითი ვერტიკალების და წერტილების ფიქსაციით.



ნახ. 62. საკიდარიანი ჰიდრომეტრიული გადასასვლელის მოწყობილობის სქემა: 1 – საყრდენი; 2 – ამწი გვარლი; 3 – საკიდელა; 4 – ჰიდრომეტრიული ხელსაწყო

ნაპირზე იმყოფება მართვის პულტი, რომელიც აღჭურვილია ტრიალას ჩვენებათა სარეგისტრაციო მექანიზმებითა და აპარატურით. დისტანციური ჰიდრომეტრიული დანადგარების საშუალებით შეიძლება შესრულდეს ყველა ძირითადი ჰიდრომეტრიული სამუშაო: გაიზომოს სიღრმეები და სიჩქარეები (წერტილოვანი და ინტეგრაციული ხერხებით); აღებულ იქნეს წყლის სინჯები მასში ნატანის შემცველობისა და ქიმიური ანალიზისათვის.

ბორით და ნავით გადასასვლელები ეწყობა მდინარეებზე $B_{მავს} < 300$ მ შემთხვევაში. გადასასვლელის ძირითად კონსტრუქციას წარმოადგენს მდინარეზე გადაჭიმული სავალი გვარლი, რომელზედაც გადაადგილდება ბორანი ან ნავი. სანაოსნო მდინარეებზე გემის გავლის დროს სავალი გვარლი უნდა ჩაეშვას ფსკერზე. თუ ნაკადის მთელ სიგანეზე საკმარისი სიჩქარეებია, მაშინ ბორანის გადაადგილება შეიძლება მოხდეს თვით ნაკადის მიერ. ასეთ შემთხვევაში სამართავი საჭის საშუალებით პონტონს ათავსებენ დინების მიმართულებისადმი ირიბად; შედეგად წარმოიქმნება ბორანის გრძივი ღერძის პერპენდიკულარული ძალა, რომელიც იწვევს ბორანის გადაადგილებას კვეთში.

ბორანით გადასასვლელის სანაპირო საყრდენებს აწყობენ ხიმინჯოვანი კონტროფორსების სისტემის სახით. სანაპირო საყრდენებად შეიძლება გამოვიყენოთ ჯალამბრები: 5 ტ ტვირთამწეობის გადასასვლელებისათვის – 100 მ-მდე მალით და 10 ტ ტვირთამწეობის – 100-დან 200 მ-მდე მალით. ბორანის სავალ ნაწილს

წარმოადგენს ბლოკები. ისინი ბორანთან შეერთებულია მოკლე გვარლით, რომლის სიგრძის რეგულირებაც ხდება ნავზე (ბორანზე) მოთავსებული ჯალამბრებით.

ჰიდრომეტრიულ ხელსაწყოებს ნაკადში უშვებენ ბორანის ნავეს (ტივტივებს) შორის არსებული სამკრომიდან ჯალამბრის საშუალებით. ეს უკანასკნელი მოთავსებულია ტივის შუაში.

საშუალო და დიდ მდინარეებზე ფართოდ გამოიყენება ჰიდრომეტრიული ინსტრუმენტებით სპეციალურად აღჭურვილი მოტორიანი ნავეები და კატერები.

წყლის ხარჯების განსაზღვრა ყინულის რეჟიმის შემთხვევაში. მდინარეთა ზამთრის რეჟიმის შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს ჰიდროენერგეტიკულ და სხვა ნაგებობათა დაგეგმარებისა და განსაკუთრებით კი მშენებლობისა და ექსპლოატაციისათვის. ძირითად სამუშაოთა რიცხვს ყინულის რეჟიმის შემთხვევაში მიეკუთვნება წყლის ხარჯების გაზომვა გაყინვის პერიოდში და ყინულისა და თოშის ხარჯების გაზომვა.

დიდ მდინარეებზე ზამთრის ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა წარმოებისათვის სარგებლობენ თბილი გადასადგილებელი ჯიხურებით. ეს უკანასკნელნი აღჭურვილია სამკრომით, რომლიდანაც ჯალამბრის საშუალებით უშვებენ ტრიალას ან სხვა ხელსაწყოს. ვერტიკალებზე მუშა სიღრმეთა განსაზღვრისათვის საჭიროა გაიზომოს ჩადირული ყინულისა და თოშის სისქე. თუ თოში იკავებს ცოცხალი კვეთის 25%–ზე მეტს, მაშინ ჰიდრომეტრიული კვეთი უნდა გადავიტანოთ მდინარის სხვა უბანზე. იმისათვის, რომ ფრთებიანმა ხრახნმა იმუშაოს დაუმახინჯებელ სიჩქარეთა ველის პირობებში, გვარლს ან შტანგს ათავსებენ ღრმულის ზედა კედელთან მჭიდროდ. ძალიან დაბალი ტემპერატურის შემთხვევაში ტრიალა, შემოყინვის თავიდან აცილების მიზნით, ვერტიკალიდან ვერტიკალზე გადააქვთ წყლიანი ვედროთი. ორიარუსიანი ყინულის საფარის შემთხვევაში სიჩქარეებს ზომავენ ყინულის ყველა შრეს შორის.

ყინულისა და თოშის მოცულობითი ხარჯი ნაკადის ზედაპირულ შრეში განისაზღვრება ფორმულით

$$Q_g = \alpha h_g B_g v_g, \quad (98)$$

სადაც α არის ყინულსვლის (თოშსვლის) ფარდობითი სიხშირე;

h_g – ყინულის (თოშის) საშუალო სისქე;

B_g – მდინარის ზედაპირის სიგანე, რომელზედაც ხდება ყინულსვლა (თოშსვლა);

v_g – ყინულის (თოშის) მოძრაობის საშუალო სიჩქარე.

ყინულსვლის სიხშირე (α) ახასიათებს მდინარის ზედაპირის ყინულით ან თოშით შევსების ხარისხს და შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით $\alpha = \frac{\sum t}{T}$, სადაც $\sum t$ არის ყინულის მოძრაობის სიჩქარე ჰიდრომეტრიულ კვეთში დაკვირვების პერიოდში ($T > 2$ წთ); მასთან, $\sum t = t_1 + t_2 + \dots + t_n$, სადაც $t_1, t_2, \dots, t_n$ წარმოადგენს, შესაბამისად, პირველი, მეორე და ა.შ. n -ური ყინულის ნატეხის (ხორგის) კვეთში გავლის დროს.

იშვიათი ყინულსვლის სიხშირე, გარდა აღნიშნულისა, შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს როგორც ფარდობა $\alpha = \frac{n_g}{N}$, სადაც n_g არის მოცემული სიჩქარით ვერტიკალზე დროის ტოლ შუალედებში ყინულის გავლის შემთხვევათა რიცხვი, ხოლო N – იმავე ვერტიკალზე ყინულისა და წყლის შემჩნევათა შემთხვევების რიცხვი. α სიდიდის სტატისტიკური გასაშუალებისათვის დაკვირვებათა რიცხვი არ უნდა იყოს ოცზე ნაკლები.

მცურავი ყინულის სისქეს ზომავენ ლითონის კორპუსის მეორე ჰიდრომეტრიული კატარდიდან უსაფრთხოების ტექნიკის წესების მკაცრი დაცვით. უფრო ხშირად დამახასიათებელი ყინულის ნატეხები შემოყავთ წინასწარ მომზადებულ ბუხტში და ზომავენ მის სისქეს ორ–სამ წერტილში.

ნ. აკსაკოვმა მდ. სირდარიაზე გამოიყენა h_g -ის გაზომვის შემდეგი ხერხი: ბორანის სავალ გვარლზე უშუალოდ წყლის ზედაპირთან გადაადგილებდნენ პატარა საკიდელას. მასში მყოფი ტექნიკოსი აბრუნებდა ყინულის ნატეხს და სწრაფად ზომავდა მის სისქეს. ამ გზით შესაძლებელი გახდა მოკლე დროში მდინარის მთელ სიგანეზე ყინულის სისქეების გაზომვა.

მდინარის სიგანეს (B_g), როდესაც ჰიდრომეტრიულ კვეთში გადაჭიმულია გვარლი, პოულობენ ვიზუალურად გვარლზე აღნიშნული ჭდეების მიხედვით. ყინულის ნატეხების მოძრაობის სიჩქარეს განსაზღვრავენ წყლის დინების სიჩქარეთა ტივტივას საშუალებით გაზომვის ანალოგიური მეთოდით.

(98) ფორმულაში h_g და v_g სიდიდეები წარმოადგენენ ყველა გაზომვის საშუალო არითმეტიკულს. იმისათვის, რომ თოშის მოცულობა დაყვანილ იქნეს ყინულის მოცულობაზე, ნაკადიდან იღებენ სინჯებს თოშბატომეტრებისა და თოშსაზომების საშუალებით. შემდეგ გამოითვლიან ფარდობას

$$k_{\Phi} = \frac{P}{\gamma_g W},$$

სადაც P არის ყინულის წონა, გ-ობით;

W – თოშის მოცულობა, სმ³-ობით;

γ_g – ყინულის ხვედრითი წონა, გ/სმ³-ობით.

(98) ფორმულით გამოთვლილი თოშის მოცულობით ხარჯს ამრავლებენ k_{Φ} კოეფიციენტზე.

თუ ვისარგებლებთ ი. რომანენკოს ელექტრონულ-დისტანციური თოშსაზომით, მაშინ სინჯების აღების აუცილებლობა აღარ იარსებებს.

ყინულისა და თოშის ხარჯების განსაზღვრისას შეიძლება გამოვიყენოთ საჰაერო სტერეოფოტოგადაღება ყინულის ნატეხების ფართობისა (F_g) და მოძრაობის სიჩქარის გასაზომად. ასეთ შემთხვევაში გამოსათვლელი ფორმულა დებულობს შემდეგ სახეს:

$$Q_g = h_g \frac{F_g}{L} v_g, \quad (99)$$

სადაც L არის უბნის სიგრძე, რომელზედაც იზომება F_g .

იმის გამო, რომ სტერეოფოტოგადაღება ნაკადის სიგანეზე ყინულის ნატეხების მოძრაობის სიჩქარეთა (u_g) გადანაწილების შესახებ დეტალური მონაცემების მიღების საშუალებას იძლევა, v_g სიჩქარე შეიძლება განისაზღვროს $u_g = u_g(b)$ მრუდით, შემოსაზღვრული ეპიურის ფართობის გაყოფით წყალსადინარის სიგანეზე.

წყლის ხარჯების გაანგარიშება გაზომილი სიჩქარეებითა და სიღრმეებით. წყლის ხარჯის მოდელი (ნახ. 60) შეიძლება დაიყოს ელემენტარულ ნაწილებად, თუ მკვეთ სიბრტყეებს გავატარებთ ცოცხალი კვეთის პერპენდიკულარულად, წყლის სარკის პარალელურად და ცოცხალი კვეთის პარალელურად. შედეგად მივიღებთ Q ხარჯის გაანგარიშების შემდეგ ხერხებს.

Q -ს გაანგარიშება $u = u(y)$ სიჩქარეთა პროფილის მიხედვით. თუ ხარჯის მოდელს გადავკვეთავთ ცოცხალი კვეთის პერპენდიკულარული სიბრტყეებით, მივიღებთ სიჩქარეთა პროფილებს (ნახ.63,ა). ასეთ საანგარიშო სქემას შეესაბამება ხარჯის მოდელის მოცულობის გამოსათვლელი ზოგადი გამოსახულებები (95) და (96). (95) ინტეგრალის კონკრეტიზაცია ხდება შემდეგნაირად: $d\omega$ ფართობის ქვეშ იგულისხმება ორი მეზობელი ვერტიკალით, წყლის ზედაპირის წირითა და სველი პერიმეტრით შემოსაზღვრული ელემენტარული ფართობი. u სიჩქარეს ღებულობენ როგორც მეზობელ ვერტიკალებზე საშუალო u სიჩქარეთა საშუალო არითმეტიკულს.

Q -ს გაანგარიშება $u = u(b)$ სიჩქარეთა გეგმის მიხედვით. თუ ხარჯის მოდელს გადავკვეთავთ წყლის ზედაპირის პარალელური სიბრტყეებით, მივიღებთ ნაკადის სიგანის სხვადასხვა სიღრმეზე ადგილობრივ სიჩქარეთა განაწილების ეპიურებს (ნახ. 63,გ; ნახ. 30ა). ასეთი საანგარიშო სქემისათვის Q -ს გამოსათვლელი ფორმულა ღებულობს სახეს

$$Q = \int_0^{h_{\text{ავს}}} q_3 dh, \quad (100)$$

სადაც q_3 არის წყლის ხარჯი ჰორიზონტალზე, რომელიც რიცხობრივად $u = u(b)$ ეპიურით შემოფარგლული ფართობის ტოლია.

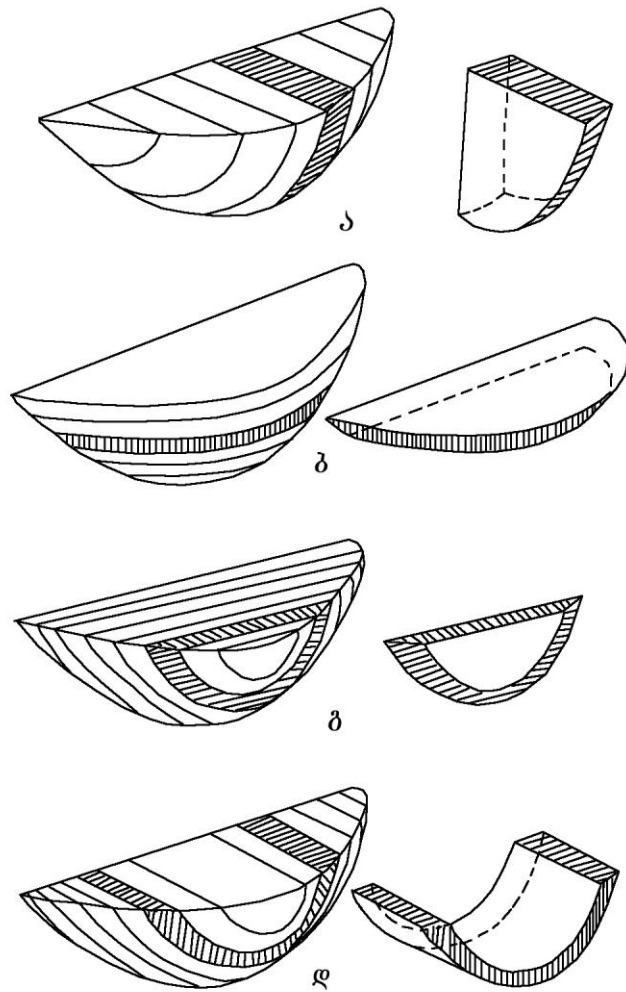
Q -ს გაანგარიშება იზოტაქების მიხედვით. თუ ხარჯის მოდელს გადავკვეთავთ ცოცხალი კვეთის პარალელური სიბრტყეებით, მივიღებთ იზოტაქებს (ნახ. 63, გ და 30). წყლის ხარჯის ფორმულა მიიღებს სახეს

$$Q = \int_0^{v_{\text{ავს}}} \omega_u du. \quad (101)$$

ეს გამოსახულება შეესაბამება შემთხვევას, როცა ელემენტარული ფართობი ტაქიგრაფიულ მრუდზე (ნახ. 32) მდებარეობს ω_u ღერძის მიმართულებით და ტოლია $\omega_u du$ ნამრავლის. თუ ელემენტარულ ფართობებს ავიღებთ u ღერძის მიმართულებაზე, მაშინ იგივე ფართობი, რომელიც შემოსაზღვრულია ტაქიგრაფიული მრუდით და რიცხობრივად Q -ს ტოლია, გამოისახება შემდეგნაირად

$$Q = \int_0^{\omega} u d\omega_u, \quad (102)$$

სადაც $d\omega_u$ არის ფართობი მეზობელ იზოტაქებს შორის (ნახ. 63, დ).



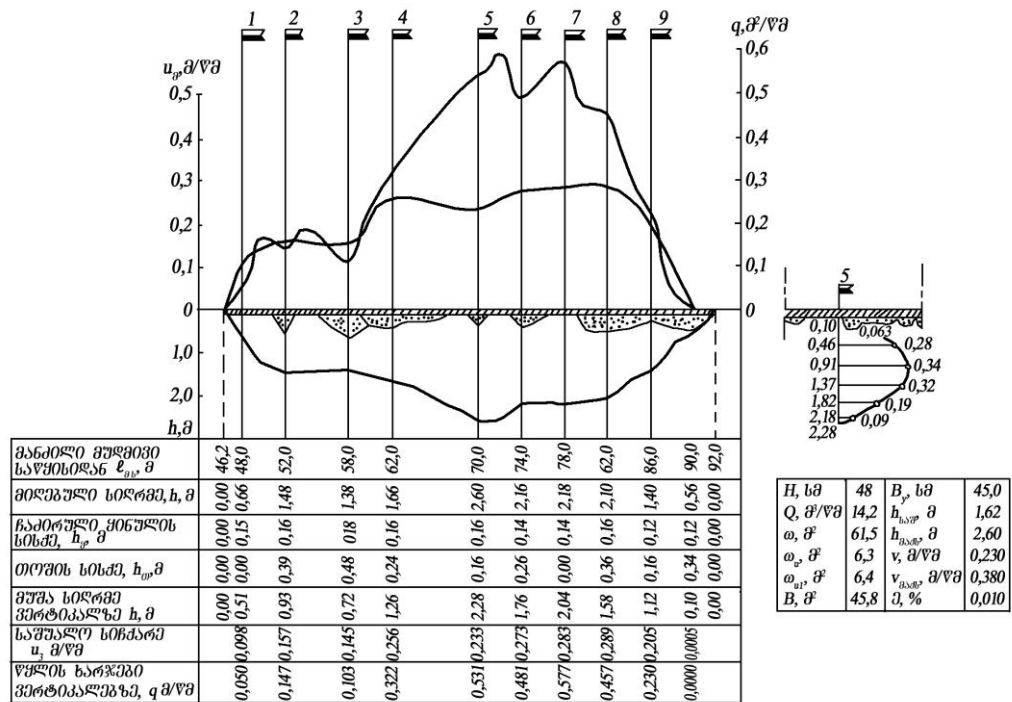
ნახ. 63. წყლის ხარჯების გამოთვლის ხერხების ილუსტრაცია: ა – ვერტიკალებზე სიჩქარეთა ეპიურების მიხედვით; ბ – ჰორიზონტალებზე სიჩქარეთა ეპიურების მიხედვით; გ – იზოტაქებით შემოსაზღვრული ფართობების მიხედვით; დ – მეზობელ იზოტაქებს შორის მოთავსებული ფართობების მიხედვით

ქვემოთ მოყვანილია Q -ს გაანგარიშებათა მეთოდთა; მეორე ხერხი, როგორც პრაქტიკაში ნაკლებად გამოყენებული, განხილული არ არის. (95), (96), (100), (101) და (102) ინტეგრალები ამოიხსნება მიახლოებით გრაფიკულად ან ანალიზურად, პრაქტიკისათვის საკმარისი სიზუსტით.

ჯერ განვიხილოთ გრაფიკული ხერხები, როგორც უფრო თვალსაჩინო; ავიღოთ (96) ინტეგრალი. პირველ რიგში უნდა აიგოს ცოცხალი კვეთის პროფილი, რომელზედაც აღინიშნება სიჩქარითი ვერტიკალები, ხოლო ყინულის რეჟიმის შემთხვევაში, ჩადირული ყინული და თოში (ნახ. 64). ამავე ნახაზზე აგებენ სიჩქარეთა პროფილებს; სიღრმეების მასშტაბი მათზე და ცოცხალი კვეთის

პროფილზე უნდა იყოს ერთნაირი. შემდეგ ხდება სიჩქარეთა პროფილების ფართობის ორჯერ პლანიმეტრირება (განსხვავება დასაშვებია 2%-მდე), რის შედეგადაც ღებულობენ წყლის ხარჯებს (q) სიჩქარით ვერტიკალებზე; საშუალო სიჩქარეები გამოითვლება ფორმულით $u_3 = \frac{q}{h}$. პლანიმეტრის დანაყოფის ფასის გამოთვლისას h და u სიდიდეების მასშტაბებს ითვალისწინებენ ნამრავლის სახით. შემდეგ აგებენ ვერტიკალებზე საშუალო სიჩქარეთა განაწილების ეპიურას ნაკადის სიგანეზე $u_3 = u_3(b)$, რისთვისაც u_3 სიჩქარეებს გადაზომავენ წყლის დონის წირიდან ზემოთ. ეპიურიდან იღებენ u_3 -ის სიდიდეს ყოველი გასაზომი ვერტიკალისათვის. ამ სიჩქარეთა მუშა სიღრმეებზე გამრავლებით ღებულობენ გასაზომ ვერტიკალებზე q ხარჯის მნიშვნელობებს. ამ უკანასკნელთა გადაზომვით წყლის ზედაპირიდან ზემოთ და მიღებული წერტილების მდოვრე წირით შეერთებით აგებენ ვერტიკალებზე ხარჯების განაწილების ეპიურას $q = q(b)$. ამ ეპიურის ფართობი, რომელიც აგრეთვე პლანიმეტრით განისაზღვრება, რიცხობრივად Q ხარჯის ტოლია.

(101) და (102) ინტეგრალების გრაფიკულად ამოხსნისათვის ცოცხალი კვეთის პროფილზე წინასწარ უნდა აიგოს იზოტაქები (ნახ. 30). ამ უკანასკნელთ აგებენ ისევე, როგორც ჰორიზონტალებს. სიჩქარით წერტილებს გვერდით უნდა მიეწეროს ადგილობრივი სიჩქარის მნიშვნელობები. იმისათვის, რომ ზუსტად განისაზღვროს იზოტაქების შეუღლება წყლის ზედაპირთან და ფსკერთან, აგებენ ფსკერულ და ზედაპირულ სიჩქარეთა განაწილების ეპიურებს ნაკადის სიგანეზე (§ 10).



ნახ. 64. წყლის ხარჯის გამოთვლის გრაფიკული ხერხი

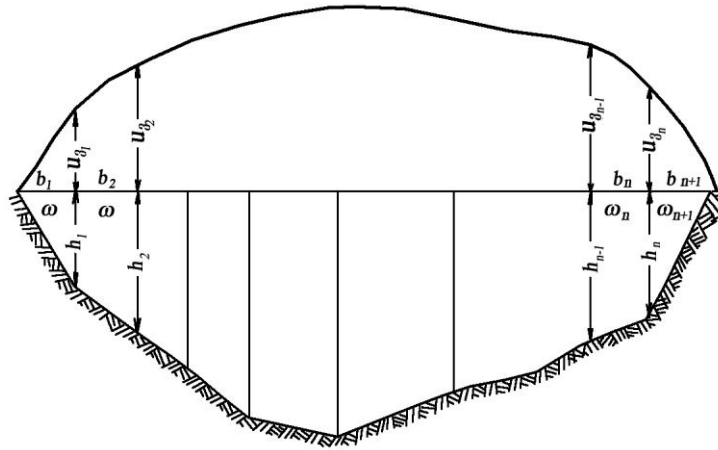
იზოტაქებს ატარებენ 0,05; 0,10; 0,50 მ/წმ სიჩქარეების შესაბამის წერტილებზე უდიდესი სიჩქარის მნიშვნელობის გათვალისწინებით. შემდეგ პლანიმეტრირებით პოულობენ იზოტაქებით შემოსაზღვრულ ფართობებს (ω_u) და u და ω_u სიდიდეების მიხედვით აგებენ ტაქიგრაფიულ მრუდს (ნახ. 31). ამ მრუდით შემოსაზღვრული ფართობი რიცხობრივად წყლის ხარჯის ტოლია.

გაანგარიშების გრაფიკულ ხერხს იყენებენ წყლის ხარჯის დეტალური გაზომვისას და ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც სიჩქარეთა ველი რთულია (მრავალმალიანი ხიდის ქვეშ, კალაპოტში თოშის არსებობისას, ნაკადის გადასვლისას ნოღა კალაპოტში და სხვა).

განვიხილოთ წყლის ხარჯის გაანგარიშების ანალიზური ხერხები. ამისათვის ჩავატაროთ (95), (96) (101) და (102) ინტეგრალების თანმიმდევრობითი აპროქსიმაცია. 63, ა ნახაზის მიხედვით (95) გამოსახულება შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი მრავალწევრის სახით

$$Q = ku_{31}\omega_1 + \frac{u_{31}+u_{32}}{2}\omega_2 + \dots + \frac{u_{3n-1}+u_{3n}}{2}\omega_n + ku_{3n}\omega_{n+1}, \quad (103)$$

სადაც $u_{31}, u_{32}, \dots, u_{3n}$ არის § 10-ში მოყვანილი ფორმულებით გამოთვლილი საშუალო სიჩქარეები ვერტიკალებზე (ნახ. 65);



ნახ. 65. წყლის ხარჯის ანალიზური ხერხით გამოსათვლელი სქემა

$\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n+1}$ – წყლის კვეთების ფართობები ვერტიკალებს შორის. თვლიან, რომ კვეთები ტრაპეციული ფორმისაა;

k – კოეფიციენტი სანაპირო ვერტიკალებზე სიჩქარეებისათვის; $k = 0,7$ –ს დამრეცი ნაპირისათვის (წყლის კიდეზე $h = 0$ შემთხვევაში); $k = 0,8$ –ს მდინარის ფლატეებიანი ნაპირისათვის ან არხის უსწორმასწორო კედლისათვის; $k = 0,9$ –ს ბეტონის გლუვი ზედაპირისათვის.

(96) გამოსახულება აპროქსიმირდება (ნახ. 63, ა) შემდეგი სახით:

$$Q = kq_1b_1 + \frac{q_1+q_2}{2}b_2 + \dots + \frac{q_{n-1}+q_n}{2}b_n + kq_nb_{n+1}, \quad (104)$$

სადაც $q_1, q_2, \dots, q_n$ არის წყლის ხარჯები ვერტიკალებზე;

$b_1, b_2, \dots, b_{n+1}$ – მანძილი ვერტიკალებს შორის (ნახ. 65).

ხარჯებს ვერტიკალებზე გამოითვლიან ფორმულით $q = u_3h$, ხოლო u_3 –ს მე-10 პარაგრაფში მოყვანილი ფორმულებით. სანაპირო ვერტიკალებისათვის შემოტანილია იგივე შემასწორებელი k კოეფიციენტი, რაც (103) გამოსახულებაში.

(101) ინტეგრალი (63, გ ნახაზის შესაბამისად), თუ დავუშვებთ, რომ სიჩქარე ფსკერთან ნულის ტოლია, შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი მრავალწევრის სახით:

$$Q = \frac{\omega_{u0}+\omega_{u1}}{2}u_{o\Phi} + \frac{\omega_{u1}+\omega_{u2}}{2}u_{o\Phi} + \dots + \frac{\omega_{un-1}+\omega_{un}}{2}u_{o\Phi} + Q_{n+1}, \quad (105)$$

სადაც $\omega_{u0}, \omega_{u1}, \dots, \omega_{un}$ არის იზოტაქებით შემოსაზღვრული ფართობები;

$u_{o\Phi}$ – მეზობელ იზოტაქებს შორის სიჩქარეთა სხვაობა;

Q_{n+1} – ხარჯის მოდელის ბოლო ნაკვეთურის მოცულობა.

$$Q_{n+1} = \frac{2}{3}\omega_{un}(v_{\Phi\Phi} - u_n),$$

სადაც ω არის ბოლო იზოტაქით შემოსაზღვრული ფართობი;

$v_{\text{მეშ}}$ – მაქსიმალური სიჩქარე კვეთში;

u_n – ბოლო იზოტაქის შესაბამისი სიჩქარე.

თუ Q_{n+1} -ის მნიშვნელობას შევიტანთ (105) ფორმულაში, შევკრებთ მსგავს წევრებს და გავითვალისწინებთ, რომ ნულოვანი იზოტაქით შემოსაზღვრული ფართობი $\omega_{u0} = \omega$, სადაც ω ცოცხალი კვეთის ფართობია, ვიპოვით:

$$Q = u_{\text{ოზ}} \left(\frac{\omega}{2} + \omega_{u1} + \omega_{u2} + \dots + \omega_{u_{n-1}} + \frac{\omega_{un}}{2} \right) + \frac{2}{3} \omega_{un} (v_{\text{მეშ}} - u_n). \quad (106)$$

(102) ინტეგრალის აპროქსიმაცია მოვახდინოთ 63, დ ნახაზის შესაბამისად; ამასთან, გავითვალისწინოთ, რომ ხარჯის მოდელის მთელი მოცულობა შედგება ნახევარგოლის ფორმის მოცულობათა ჯამისაგან. ნახევარგოლის კვეთის ფართობი ტოლია მეზობელი იზოტაქებით შემოსაზღვრული ფართობისა ($\Delta\omega_u$), ხოლო სიმაღლე, ამ იზოტაქების შესაბამისი სიჩქარეების ნახევარჯამისა. თუ დავუშვებთ, რომ სიჩქარე ფსკერთან ნულის ტოლია, მაშინ პირველი ნახევარგოლის მოცულობა ტოლი იქნება $(\omega - \omega_{u1}) \cdot \frac{u_{\text{ოზ}}}{2} = \Delta\omega_{u1} \frac{u_{\text{ოზ}}}{2}$; მეორე ნახევარგოლის – $(\omega_{u1} - \omega_{u2}) \frac{3u_{\text{ოზ}}}{2} = \Delta\omega_{u2} \frac{3}{2} u_{\text{ოზ}}$, რადგანაც საშუალო სიჩქარე აქ $\frac{u_{\text{ოზ}} + 2u_{\text{ოზ}}}{2} = \frac{3u_{\text{ოზ}}}{2}$, და ა. შ.

წყლის ხარჯის ფორმულა ღებულობს სახეს

$$Q = u_{\text{ოზ}} \left(\frac{1}{2} \Delta\omega_{u1} + \frac{3}{2} \Delta\omega_{u2} + \frac{5}{2} \Delta\omega_{u3} + \dots + \frac{2n-1}{2} \Delta\omega_{un} \right) + \frac{1}{2} (v_{\text{მეშ}} + nu_{\text{ოზ}}) \omega_{un}. \quad (107)$$

ამ ფორმულის ბოლო წევრი გამოსახავს ω_{un} ფუძის მქონე ცილინდრის მოცულობას. ყველა გაანგარიშებას (103)–(107) ფორმულებით აწარმოებენ სტანდარტულ ბლანკებზე.

მდინარეში (არხში) გაზომილი წყლის ყოველი ხარჯისათვის მითითებული უნდა იყოს მოცემული ხარჯის შესაბამისი დონე. ზოგად შემთხვევაში წყლის ხარჯებს ზომავენ წყალსადინარზე მუშაობის პროცესში, ამიტომ ისმის საკითხი საშუალო ან ეგრეთწოდებული საანგარიშო $H_{\text{საანგ}}$ სიღრმის განსაზღვრის შესახებ. Q ხარჯის გაზომვისას დონეების უმნიშვნელოდ ცვლილების შემთხვევაში $H_{\text{საანგ}}$ სიღრმეს ღებულობენ ხარჯის გაზომვამდე და გაზომვის შემდეგ არსებულ დონეთა საშუალო არითმეტიკულის ტოლად. თუ დონის ცვლილება ჰიდრომეტრიულ

კვეთში აღწევს რომელიმე შედარებით მცარი სიღრმის 5–10%–ს, მაშინ $H_{საანგ}$ –ს გამოთვლიან შემდეგი ფორმულებით:

ნაკადის სიგანეზე სიჩქარითი ვერტიკალების თანაბარი განაწილების შემთხვევაში

$$H_{საანგ} = \frac{q_1 H_1 + q_2 H_2 + \dots + q_n H_n}{\sum q}, \quad (108)$$

სიჩქარითი ვერტიკალების არათანაბარი განაწილების შემთხვევაში, როდესაც ვერტიკალებს შორის მანძილების ფარდობითი განსხვავება 25%–ს აღწევს,

$$H_{საანგ} = \frac{q_1 b_1 H_1 + q_2 b_2 H_2 + \dots + q_n b_n H_n}{\sum q b}, \quad (109)$$

სადაც H და q არის, შესაბამისად, დონეები და ხარჯები სიჩქარეთა ვერტიკალებზე;

b –სიჩქარითს ვერტიკალებს შორის ნახევარ მანძილებზე მდებარე ვერტიკალებით შემოსაზღვრული მდინარის ნაწილობრივი სიგანეები;

გაზომილი სიჩქარეებითა და სიღრმეებით წყლის ხარჯების განსაზღვრის სიზუსტე. იმის გამო, რომ Q ხარჯი წარმოადგენს წყლის დინების სიჩქარეებისა და h სიღრმეების ფუნქციას, მისი განსაზღვრის სიზუსტე დაკავშირებულია სიჩქარეებისა და სიღრმეების გაზომვის სიზუსტესთან. ΔQ –ს გაანგარიშება დამოკიდებულია ხარჯის მოდელის მოცულობის ზოგად გამოსახულებათა აპროქსიმაციის ხერხზე. (96) და (104) გამოსახულებებიდან გამომდინარე, გ. ჟელეზნიაკოვი და **ბ. დანილევსკი** ΔQ –ს საანგარიშოდ იძლევიან შემდეგ ფორმულას:

$$\Delta Q = \omega_{u3} \Delta h + \omega \Delta u_3 + \Delta b \sum q, \quad (110)$$

სადაც Δh , Δu_3 , Δb არის h , u_3 და b სიდიდეების აბსოლუტური ცდომილება;

ω_{u3} –სიჩქარითს ვერტიკალებზე საშუალო სიჩქარეთა განაწილების ეპიურასა და წყლის ზედაპირის წირს შორის მოთავსებული ფართობი.

ამგვარად, (110) ფორმულაში შემავალი ყველა სიდიდე შეიძლება გამოთვლილ იქნეს მხოლოდ იმ გაანგარიშებათა საფუძველზე, რომელიც საჭიროა Q ხარჯის დასადგენად. ΔQ –ს განსაზღვრის შემდეგ გამოთვლიან ფარდობით ცდომილებას პროცენტობით $-\frac{\Delta Q}{Q} \cdot 100$.

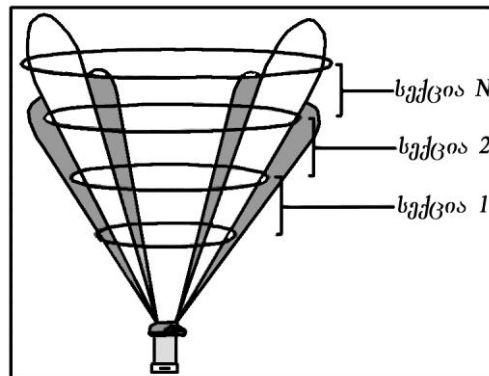
იმისათვის, რომ წარმოდგენა ვიქონიოთ ჰიდრომეტრიული ტრიალას გაზომილი სიჩქარეების საშუალებით წყლის ხარჯების განსაზღვრისას დაშვებულ

შეცდომაზე, მოვიყვანოთ ზოგიერთ მონაცემს „სახელმძღვანელოდან ჰიდრომეტეოროლოგიური სადგურებისა და საგუშაგოებისათვის“. სავარაუდო ცდომილება შეადგენს: უდიდესი სიზუსტის უზრუნველყოფის პირობებში (დამყარებული მოძრაობა, $u > 0,1$ მ/წმ, ღია ნაკადი) 2–3%-ს – სიჩქარეთა გაზომვის დეტალური ხერხის გამოყენებისას და 3–5%-ს – ძირითადი ხერხის გამოყენებისას; კალაპოტში თოშის არსებობის შემთხვევაში (თუ თოშს უკავია ცოცხალი კვეთის 10%-ზე მეტი), შესაბამისად, 7–10-სა და 10–15%-ს.

ა)



ბ)



ნახ. 66. ახალი ტიპის თანამედროვე ხელსაწყო „აკუსტიკური დოპლერი“ მდინარის ცოცხალ კვეთში სხვადასხვა ჰიდროლოგიური მახასიათებლის გამოსათვლელად: ა) „აკუსტიკური დოპლერი“; ბ) „DOPLER-PROFILER-4“-ის ტიპის დოპლერის სექციების განლაგების სქემა

ხელსაწყო „დოპლერი“ ეწოდა მისი ავტორის ქრისტიან დოპლერის პატივსაცემად. არსებობს „დოპლერის“ ტიპის ხელსაწყო სხვადასხვა მოდელები. მაგალითად: დიდი მდინარეებისათვის გამოიყენება RIVEROY REFERENCE CARD-ის ტიპის მოდელი. ამ ტიპის მოდელი დამყარებულია აკუსტიკური ბგერითი სიხშირის გადასაცემად კომპიუტერის სპეციალურ პროგრამაში. ხელსაწყო მაგრდება ნავზე და სენსორების საშუალებით ხელსაწყოს მიერ დაფიქსირებული შედეგები გადაეცემა კომპიუტერს, სადაც ხდება წყლის ცოცხალი კვეთის გრაფიკულად გამოსახვა და ავტომატურად იანგარიშება სხვადასხვა

ჰიდროლოგიური მახასიათებლები: სიგანე, სიღრმე, ფართობი, სიჩქარეები და წყლის ხარჯი.

პატარა მდინარეებზე ჰიდროლოგიური მახასიათებლების გამოკვლევა შესაძლებელია დოპლერის სხვა მოდელით - ნახ. 66 ბ "DOPLER -PROFILER-4". ხელსაწყო მაგრდება შტანგაზე, რომელიც ჩაიშვება წყალში და შესაბამისი სენსორების საშუალებით გამოითვლება ზემოაღნიშნული მახასიათებლები. ხელსაწყო ამ მოდელით შესაძლებელია ტემპერატურის გაზომვაც.

„აკუსტიკური დოპლერის“ ზემოაღნიშნული ორივე მოდელის სხვადასხვა დადებითი მახასიათებლების დადებითი მხარეა დაბალი ელექტრო ენერგიის მოხმარება.

§ 13. ღია კალაპოტებში წყლის ხარჯების განსაზღვრის ჰიდრავლიკურ-ჰიდრომეტრიული ხერხი

ამ პარაგრაფში განხილულია ღია ნაკადის ხარჯების განსაზღვრის საკითხები მისი კინემატიკური სტრუქტურისა და მორფომეტრიის გათვალისწინებით. ამ ხერხს, რომელიც დამუშავებულ იქნა გ. ჟელეზნიაკოვის მიერ, ეწოდება ჰიდრავლიკურ-ჰიდრომეტრიული, რადგანაც მასში გამოყენებულია როგორც ნაკადისათვის დამახასიათებელი ჰიდრავლიკური დამოკიდებულებები, ისე ჰიდრომეტრიული ხერხებისათვის დამახასიათებელი (§ 11) გაზომვები.

ძირითადი განტოლებები ისეა შედგენილი, რომ მათში შესულია ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის კინემატიკური ელემენტები, რაც იძლევა აეროჰიდრომეტრიული მეთოდების უფრო ეფექტურად გამოყენების შესაძლებლობას.

თეორიული დასაბუთება. საშუალო სიჩქარე ვერტიკალზე (u_3) გამოისახება (24) ფორმულით, ამიტომ მთელი ნაკადის წყლის ხარჯი ტოლია:

$$Q = \int_0^B u_3 h db = \int_0^B h (u_{\text{ფეხ}} - \frac{u_*}{k}) db. \quad (111)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $hu_{\text{ფეხ}} = q_g$ -ს, სადაც q_g არის წყლის ფიქტიური ხარჯი ვერტიკალზე და $u_* = \sqrt{ghl}$ -ს, ვიპოვიით:

$$Q = Q_g - \frac{\sqrt{gl}}{k} \int_0^B h \sqrt{h} db. \quad (112)$$

სადაც $Q_g = \int_0^B q_g db$ არის წყლის დინების ზედაპირული სიჩქარეებითა (u_{gys}) და სიღრმეებით გამოთვლილი ფიქტიური ხარჯი: Q_g ხარჯი $q_g = q_g(b)$ ეპიურიტა და წყლის სარკით შემოსაზღვრული ფართობის ტოლია.

გავითვალისწინოთ, რომ წყლის დინამიკური ხარჯი $Q_* = \omega \sqrt{gh_{bs}l} = \omega v_*$ და (112) განტოლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით

$$Q = Q_g - \frac{\beta_*}{k} Q_*, \quad (113)$$

სადაც β_* არის პარამეტრი, რომელიც მხედველობაში ღებულობს ნაკადის სიგანეზე სიღრმის განაწილების უთანაბრობას და განისაზღვრება ფორმულით

$$\beta_* = \frac{1}{\omega \sqrt{h_{bs}}} \int_0^B h^{3/2} db. \quad (114)$$

შემდგომში β_* –ს ვუწოდებთ ცოცხალი კვეთის ფორმის პარამეტრს.

ნაკადის სიგანეზე თანაბარი სიღრმეების შემთხვევაში $\beta_* = 1$, ზოგად შემთხვევაში $\beta_* > 1$.

(113) ფორმულაში შემავალი k პარამეტრი შეიძლება განვსაზღვროთ მთელი ნაკადისათვის, თუ (20) ფორმულაში ჩავსვათ შეზის უგანზომილებო კოეფიციენტის მნიშვნელობას (C^*). გავითვალისწინოთ, რომ $C^* = \frac{c}{\sqrt{g}}$ და k –ს გამოსათვლელი ფორმულა გარდაქმნების შემდეგ ჩავწეროთ ასეთი სახით:

$$k = \frac{\sqrt{g}}{C_*}, \quad (115)$$

სადაც

$$C_* = \frac{\sqrt{g} + C}{2,3 + 0,3 \frac{C}{\sqrt{g}}}, \quad (116)$$

ხოლო C არის შეზის კოეფიციენტი, რომლის განზომილებაა მ^{0.5}/წმ.

C_* და k სიდიდეთა მნიშვნელობები C –ს მიხედვით მოყვანილია ამ ფორმულებით შედგენილ მე–7 ცხრილში.

(115)–ის გათვალისწინებით (113) ფორმულა შეიძლება ასეთი სახით ჩავწეროთ:

$$Q = Q_g - \frac{\beta_* C_*}{\sqrt{g}} Q_*. \quad (117)$$

მიღებულ გამოსახულებას ვუწოდებთ ჰიდრავლიკურ–ჰიდრომეტრიული ხერხის პირველ განტოლებას.

C_* და k სიდიდეთა მნიშვნელობები

$C, \text{მ}^{0.5}/\text{წმ}$	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
C_*	2,9	4,0	4,8	5,5	6,4	7,0	7,5	7,8	8,1	8,3	8,5	8,7
k	1,08	0,78	0,66	0,51	0,49	0,45	0,4	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36

მეორე განტოლება იქნება ნაკადის საშუალო სიჩქარის ფარდობითი დეფიციტის გამოსახულება:

$$D = \frac{v_{\text{მეშ}} - v}{v_*} = \frac{C_*}{\sqrt{g}} + \frac{C}{C_0}, \quad (118)$$

სადაც C_0 არის შეზის კოეფიციენტის რაიმე ქვედა მნიშვნელობა. საშუალოდ $C_0 = 9,1 \text{ მ}^{0.5}/\text{წმ}$.

D -ს ჰიდრავლიკური არსი განხილულია ზემოთ, ტაქიგრაფიული მრუდის მაგალითზე (ნახ. 31).

(117) ფორმულა შეიძლება უშუალოდ გამოვიყენოთ წყლის ხარჯის განსაზღვრისათვის. ამისათვის Q_g -ის გარდა უნდა ვიცოდეთ β_* და K , აგრეთვე წყლის დინამიკური ხარჯი Q_* , რომელიც დამოკიდებულია ცოცხალი კვეთის ფართობსა და I ქანობზე. რადგანაც ქანობს ყოველთვის ვერ ზომავენ დამაკმაყოფილებელი სიზუსტით (განსაკუთრებით ბარის მდინარეებზე), ამიტომ ინტერესს წარმოადგენს ისეთი ფორმულა, რომელიც არ შეიცავს Q_* დინამიკურ ხარჯს.

(118) განტოლების მარცხენა მხარეში მრიცხველიც და მნიშვნელიც გავამრავლოთ ω -ზე და ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$\frac{\omega v_{\text{მეშ}} - Q}{Q_*} = \frac{C_*}{\sqrt{g}} + \frac{C}{C_0}. \quad (119)$$

(117) და (119) ფორმულების ამოხსნით მივიღებთ ჰიდრავლიკურ-ჰიდრომეტრიული ხერხის მესამე ფორმულას:

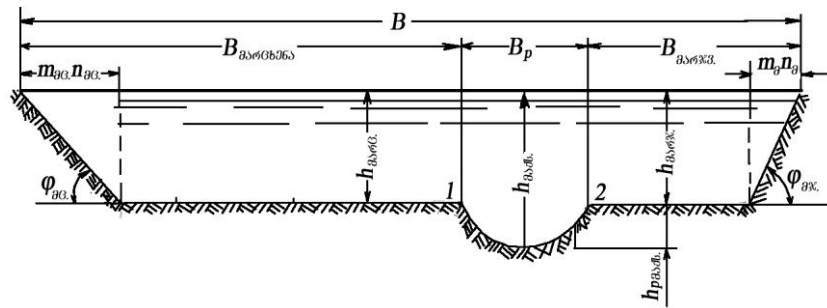
$$Q = \frac{\left[1 + \frac{\sqrt{g} C}{C_* C_0}\right] Q_g - \beta_* \omega v_{\text{მეშ}}}{1 + \frac{\sqrt{g} C}{C_* C_0} - \beta_*}. \quad (120)$$

იმასთან დაკავშირებით, რომ ბოლო ხანებში ფართოდ გავრცელდა ზედაპირული სიჩქარეებისა და მდინარის ნაკადების დინების მიმართულებათა განსაზღვრის აეროჰიდრომეტრიული მეთოდი, დაისახა ხარჯების გაზომვის

ჰიდრავლიკურ-ჰიდრომეტრიული ხერხის გამოყენების პერსპექტივა, რადგანაც სწორედ მის მეთოდში გამოიყენება ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის კინემატიკური ელემენტები.

ნაკადის ცოცხალი კვეთის ფორმის პარამეტრი. ნაკადის ნებისმიერი კვეთის ფორმის პარამეტრის (β_*) გასაგებად აგებენ $h^{3/2}(b)$ ეპიურას. ამ ეპიურითა და წყლის სარკის წირით შემოსაზღვრული ფართობის გაყოფით $\omega\sqrt{h_{საშ}}$ სიდიდეზე, პოულობენ β_* -ს. ამ უკანასკნელის მნიშვნელობა პოლიგონალური და წესიერი მრუდწირული პროფილებისათვის შეიძლება გამოითვალოს თეორიულად.

მდინარის თეორიული გაანგარიშებისათვის საჭიროა მისი რთული კვეთის სქემატიზაცია. განზოგადების მიზნით განვიხილოთ ცოცხალი კვეთი, რომელიც შედგება პარაბოლური (h_p ადგილობრივი სიღრმით) და არასიმეტრიული ტრაპეციული ფორმის ნოლა კალაპოტებისაგან (ნახ. 67).



ნახ. 67. პარაბოლური ფორმის კალაპოტი არასიმეტრიული ჭალით

მივიღოთ შემდეგი სახის პარაბოლა:

$$h_p = \frac{4h_{p\max}}{B_p^2} b(B_p - b). \quad (121)$$

როცა $b = 0$ (კალაპოტის კიდიდან), მაშინ $h_p = 0$ (წერტილი 1); როცა $b = B_p$, ასევე $h_p = 0$ (წერტილი 2); როცა $b = \frac{B_p}{2}$, $h = h_{p\max}$.

67-ე ნახაზზე გამოსახული ცოცხალი კვეთისათვის (114) ფორმულა ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$\beta_* = \frac{1}{h_{საშ}^{3/2} B} \left[\int_0^{m_{მარცხ} b_{მარჯ}} \left(\frac{b}{m_{მარცხ}} \right)^{3/2} db + \int_{m_{მარცხ} b_{მარჯ}}^{B_{მარცხ}} h_{მარჯ}^{3/2} db + \right. \\ \left. + \int_0^{B_p} (h_p + h_{მარჯ})^{3/2} db + \int_{m_{მარჯ} h_{მარჯ}}^{B_{მარჯ}} h_{მარჯ}^{3/2} db + \int_0^{m_{მარჯ} h_{მარჯ}} \left(\frac{b}{m_{მარჯ}} \right) db \right], \quad (122)$$

სადაც $m_{მარცხ} = ctg\phi_{მარცხ}$; $m_{მარჯ} = ctg\phi_{მარჯ}$.

(121) ფორმულისა და იმის გათვალისწინებით, რომ

$$h_{\text{საშ}} = \frac{2B - h_{\text{მარჯ}}(m_{\text{მარცხ}} + m_{\text{მარჯ}})}{2B} + \frac{2B_p}{3B} h_{p_{\text{მეშ}}},$$

(122) გამოსახულების ინტეგრირება მოგვცემს β_* -ს გამოსათვლელ ფორმულას

$$\beta_* = \frac{1 + (\alpha_* - 1) \frac{B_p}{B} - \frac{3}{5} \frac{h_{\text{მარჯ}}}{B} (m_{\text{მარცხ}} + m_{\text{მარჯ}})}{\left[1 - \frac{1}{2} \frac{h_{\text{მარჯ}}}{B} (m_{\text{მარცხ}} + m_{\text{მარჯ}}) + \frac{2}{3} \frac{B_p}{B} \eta_* \right]^{3/2}}. \quad (123)$$

სადაც α_* და η_* უგანზომილებო სიდიდეებია:

$$\alpha_* = \frac{1}{8} \left[3\eta_* + 5 + \frac{3(\eta_* + 1)^2}{\sqrt{\eta_*}} \arcsin \sqrt{\frac{\eta_*}{1 + \eta_*}} \right]; \quad (124)$$

$$\eta_* = \frac{h_{p_{\text{მეშ}}}}{h_{\text{მარჯ}}}.$$

(124) ფორმულის მიხედვით შედგენილია α_* და β_* სიდიდეთა ურთიერთდამოკიდებულების ცხრილი 8.

ც ხ რ ი ლ ი 8

α_* -ს მნიშვნელობები

η_*	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α_*	1,0	2,2	3,7	5,4	7,5	9,6	11,8	14,2	17,0	19,6	22,9

განვიხილოთ (123) ფორმულის ზოგიერთი კერძო შემთხვევა.

ტრაპეციული სიმეტრიული ცოცხალი კვეთი (არხი);

$$h_{\text{მეშ}} = 0; \eta_* = 0; m_{\text{მარცხ}} = m_{\text{მარჯ}} = m; \alpha_* = 1; h_{\text{მარჯ}} = h;$$

მაშასადამე,

$$\beta_* = \frac{1 - \frac{6}{5} m \frac{h}{B}}{\left(1 - m \frac{h}{B} \right)^{3/2}}. \quad (125)$$

პარაბოლური ცოცხალი კვეთი: $h_{\text{მარჯ}} = 0; \eta_* = \infty; \frac{B_p}{B} = 1$; მაშასადამე, (123)

გამოსახულებაში ამ მნიშვნელობათა ჩასმით და განუსაზღვრელობის გახსნით მივიღებთ $\beta_* = 1,082$. β_* პარამეტრი პარაბოლური ცოცხალი კვეთის არხებისათვის მუდმივი სიდიდეა.

განვიხილოთ β_* ფორმის პარამეტრის რიცხვითი მნიშვნელობები მდინარეთა ნაკადებისათვის. ნათელია, რომ რაც ნაკლებია $\alpha_h = \frac{h_{\text{საშ}}}{h_{\text{მეშ}}}$, მით მეტია ცოცხალ კვეთში სიღრმეთა ცვლილების ამპლიტუდა. მაშასადამე, β_* პარამეტრი α_h -ის შემცირებით გაიზრდება.

სიჩქარეთა პროფილების ანალიზი განზოგადებულია განტოლების სახით (ნაკადებისათვის, რომელთაც ნოლა კალაპოტი არ გააჩნიათ):

$$\beta_* = (2 - \alpha_h)^2, \quad (126)$$

სადაც $p = 1, 1 - 1, 3 \alpha_h + 0, 2 \alpha_h^3$.

როცა α_h მიისწრაფის ერთისაკენ, მაშინ ფორმის პარამეტრიც (β_*) მიისწრაფის ერთისაკენ. α_h -ის ყველაზე სააღბათო მნიშვნელობას – 0,67-ს შეესაბამება $\beta_{*max} = 1, 1$. (126) ფორმულით გამოთვლილი β_* -ს მნიშვნელობები მოყვანილია მე-9 ცხრილში.

ც ხ რ ი ლ ი 9

β_* -ს მნიშვნელობები

α_h	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	1,00
β_*	1,39	1,32	1,26	1,21	1,17	1,13	1,10	1,07	1,04	1,02	1,00

ხარჯების განსაზღვრის ჰიდრავლიკურ-ჰიდრომეტრიული ხერხით სარგებლობის მეთოდიკა. განასხვავებენ ჰიდრავლიკურ-ჰიდრომეტრიული ხერხის გამოყენების ორ ძირითად შემთხვევას.

1. ჰიდრომეტრიულ კვეთში ჰიდრომეტრიული ტრიალათი დეტალური ხერხით გაზომილია ხარჯები; სამუშაოთა წარმოების დაჩქარების მიზნით (განსაკუთრებით დაუმყარებელი მოძრაობის შემთხვევაში) საჭიროა გადავიდეთ ჰიდრავლიკურ-ჰიდრომეტრიულ ხერხზე და გავადიდოთ გაზომილი ხარჯების რიცხვი ხარჯების მრუდის აგებისა და ანალიზის საჭიროებისათვის (§19); ინტენსიური ყინულსვლის დროს ჰიდრავლიკურ-ჰიდრომეტრიული ხერხის გამოყენება გარდუვალია.

2. ჰიდრომეტრიული კვეთისათვის არ გვაქვს გაზომილი ხარჯები დეტალური ხერხით.

პირველ შემთხვევაში უნდა გავიანგარიშოთ (113), (117), (118) და (120) ფორმულებში შემავალი K, D, C_* და C_0 უგანზომილებო პარამეტრები. გაანგარიშებები უნდა ჩავატაროთ წყლის სხვადასხვა დონის შემთხვევაში. ამისათვის საჭიროა წინასწარ გამოითვალოს $Q_{ფ}$, Q_* და β_* , ხოლო შემდეგ (113) გამოსახულებიდან K სიდიდე, საიდანაც (115) ფორმულის მიხედვით $C_* = \frac{\sqrt{g}}{k} \cdot D$

პარამეტრი გაიანგარიშება $\frac{v_{\text{გაგ}} - v}{v_*}$ ფარდობით. C_* და D -ს მიხედვით (118)

გამოსახულებიდან ვპოულობთ:

$$C_0 = \frac{c}{d - \frac{C_*}{\sqrt{g}}}$$

შეზის კოეფიციენტს განსაზღვრავენ თანაბარი მოძრაობის განტოლებიდან, ხოლო ნაკადის სიგრძეზე ცოცხალი კვეთის (ω) არსებითი ცვლილებისას – არათანაბარი მოძრაობის განტოლებიდან. შემდეგ აუცილებელია გამოითვალოს ცოცხალ კვეთში გამოყოფილი დონეების დამახასიათებელი ინტერვალებისათვის პარამეტრებისა და მოძრაობის სხვა ელემენტების ($\alpha_h, \alpha_B = \frac{h_{\text{საგ}}}{B}, Fr_r = \frac{v^2 \Gamma^2}{g}$, სადაც $\Gamma = \frac{\sqrt{B}}{h_{\text{საგ}}}$ ვ. გლუშკოვის მორფოლოგიური პარამეტრია) საშუალო მნიშვნელობები.

K, D, C_* და C_0 -ის მნიშვნელობათა ანალიზის შემდეგ ისინი უნდა გავავრცელოთ (113) და (120) ფორმულებით გამოთვლილ ხარჯებზე. არხებისა და ნაკადებისათვის, რომელთა სქემატიზაციაც შეიძლება 67-ე ნახაზზე გამოსახული ფორმულით, β_* გამოითვლება ზემოთმოყვანილი ფორმულებით. მდინარეებისათვის, რომელთაც ნოღა კალაპოტი არ გააჩნიათ, β_* აიღება მე-9 ცხრილიდან. ამგვარად, ჩამოყალიბებული ხერხი დამყარებულია K, D, C_* და C_0 რეგიონალური პარამეტრების გამოყენებაზე. შესაძლებელია ჰიდრომეტრიული მონაცემების გამოყენების სხვა გზაც. ხარჯებს გამოითვლიან (120) ფორმულით, როცა $C_* = 6 \text{ მ}^{0.5}/\text{წმ}$, $C_0 = 9,1 \text{ მ}^{0.5}/\text{წმ}$ და მიღებულ მნიშვნელობებს ადარებენ ფაქტიურს, რის საფუძველზეც (120) ფორმულაში მამრავლის სახით შეყავთ ერთთან ახლოს მდებარე საშუალო შემასწორებელი კოეფიციენტი. მდინარეებისათვის, რომელთა კალაპოტებიც ინტენსიურ დეფორმაციებს განიცდის, ვ. ჟურინის სახელობის შუა აზიის სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის გამოკვლევებით (ა. მუჰამედოვი და სხვ.) D შეიძლება დიდ საზღვრებში იცვლებოდეს.

ახლა განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც დეტალური ხერხით გაზომილი ხარჯები არ არსებობს.

საანგარიშო ფორმულები ისე გარდავექმნათ, რომ ვისარგებლოთ ზედაპირული სიჩქარეების საშუალებით წყლის ხარჯების გაანგარიშების ტრადიციული სქემით.

ჩვენ ადრე განვიხილეთ $K_2 = \frac{v}{v_{\text{მეშ}}}$ კოეფიციენტი. ახლა შემოვიტანოთ სხვა კოეფიციენტი $K_1 = \frac{Q}{Q_g} = \frac{v}{v_{\text{ფედ}}}$, სადაც $v_{\text{ფედ}} = \frac{Q_g}{\omega}$ არის ნაკადის საშუალო ზედაპირული სიჩქარე; ამასთან, დაცულია ტოლობა $K_1 > K_2$.

$v_{\text{ფედ}}$ -ის განსაზღვრის მეთოდის ჩამოყალიბებულია მე-8 და მე-10 პარაგრაფებში. სასურველია, ტივტივები ისე გავუშვათ, რომ ისინი დაჯგუფდნენ ორ-ორად ან სამ-სამად მდინარის სიგანის 5–8 ადგილას. მაქსიმალური სიჩქარის ($v_{\text{მეშ}}$) გაზომვისას ვუშვებთ 5–10 ტივტივას მდინარის შუაწყალში და გაანგარიშებისათვის ვიღებთ იმ სამი ტივტივათი გამოთვლილ საშუალო სიჩქარეს, რომელთა მოძრაობის ხანგრძლივობა კვეთებს შორის უმცირესია.

წინასწარ შუა კვეთისათვის აგებენ ტივტივების სვლის ხანგრძლივობის ცვლილების მრუდს, რომლის მიხედვითაც აითვლიან დროს გასაზომი ვერტიკალების წერტილებში სიჩქარეთა გამოსათვლელად. შემდეგ Q_g -ის გაანგარიშების თანმიმდევრობა ისეთივეა, როგორც ტრიალათი გაზომვის შემთხვევაში, იმ განსხვავებით, რომ q -ს ნაცვლად ყველგან ფიგურირებს q_g .

K_1 და K_2 კოეფიციენტების გათვალისწინებით ხარჯის გამოსათვლელი ფორმულები ღებულობენ ასეთ სახეს:

ნაკადის სიგანეზე სიჩქარეთა განაწილების გაზომვისას

$$Q = K_1^\omega v_{\text{ფედ}} = K_1 Q_g; \quad (127)$$

მაქსიმალური სიჩქარის გაზომვისას

$$Q = K_2^\omega v_{\text{მეშ}}. \quad (128)$$

პრაქტიკაში შეიძლება შეგვხვდეს ჰიდრავლიკურ-ჰიდრომეტრიული ხერხის გამოყენების სხვადასხვა შემთხვევა. იგულისხმება, რომ ყველა ამ შემთხვევაში ცოცხალი კვეთის პროფილი გაზომილია.

1. ცნობილია საშუალო $v_{\text{ფედ}}$ ზედაპირული სიჩქარე და ქანობი. K_1 კოეფიციენტს გამოითვლიან ფორმულით, რომელიც მიიღება (117) გამოსახულებაში $v_* = \sqrt{gh_{\text{საშ}}I}$ -ს მნიშვნელობის ჩასმით:

$$K_1 = 1 - \frac{\beta_* C_*}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{I}{Fr_1}}, \quad (129)$$

სადაც $Fr_1 = \frac{v_{\text{ზედ}}^2}{gh_{\text{საშ}}}$ არის საშუალო ზედაპირული სიჩქარით გამოთვლილი ფრუდის რიცხვი.

2. ცნობილია $v_{\text{ზედ}}$ და ხორკლიანობის კოეფიციენტი, რომელთა საშუალებითაც გამოითვლიან შეზის კოეფიციენტს (C). K_1 კოეფიციენტი განისაზღვრება (117) ფორმულიდან იმის გათვალისწინებით, რომ $v_* = \frac{\sqrt{g}v}{C}$:

$$K_1 = \frac{C}{C + \beta_* C_*}. \quad (130)$$

თუ (130)-ში ჩავსვამთ C_* -ს მნიშვნელობას (116) გამოსახულებიდან, მივიღებთ:

$$K_1 = \frac{(2,3\sqrt{g} + 0,3C)C}{[(2,3 + \beta_*)\sqrt{g} + 0,3C]C + \beta_* g}.$$

როცა $\beta_* = 1$ -ს,

$$K_1 = \frac{(2,3\sqrt{g} + 0,3C)C}{(3,3\sqrt{g} + 0,3C) + g}.$$

K_1 -ის მნიშვნელობები მოყვანილია მე-10 ცხრილში.

ც ხ რ ი ლ ი 10

K_1 და K_2 კოეფიციენტები

C მ ^{0,5} /წმ	K_1 -ის მნიშვნელობები β_* -ის მიხედვით						K_2
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	
5	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52
10	0,71	0,69	0,67	0,66	0,64	0,62	0,57
15	0,76	0,74	0,72	0,71	0,69	0,67	0,61
20	0,78	0,77	0,75	0,74	0,72	0,71	0,62
30	0,82	0,81	0,80	0,78	0,77	0,76	0,64
40	0,85	0,84	0,83	0,81	0,80	0,79	0,66
50	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,67
60	0,88	0,87	0,87	0,86	0,84	0,84	0,68
70	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,69
80	0,90	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,69
90	0,91	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,70
100	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,70

მიღებული ფორმულები შეიძლება გარდაიქმნას იმის მიხედვით, როგორი სახეც აქვს C -ს გამოსათვლელ ფორმულას.

3. ცნობილია ნაკადის მაქსიმალური სიჩქარე ($v_{\text{მეზ}}$), I ქანობი, ხორკლიანობის კოეფიციენტი, და, მაშასადამე, C -ც. K_2 კოეფიციენტს გამოითვლიან (118) გამოსახულებიდან გამომდინარე ფორმულით:

$$K_2 = 1 - \left(\frac{C_*}{\sqrt{g}} + \frac{C}{C_0} \right) \sqrt{\frac{1}{Fr_2}}, \quad (131)$$

სადაც $Fr_2 = \frac{v_{\text{მეზ}}^2}{gh_{\text{საშ}}}$ არის მაქსიმალური სიჩქარით გამოთვლილი ფრუდის რიცხვი.

4. ცნობილია ხორკლიანობის კოეფიციენტი. K_2 -ს გამოითვლიან ფორმულით, რომელიც მიიღება (118) გამოსახულებიდან, როცა $C_0 = 9,1 \cdot 10^{0,5}/\text{წმ}$:

$$K_2 = \frac{C}{1,34C + C_*}. \quad (132)$$

თუ (132)-ში ჩავსვამთ C_* -ის მნიშვნელობას (116) ფორმულის მიხედვით, მივიღებთ:

$$K_2 = \frac{(2,3\sqrt{g} + 0,3C)C}{(4,1\sqrt{g} + 0,4C)C + g}.$$

5. ცნობილია $v_{\text{ხედ}}$ და $v_{\text{მეზ}}$. თუ დავუშვებთ, რომ $\beta_* = 1,0$; $C_* = 6 \cdot 10^{0,5}/\text{წმ}$; $C_0 = 9,1 \cdot 10^{0,5}/\text{წმ}$ და საშუალოდ $C = 30-40 \cdot 10^{0,5}/\text{წმ}$, (120) გამოსახულებიდან მივიღებთ:

$$Q = 1,5 Q_g - 0,5 \omega v_{\text{მეზ}} \quad (133)$$

ან

$$v = 0,5(3v_{\text{ხედ}} - v_{\text{მეზ}}). \quad (134)$$

(133) გამარტივებული ფორმულა ბევრ შემთხვევაში დამაკმაყოფილებელ შედეგს იძლევა.

გამოყვანილი ფორმულებით წყლის ხარჯების (Q) გაანგარიშების სიზუსტის გასადიდებლად შეიძლება გაანგარიშება მეორე მიახლოებით ჩავატაროთ, თუ მივიღებთ, რომ $C = \frac{Q}{\omega \sqrt{h_{\text{საშ}} I}}$.

ხარჯების განსაზღვრის სიზუსტე ჰიდრაულიკურ-ჰიდრომეტრიული ხერხით უფრო დაბალია, ვიდრე მთელ კვეთში ტრიალათი სიჩქარეთა გაზომვისას. ხარჯების გაზომვის სიზუსტის შემდგომი შემცირებისას, მაგალითად, მდინარეთა რეკოგნოსცირებული გამოკვლევებისას, K_1 და K_2 კოეფიციენტების საშუალო

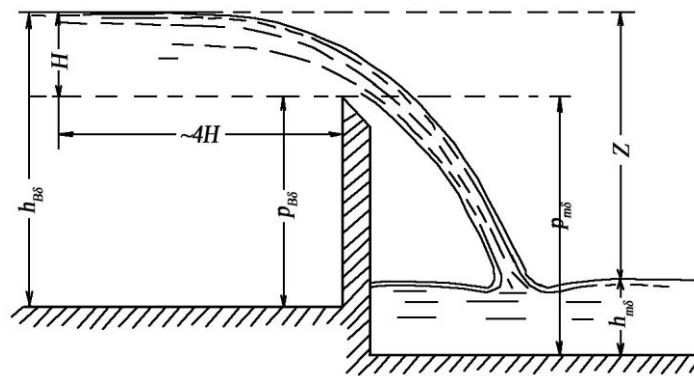
მნიშვნელობებად ღებულობენ, შესაბამისად, 0,85-ს და 0,65-ს. ამის შედეგად მიიღება გამარტივებული ფორმულები:

$$Q = 0,85\omega v_{\text{ზედ}};$$

$$Q = 0,65\omega v_{\text{მაეს}}.$$

§ 14. წყლის ხარჯების განსაზღვრა წყალსაშვებით და ჰიდრომეტრიული დარებით

წყალსაში არის ნაკადის გადამღობი კედელი (ზღურბლი), რომელზედაც ხდება სითხის გადადინება (ნახ. 68). ზღურბლი ნაჩვენებია მახვილწიბოიანი თხელი კედლის სახით, რომელსაც წყალსაშვის ქიმი ეწოდება.



ნახ. 68. თხელკედლიან წყალსაშვზე სითხის გადადინების სქემა

დაწნევის წყალსაშვზე (H) ზომავენ დონეების მკვეთრი დაცემის ფარგლებს გარეთ ზღურბლიდან არანაკლებ $4H$ მანძილზე.

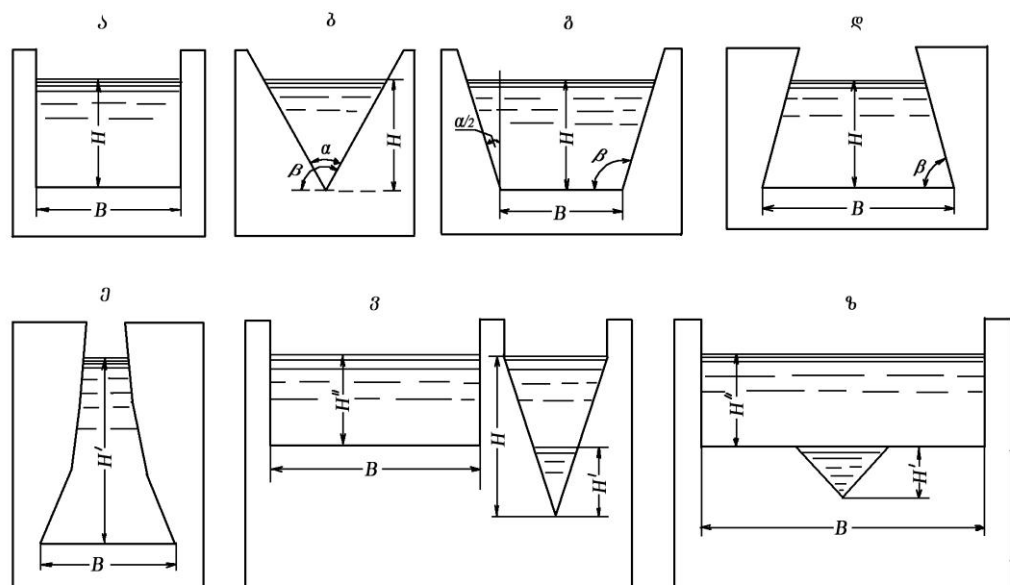
აღნიშნული საკითხის შესწავლისას გვხვდება შემდეგი აღნიშვნები: B – ნაკადის სიგანე ზედა ბიეფში; b –წყალსაშვის ხვრეტის სიგანე, რომელიც ქიმის სიგრძის ტოლია; $P_{\text{ზ.ბ.}}$, $P_{\text{ქ.ბ.}}$ – წყალსაშვის ზღურბლის სიმაღლე შესაბამისად ზედა და ქვედა ბიეფების მხრიდან; $h_{\text{ზ.ბ.}}$, $h_{\text{ქ.ბ.}}$ –ნაკადის სიღრმე, შესაბამისად, ზედა და ქვედა ბიეფებში, Z –ვარდნილი, ე. ი. ზედა და ქვედა ბიეფებში სითხის თავისუფალი ზედაპირების ნიშნულების სხვაობა. თუ ცნობილია დამოკიდებულება H და Q –ს შორის (ყველა სხვა მოცემული სიდიდეების შემთხვევაში), შეიძლება განისაზღვროს ხარჯი, გაზომილი H დაწნევის მიხედვით.

თხელკედლიანი წყალსაშვები, რომელთაც ჰიდრომეტრიულ წყალსაშვებს უწოდებენ, წარმოადგენენ კარგ ხარჯსაზომ საშუალებას. წყალსაშვით წყლის

ხარჯის გაზომვის სიზუსტე ჩამორჩება მხოლოდ მოცულობითი ხერხით გაზომვის სიზუსტეს. ხარჯების გასაზომად სარგებლობენ ფართოზღურბლიანი და პრაქტიკული მოხაზულობის წყალსაშვებითაც. ამ უკანასკნელთ ჰიდროტექნიკურ წყალსაშვებს უწოდებენ. ისინი შედიან ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კონსტრუქციაში. ფართოზღურბლიანი წყალსაშვები საავტომობილო გზებსა და რკინიგზებზე აგებულ წყალგამშვებ ნაგებობათა (მცირე ზომის ხიდები და საგზაო მილები) კონსტრუქციული ელემენტებია.

თხელკედლიანი წყალსაშვი ფართოდ გამოიყენება ჰიდრავლიკურ და სხვა ლაბორატორიებში მცირე წყალსადინარებში ხარჯების გასაზომად.

ხარჯების გაზომვა თხელკედლიანი წყალსაშვით. პრაქტიკაში უმთავრესად დაუძირავ თხელკედლიან წყალსაშვს იყენებენ ($h_{\text{შვ}} < p_{\text{შვ}}$). კედელში გაკეთებული ჭრილის ფორმის მიხედვით განასხვავებენ პოლიგონალურ და მრუდწირულ წყალსაშვებს.

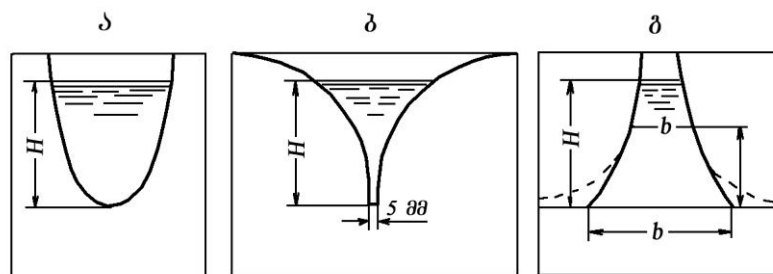


ნახ. 69. თხელკედლიანი პოლიგონალური წყალსაშვები:

ა – სწორკუთხა; ბ – სამკუთხა; გ – ტრაპეციული, ქვემოთ შევიწროებული; დ – ტრაპეციული, ზემოთ შევიწროებული; ე – ტრაპეციული, ზემოთ შევიწროებული, წახნაგების ცვალებადი დახრით; ვ – დიდი სწორკუთხა და მცირე სამკუთხა წყალსაშვების შერწყმა; ზ – სამკუთხა და სწორკუთხა წყალსაშვების შერწყმა, სამკუთხა ხვრეტი გადაფარულია სწორკუთხათი

პოლიგონალური წყალსაშვები იყოფა სწორკუთხა, სამკუთხა, ტრაპეციულ და კომბინირებულ (შედგენილ) წყალსაშვებად. ეს უკანასკნელი შეიცავს ჩამოთვლილი წყალსაშვების გეომეტრიულ ელემენტებს (ნახ. 69). კომბინირებული პოლიგონალური წყალსაშვებიც ასევე გამოირჩევა თავისი სახესხვაობით. მას მიეკუთვნება წყალსაშვი, გვერდითი წახნაგების ცვლადი დაქანებით, რომელიც ზემოთკენ თანდათან ვიწროვდება; საინტერესოა წყალსაშვი, რომელიც მიიღება დიდი სწორკუთხა და მცირე სამკუთხა წყალსაშვების შერწყმით და რომელთა ზღურბლებიც მდებარეობს სხვადასხვა სიმაღლეზე; ხარჯის გადიდებისას მუშაობას იწყებს დიდი სწორკუთხა წყალსაშვი. მთლიანი ხარჯი ორი ხარჯის ჯამის ტოლია. ამგვარად, შესაძლებელი ხდება გაიზომოს დიდი ხარჯი ($10 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ –მდე) თითქმის ერთნაირი სიზუსტით. თუ ხარჯი ნელა იზრდება, მაშინ მიზანშეწონილია ისეთი წყალსაშვის გამოყენება, რომელიც წარმოადგენს სამკუთხა და სწორკუთხა წყალსაშვთა კომბინაციას.

მრუდწირული წყალსაშვი შეიძლება იყოს სხვადასხვა ტიპის (ნახ. 70): პარაბოლური, რადიალური და პროპორციული. ეს უკანასკნელი ხასიათდება წრფივი დამოკიდებულებით დაწნევასა და წყლის ხარჯს შორის.



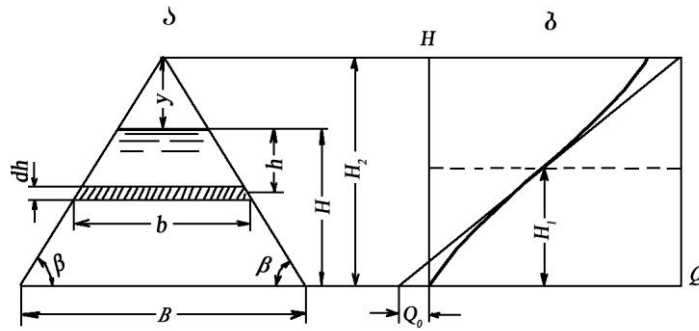
ნახ. 70. თხელკედლიანი მრუდწირული წყალსაშვები: ა – პარაბოლური; ბ – რადიალური; გ – პროპორციული

პოლიგონალური წყალსაშვები უფრო ხშირად ტრაპეციული ფორმისაა. dh სიმაღლის ელემენტარულ ფართობში გამავალი წყლის dQ ხარჯი (ნახ. 71, ა) გამოითვლება ფორმულით:

$$dQ = \mu b dh \sqrt{2gh}. \quad (135)$$

b სიდიდე, 71, ა ნახაზის მიხედვით, ტოლია:

$$b = B - 2(H - h)n.$$



ნახ. 71. ტრაპეციული, ზემოთ შევიწროებული თხელკედლიანი წყალსაშვი (ა) და დაწნევაზე წყლის ხარჯის დამოკიდებულების გრაფიკი (ბ)

თუ b -ს ჩავსვამთ (135) ფორმულაში და მოვახდენთ ინტეგრირებას, მივიღებთ:

$$Q = m\sqrt{2gBH}^{3/2} \left(1 - 0,8n\frac{H}{B}\right), \quad (136)$$

სადაც $m = \frac{2}{3}\mu$ არის წყალსაშვის ხარჯის კოეფიციენტი;

$n = ctg\beta$ —წყალსაშვის გვერდითი წიბოების ქიმის მიმართ დახრის კუთხის კოეფიციენტი.

(136) ფორმულა გამოსადეგია პოლიგონალური ფორმის ჭრილის მქონე ყველა წყალსაშვისათვის.

თუ შემოვიტანთ აღნიშვნას

$$\sigma_f = 1 - 0,8n\frac{H}{B} = 1 - 0,8\theta, \quad (137)$$

სადაც σ_f არის წყალსაშვის ფორმის კოეფიციენტი,

$\theta = \frac{nH}{B}$ - წყალსაშვის უგანზომილებო პარამეტრი,

მაშინ (136) გამოსახულება მიიღებს წყალსაშვის ზოგადი ფორმულის სახეს.

სწორკუთხა წყალსაშვისათვის (ნახ. 69, ა) $\beta = 90^\circ$ -ს, $n = 0$ -ს და $\sigma_f = 1$ -ს, ამიტომ (136) ფორმულა ღებულობს ასეთ სახეს:

$$Q = m\sqrt{2gBH}^{3/2}. \quad (138)$$

წყლის ხარჯების დიდი სიზუსტით განსაზღვრისათვის აუცილებელია წყალსაშვების ტარირება მოცულობითი ან წონითი ხერხით. ცნობილი ხარჯისა და გაზომილი დაწნევისათვის (138) ფორმულით გამოითვლიან წყალსაშვის ხარჯის m კოეფიციენტს და იკვლევენ მისი ცვლილების შესაძლებლობას დაწნევისა და სხვა ფაქტორების ზემოქმედებით. ტარირებული წყალსაშვი საშუალებას იძლევა გავზომოთ ხარჯი დიდი სიზუსტით (1%-მდე). ნაკლები სიზუსტის შემთხვევაში

m -ის გამოსათვლელად წყალსაშვის ტარიერების ნაცვლად შეიძლება ვისარგებლოთ ჰიდრავლიკიდან ცნობილი ემპირიული ფორმულებით.

საორიენტაციო გაანგარიშებებში მიახლოებით იღებენ: სამკუთხა წყალსაშვისათვის (ნახ. 69, ბ)

$$n = ctg\beta = ctg\left(90^\circ + \frac{\alpha}{2}\right) = -tg\frac{\alpha}{2}; B = 0.$$

ამიტომ

$$Q = 0,8m\sqrt{2gtg\frac{\alpha}{2}}H^{5/2}. \quad (139)$$

აქ ხარჯის კოეფიციენტი უფრო მდგრადია: $m = 0,40$; $\alpha = 90^\circ$ -ს შემთხვევაში m -ის რიცხვითი მნიშვნელობის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$Q = 1,4H^{5/2}. \quad (140)$$

წყლის მცირე ხარჯები სამკუთხა წყალსაშვით უფრო მეტი სიზუსტით იზომება, ვიდრე სწორკუთხათი, რადგანაც პირველ შემთხვევაში ერთნაირი ხარჯების დროს მყარდება გადადინების შრის მეტი სიმაღლე. სამკუთხა წყალსაშვებში ძირითადად $\alpha = 90^\circ$, თუმცა იმისათვის, რომ გაიზარდოს H დაწნევა და, მაშასადამე, შემცირდეს მისი გაზომვის ფარდობითი ცდომილება, გამოიყენება წყალსაშვები $\alpha < 90^\circ$ კუთხითაც.

ვალდაის სამეცნიერო-კვლევითი ჰიდროლოგიური ლაბორატორიის გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ სამკუთხა წყალსაშვების ტარიერება სავსე პირობებში $H < 50$ მმ-ზე დაწნევის შემთხვევაში უნდა მოხდეს ინდივიდუალური წესით. ნათქვამი ეხება სხვა ტიპის წყალსაშვებსაც.

ყურადღებას იმსახურებს ისეთი ტრაპეციული წყალსაშვი, რომლისთვისაც $\frac{\alpha}{2} = 14^\circ$, რადგანაც ამ დროს მიიღება ხარჯის კოეფიციენტის მდგრადი მნიშვნელობა $m = 0,42$. მაშინ $n = -tg\frac{\alpha}{2} = -tg14^\circ = -0,25$. ამას გარდა, თუ (136) ფორმულაში შევიტანთ გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტს $\varepsilon = 1 - 0,2\frac{H}{B}$, მივიღებთ:

$$Q = 0,42\sqrt{2g}\left(1 - 0,2\frac{H}{B}\right)(B + 0,2H)H^{3/2}.$$

ამ ფორმულაში ფრჩხილებში მოთავსებულ გამოსახულებათა ნამრავლი იძლევა B -ს, ამიტომ თუ $0,04\frac{H^2}{B}$ სიდიდეს, როგორც მცირეს, უგულებელვყოფთ, მივიღებთ

$$Q = 1,86BH^{3/2}. \quad (141)$$

თხელკედლიან წყალსაშვებს იყენებენ სტაციონარული დანადგარებისა და გადასატანი ლითონის ჩარჩოების სახით. ასეთ ჩარჩოს ათავსებენ კალაპოტში ისეთნაირად, რომ ის შეჭრილი იყოს წყალსადინარის ფსკერსა და ნაპირებში. წყალსაშვის კედელი თავსდება ვერტიკალურად და ნაკადის მიმართულების პერპენდიკულარულად. თხელკედლიანი წყალსაშვის ქიმის სისქე არ უნდა იყოს 1 მმ-ზე მეტი; კედლის გაქლიბულ მხარეს მიმართავენ ქვედა ბიეფისაკენ. წყლის გადადინებისას ჭავლი არ უნდა მიეკროს წყალსაშვის კედელს; ქიმი წყალსადინარის ფსკერიდან ამალღებული უნდა იყოს არანაკლებ 0,2 მ-ით.

ყოველი წყალსაშვისათვის აუცილებელია ზუსტად განისაზღვროს წყალსაშვის ნული, ე. ი. წყლის სარკის ზედაპირის ნიშნული, რომელიც თანხვდება წყალსაშვის ქიმზე (სამკუთხა წყალსაშვისათვის-კუთხის წვეროზე) გამავალ ჰორიზონტალურ სიბრტყეს. ეს შეიძლება გაკეთდეს ნიველირების საშუალებით, თუ არხი წყალსაშვის წინ არ არის წყლით შევსებული, წინააღმდეგ შემთხვევაში საჭიროა გაიზომოს მანძილი წყალსაშვის ქიმიდან წყლის ზედაპირამდე და განისაზღვროს მისი ნიშნული. ლაბორატორიის პირობებში ზედა ბიეფს ავსებენ წყლით და საზომი ნემსით აითვლიან დონეს წყლის გადადინების სრული შეწყვეტის მომენტში.

პატარა მდინარეებსა და არხებზე წყალსაშვის მოსათავსებლად წინასწარ ამზადებენ წყალგაუმტარ საფუძველს წყლის გაჟონვის თავიდან აცილების მიზნით. წყალსაშვის ნაკლად ითვლება წყალსადინარის ბუნებრივი ჰიდროგრაფის დამახინჯება წყალსაცავით, რომელიც წარმოიქმნება წყალსაშვის წინ, და ნატანის ტრანსპორტის პირობების გაუარესება (ირიგაციულ არხებში).

ხარჯების გაზომვა თხელკედლიანი პროპორციული წყალსაშვით.
პროპორციული წყალსაშვის ძირითადი ღირსებებია:

დონეთა თვითმწერებისა და ხარჯსაზომი ლარტყების გამოყენების შესაძლებლობა;

ფსკერული ნატანის გაუმჯობესებული ტრანსპორტი, რაც გამოწვეულია წყალსაშვის მისასვლელთან ფსკერული სიჩქარეების ზრდით.

დავუშვათ, რომ წყალსაშვისათვის დაცულია პირობა $Q = Kh$, სადაც K არის პროპორციულობის კოეფიციენტი; აქედან, $dQ = Kdh$. (135) განტოლების გათვალისწინებით ვიპოვიტ:

$$b = \frac{K}{\mu\sqrt{2g}\sqrt{h}}. \quad (142)$$

ამ განტოლებით უნდა იყოს სწორედ მოხაზული ჰრილი წყალსაშვის კედელში, რათა დამოკიდებულება H და Q -ს შორის იყოს წრფივი (ნახ. 70, გ). მაგრამ, როცა $h = 0$ -ს, $b = \infty$ -ს, რაც მიუთითებს პროპორციული წყალსაშვის შექმნის შეუძლებლობაზე დაწნევის ყველა დიაპაზონისათვის. პრაქტიკულად იძულებული ვხდებით გავაკეთოთ წყალსაშვი სასრული b ზომით, როცა $h = 0$ -ს, რასაც მივყავართ H და Q -ს შორის წრფივი დამოკიდებულების ერთგვარ დამახინჯებამდე. ასეთი წყალსაშვი რეკომენდებულია მ. ბუტირინის მიერ (ნახ. 69, ე). ტრაპეციული წყალსაშვი, რომელიც ზემოთკენ თანდათან ვიწროვდება, დაწნევის განსაზღვრულ ფარგლებში მუშაობს როგორც პროპორციული წყალსაშვი (წყლის ხარჯის მოცემული სიზუსტით გაზომვისას). როდესაც ქიმს სასრული სიდიდისას ვაკეთებთ, მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ H -სა და Q -ს შორის კავშირი შეიძლება დამყარდეს დაწნევის მხოლოდ გარკვეული მნიშვნელობის (H_0) შემდეგ, ამიტომ

$$Q = \mu\sqrt{2g} \int_{H_0}^H b \sqrt{h} dh. \quad (143)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ პროპორციული წყალსაშვი ხასიათდება $b\sqrt{h}$ სიდიდის მუდმივობით, როგორც (142)-დან ჩანს, მაშინ (143) გამოსახულება შეიძლება ასე ჩავწეროთ:

$$Q = KH - Q_0, \quad (144)$$

სადაც Q_0 არის წყლის რაღაც საწყისი ხარჯი.

K და Q -ს საპოვნელად ვიგულისხმობთ, რომ ტრაპეციული წყალსაშვი მუშაობს როგორც პროპორციული (ნახ. 71, ა). როცა $H > H_2$ -ზე, წყალსაშვი გადაიქცევა სამკუთხა ხვრეტად. ნახაზიდან ჩანს, რომ $H_2 = 0,5 \frac{B}{n}$. (136) ფუნქციის გრაფიკს, როცა $H \leq H_2$ -ზე (B -ს რაიმე მნიშვნელობისას), აქვს 71, ბ ნახაზზე ნაჩვენები სახე. როცა $H = H$ -ს, ამ მრუდს გააჩნია გადაღუნვის წერტილი. H_1 ორდინატს განვსაზღვრავთ იმ პირობიდან, რომ მეორე წარმოებული გადაღუნვის წერტილში

ნულის ტოლი უნდა იყოს. (136) განტოლების ორჯერ გადიფერენციალებით და მეორე წარმოებულის ნულთან გატოლებით მივიღებთ:

$$H_1 = 0,25 \frac{B}{n}. \quad (145)$$

რადგანაც $H_1 = 0,5H_2$ -ს, დავთქვათ, რომ (136) და (144) ფორმულებით გამოთვლილი ხარჯები ერთმანეთს თანხვდეს და (144) წრფე (136) მრუდის მხები იყოს ამ წერტილში. აღნიშნული წრფე ასეთი მდებარეობისას კარგად ასაშუალებს (136) გამოსახულებით აგებულ მრუდს. ამის საფუძველზე (136) და (144) ფუნქციების პირველი წარმოებულები $H = H_1$ წერტილში გავუტოლოთ ერთმანეთს. მაშინ (145) გამოსახულების გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$K = 0,5M \frac{B^{3/2}}{n^{1/2}}, \quad (146)$$

სადაც $M = m\sqrt{2g}$.

Q_0 -ის გამოსათვლელი ფორმულა გამოგვყავს შემდეგნაირად: H_1 -ის მნიშვნელობა (145) გამოსახულებიდან ჩავსვათ (136) და (144) ფორმულებში. მაშინ (146)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ ორ განტოლებას, რომელთა ამოხსნაც მოგვცემს:

$$Q_0 = 0,025M \frac{B^{5/2}}{n^{3/2}}. \quad (147)$$

K და Q_0 სიდიდეების ჩასმით (144) გამოსახულებაში მივიღებთ გ. ქელეზნიაკოვის საანგარიშო ფორმულას:

$$Q = M \frac{B^{3/2}}{n^{1/2}} \left(0,5H - 0,025 \frac{B}{n} \right) \quad (148)$$

ან

$$Q = m\sqrt{2g} \frac{B^{5/2}}{n^{3/2}} (0,5\Theta - 0,025).$$

პირობები, რომელშიც ტრაპეციული წყალსაშვი მუშაობს როგორც პროპორციული, დაცულია Θ უგანზომილებო პარამეტრის გარკვეულ საზღვრებში ცვლილებისას. წყლის ხარჯის 3%-ის სიზუსტით გაზომვის შემთხვევაში Θ -ს საზღვრებია:

$$\Theta_{\text{min}} = 0,15, \quad (149)$$

$$\Theta_{\text{max}} = 0,45. \quad (150)$$

(149) და (150) გამოსახულებებიდან ჩანს, რომ ტრაპეციული წყალსაშვი მუშაობს როგორც პროპორციული, თუ Θ პარამეტრის ამპლიტუდა ($\Theta_{\text{მეშ}} - \Theta_{\text{მინ}}$) არ აღემატება 0,30-ს. ეს ფორმულები გადავწეროთ შემდეგი სახით:

$$H_{\text{მინ}} = 0,15 \frac{B}{n}, \quad (151)$$

$$H_{\text{მეშ}} = 0,45 \frac{B}{n}, \quad (152)$$

სადაც $H_{\text{მინ}}$ არის დაწნევა, რომლის ზემოთ ტრაპეციული წყალსაშვი მუშაობს როგორც პროპორციული;

$H_{\text{მეშ}}$ -დაწნევა, რომლის ქვემოთ ტრაპეციული წყალსაშვი მუშაობს როგორც პროპორციული.

ექსპერიმენტული მონაცემების განზოგადების საფუძველზე გ. ჟელეზნიაკოვი იძლევა m კოეფიციენტის საანგარიშო ფორმულას:

$$m = 0,55 - 0,24\sqrt{\Theta}. \quad (153)$$

რამდენადაც Θ -ს გამოსახულებაში შედის H , იმდენად (148) ფორმულით გამოსახული წრფივი დამოკიდებულება Θ და H სიდიდეებს შორის გარკვეულ ფარგლებში ირღვევა.

ხარჯების განსაზღვრა ფართოზღურბლიანი და პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვებით. ეს წყალსაშვებიც, ისე როგორც თხელკედლიანი წყალსაშვები, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჰიდრომეტრიული მიზნებისათვის.

მ ც ი რ ე ხ ი დ ე ბ ი ს ა და ს ა გ ზ ა ო მ ი ლ ე ბ ი ს გ ა მ ო ყ ე ნ ე ბ ა . ნაკადის მოძრაობა ამ ნაგებობებში ანალოგიურია ნაკადის მოძრაობისა ფართოზღურბლიან წყალსაშვზე ამ უკანასკნელის ნულოვანი სიმაღლის დროს. წყლის ხარჯი ამ შემთხვევაში განისაზღვრება ფორმულით

$$Q = m \sigma_{\text{ფ}} \sqrt{2gbH_0^{3/2}}, \quad (154)$$

სადაც m არის წყალსაშვის ხარჯის კოეფიციენტი;

$\sigma_{\text{ფ}}$ -დამძირულობის კოეფიციენტი;

b -ნაგებობის ხვრეტის სიგანე;

$H_0 = H + \frac{av_0^2}{2g}$ სრული დაწნევა;

H -სტატიკური დაწნევა;

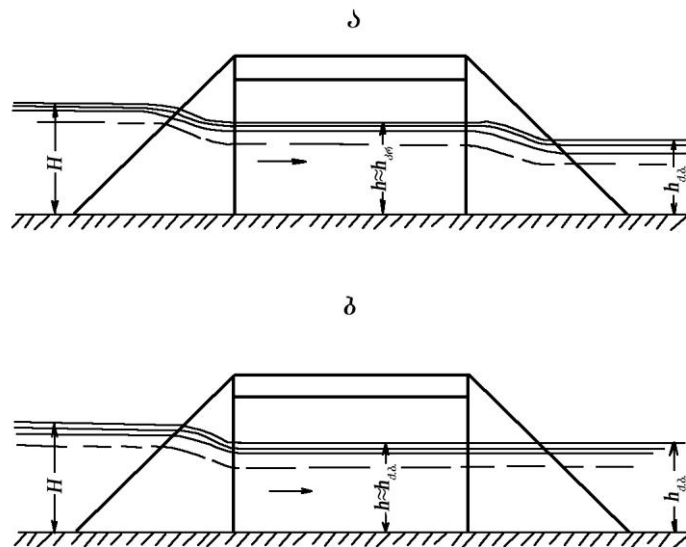
d -კორიოლისის კოეფიციენტი;

v_0 -მოსვლის საშუალო სიჩქარე; $v_0 = \frac{Q}{BH}$;

B -ნაკადის სიგანე ნაგებობის წინ.

ქვემოთ განხილულია სწორკუთხა კვეთის უდაწნეო მილები. ასეთი მილებისათვის $H \leq 1,2 h_{\theta}$, სადაც h_{θ} არის მილის სიმაღლე. განასხვავებენ მცირე ხიდებისა და უდაწნეო მილების ხვრეტებში წყლის მოძრაობის ორ ძირითად ფორმას:

1. მოძრაობა, როდესაც ნაგებობის ქვედა ბიეფის მხრიდან შეტბორვა არ არის (ნახ. 72, ა). ამ დროს წარმოიქმნება ორი ვარდნილი-ნაგებობაში შესვლისას და იქიდან გამოსვლისას. ხიდის ქვეშ და მილში სიღრმე (h) დაახლოებით კრიტიკული სიღრმის ($h_{კრ}$) ტოლია (კრიტიკულ სიღრმეს შეესაბამება კვეთის კუთრი ენერგიის მინიმუმი). ამ შემთხვევაში დაუძირაობის პირობას ასეთი სახით წერენ: $\frac{h_{კრ}}{h_{\theta}} \leq 1,25$ ან $\frac{h_{კრ}}{H_0} \leq 0,8$; $\sigma_{\Phi} = 1$, სადაც $h_{კრ}$ არის წყლის სიღრმე ქვედა ბიეფში.



ნახ. 72. ნულოვანი სიმაღლის მქონე დაუძირავ (ა) და დაძირულ (ბ) ფართოზღურბლიან წყალსაშვებზე წყლის მოძრაობის სქემები

2. მოძრაობა, როდესაც ნაგებობა ქვედა ბიეფის მხრიდან შეტბორილია (ნახ. 70,ბ). დაძირულობის კრიტერიუმს აქვს სახე $\frac{h_{კრ}}{h_{\theta}} > 1,25$ ან $\frac{h_{კრ}}{H_0} > 0,8$; $\sigma_{\Phi} < 1$, ამასთან $\sigma_{\Phi} = \sigma_{\Phi} \left(\frac{h_{კრ}}{H} \right)$.

კრიტიკულ სიღრმეს განსაზღვრავენ შემდეგი ფორმულით:

$$h_{\text{კრ}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = 0,47 \sqrt[3]{\alpha \left(\frac{q}{b}\right)^2}, \quad (155)$$

სადაც α არის კორიოლისის კოეფიციენტი; ტურბულენტური მოძრაობის შემთხვევაში $\alpha \approx 1,1$;

$q = \frac{Q}{b}$ წყლის ხარჯი ნაკადის ერთეულ სიგანეზე;

$$h_{\text{კრ}} = KH_0. \quad (156)$$

K და $M = m\sqrt{2g}$ კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოცემულია მე-11 ცხრილში, ხოლო $\sigma_{\text{ფ}}$ დაძირულობის კოეფიციენტის მნიშვნელობები–მე-12 ცხრილში (ი. აგროსკინისა და ა. ლატიშენკოვის მიხედვით), როცა ნაკადის გაფართოების კოეფიციენტი $\frac{bh_{\text{კრ}}}{\omega_{\text{კრ}}} \approx 0,8$, სადაც $\omega_{\text{კრ}}$ არის ცოცხალი კვეთის ფართობი ქვედა ბიეფში.

ც ხ რ ი ლ ი 11

K და $M(\text{მ}^{0,5}/\text{წმ})$ სიდიდეთა მნიშვნელობები

ბურჯები	$\frac{b}{B}$				
	0,1	0,5	0,7	0,9	1,0
სწორკუთხა	0,61	0,62	0,65	0,67	0,69
მომრგვალებული	1,43	1,47	1,55	1,66	1,71
	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69
	1,56	1,59	1,63	1,68	1,71

ც ხ რ ი ლ ი 12

$\sigma_{\text{ფ}}$ –ს მნიშვნელობები

$\frac{h_{\text{კრ}}}{H_0}$	0,80	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98
$\sigma_{\text{ფ}}$	1,00	0,97	0,94	0,90	0,85	0,79	0,70	0,59	0,43

შედარებით ადვილია ხარჯის განსაზღვრა, როდესაც ცნობილია სტატიკური დაწნევა ნაგებობის წინ (H) და წყლის სიღრმე მასში (h). ვუშვებთ, რომ $h = h_{\text{კრ}}$, $H_0 = H$ (მოსვლის სიჩქარე $v_0 = 0$) და გამოვთვლით $h_{\text{კრ}}/H_*$ ამ ფარდობის მიხედვით მე-12 ცხრილიდან აიღება $\sigma_{\text{ფ}}$ –ს მნიშვნელობა. ვსაზღვრავთ წყლის

ხარჯს პირველი მიახლოებით (Q_1), ხოლო შემდეგ $v_0 = \frac{Q_1}{BH}$ -ს, H_0 -სა და საბოლოოდ Q -ს (154) ფორმულით.

ვთქვათ, ცნობილია H , განივკვეთის პროფილი ქვედა ბიეფში, ფსკერის ხორკლიანობა და I ქანობი. ვაგებთ მრუდს $h_{j\delta} = h_{j\delta}(Q)$ ქვედა ბიეფისათვის. თუ დავუშვებთ, რომ $H = H_0$ -ს და $\sigma_{\phi} = 1$ -ს, (154) ფორმულით პირველი მიახლოებით გამოვითვლით Q_1 ხარჯს. ამ ხარჯის მიხედვით $h_{j\delta} = h_{j\delta}(Q)$ მრუდიდან ვიღებთ $h_{j\delta}$ -ის მნიშვნელობას, ხოლო შემდეგ (156) ფორმულით გამოვითვლით და ვწყვეტთ საკითხს წყალსაშვის დაძირულობის შესახებ. როცა $h_{j\delta} \leq 1,25 h_{j\delta\phi}$ -ზე, მაშინ საძიებელი ხარჯი $Q = Q_1$ -ს. როცა $h_{j\delta} > 1,25 h_{j\delta\phi}$ -ზე, მაშინ ვუშვებთ $h_{j\delta}$ -ის რამდენიმე მნიშვნელობას, გამოვითვლით $h_{j\delta}/H$ ფარდობას და მე-12 ცხრილიდან ვიღებთ σ_{ϕ} -ის შესაბამის მნიშვნელობებს. როდესაც $h_{j\delta} = h_{j\delta}(Q)$ მრუდიდან აღებული და (154) ფორმულით გამოთვლილი ხარჯები ერთმანეთს გაუტოლდება, ვღებულობთ მის საბოლოო მნიშვნელობას. ხარჯი უნდა გადავიანგარიშოთ მოსვლის სიჩქარის გათვალისწინებით, თუ $v_0 > 0,5$ მ/წმ.

ახლა ვიგულისხმობთ, რომ ცნობილია წყლის სიღრმე ნაგებობაში (h) და აგებულია $h_{j\delta} = h_{j\delta}(Q)$ მრუდი. თუ დავუშვებთ, რომ $h = h_{j\delta}$, მაშინ მრუდიდან ვიპოვით Q_1 -ს, ხოლო შემდეგ (155) ფორმულით – $h_{j\delta\phi}$ -ს. როცა $h_{j\delta} \leq 1,25 h_{j\delta\phi}$ H -ს ვსაზღვრავთ (156) ფორმულით, ხოლო ხარჯს–(154) ფორმულით (როცა $\sigma_{\phi} = 1$ -ს, ვითვალისწინებთ მოსვლის სიჩქარეს). თუ $h_{j\delta} > 1,25 h_{j\delta\phi}$ ვღებულობთ $Q = Q_1$.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა წყალსაგდების გამოყენება. განვიხილოთ წყალსაგდები, რომელიც მუშაობს პრაქტიკული პროფილისა და ფართოზღურბლიანი წყალსაშვების პრინციპით. საგზაო წყალგამტარ ნაგებობებში წყალსაშვის ზღურბლის სიმაღლე ჩათვლილია ნულის ტოლად, ხოლო ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა წყალსაგდებებში მას გააჩნია გარკვეული სიდიდე. წყალსაშვის პრაქტიკულ პროფილს უმეტეს შემთხვევაში აქვს მრუდწირული უვაკუუმო ფორმა და მოხაზულია ა. ოფიცეროვის კოორდინატების მიხედვით. პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვზე გადადინებული ხარჯის გამოსათვლელი ფორმულა (154) ფორმულის ანალოგიურია:

$$Q = m\sigma_{\phi}\epsilon\sqrt{2gb}H_0^{3/2}. \quad (157)$$

ხარჯის კოეფიციენტი (m) საპროექტო დაწნევის შემთხვევაში 0,49–ის ტოლია. დამირულობის გავლენა უვაკუუმო წყალსაშვის გამტარუნარიანობაზე აისახება $\frac{H_{\Phi}}{H_0} > 0,35$ შემთხვევაში, სადაც H_{Φ} არის დამირულობის სიმაღლე (სხვაობა ქვედა ბიეფში წყლის ზედაპირის ნიშნულსა და წყალსაშვის ქიმის ნიშნულს შორის). დაუძირავი წყალსაშვისათვის $\sigma_{\Phi} = 1$, ხოლო დამირულისათვის $\sigma_{\Phi} < 1$ –ზე და აიღება მე-13 ცხრილიდან.

ც ხ რ ი ლ ი 13

σ_{Φ} –ს მნიშვნელობები

$\frac{H_{\Phi}}{H}$	0,35	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
σ_{Φ}	1,0	0,99	0,98	0,96	0,91	0,79	0,58	0,0

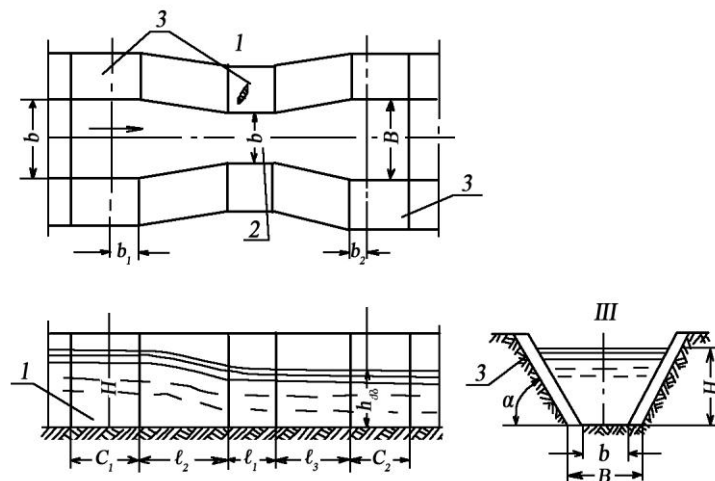
გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტის (ε) გამოსათვლელად არსებობს ექსპერიმენტული (ემპირიული) ფორმულები; საორიენტაციოდ ის იცვლება $\varepsilon = 0,85 - 0,95$ ფარგლებში. იმის გამო, რომ ხარჯის გამოსათვლელად საჭიროა H_0 დაწნევის ცოდნა, რომელშიც შედის $v_0 = \frac{Q}{B(H+P_{\Phi\delta})}$ მოსვლის სიჩქარე, გაანგარიშებას აწარმოებენ თანდათანობითი მიახლოების წესით, ე. ი. თვლიან, რომ $v_0 = 0$ –ს და პოულობენ Q –ს, ხოლო შემდეგ გამოითვლიან წყლის ხარჯს მეორე მიახლოებით.

წყალსაშვების ხარჯის კოეფიციენტების - m მნიშვნელობები შეიძლება არ დაემთხვეს ჰიდრავლიკის კურსში მოყვანილი ემპირიული ფორმულებით გამოთვლილ სიდიდეებს. ეს იმით აიხსნება, რომ წყალსაშვზე სითხის გადადინების პირობები ფრიად განსხვავებულია ერთმანეთისაგან; ამიტომ მიღების, ხიდებისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა საშუალებით წყლის ხარჯების საჭირო სიზუსტით განსაზღვრისათვის m კოეფიციენტი უნდა დადგინდეს წყალსაგდები ხვრეტების ტარიერების ან ამ ნაგებობათა მოდელური გამოცდის გზით ჰიდრავლიკური მსგავსების პირობების მკაცრი დაცვით. ტარიერება გულისხმობს წყლის ხარჯების გაზომვას ქვედა ბიეფში შერჩეულ ჰიდრომეტრიულ კვეთში, რომელსაც წაეყენება ისეთივე მოთხოვნები, როგორიც კვეთს–ჰიდრომეტრიული ტრიალათი სიჩქარეთა გაზომვისას. გვეცოდინება რა (154) და (157) ფორმულებით გამოთვლილი ხარჯის და დაწნევის სიდიდეები,

ვიპოვით m -ის ცდით მიღებულ მნიშვნელობებს. წყალსაგდების ტარირება ჰესზე სასურველია ჩაკეტილი ტურბინების შემთხვევაში. ქვედა ბიეფში გაზომილ ხარჯს უნდა ჩამოვაკლოთ ნაგებობაში გაჟონვისა და ფილტრაციის ხარჯი. ეს უკანასკნელი განისაზღვრება ცალკე ჰიდრომეტრიულ კვეთში ხარჯის გაზომვით ჩაკეტილი ტურბინებისა და ხვრეტების (ფარის) შემთხვევაში, თუ ეს შესაძლებელია ნაგებობათა ექსპლოატაციის პირობების მიხედვით.

ჰეს-ის გამოყენება ჰიდრომეტრიის მიზნებისათვის დაწვრილებით არის ჩამოყალიბებული ა. გავრილოვის შრომაში.

წყლის ხარჯების განსაზღვრა ჰიდრომეტრიული ღარებით. ჰიდრომეტრიული ღარი არის მოწყობილობა, რომელშიც ხდება ნაკადის შევიწროება. ამის შედეგად ნაკადის გარკვეულ უბანზე ინტენსიურად იზრდება კინეტიკური ენერგია, რასაც მოყვება დონეების ვარდნა. არსებობს ასეთი ვარდნილების შექმნის სხვადასხვა ხერხი: გვერდითი კუმშვით, ვერტიკალური კუმშვით, ან ორივეთი ერთად (ნახ. 73). ზოგად შემთხვევაში წყლის ხარჯის სიდიდე დამოკიდებულია წყლის დონეებზე (დაწნევაზე) შევიწროების წინ (H) და მის შემდეგ (h_{ga}).



ნახ. 73. ჰიდრომეტრიული ტრაპეციული ღარი:

I-გეგმა; II-გრძივი ჭრილი; III-ხედი ქვედა ბიეფის მხრიდან; 1-დამაწყნარებელ ჭაში წყლის გამყვანი მილაკი, რომლის საშუალებითაც ხდება დონეების გაზომვა; 2-ყელი; 3-ფერდები

ჰიდრაულიკის თვალსაზრისით ღარი მუშაობს ფართოზღურბლიან წყალსაშვზე სითხის გადადინების პრინციპით; ამიტომ წყლის სიღრმე (H) ღარის

შესასვლელ ნაწილში ფუნქციონალურად დაკავშირებულია წყლის ხარჯთან ყელის მოცემული სიგანის (b) შემთხვევაში. წყალსაშვთან შედარებით ჰიდრომეტრიული ღარი ნაკლებად ამახინჯებს ბუნებრივ დამოკიდებულებას წყალსადინარის დონეებსა და ხარჯებს შორის და ნაკლებად აბრკოლებს ნატანის ტრანსპორტს. ქვემოთ მოყვანილია ტრაპეციული ფორმის ჰიდრომეტრიული ღარის აღწერილობა, რომელიც ამოღებულია სოფლის მეურნეობის ინჟინერთა ამერიკის საზოგადოების შრომებიდან. ასეთი ღარების ძირითადი ღირსება ის არის, რომ მათი განივი კვეთის ფორმა შეესაბამება ირიგაციული არხების განივი კვეთის ფორმას, რის გამოც რთული მოხაზულობის შემაუღლებელი უბნები საჭირო აღარ არის. ღარებს აკეთებენ ლითონისაგან, ბეტონის და პლასტმასის დეტალებისაგან ან აბეტონებენ ადგილზე, როგორც მოპირკეთებული არხის ნაწილს. ლითონის და პლასტმასის ღარები შეიძლება ჩავდგათ არხში და მივამაგროთ მოპირკეთებას. აუცილებლობის შემთხვევაში ისინი გადააქვთ სხვა ადგილას. ღარის კონსტრუქცია გამოსახულია 73-ე ნახაზზე. კონსტრუქციული ელემენტების ყველა ძირითადი ზომა მოყვანილია მე-14 ცხრილში ღარების ოთხი ვარიანტისათვის.

ც ხ რ ი ლ ი 14

ჰიდრომეტრიული ტრაპეციული ღარების ძირითადი ზომები

№	ღარის ზომები, სმ									ქანო	ბები
	B	b	l_1	l_2	l_3	b_1	b_2	C_1	C_2	m	α^0
1	30,5	12,2	30,5	43,3	43,3	4,5	1,9	—	—	1	45
2	30,5	18,3	30,5	43,3	43,3	4,5	1,9	—	—	1	45
3	61,0	30,5	76,2	91,4	61,0	15,2	15,2	61,0	30,5	1,25	39
4	40,6	20,3	50,8	49,8	49,8	7,6	7,6	45,7	15,2	0,58	60

73-ე ნახაზზე ნაჩვენებია კვეთები, რომლებშიც ხდება H (შესასვლელში) და $h_{\text{გა}}$ (გამოსასვლელში) სიღრმეების გაზომვა. $h_{\text{გა}}$ სიღრმე გამოიყენება შესწორების შესატანად წყლის მოძრაობის დატბორილი რეჟიმის შემთხვევაში. წყალსაზომი ღარტყეები ისეა არხის ფერდოზე განლაგებული და ისეა დაგრადუირებული, რომ შესაძლებელი ხდება ვერტიკალზე სიღრმეების ათვლა. გათვალისწინებულია წყლის არინება დამაწყნარებელ ჭაში ღარის შესასვლელში წყლის დონეთა სარეგისტრაციოდ. მოპირკეთებულ არხებში მოწყობილი ღარების შეუღლება არხის

ფსკერთან ხდება ზღურბლის გარეშე. მიწის არხების შემთხვევაში აუცილებელია ღარის ფსკერის ერთგვარი ამადლება. დამირულობის გავლენა წყლის ხარჯზე დამოკიდებულია ნაკადის შევიწროების ხარისხზე, ყელის სიგანესა და სხვა ფაქტორებზე. საშუალოდ ტრაპეციული ღარები მუშაობენ როგორც დაუძირავი და, თუ $\frac{h_{\text{ქბ}}}{H} \leq 0,80$, მაშინ ისინი უზრუნველყოფენ წყლის ხარჯის გაზომვის სიზუსტეს 3%-მდე. წყლის ხარჯისათვის ემპირიულ განტოლებას აქვს სახე:

$$Q = M_1 H^{2,5} + M_2 H^{1,5} + M_3, \quad (158)$$

სადაც M_1 , M_2 , M_3 არის კოეფიციენტები, რომელთა რიცხვითი მნიშვნელობები მოყვანილია მე-15 ცხრილში. ამ ფორმულაში Q მოცემულია ლ/წმ-ში, ხოლო H – დეციმეტრებში. ამავე ცხრილში ნაჩვენებია დაწნევისა და ხარჯის ცვლილების დიაპაზონი მოცემული ღარისათვის.

ჰიდრომეტრიულ ღარებს, წყალსაშვებს, პატარა ხიდებს, საკიდელებს და სხვა მსგავს მოწყობილობებს ჰიდრომეტრიულ ნაგებობებს უწოდებენ. მათი დაგეგმარებისა და მშენებლობის საკითხთა პირველი სისტემატიზაცია ეკუთვნის ვ. არისტოვსკის.

ც ხ რ ი ლ ი 15

ჰიდრომეტრიული ტრაპეციული ღარების მახასიათებლები

№	დაწნევა სმ		ხარჯი, ლ/წმ		განტოლების კოეფიციენტები		
	$H_{\text{მონ}}$	$H_{\text{მაქს}}$	$Q_{\text{მონ}}$	$Q_{\text{მაქს}}$	M_1	M_2	M_3
1	6	36	2	170	5,64	3,35	1,42
2	6	36	2	210	6,16	6,65	1,27
3	9	82	15	1670	7,23	11,02	0,00
4	6	67	7	500	2,55	11,81	0,00

§ 15. წყლის ხარჯების განსაზღვრა შერევის ხერხით

თეორიული წინამძღვრები. დავუშვათ, რომ ნაკადში, რომლის ხარჯიც უნდა განისაზღვროს, შეყვანილია ნივთიერების ხსნარი ცნობილი ფიზიკური და ქიმიური თვისებებით. ნაკადს შეიძლება სრულებითაც არ ჰქონდეს ეს თვისებები ან ჰქონდეს სუსტად გამოხატული ფორმით. საერთოდ, ნაკადში შეიძლება შეყვანილ იქნეს რაიმე ქიმიური ნივთიერებების ან საღებავის ხსნარი, რადიოაქტიური იზოტოპები. ნივთიერებების საწყისი კონცენტრაცია გარკვეული

მანძილის გავლის შემდეგ მცირდება ნაკადთან მისი შერევის გამო. შემცირების ხარისხი დამოკიდებულია წყლის ხარჯზე. ნივთიერების კონცენტრაციის შემცირება წარმოადგენს სწორედ წყალსადინარის ხარჯის კრიტერიუმს: ორი სხვადასხვა ტემპერატურის ან სიმღვრივის მქონე ნაკადის შეერთება ამავე კატეგორიის მოვლენას მიეკუთვნება. ერთ-ერთი ნაკადთანაგანი ნაკლები ხარჯით შეიძლება ჩავთვალოთ ხსნარად, რომელიც ერევა ნაკადს მეტი ხარჯით. ნათქვამიდან გამომდინარეობს, რომ წყლის ხარჯების განსაზღვრა შერევის ხერხით დამყარებულია ნაკადის ტურბულენტობაზე.

ხარჯის გასაზომად გამოყენებულ ნივთიერებას, ან მის ხსნარს, საზომ ნივთიერებას უწოდებენ. წყალსადინარის კვეთს, რომელშიც შეაქვთ საზომი ნივთიერება, გასაშვები კვეთი ეწოდება, ხოლო კვეთს-დინების მიმართულებით ქვემოთ, რომელშიც საზღვრავენ ნივთიერების კონცენტრაციას-საზომი კვეთი. აღნიშნულ კვეთებს შორის მანძილი უნდა უზრუნველყოფდეს საზომი ნივთიერების ნაკადთან სრულ შერევას. შერევის ხერხის ძირითადი განტოლება გამოგვყავს შემდეგი პირობიდან: ნივთიერების ხარჯი გასაშვებ კვეთში ტოლი უნდა იყოს მისი ხარჯისა საზომ კვეთში. თუ ხსნარის ხარჯს აღვნიშნავთ Q_b -ით (იმავე ერთეულებში, როგორც წყალსადინარის Q ხარჯს), შევძლებთ ჩავწეროთ ნივთიერების ბალანსის განტოლება:

$$Q_b C_1 + Q C_0 = (Q_b + Q) C_2,$$

სადაც C_1 არის ნივთიერების კონცენტრაცია ხსნარში, ე. ი. მისი შემცველობა მოცულობის ერთეულში;

C_0 -იმავე ნივთიერების კონცენტრაცია ნაკადში, ე. ი. ბუნებრივ მდგომარეობაში;

C_2 -იმავე ნივთიერების კონცენტრაცია საზომ კვეთში.

აქედან

$$Q = \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0} Q_b. \quad (159)$$

თუ ნაკადი არ შეიცავს საზომ ნივთიერებას ან შეიცავს მას ძალზე მცირე რაოდენობით, მაშინ $C_0 = 0$ და (159) ფორმულა ასეთ სახეს ღებულობს:

$$Q = \left(\frac{C_1}{C_2} - 1 \right) Q_b. \quad (160)$$

თუ ხსნარის ხარჯი წყალსადინარის ხარჯთან შედარებით მცირეა, კერძოდ, $\frac{Q_b}{Q} 100 \leq 2\%$, მაშინ შეიძლება დავუშვათ, რომ ბალანსის განტოლების მარჯვენა ნაწილში $Q_b = 0$; ამიტომ $Q_b C_1 + Q C_0 = Q C_2$, საიდანაც

$$Q = \frac{C_1}{C_2 - C_0} Q_b. \quad (161)$$

როდესაც C_0 და Q_b მცირე სიდიდეებია, მაშინ $Q_b C_1 = Q C_2$, საიდანაც

$$Q = \frac{C_1}{C_2} Q_b. \quad (162)$$

იმის მიხედვით, თუ რა თვისებები გააჩნია საზომ ნივთიერებას, განასხვავებენ შერევის ხერხის შემდეგ ვარიანტებს: ქიმიურს (მარილის ხსნარი), კოლორიმეტრიულს (საღებავი ნივთიერების ხსნარი), სითბურს (სხვადასხვა ტემპერატურის მქონე ნაკადების შერევა) და რადიოაქტიურს (რადიოაქტიური იზოტოპები).

ნაკადში ხსნარი შეიძლება შევიყვანოთ მყისიერად მუდმივი ან ცვლადი ხარჯით (Q_b). C_1 , C_2 და C_0 კონცენტრაციებს განვსაზღვრავთ ელექტროქიმიური ხერხით. წყლის ხარჯის განსაზღვრა შერევის ხერხით არ მოითხოვს ნაკადის კინემატიკური და გეომეტრიული ელემენტების გაზომვას. ამაში მდგომარეობს სწორედ მისი ორიგინალობა და პრაქტიკული ღირებულება, განსაკუთრებით მთის მდინარეთა პირობებში, სადაც ნაკადის სიჩქარეები და ტურბულენტობის ინტენსივობა დიდია, ხოლო კალაპოტი მოფენილია მსხვილი ქვებით.

შერევის ხერხის გამოყენების ტექნიკა და მეთოდიკა ძალზე მრავალფეროვანია. შედარებით უფრო დამუშავებულია ელექტროლიტური ხერხი და იონური ნიაღვრის ხერხი.

ელექტროლიტური ხერხი. ამ ხერხში საჭიროა მარილის ხსნარის სრული (ელექტროლიტის) შერევა ნაკადთან. **ნ. პიკუშის** მიერ რეკომენდებული მეთოდიკით ელექტროლიტის სრული შერევა ნაკადთან მდინარის სიგანეზე აუცილებელი არ არის. აღნიშნული მეთოდის ღირსება იმაში მდგომარეობს, რომ ამ ხერხის გამოყენებისას საჭმელი მარილის ხარჯი შედარებით მცირეა (საორიენტაციოდ 0,1–0,8 კგ $1\text{მ}^3/\text{წმ}$ ხარჯზე). ნ. პიკუშის მეთოდი რეკომენდებულია მთის მდინარეებისათვის $Q < 50 \text{მ}^3/\text{წმ}$ ხარჯების შემთხვევაში.

ელექტროლიტური ხერხის იდეა მდგომარეობს შემდეგში: ვთქვათ, M რაოდენობის მარილით გაჯერებული ხსნარის ღრუბელი საზომ კვეთში გაედინება t დროის შემდეგ. ამავე დროში კვეთში გაივლის წყლის W მოცულობა. საშუალო კონცენტრაცია (მინერალიზაცია) ღრუბელში t დროის განმავლობაში შეადგენს:

$$C = \frac{M + C_0 W}{W}, \quad (163)$$

სადაც C_0 არის იმავე ნივთიერების ბუნებრივი კონცენტრაცია ნაკადში (ცდის დაწყებამდე).

(163) გამოსახულებაში $W = Qt$ და $M = C_1 W_g$ სიდიდეთა ჩასმით და მიღებული განტოლების ამოხსნით Q -ს მიმართ ვიპოვიოთ

$$Q = \frac{C_1 W_g}{(C - C_0)t}, \quad (164)$$

სადაც C_1 არის ნაკადში შეყვანილი W_g მოცულობის მქონე ელექტროლიტის კონცენტრაცია.

იმის გამო, რომ ელექტროლიტის კონცენტრაცია (C) და მისი ელექტროგამტარობა (E) ერთმანეთთან დაკავშირებულია მარტივი ფუნქციონალური დამოკიდებულებით $C = kE$ (k არის პროპორციულობის კოეფიციენტი), (164) განტოლებაში შემავალ C , C_0 და C_1 სიდიდეთა გაზომვა შეიძლება შეიცვალოს მდინარის წყლისა და ხსნარის ელექტროგამტარობათა გაზომვით. ელექტროგამტარობის გადამცემის სახით გამოიყენება ტარირებული ელექტროდური ზონარი. ტარირება გულისხმობს ნაკადიდან ამოღებული გარკვეული მოცულობის წყლის ბუნებრივი ელექტროგამტარობისა და ხსნარის ზუსტად გაზომილი მოცულობის დამატების შემდეგ ელექტროგამტარობის განსაზღვრას.

დავწეროთ ელექტროლიტის ბალანსის განტოლება წონის ერთეულებში:

$$kE_{\text{წ}} W_{\text{წ}} + C_1 W_{\text{ბ}} = kE_{\text{ბ}} (W_{\text{წ}} + W_{\text{ბ}}), \quad (165)$$

სადაც $E_{\text{წ}}$ არის სატარირო რეზერვუარში ჩასხმული $W_{\text{წ}}$ მოცულობის მდინარის წყლის ელექტროგამტარობა;

$W_{\text{ბ}}$ —სატარირო რეზერვუარში შეყვანილი ხსნარის მოცულობა;

$E_{\text{ბ}}$ —წყლის ელექტროგამტარობა ელექტროლიტის დამატების შემდეგ. (165)

განტოლებიდან ვპოულობთ:

$$C_1 = k \frac{E_b(W_{\text{ფ}} + W_b) - E_{\text{ფ}}W_{\text{ფ}}}{W_b}. \quad (166)$$

W_b მოცულობა $W_{\text{ფ}}$ -სთან შედარებით ძალზე მცირეა, ამიტომ

$$C_1 = \frac{kW_{\text{ფ}}(E_b - E_{\text{ფ}})}{W_b} \quad (167)$$

ელექტროლიტის კონცენტრაციის (ნაკადის სიგანეზე გასაშუალებული) ზრდა დროის ცალკეული მომენტისათვის ტოლია:

$$C_i - C_0 = k(E_i - E_0). \quad (168)$$

კონცენტრაციის საშუალო მატება $T_2 - T_1$ დროის განმავლობაში იქნება:

$$C - C_0 = \frac{k}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} (E_i - E_0) dt, \quad (169)$$

სადაც T_1 არის საზომ კვთში ელექტროლიტის დამატებით გამოწვეული ელექტროგამტარობის გადიდების შესაბამისი დრო;

T_2 -საწყისი (ბუნებრივი) ელექტროგამტარობის აღდგენის შესაბამისი დრო.

თუ (169) გამოსახულებაში dt დიფერენციალს შევცვლით $\Delta t = 5 \div 10$ წმ სასრული სხვაობით და გავითვალისწინებთ, რომ $T_2 - T_1 = t$, მივიღებთ:

$$C - C_0 = \frac{k\Delta t}{t} (\sum E_i - nE_0), \quad (170)$$

სადაც n არის ანათვლების რიცხვი წყლის ელექტროგამტარობის საზომ (წეს) სკალაზე.

(164) გამოსახულებაში C_1 და $C - C_0$ სიდიდეთა ჩასმით ვიპოვით ელექტროლიტური ხერხით Q ხარჯის გამოსათვლელ ძირითად განტოლებას:

$$Q = KW \frac{E_b - E_{\text{ფ}}}{\sum E_i - nE_0}, \quad (171)$$

სადაც $K = \frac{W_{\text{ფ}}}{W_b \Delta t}$ არის მუდმივი სიდიდე.

ბუნებრივი ელექტროგამტარობა გამოითვლება ფორმულით:

$$E_0 = 0,5(E_i' + E_i''),$$

სადაც E_i' არის წეს-ის სკალაზე აღებული ანათვალის მის ჩვენებათა მკვეთრად გადიდებად;

E_i'' -წეს-ის სკალაზე აღებული ანათვალის მის ჩვენებათა მდოვრედ დაწევის შემდეგ.

წყლის ხარჯის ელექტროლიტური საზომის კომპლექტში შედის წყლის ელექტროგამტარობის საზომი (წეს), 10 მ სიგრძის ჯაჭვური ელექტროდები,

ელექტროდის ზონარი, 1 სმ³ ტევადობის შპრიცი, საზომი ავზის კედრობუდე და ზოგიერთი სხვა დამხმარე მოწყობილობა.

წეს-ს აქვს 1,5% ცდომილები სიზუსტის კლასი და საშუალებას იძლევა გაიზომოს წინაღობის ცვლილება 10–20 % ნომინალური მნიშვნელობების (3000–13000 ომი), აქვს 0,1–0,2% მგრძნობიარობა სკალის ერთ დანაყოფზე. წეს-ი შედგება ბგერითი სიხშირის გენერატორისაგან, სიმძლავრის გამამძლიერებლისაგან, საზომი ხიდისაგან, ხიდის ძაბვის გამამძლიერებლისა და ვოლტმეტრისაგან.

წეს-ი მუშაობს 8–14 ვ ძაბვაზე. ჟაჭური ელექტროდები წარმოადგენს ქლორვინილის იზოლაციის მქონე ფოლადის ორ გამტარს. ყოველ 15 სმ-ზე ორივე ძაფზე მოხსნილია იზოლაცია ისეთნაირად, რომ წარმოიქმნება ერთმანეთისაგან 8–10 მმ-ით დაცილებული ელექტროდების წყვილი. ელექტროდების ფართობი (ქდეები ზონარზე) შეადგენს დაახლოებით 1 მმ²-ს. ელექტროდების წყვილთა რიცხვი ზონარზე 50–70-მდეა. გამტარებს ერთ ბოლოზე აქვს ბუნიკი წეს-ში ჩასართველად, მეორე ბოლო იზოლირებულია.

ელექტროლიტური ხერხით ხარჯის გასაზომად ირჩევენ მდინარის უბანს $L = (15 - 20)B$ სიგრძით. კვეთი, სადაც იზომება ელექტროგამტარობა, არ უნდა ხასიათდებოდეს სიღრმეების მკვეთრი ცვლილებით. გასაშვებ კვეთს ირჩევენ ნაკადის შევიწროებულ ნაწილში, რაც შეიძლება მცირე სიღრმეებით. აღნიშნულ კვეთებს შორის მანძილი $L \geq 10B$ -ზე.

ხარჯის გამოსათვლელად სრულდება შემდეგი სამუშაოები: 1) ელექტროდების მომზადება; 2) ელექტროდის ზონრის გაბმა მდინარის სიგანეზე და მისი დამაგრება (გაზომვების დაწყებამდე ზონარი უნდა მოთავსდეს წყალში არანაკლებ 10 წთ-ს. ნაკადში ზონრის ირიბად მოთავსების შემთხვევაში ის ნაკლებად ჭუჭყიანდება); 3) წეს-ის დადგმა ჰორიზონტალურ მოედანზე, მისი შემოწმება და მომზადება ჩასართველად; 4) ჭურჭლის მომზადება; 5) ხსნარის მომზადება; 6) ხსნარის სინჯის შერჩევა ელექტროდების ტარიერებისათვის; 7) წყლის დონეების გაზომვა (მუდმივ ან დროებით საგუშაგოზე); 8) ხსნარის შეყვანა ნაკადში; 9) წყლის ნაკადის ელექტროგამტარობის გაზომვა ელექტროდის ზონრისა და 2–3-ჯერადი განმეორებადობით; ხელსაწყოს ჩვენებათა ჩაწერა ხდება ყოველ 5 ან 10 წმ-ის შემდეგ (ანათვლების საერთო რიცხვი $n \geq 30$); 10) წყლის დონის გაზომვა.

ელექტროლიტური ხერხით წყლის ხარჯის განსაზღვრის სიზუსტე შეადგენს $\pm 10\%$ -ს იმ პირობით, თუ წეს-ის სკალაზე დანაყოფთა რიცხვი $\sum E_i - nE_o \geq 200$ -ზე და ჰიდროკვეთში მარილის ღრუბლის გავლის ხანგრძლივობა $t \geq 3$ წთ-ზე.

§ 16. წყლის ხარჯების განსაზღვრა ირიგაციულ არხებში

დიდ სარწყავ და დამშრობ არხებში გაზომილი სიჩქარეებისა და სიღრმეების საშუალებით წყლის ხარჯების განსაზღვრის ხერხი ძირითადია. ირიგაციულ პრაქტიკაში მას ზოგჯერ კალაპოტურ ხერხს უწოდებენ. ხარჯის განსაზღვრის სიზუსტის შემცირების შემთხვევაში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჰიდრავლიკურ-ჰიდრომეტრიული ხერხიც.

ირიგაციულ არხებზე აგებულია მრავალი ჰიდროტექნიკური ნაგებობა, რომელთა გამოყენებაც შეიძლება წყლის ხარჯების გასაზომად.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობები ერთმანეთისაგან განსხვავებულია კონსტრუქციისა და ექსპლოატაციის პირობების მიხედვით; ამიტომ თითოეული მათგანი მოითხოვს ინდივიდუალურ ტარირებას ხარჯის ფორმულის დასადგენად. თუ ტარირების საშუალება არ არსებობს, შეიძლება ვისარგებლოთ ნაგებობათა შემდეგი კლასიფიკაციით, რომელიც რეკომენდებულია მ. ბუტირინის მიერ: 1) ღია წყალგამშვებები ბრტყელი ვერტიკალური ფარებით; 2) სწორკუთხა კვეთის დახურული (მილისებური) წყალგამშვები ბრტყელი ვერტიკალური ფარებით; 3) წრიული კვეთის მილისებური წყალგამშვებები ბრტყელი ფარებით; 4) მრავალმალიანი ნაგებობები ბრტყელი ვერტიკალური ფარებით; 5) ნაგებობები სეგმენტური საკეტებით, ნაგებობათა თითოეული კლასისა და ტიპისათვის რეკომენდებულია ხარჯის საანგარიშო ფორმულები და მასში შემავალი რიცხვითი კოეფიციენტები.

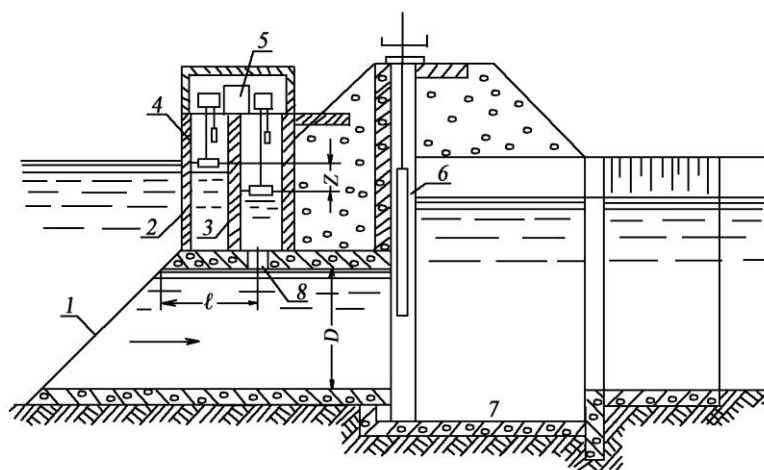
წყლის ხარჯებს მცირე ირიგაციულ ნაგებობებში საზღვრავენ წყალსაშვებით, ჰიდრომეტრიული ღარებით და სხვა წყალსაზომი ნაგებობებით. ტრადიციულ დაუძირავ თხელკედლიან წყალსაშვებთან ერთად ფართო გავრცელება, ჰპოვა პროპორციულმა წყალსაშვამც.

ირიგაციულ წყალსაზომ ნაგებობებს (წყალსაშვებსა და ჰიდრომეტრიულ ღარებს გარდა) მიეკუთვნება წყალსაზომი ზღურბლები, მილისებრი წყალსაზომები შევიწროებადი მოწყობილობით (ვენტურის საქმენით, კონუსური

ნაცმით, დიაფრაგმით, რგოლით), წყალსაზომი მისადგამი, ფარისებრი წყალსაზომი ნაგებობები და სხვ. დანიშნულების მიხედვით ისინი იყოფა წყლის ტრანზიტული ხარჯების გამზომ ნაგებობებად და ხარჯების გამზომ ნაგებობებად მათი რეგულირების პუნქტებში.

ირიგაციულ არხებზე არსებულ ჰიდრომეტრიულ ნაგებობათა ძირითადი თავისებურება ის არის, რომ წყლის ხარჯის განსაზღვრისა და მისი რეგულირების ფუნქციები გაერთიანებულია ერთ ნაგებობაში, რომელსაც წყალსაზომ-რეგულატორი ეწოდება. ამ ჰიდრომეტრიულ ნაგებობებში გამოყენებულია წყლის ხარჯის განსაზღვრის ჰიდრავლიკური პრინციპი, ხშირად-დამოკიდებულება ნაგებობაზე წნევის ვარდნასა და წყლის ხარჯს შორის. წყალსაზომ-რეგულატორი შეიცავს: კონსტრუქციას, რომელიც ქმნის წნევათა სხვაობას (დაწნევას) და რომელსაც ხარჯის პირველადი ჰიდრავლიკური გარდამქმნელი ეწოდება; ხელსაწყოებს, რომლებიც დაწნევის ცვლილებას გარდაქმნიან წყლის ხარჯების ცვლილებად და აღნუსხავენ ხარჯს და ჩამონადენს; ფარს წყლის ხარჯების რეგულირებისათვის.

ჰიდრომეტრიული ნაგებობა წყალსაზომი მისადგამით და დონეთა ვარდნის დიფერენციალური გადამწოდით. ამ ნაგებობის სქემა გამოსახულია 74-ე ნახაზზე. ის შედგება წყალსაზომი ნამატისაგან - 1, ჭისაგან - 4, ჰერმეტიკული გადამღობი კედლისაგან - 3, ხარჯის ტივტივებიანი სისტემის გადამწოდისაგან - 5, ხარჯების სარეგულაციო ფარისა - 6 და წყალსაცემი ჭისაგან - 7. ჭა - 4 ხვრეტით - 2 შეერთებულია ზედა ბიეფთან, ხოლო ხვრეტით - 8 წყალსაზომ მისადგამთან.



ნახ. 74. ნაგებობის სქემა წყალსაზომი ნაცმით და ДПИ-2 ტიპის დონეთა ვარდნილის დიფერენციალური გადამწოდით:

1-წყალსაზომი ნაცმი; 2-ხვრეტი; 3-კედელი; 4-ჭა; 5-ხარჯის გადამწოდი; 6-ფარი; 7-წყალსაცემი ჭა; 8-ხვრეტი

წყალსაზომი ნამატი წარმოადგენს წრიული ან სწორკუთხა კვეთის მოკლე მილს, რომელიც მოთავსებულია სარეგულაციო ფართან ნაგებობის ზედა ბიეფში. ნამატში წყლის მოძრაობისას ჰიდრავლიკურ წინაღობათა არსებობის გამო ნამატის გამოსათვლელთან იქმნება წნევათა ვარდნილი. ამიტომ ჭაში, რომელიც ხვრეტით 8 ნამატს უერთდება, წყლის დონე z სიდიდით დაბლაა ზედა ბიეფში დონესთან შედარებით. ჰიდრავლიკური თვალსაზრისით წყალსაზომი ნამატი განიხილება როგორც ნაცმი (მოცემულ შემთხვევაში შიგა ნაცმი). აქ წყლის ხარჯს (Q) განსაზღვრავენ ფორმულით:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gz}, \quad (172)$$

სადაც μ არის ნამატის ხარჯის კოეფიციენტი;

ω —ნამატის კვეთის ფართობი.

μ კოეფიციენტი დამოკიდებულია ნაცმის შესასვლელის განივი კვეთის ფორმასა და l მანძილზე (ნახ. 74), რომლითაც დაშორებულია კვეთი ნამატის შესასვლელიდან უმცირესი წნევის შესარჩევად. ცილინდრული ნამატის საერთო სიგრძის $L = (1,5 - 3)d$ შემთხვევაში ღებულობენ $l = (0,3 - 1,5)D$, სადაც D არის ნამატის დიამეტრი. დახრილი შესასვლელის შემთხვევაში ნამატისათვის ვ. კრასნოვის ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით

$$\mu = 0,57 + 0,08 \frac{l}{D}. \quad (173)$$

წყლის მოძრაობა ნამატში უნდა იყოს დაწნევიით, რაც სრულდება შემდეგი პირობის დაცვისას: $h_{\Phi\Phi} \geq 1,3D$.

წყალსაზომი ნამატით აღჭურვილი ჰიდრომეტრიული ნაგებობების ტიპური კონსტრუქციების საშუალებით შეიძლება გაიზომოს წყლის ხარჯები 0,05–დან 20 მ³/წმ–მდე ფარგლებში $\pm(3-4)\%$ სიზუსტით.

მუდმივი ω და μ სიდიდეების შემთხვევაში ხარჯის სიდიდე პროპორციულია $\sqrt{z}$ -ის, ამიტომ ხელსაწყოს სკალა შეიძლება დაგრადუირებულ იქნეს ხარჯის ერთეულებში.

75–ე ნახაზზე გამოსახულია ДПИ-2 ტიპის დონის ვარდნილის გადამწოდის კინემატიკური სქემა, რომელიც დამუშავებულია ყოფილ სსრკ-ს „სახწყალმეურნეობის“ ინსტიტუტისა და სხვა ორგანიზაციების მიერ. ამ გადამწოდით შეიძლება გაიზომოს წყლის დონე ნაგებობის ზედა ბიეფში და z ვარდნილი (ერთი აწეული ტივტივასა და დამუხრუჭებული დოლის შემთხვევაში).

მისი მოწყობილობა ასეთია: ტივტივები - 1 და 12, საზომი დოლები - 2 და 11. კონუსური დიფერენციალი - 3, რედუქტორი - 6 გამოსაცვლელი კბილანა თვლებით, დონეთა ვარდნილის მაჩვენებელი - 10, ლილვი - 5, რომელთანაც დაკავშირებულია ხარჯის მაჩვენებელი - 4, ორი წყვეტილი მუშტა - 7 დონეთა ზღვრული ვარდნის სიგნალიზაციისათვის, მიკროჩამრთველები - 8.

გარდა აღნიშნულისა, გადამწოდში მოთავსებულია რედუქტორი - 14 ხაზოვანი პოტენციომეტრით - 13, რომელიც ზედა ბიეფში დონის სიდიდის შესაბამისად იწვევს პოტენციომეტრის წინაღობის პროპორციულ ცვლილებას. დონეთა სხვაობის მოქმედებით ხდება ტივტივების - 1 და 12 გადაადგილება, რაც, თავის მხრივ, პროპორციულად ცვლის დოლების - 2 და 11 მობრუნების კუთხეებს. დოლის ერთი ბრუნე შეესაბამება წყლის დონის 50 სმ–ით ცვლილებას. დოლების - 2 და 11 ლილვებზე მოთავსებული კბილანები შეერთებულია დიფერენციალის - 3 შესასვლელ კბილანებთან, რის შედეგადაც დიფერენციალის გამოსასვლელი ლილვი შემობრუნდება დონეთა სხვაობის პროპორციული კუთხით.

დიფერენციალის - 3 გამოსასვლელთან მიერთებულია დონეთა ვარდნის მაჩვენებელი - 10, ბრუნთა ათწილადი მრიცხველით, ხოლო რედუქტორის - 6

გამოსასვლელთან–გამოსასვლელი ლილვი - 5, ხარჯის მაჩვენებელი - 4 და მუშტები - 7.

რედუქტორის - 6 ლილვისა და მასთან დაკავშირებული გამოსასვლელი ლილვის 5, სიგნალიზაციის მუშტებიანი ლილვისა - 7 და ხარჯის მაჩვენებლის - 4 მობრუნების კუთხე შეადგენს 300°-ს (გადამწოდით გაზომილ დონეთა მაქსიმალური სხვაობის დროს). გადამწოდის კორპუსიდან გარეთ გამოყვანილია გამოსასვლელი ლილვის - 5 ორი თავისუფალი ბოლო შესასვლელ ლილვებთან ტელეგარდამქმნელის ან ხარჯის რეგულატორის მისაერთებლად.

DPI-2 ტიპის გადამწოდით დონეთა სხვაობის გაზომვის საზღვრები შეადგენს 0-16, 0-25, 0-40, 0-63, 0-100 და 0-160 სმ-ს ზედა ბიეფში დაწნევის 5 მ-მდე ცვლილებისას. გადამწოდით დონეთა ვარდნილის გაზომვის ცდომილება არ აღემატება $\pm 2,5\%$ -ს.

თუ ნაგებობებზე არის 127 ან 220 ვ ძაბვის ელექტრული კვება, მაშინ DPI-2 ტიპის გადამწოდში ათავსებენ დიფერენციალურ-ტრანსფორმატორულ გარდამქმნელს (DT-1), რომელიც გადაადგილდება ლილვთან - 5 დაკავშირებული მუშტას - 9 ზემოქმედებით. ამასთან, მუშტას პროფილის მიხედვით DT-1 გარდამქმნელის გამოსასვლელი ძაბვა შეიძლება იყოს წყლის ხარჯსა და ზედა ბიეფში დაწნევას შორის, ან წყლის ხარჯსა და ნაგებობაში დონეთა სხვაობას შორის ფუნქციონალური დამოკიდებულების პროპორციული. DT-1-ის გამოსასვლელი ელექტრულად უერთდება DC1-0,5 ტიპის ავტომატური ელექტრონული დიფერენციალურ-ტრანსფორმატორული თვითმწერის შესასვლელს.

მისი გამოყენება დონეთა ვარდნილის დიფერენციალური გადამწოდის კომპლექტში საშუალებას იძლევა მივიღოთ ნაგებობის ზედა ბიეფში დონეთა ცვლილების მყისიერი მნიშვნელობები და ხარჯის სიდიდეები. აგრეთვე ინტეგრატორის მრიცხველით განვსაზღვროთ ნაგებობაში გამავალი წყლის ჩამონადენი. გარდა ამისა, DC1-0,5 ტიპის თვითმწერი უზრუნველყოფს წყლის ხარჯის ზღვრული მნიშვნელობების სიგნალიზაციას.

ჰიდრომეტრიული ნაგებობა წყალსაზომი ნაცმით და წყლის ხარჯის დინამომეტრიული გადამწოდით. ასეთი ნაგებობის სქემა გამოსახულია 76-ე ნახაზზე. ნაგებობას აქვს წყალსაზომი ნაცმი - 1, ჰა - 4 ხვრეტით - 2, ფარი - 6,

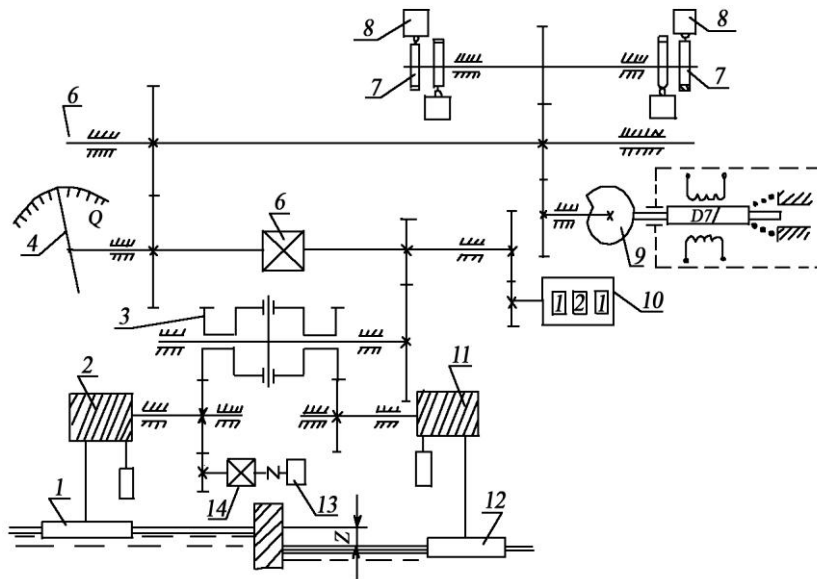
წყალსაცემი ჭა - 7, წნევათა ვარდნილის რეგისტრატორი (გადამწოდი) - 5, დგუში - 9, რომელიც დაკიდებულია გვარლზე - 3 და მოთავსებულია მილყელში - 8. ეს უკანასკნელი გაკეთებულია წყალსაზომი ნამატის ჭერში.

წყალსაზომ ნაცმში 1 გამავალი წყლის ნაკადი ქმნის წნევათა სხვაობას ნამატში შესასვლელისა და მილყელის - 8 ღერძს შორის. მილყელში - 8 მოთავსებული დგუში - 9 თავის თავზე ღებულობს წნევათა სხვაობას და გადაადგილდება ქვემოთ ვერტიკალური მიმართულებით. დგუშზე - 9 წნევათა სხვაობა გარდაიქმნება ძალვად, რომელიც გვარლით - 3 გადაეცემა გადამწოდს - 5. ეს უკანასკნელი, თავის მხრივ, აღნიშნულ ძალვას გარდაქმნის გადამწოდის გამოსასვლელი ლილვისა და მასზე მოთავსებული მაჩვენებელი ისრის პროპორციულ გადაადგილებად.

DPB-1 ტიპის დინამომეტრიული გადამწოდი წარმოადგენს ვ. კრასნოვის მიერ დამუშავებული DPC-60 ხარჯსაზომის მოდერნიზაციას. ხელსაწყოს ძირითადი ელემენტი-დგუში-წარმოადგენს 25 მმ სიმაღლის კონუსს, რომლის გვერდით ზედაპირზე გაკეთებულია ოთხი ხვრეტი. ეს ხვრეტები ფუძეში ერთ ხვრეტად ერთიანდება. დგუშის ფუძის დიამეტრი 60 მმ-ია. ცენტრალური ხვრეტი უზრუნველყოფს დგუშის მდგრად მდებარეობას მილყელში, როდესაც ამ უკანასკნელში გაედინება წყლის პარციალური ნაკადი. დგუში თავისუფალ მდგომარეობაშია იმის მეშვეობით, რომ მილყელში - 8 გაედინება წყლის პარციალური ნაკადი, რომელიც მუდმივად რეცხავს მას. ნაგებობას შეუძლია იმუშაოს წყალში შეწონილი ნატანის დიდი რაოდენობით შემცველობის დროსაც. წყლის ხარჯს გამოითვლიან (172) ფორმულით, რომელშიც Z წარმოადგენს ზედა ბიეფსა და წყალსაზომ კვეთს შორის ხელსაწყოთი გაზომილ წნევათა სხვაობას მეტრობით.

დგუშზე - 9 მოქმედი F ძალვის სიდიდე დამოკიდებულია ნამატში წნევათა სხვაობასა და დგუშის დიამეტრზე.

წნევათა ვარდნილის (სხვაობის) გაზომვისას, F ძალვის მუდმივ მდგენელს გარდა, წარმოიქმნება აგრეთვე ძალვის ცვლადი მდგენელებიც, რომლებიც იწვევენ მაჩვენებელი ისრის რხევას და ართულებენ ანათვლების აღებას. ამასთან დაკავშირებით, DPB-1 ტიპის გადამწოდში არის მოწყობილობა წნევათა ვარდნილის ცვლადი მდგენელების ჩასაქრობად.

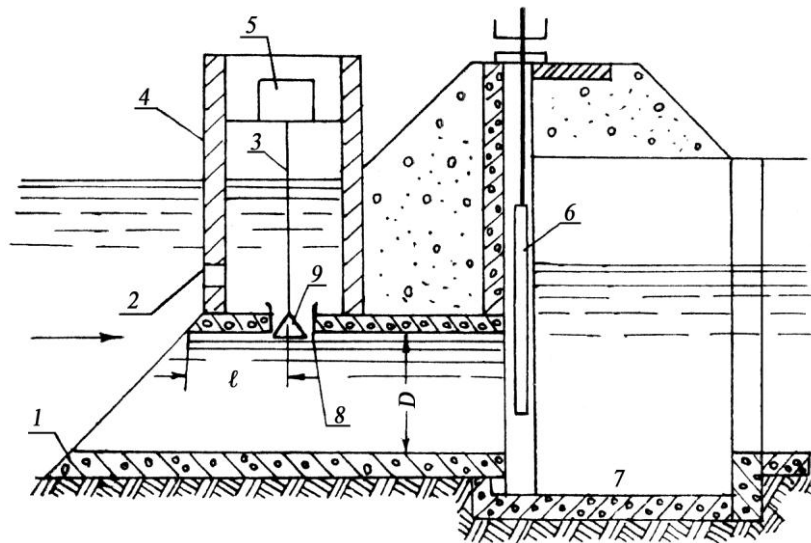


ნახ. 75. DPII-2 ტიპის წყლის ხარჯის გადამწოდის კინემატიკური სქემა:

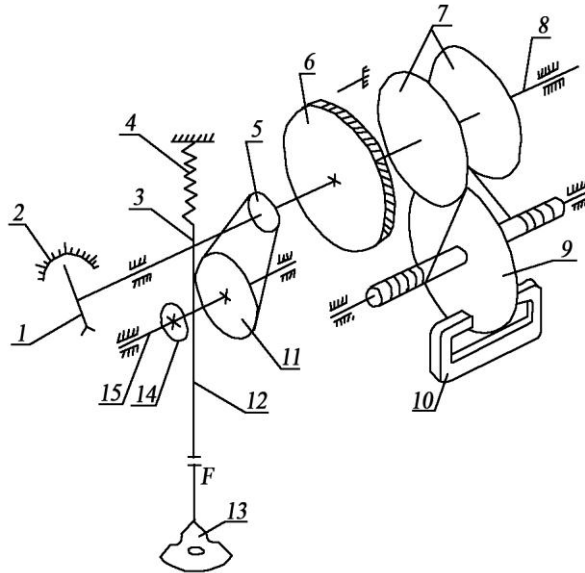
1-ტივტივა; 2-საზომი დოლი; 3-კონუსური დიფერენციალი; 4-ხარჯის მაჩვენებელი; 5-გამოსასვლელი ლილვი; 6-რედუქტორი; 7-მუშტები; 8-მიკროგამომრთველი; 9-მუშტა; 10-დონეთა სხვაობის მაჩვენებელი; 11-საზომი დოლი; 12-ტივტივა; 13-პოტენციომეტრი; 14-რედუქტორი

DPB-1 გადამწოდის კინემატიკური სქემა გამოსახულია 77-ე ნახაზზე. დგუმზე - 13 წარმოქმნილი F ძალვა მოქმედებს გვარლზე - 12. რომელიც შემოხვეულია ლილვზე - 15 ხისტად დამაგრებულ ბორბალზე - 14. F ძალვა წონასწორდება საზომი ზამბარის - 4 ძალვით, რადგანაც ბაგირი - 3 ასევე შემოხვეულია ბორბალზე - 14. F ძალა და ზამბარის გამაწონასწორებელი ძალა მიმართულია ურთიერთსაწინააღმდეგოდ, რის გამოც ლილვის - 15 საკისარები გადატვირთულია. ბორბლის - 14 გარდა, ლილვზე - 15 ხისტად დამაგრებულია ბორბალი - 11, რომელიც მოქნილი გადამცემის (2,8:1) საშუალებით ბრუნვით მოძრაობას გადასცემს გამოსასვლელ ლილვს - 8 (ბორბლები 11 და 5). ლილვზე - 8 მოთავსებულია დოლი - 6 სკალით და ორი ბორბალი - 7 მქნევარას - 9 მოძრაობაში მოსაყვანად; ეს უკანასკნელი მუდმივი მაგნიტის - 10 პოლუსებს შორის არის მოთავსებული; მქნევარას მოძრაობა ხორციელდება ამამაღლებელი მოქნილი გადამცემით 10:1. F ძალის წარმოქმნა იწვევს ზამბარის - 4 გაჭიმვას და ბორბლის - 14 მობრუნებას. ბორბალზე - 5 გადაცემა ისეა გაანგარიშებული, რომ ლილვის - 8 მობრუნების კუთხე მთელ გასაზომ დიაპაზონში შეადგენს 300° -ს. ანათვლებს

იღებენ დოლის - 6 სკალაზე. მეწვეარას ინერციის მომენტი და გადაცემის პარამეტრები ისეა შერჩეული, რომ ხელსაწყოს მოძრავი სისტემის საკუთარი სიხშირე დაახლოებით 0,2 ჰც-ს შეადგენს. მაგნიტი - 10 ემსახურება გადამწოდის მოძრავი სისტემის რხევათა ამპლიტუდის შემცირებას რეზონანსის შემთხვევაში. ლილვის გამოსასვლელ ბოლოზე დამატებით შეიძლება მოთავსდეს ისარი - 1, ხოლო ხელსაწყოს კორპუსზე-სკალა - 2, რომელიც დაგრადუირდება უშუალოდ ნაგებობაზე წყლის ხარჯის ერთეულებში. DPB-1 გადამწოდის დანიშნულებაა წნევათა სხვაობის გაზომვა 75 სმ-მდე 0,5 სმ-ის მგრძნობიარობით, წნევათა სხვაობის გადამწოდით გაზომვის ცდომილება არ აღემატება $\pm 2,5\%$ -ს.



ნახ. 76. ნაგებობის სქემა წყალსაზომი ნაცმით და DPB-1 ტიპის წყლის ხარჯის დინამომეტრიული გადამწოდით: 1-წყალსაზომი ნაცმი; 2-ხვრეტი; 3-გვარლი; 4-ჭა; 5-წნევათა სხვაობის რეგისტრატორი; 6-ფარი; 7-წყალსაცემი ჭა; 8-მილყელი; 9-დგუმი



ნახ. 77. DPB-1 წყლის ხარჯის გადამწოდის კინემატიკური სქემა: 1–ისარი; 2–სკალა; 3–ბაგირი; 4–საზომი ზამბარა; 5–ბორბალი; 6–დოლი; 7–ბორბლები; 8–ლილვი; 9–მქნევარა; 10–მაგნიტი; 11–ბორბალი; 12–გვარლი; 13–დგუმი; 14–ბორბალი; 15–ლილვი

§ 17. ნაკადის ჰიდრავლიკური ელემენტების განსაზღვრა დიდი მდინარეების კალაპოტების გადაღობვისას

დიდ მდინარეებზე ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობის დროს შედარებით რთული პროცესია კალაპოტების გადაღობვა. ამიტომაც აუცილებელია ჰიდრომეტრიული სამუშაოების დაწყებას დროულად შევუდგეთ.

ჰიდრომეტრიულ სამუშაოებს იწყებენ წყალსაზომი საგუშაგოების დროულად მოწყობით, საზომი და ჰიდრომეტრიული კვეთების დაკვალვით. წყალსაზომ საგუშაგოთა რიცხვი საკმარისი უნდა იყოს ზედა და ქვედა ბიეფებში ყველა დამახასიათებელი დონის დასადგენად–ბანკეტზე, წყალსაშვიან კაშხალზე, ჰეს–ის შენობაში, ნაგავდამჭერ ნაგებობაში, ზედა და ქვედა ზღუდარებზე ვარდნილის სიდიდის გამოსათვლელად. ზედა და ქვედა ბიეფების საგუშაგოები უნდა განლაგდეს ორივე ნაპირზე. იმ ნაპირთან, სადაც აგებულია ბანკეტი, ჩვეულებრივად, ეწყობა 6–8 საგუშაგო ქვედა ბიეფში, რათა დადგინდეს წყლის თავისუფალი ზედაპირის მრუდი უშუალოდ ბანკეტის უკან. ბანკეტის წინა და უკანა მხარეს მდებარე ძირითადი საგუშაგოები უნდა აღიჭურვოს დონეთა

თვითმწერებით. წყალსაზომ საგუშაგოთა რიცხვი მსხვილ ობიექტებზე 25–30–ს აღწევს.

ჰიდრომეტრიული კვეთების ნაწილის დაკვალვა ხდება დროულად–ზედა და ქვედა ბიეფში, ხოლო ნაწილის–ზღუდარების განაკადებში ბანკეტიდან ბეტონის ნაგებობაში ნაკადის გადაგდების დროს. ზედა და ქვედა ბიეფებში, როგორც წესი, უნდა იყოს ორ–ორი ჰიდრომეტრიული კვეთი: ერთი ზედა ბიეფში–უშუალოდ ბანკეტის წინ, მეორე–დინების საწინააღმდეგოდ ზემოთ, რამდენიმე კილომეტრზე; თუ კვეთებს შორის არ არის შენაკადები, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჰიდროლოგიური სადგურის ჰიდროკვეთი, მისი სადგურის ახლოს მდებარეობის შემთხვევაში. ქვედა ბიეფში ერთ ჰიდროკვეთს არჩევენ უშუალოდ ბანკეტის უკან, ხოლო მეორეს–ქვემოთ დინების მიმართულებით. თუ ქვედა ბიეფში ნაკადი დატოტვილია, ჰიდროკვეთების რიცხვი უნდა გაიზარდოს. ჰიდროკვეთები ისე უნდა განლაგდეს, რომ შესაძლებელი გახდეს ხარჯის გაზომვა თითოეულ ტოტში. თუ ქვედა ბიეფში კაშხალთან ახლოს მოთავსებულია ჰიდროლოგიური სადგური, უნდა გამოვიყენოთ მისი ჰიდროკვეთიც.

სამუშაოები ბანკეტის წინასწარი დაყრის პერიოდში. კალაპოტის გადაღობვისათვის საჭირო სამუშაოები შეიძლება დაიყოს ორ ეტაპად: პირველი (წინასწარი)–სამუშაოები ბანკეტით კალაპოტის შევიწროების მომენტიდან მცურავი ხიდის აგების დაწყებამდე; მეორე–სამუშაოები ქვაბულის დატბორვიდან კალაპოტის სრულ გადაღობვამდე. პირველ ეტაპზე ძირითად სამუშაოებს მიეკუთვნება დაკვირვებები ბანკეტის დაყრის მსვლელობაზე, ბანკეტისა და გამყვანი ტრაქტის (ქვედა ბიეფში) მდგომარეობაზე, რათა მიღებულ იქნეს მონაცემები ამ უკანასკნელის გამტარუნარიანობის შესაფასებლად. ბანკეტის წინასწარი დაყრის დროს უნდა გაიზომოს დონეები საგუშაგოებზე და ხარჯები ჰიდრომეტრიულ კვეთებში. ამ პერიოდის ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა ძირითადი ამოცანაა თვალყური ვადევნოთ ბანკეტის ფორმისა და მისი ქიმის ნიშნულების ცვლილებას ქვის დაყრის პროცესში და აგრეთვე–ბანკეტის გავლენას მდინარის ჰიდრავლიკური ელემენტების ცვლილებაზე. დაკვირვება ბანკეტის დაყრის მსვლელობისა და ბანკეტის მდგომარეობაზე მოიცავს ბანკეტის უბანზე განივ და გრძივ პროფილებში სიღრმეთა გაზომვას მასალის ყოველი დაყრის შემდეგ, ხოლო

უხვწყლიანობის პერიოდში–სიღრმეთა დამატებით გაზომვას დონეთა აწევის წინ, მის შუა პერიოდში, პიკის ფარგლებში, დონეთა დაწევის შუა პერიოდში და ბოლოს.

დინების სიჩქარეები და მიმართულება უნდა გაიზომოს დეტალურად სამ კვეთში: ბანკეტის ღერძზე, შევიწროებული უბნის დასაწყისსა და ბოლოში. თითოეულ კვეთში უნდა იყოს 8–10 მუდმივი სიჩქარეთა ვერტიკალი. დინების ზედაპირული სიჩქარეებისა და მიმართულებების განსასაზღვრავად შეიძლება ვისარგებლოთ აეროფოტოგადაღებით ისევე, როგორც კალაპოტის წინასწარი შევიწროების სტადიაში. წყლის ზედაპირის ქანობებს პოულობენ წყალსაზომ საგუშაგოებზე დონეთა სისტემატური გაზომვით და კიდეების აღმნიშვნელი პალოების ერთდროული ეპიზოდური ნიველირებით. წყალსაზომი საგუშაგოების ნულის ნიშნულები პერიოდულად უნდა შემოწმდეს, რადგანაც მშენებლობის რაიონში განლაგებული საგუშაგოების დაზიანების ალბათობა უფრო მეტია, ვიდრე ჰიდროლოგიური სადგურების.

მიღებული მონაცემების საფუძველზე ადგენენ ბანკეტის გეგმებს ჰორიზონტალებში, დროის მიხედვით ნაკადის ცოცხალი კვეთის ფართობის ცვლილების გრაფიკს ბანკეტის ქიმისათვის, საშუალო და მაქსიმალური სიჩქარეების ცხრილებსა და გრაფიკებს, მდინარის ვარდნასა და ქანობებს სხვადასხვა პერიოდში.

წყლის მოდინების ხარჯის განსაზღვრა. ნაგებობის კვეთში ფიქსირებულ წყლის ხარჯს ვუწოდოთ მოდინების ხარჯი. ზღუდარებში განაკადების წარმოქმნამდე ამ ხარჯს მთლიანად უშვებენ ბანკეტიდან. ფრიად მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ წყლის მოდინების ხარჯი და მისი მოსალოდნელი ცვლილებები კალაპოტის გადაღობვის პროცესში, რადგანაც მასზეა დამოკიდებული კალაპოტის გადასაღობად საჭირო მასალის (ქვის, ტეტრაედრების, კუბების) რაოდენობა, განაკადების ზომები, ჰეს–ის ფსკერული წყალსაგდებებისა და წყალსაშვიანი კაშხლების რაოდენობა. თუ მშენებარე ჰეს–ის ზემოთ აგებულია სხვა ჰეს–ი, მაშინ ჩამონადენის რეგულირების გაანგარიშების გზით აუცილებელია დამუშავდეს ისეთი სადისპეტჩერო გრაფიკი, რომ საგარანტიო ენერგეტიკული მაჩვენებლებისათვის ზიანის მიუყენებლად შემცირდეს წყლის ხარჯები მშენებარე ჰეს–ის კვეთში კალაპოტის გადაღობვის პერიოდში.

ამ პერიოდში ზომავენ წყლის ხარჯებს კაშხლის წინამდებარე კვეთში დაახლოებით 200 მ მანძილზე და რამდენიმე კილომეტრით ზემოთ დინების მიმართულებით. კაშხლის ჰიდროკვეთში ხარჯებს ზომავენ კატარლიდან გვარლზე დამაგრებული ჰიდრომეტრიული ტრიალას საშუალებით. სიჩქარეები უნდა გაიზომოს სიღრმითი ვერტიკალის ხუთ წერტილში და აუცილებლად უნდა გამოითვალოს ჭავლის გადახრა. ხარჯის ყოველი განსაზღვრისას საჭიროა კვეთში სიღრმეების დეტალური გაზომვა აკუსტიკური პროფილოგრაფით ან საძირავით; საზომი ვერტიკალების მდებარეობა განისაზღვრება ნაპირიდან მენზურაზე ჭდეების აღნიშვნით კატარლიდან მიღებული სიგნალის მიხედვით. სიღრმეების გაზომვა საძირავით ხდება ორი სვლით ხერხისმაგვარ ტრაექტორიაზე: ზემოთ–დინების მიმართულებით კატარლა გადაადგილდება ირიბი მიმართულებით, ხოლო ქვემოთ–თავისუფლად მოყვება დინებას. თავისუფლად მცურავი გემის კვეთში გავლის მომენტში ზომავენ სიღრმეს და აწვდიან სიგნალს ნაპირზე საზომი ვერტიკალის დასანიშნად კუთხსაზომი ინსტრუმენტის საშუალებით. სიღრმეებს ზომავენ ყოველ 10–12 მ-ზე მდინარის სიგანეზე. წყლის ხარჯების გაზომვის მონაცემების დამუშავება სასურველია გრაფიკული ხერხით.

კამერალურ სამუშაოებს ხარჯების გამოსათვლელად აწარმოებენ უშუალოდ კატარლაზე; გამოთვლების შედეგები მიეწოდება არა უგვიანეს ერთი საათისა გაზომვების დამთავრების შემდეგ; ამიტომ საჭიროა გამოთვლითი ტექნიკის შესაბამის საშუალებათა გამოყენება. წყლის ხარჯს კალაპოტის გადაღობვისათვის საჭირო სამუშაოების დასაწყისისათვის ღებულობენ ორ კვეთში პარალელურად გაზომილი ხარჯების შედარებისა და ანალიზის საფუძველზე.

სამუშაოები ქვაბულის დატბორვის პერიოდში და ზღუდარების წარეცხვის ინტენსივობის განსაზღვრა. ამ პერიოდის დაკვირვებები საშუალებას იძლევა თვალყური ვადევნოთ განაკადების წარმოქმნას ქვედა ზღუდარში და ქვაბულის შევსებას. განაკადების ზომებისა და დინების სიჩქარეების განსაზღვრა საშუალებას იძლევა დადგინდეს განაკადების გამტარუნარიანობა, რომელზედაც დამოკიდებულია ქვისა და ტეტრაედრების დაყრის დასაწყისი და ტემპი.

ქვაბულის დატბორვის დაწყებიდან დამთავრებამდე განუწყვეტელ დაკვირვებას აწარმოებენ ჰეს–ის შენობის, წყალსაშვიანი კაშხლისა და

ნაგავდამჭერი ნაგებობის ზედა და ქვედა ბიეფში მოწყობილი წყალსაზომი საგუშაგოების საშუალებით.

ქვედა ბიეფში ზღუდარისა და ქვაბულის ფსკერის (რისბერმის) წინ წყლის დონის ნიშნულების დიდი სხვაობის გამო ზღუდარის აფეთქების შემდეგ წყალი ძალზე სწრაფად რეცხავს განაკადს მთელი სიგრძე-სიგანით და იწყებს ქვაბულის დატბორვას ჰეს-ის, წყალსაშვიანი კაშხლისა და ნაგავდამჭერი ნაგებობის ჯერ ქვედა ბიეფის, ხოლო შემდეგ-ზედა ბიეფის მხრიდან. განაკადის წარეცხვა და ქვაბულის შევსება ხშირად ისე სწრაფად ხდება, რომ იწვევს ქვედა ზღუდარისპირა უბნის გამეჩეჩიანებას, რის შედეგადაც ნაპირთან მდგომი გემები და დებარკადერები შეიძლება მშრალზე აღმოჩნდეს. დიდ მდინარეებზე წინასწარ უნდა იქნეს გათვალისწინებული ამის შესაძლებლობა. ქვაბულის სწრაფმა დატბორვამ შეიძლება გამოიწვიოს მდინარეში უკუტალღის წარმოქმნა, რის გამოც საჭიროა ქვედა ბიეფში მის მოძრაობაზე დაკვირვებათა მოწყობა.

ქვედა ზღუდარის წარეცხვის ინტენსივობის განსაზღვრა ყველაზე უკეთესია თანმიმდევრობითი აეროფოტოგადაღების გზით. ამისათვის ზღუდარის მთელ სიგრძეზე წინასწარ ათავსებენ სასიგნალო ნიშნებს და განსაზღვრავენ განაკადში მათი წალეკვის მომენტებს. ქვაბულის დატბორვის შემდეგ ქვედა ზღუდარში წარმოქმნილი განაკადის ზომებს უკვე ადგენენ ჩვეულებრივი წესით სიღრმეებისა და მანძილების გაზომვის გზით.

ზედა ზღუდარის დარღვევის შემდეგ (მიწასათხრელი იარაღებით) აკვირდებიან წარეცხვის ინტენსივობას და განაკადების ზომების ცვლილებას სიღრმეების სისტემატური გაზომვის გზით აკუსტიკური პროფილოგრაფითა და საძირავით. ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა წარმოების სირთულის გამო სიღრმეებს ზომავენ მხოლოდ სამ გრძივ და ერთ განივ კვეთზე თითოეულ განაკადში. გრძივ კვეთებს ირჩევენ ნაკადის კიდეებსა და შუა ნაწილში; განივი კვეთი კი უნდა უთავსდებოდეს ზღუდარის ღერძს. საზომ ვერტიკალებს ნიშნავენ ორი მენზურით. ზღუდარის განაკადებში გამავალ წყლის ხარჯებს გამოითვლიან ჰიდრომეტრიული ტრიალათი კატარდიდან; სიჩქარეებს ზომავენ ვერტიკალის ორ წერტილში. განაკადების გამტარუნარიანობის გაზომვის მონაცემები საშუალებას

იმლევა დასაბუთებულად განისაზღვროს მდინარის კალაპოტის გადაღობვისათვის საჭირო სამუშაოთა დასაწყისი.

წყლის დონეთა ვარდნილებისა (სხვაობის) და ხარჯების განაწილების განსაზღვრა მდინარის კალაპოტსა და ბეტონის ნაგებობებს შორის. დონეთა სხვაობების განსაზღვრა ნაკადის ძირითადი კალაპოტიდან ნაგებობაზე გადასვლისას შესაძლებლობას იძლევა შედარებულ იქნეს ისინი მათსავე დასაშვებ საპროექტო სიდიდეებთან. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მონაცემები, რომლებიც ახასიათებენ წყლის ხარჯების გადანაწილებას მდინარის კალაპოტსა და ბეტონის ნაგებობებს შორის. ბეტონის ნაგებობებზე ნაკადის გადაყვანის ტემპი და კალაპოტში ჩაყრილი მასალის რაოდენობა უშუალოდ არის ერთმანეთთან დაკავშირებული.

წყლის დონეთა სხვაობები საჭიროა განისაზღვროს ბანკეტზე, ზღუდარებზე, ჰიდროკვანძის ბეტონის ნაგებობებზე და გამყვან ტრაქტში. დაკვირვებები წყალსაზომ საგუშაგოებზე უნდა მოეწყოს შემდეგ ვადებში: ნაგებობებზე–ყოველ 1–2 სთ–ში, ბანკეტის ბიეფებში–ყოველ 2 სთ–ში (ქვაბულის დატბორვის მომენტიდან გადაღობვის დაწყებამდე) და ყოველ 1 სთ–ში–გადაღობვის პერიოდში; გამყვან ტრაქტში–დღეღამეში სამჯერ (8,14 და 20 სთ).

დაკვირვებებს ნაკადის ძირითადი კალაპოტიდან ნაგებობებზე გადასვლისას იწყებენ ზედა ზღუდარის გარღვევისთანავე. ძირითად კალაპოტში ბანკეტის წინ ხარჯებს ზომავენ მთელი დღეღამის განმავლობაში, განაკადებსა და ქვედა ბიეფის ჩამკეტ კვებებში–2–3–ჯერ დღეღამეში. ძირითად კალაპოტში და ზედა ბიეფის განაკადებში წყლის ხარჯების დამუშავება ხდება კატარღაზე. მონაცემები საველე სამუშაოთა დამთავრებისთანავე გადაეცემა ოპერატიულ ჰიდროლოგიურ ჯგუფსა და მდინარის გადაღობვის სამუშაოთა შტაბს. ამ მონაცემებს უდარებენ ლაბორატორიულ პირობებში დადგენილ ნაგებობათა გამტარუნარიანობას.

საბრჯენი პრიზმის აგების პროცესში დონეთა სხვაობები თანდათანობით იზრდება. კალაპოტის გადაღობვის გადამწყვეტ ეტაპზე–მძიმე ტეტრაედრების (10 ტ–მდე წონით) ჩაყრისას–დონეთა სხვაობა ძალზე სწრაფად იზრდება. განაკადის თავისუფალ ზედაპირზე ტეტრაედრების გამოჩენის შემდეგ და აგრეთვე ბეტონის

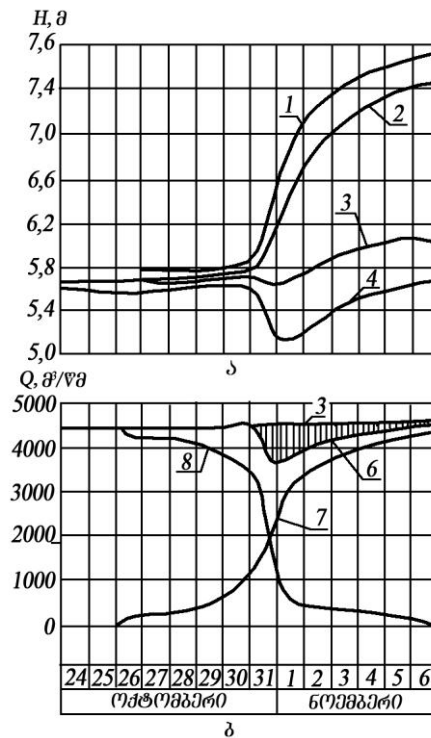
კუბებისა (1 ტ–მდე წონით) და ქვის დაყრის პროცესში (ბანკეტში ფილტრაციის შემცირების მიზნით) დონეთა სხვაობის მნიშვნელობები განაგრძობენ ზრდას.

მაგალითის სახით 78–ე ნახაზზე გამოსახულია დონეთა რხევისა და ხარჯების განაწილების გრაფიკები ეს ვოლგოგრადთან, აღმოსავლეთ ევროპის ერთ-ერთი დიდი მდინარის ვოლგის კალაპოტის გადაღობვის პერიოდში.

წყალსაცავის მააკუმულირებელი უნარი მოცემულია მოდინების ხარჯსა და ქვედა ბიეფში წყლის ხარჯს შორის სხვაობის სახით (78, ბ ნახაზზე ეს ზონა დაშტრიხულია).

ბანკეტის ფორმისა და მდინარის კალაპოტის სიგანეზე დინების სიჩქარეთა განაწილების განსაზღვრა. ბანკეტის ფორმის ცოდნა კალაპოტის გადაღობვისას უკიდურესად აუცილებელია, რადგანაც ეს იძლევა ქვის (საბრჯენი პრიზმის აგებისას) და ტეტრაედრების (კალაპოტის გადაღობვისას) დაყრის პროცესის რეგულირების საშუალებას.

სიღრმეებს ბანკეტზე ზომავენ აკუსტიკური პროფილოგრაფით. კონტროლისათვის სასურველია საძირავით გაზომვა. დიდი სიჩქარეების გამო საჭიროა გამოყენებულ იქნეს მძიმე ჰიდრომეტრიული ტვირთები (350 კგ წონის). საძირავს უშვებენ ავტოამწის საშუალებით. გაზომვები შეიძლება შესრულდეს ტივტივა ხიდზე ავტომანქანის ნელი სვლის დროს.



ნახ. 78. დონეთა რხევისა (ა) და წყლის ხარჯების განაწილების (ბ) გრაფიკები ვოლგოგრადთან მდ. ვოლგის გადაღობვის მომენტში (1958 წ.):

1–ბანკეტის ზედა ბიეფში; 2–ჰეს–ის ბეტონის ნაგებობათა ზედა ბიეფში; 3–ჰეს–ის ბეტონის ნაგებობათა ქვედა ბიეფში; 4–ბანკეტის ქვედა ბიეფში; 5–ზედა ბიეფში; 6–ქვედა ბიეფში; 7–ბეტონის ნაგებობებზე; 8–ბანკეტზე

პროფილოგრაფის მიმღებ–გადამწოდ მოწყობილობას წყალში უშვებენ ტივტივათი (§5) და ხელსაწყოს მარეგისტრირებელი ნაწილიდან აცილებენ 75 მ–ით. სიღრმეებს ზომავენ ბანკეტის გრძივ და განივ პროფილებში ტივტივა ხიდის ქვემოთ. ამგვარი გზით ოპერატიულად დებულობენ აუცილებელ ცნობებს განაკადის სიგანის ყოველ უბანზე ბანკეტის აგების მდგომარეობის შესახებ. ყოველივე ეს იძლევა ბანკეტის თანაბრად აგების შესაძლებლობას, რადგანაც ჰიდროლოგები მაშინვე გადასცემენ მიღებულ ცნობებს მოძრავი ავტომანქანის მეთვალყურეს მასალის დაყრის ადგილის მითითებით.

დინების სიჩქარეებს ზომავენ ქვების მიმოფანტვის სავარაუდო ზონის საზღვრებში, კერძოდ, ხიდის წიბოდან 10, 20 და 50 მ–ით დაცილებულ განივკვეთებში. გრძივი კვეთები განლაგებულია ყოველ 10–20 მ–ზე. დაცემის წირზე სიჩქარეთა გასაზომად ჰიდრომეტრიული ტრიალას გამოყენების სირთულის გამო ზომავენ მხოლოდ ზედაპირულ სიჩქარეებს საზღვაო სიჩქარის

საზომი ხელსაწყო საშუალებით. ბანკეტის აგების პროცესში სიჩქარეები იზრდება და მაქსიმალურ მნიშვნელობას (≈ 5 მ/წმ) ნაგებობის დამთავრებისას აღწევს. მოდინებული ხარჯის ბეტონის ნაგებობებზე გადაგდებისას წყლის დინების სიჩქარეები ბანკეტზე მკვეთრად მცირდება.

§ 18. წყლის ხარჯების განსაზღვრა სადაწნეო მილსადენებში

წყლის ხარჯების განსაზღვრის ზემოთ მოყვანილი თითქმის ყველა ხერხი გამოსადეგია დაწნევითი ნაკადისათვისაც, თუმცა თავისუფალი ზედაპირის არარსებობა ამ შემთხვევაში ქმნის მათი გამოყენების სპეციფიკურ პირობებს.

ჰიდრომეტრიული ხერხებიდან ფართოდაა გამოყენებული ფართობ–სიჩქარის ხერხი, რომლის დროსაც წყლის დინების სიჩქარეების გაზომვა უმთავრესად ხდება ჰიდრომეტრიული ტრიალათი და მილაკებით. გაზომვის პროცესი შეიძლება მთლიანად იქნეს ავტომატიზებული. თუ ტრიალა დაწნევით ნაკადში ისე მუშაობს, რომ მის ფრთებსა და მილის შიგა ზედაპირს შორის ღრეჩო მცირეა, მაშინ მის მიერ გაზომილი სიჩქარის მნიშვნელობა ახლოსაა ნაკადის საშუალო სიჩქარის მნიშვნელობასთან ($v = \frac{Q}{\omega}$); ამიტომ მისი ჩვენებები უშუალოდ ხარჯთანაა დაკავშირებული.

ასეთ ტრიალას, რომელიც ხარჯის საზომ ფუნქციებს ასრულებს, სიჩქარით ხარჯსაზომს უწოდებენ. წყალმომარაგებაში ისინი სიჩქარეთა წყალსაზომების სახელწოდებითაა ცნობილი.

წყლის ხარჯების განსაზღვრის ჰიდრავლიკური ხერხები მრავალგვარია, თუმცა ისინი შეიძლება დავაჯგუფოთ გაზომვის პრინციპით:

ნაკადის შევიწროებით გამოწვეული წნევის ვარდნილის ცვლილების მიხედვით;

ნაკადის მოხვეულობით (მილსადენების მუხლების გამოყენებით, ტურბინების სპირალური კამერების გამოყენებით და სხვ.) გამოწვეული წნევის ვარდნილის ცვლილების მიხედვით; ჰიდრავლიკური დარტყმის დროს წნევის ცვლილების მიხედვით.

ხარჯების გასაზომად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მუხლი ორი სახით: წნევის ვარდნილის გაზომვის გზით მილის მოხვეულობის წინ და შემდეგ და ერთი და იგივე რადიალური კვეთის სხვადასხვა რადიუსებზე.

შერევის ხერხი წარმატებით გამოიყენება დაწნევითი ნაკადის ხარჯების გასაზომად. განვითარებული ტურბულენტობის აუცილებელი პირობა აქ დაცულია ჰიდრავლიკურ მანქანებში (ტურბინები, ტუმბოები), საკეტებში, ონკანებში და საერთოდ ადგილობრივ წინააღმდეგობებში ნაკადის გავლისას.

ადგილობრივი სიჩქარეებით დაწნევითი ნაკადის ხარჯის განსაზღვრის თავისებურებანი. ხარჯების განსაზღვრის ეს ხერხი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ან მთელი ცოცხალი კვეთის ფარგლებში ადგილობრივ სიჩქარეთა განაწილების გათვალისწინებით, ან ერთ რეპრეზენტატულ წერტილში ადგილობრივი სიჩქარის გათვალისწინებით. სადაწნეო წყალსატარები წარმოადგენს ჰიდროტექნიკური ნაგებობებისა და ჰესების, სამრეწველო დანადგარების, მანქანების, ნავთობსადენებისა და წყალსადენების ელემენტებს. ზოგად შემთხვევაში ჰიდრომეტრიულ კვეთებს ირჩევენ იქ, სადაც გაზომილი ხარჯი უტოლდება მანქანაში ან ნაგებობაში გამავალ ხარჯს. ჰიდრომეტრიულ კვეთში უნდა იყოს მდოვრედცვლადი მოძრაობა. თუ ეს პირობა არ სრულდება, აუცილებელია გაიზომოს ჭავლის გადახრები ცოცხალი კვეთის ნორმალზე სიჩქარის გეგმილის დასადგენად.

განვიხილოთ ხარჯების გაზომვის თანამიმდევრობა წრიული კვეთის სადაწნეო მილებში. რგოლური ფორმის ელემენტარულ ფართობში გამავალი ხარჯი

$$dQ = 2\pi r u dr,$$

ამიტომ

$$Q = 2\pi \int_0^{r_0} u r dr. \quad (174)$$

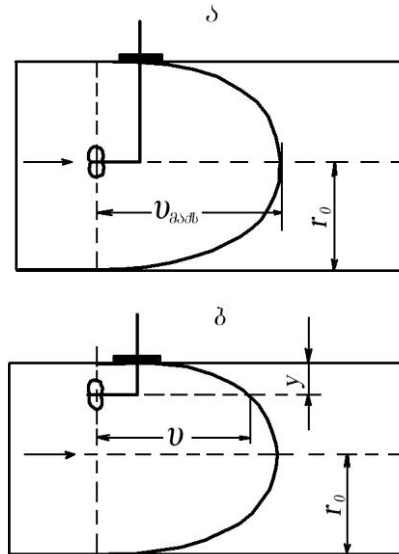
თუ ავაგებთ ur ნამრავლის ცვლილების ეპიურას r -ის მიხედვით და განვსაზღვრავთ ამ ეპიურით შემოსაზღვრულ ფართობს, ვიპოვიტ (174) განტოლებაში შემავალი ინტეგრალის მნიშვნელობას, რომლის გამრავლებაც 2π -ზე მოგვცემს წყლის ხარჯის სიდიდეს. დაწნევითი ნაკადის ხარჯის გაანგარიშების მეთოდიკა იზოტაქებისა და ტაქიგრაფიული მრუდის აგებით თითქმის არ განსხვავდება მე-12 პარაგრაფში მოყვანილი მეთოდიკისაგან.

ხარჯის განსაზღვრა ერთი გაზომილი სიჩქარითი მილსადენის წრიულ კვეთში ხდება ორ ვარიანტად: სიჩქარის საზომს ათავსებენ მილის ცენტრში ან იმ

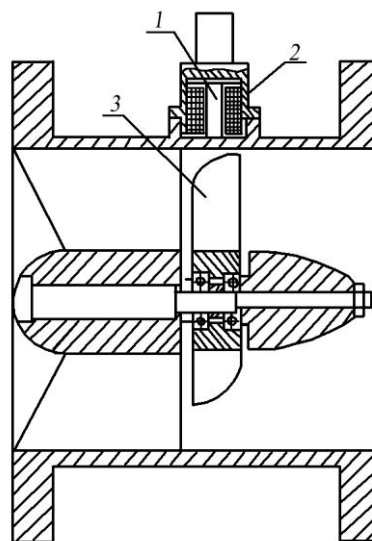
წერტილში, რომელშიც ადგილობრივი u სიჩქარე ნაკადის v საშუალო სიჩქარის ტოლია (ნახ. 79). მათგან პირველი აზრობრივად იმ ხერხის ანალოგიურია, რომელსაც შეესაბამება ფორმულა (128).

Q ხარჯს ვიპოვით, თუ ვისარგებლებთ ნაკადის საშუალო სიჩქარის ფარდობითი დეფიციტის გამოსახულებით (§ 13):

$$D = \frac{v_{\text{შეშ}} - v}{v_*} = \frac{v_{\text{შეშ}} - v}{\sqrt{gRI\beta}},$$



ნახ. 79. მრგვალი კვეთის მილში დაწნევითი ნაკადის ხარჯების განსაზღვრის სქემები: ა–გაზომილი უდიდესი (მაქსიმალური) სიჩქარის მიხედვით; ბ–იმ წერტილში გაზომილი ადგილობრივი სიჩქარის მიხედვით, რომელშიც $u = v$ –ს



ნახ. 80. სიჩქარეთა ხარჯსაზომის სქემა: 1–მაგნიტი; 2–კოჭა; 3–ტრიალას ფრთა სადაც $v_{\text{შეშ}}$ არის ადგილობრივი სიჩქარე მილის ცენტრში;

$R = 0,25d$ – მილის ჰიდრავლიკური რადიუსი;

d – მილის შიგა დიამეტრი, მ–ობით;

$I_{\text{ჰ}}$ – პიეზომეტრული ქანობი.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $Q = \omega v$ –ს, ვიპოვით:

$$Q = (v_{\text{ავს}} - 0,5D\sqrt{gdI_{\text{ჰ}}})\omega. \quad (175)$$

D ცვლადი სიდიდე წრიული სადაწნეო მილსადენისათვის შეიძლება განისაზღვროს ფ. შეველევას მიხედვით:

d , მ 0,01 0,025 0,05 0,10 0,25 0,50 1,00 1,50

D 2,93 3,15 3,34 3,53 3,79 4,01 4,24 4,40

მეორე ხერხის მიხედვით $Q = u_{0,24}\omega$, სადაც $u_{0,24}$ არის სიჩქარე წერტილში, რომელშიც $u_{0,24} = v$. ეს წერტილი მდებარეობს მილის კედლიდან $y_{\text{ტ}} = 0,24r_0$ მანძილზე. ხარჯის განსაზღვრის ხერხები $v_{\text{ავს}}$ და $u_{0,24}$ სიჩქარეების მიხედვით ჰიდრავლიკურ–ჰიდრომეტრიულია.

წყლის ხარჯების განსაზღვრა სიჩქარითი ხარჯსაზომით. სიჩქარეთა ხარჯსაზომები აღჭურვილია ხარჯის მოძრავი გადამწოდით, რომელიც ჩვეულებრივად ამა თუ იმ კონსტრუქციის ჰიდრომეტრიულ ტრიალას წარმოადგენს. როტორის ბრუნთა რიცხვი წამში (n) წარმოადგენს მილსადენში გამავალი ხარჯის კრიტერიუმს. ასეთი ტიპის ხარჯსაზომის დასახასიათებლად აგებენ სატარირო მრუდს კოორდინატთა სისტემაში, რომლის ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია $\frac{n}{Q}$, ხოლო აბსცისათა ღერძზე– Q სიდიდე. იმ ზონაში, სადაც ხახუნი ხელსაწყოს მექანიზმი პრაქტიკულად გავლენას არ ახდენს როტორის ბრუნთა რიცხვზე, სატარირო მრუდს ჰორიზონტალური წირის სახე აქვს. n და Q სიდიდეებს შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება ტარირებით. როტორის ბრუნთა რიცხვის აღნუსხვა ხდება ელექტრული, ელექტრომაგნიტური, ფოტოელექტრული, რადიოაქტიური და სხვა ხერხებით. მე-80–ე ნახაზზე გამოსახულია ერთ–ერთი სიჩქარეთა ხარჯსაზომის (ტურბინის) სქემა, რომელშიც ბრუნვის მაგნიტურ–ინდუქციური გარდამქმნელის საშუალებით მექანიკური დატვირთვები მინიმუმამდეა დაყვანილი. ეს საშუალებას იძლევა სითხის ნებისმიერი წნევისას ხარჯსაზომი ექსპლოატაციის პირობებში იყოს ჰერმეტიკული, მგრძნობიარე და საიმედო. გაზომვის სიზუსტის გასადიდებლად ხარჯსაზომში

გამოყენებულია მუდმივმაგნიტიანი მაგნიტურინდუქციური გარდამქმნელით ტრიალას ბრუნვის ელექტრულ სიგნალებად გარდაქმნის სიხშირითი მეთოდი. გარდამქმნელის მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს მაგნიტური ნაკადის პერიოდულ გარდაქმნაში, რაც ხორციელდება ტრიალას ფრთასა - 3 და მაგნიტს - 1 შორის არსებული მუშა ღრეჩოს ცვლილებით. ამ დროს წარმოქმნილი მაგნიტური ნაკადის პულსაცია აღძრავს ელექტრომამოძრავებელ ძალას (ემძ) კოჭაში - 2. ემძ-ის სიხშირე ტრიალას ბრუნთა რიცხვის და, მაშასადამე, ხარჯის პროპორციულია. ხარჯსაზომი მუშაობს ოსცილოგრაფებთან ან ელექტროგამომთვლელ და საზომ მოწყობილობებთან კომპლექტში. წყლის ხარჯის გაზომვის ცდომილება ხარჯსაზომის გამოყენების მუშა დიაპაზონში ($Q = 0,5 \div 300$ ლ/წმ) შეადგენს $\pm(0,5 - 1,0) \%$ -ს.

წყლის ხარჯების გაზომვა ნაკადის შემავიწროებელი მოწყობილობით. ვიგულისხმობთ, რომ სადაწნეო მილსადენში დადგმულია მოწყობილობა დიაფრაგმა (საქშენი ან ვენტურის მილი), რომელიც იწვევს ნაკადის ადგილობრივ შევიწროებას. ნაკადის შევიწროების გამო მისი პოტენციური ენერგიის ნაწილი გადადის კინეტიკურში, ნაკადის სიჩქარე იზრდება, ამიტომ სტატიკური წნევა შევიწროებულ კვეთში უფრო ნაკლებია, ვიდრე შემავიწროებელი მოწყობილობის გამოყენებამდე. წნევის ვარდნილი სითხის ხარჯის პროპორციულია, რაც მტკიცდება უკუმშველი სითხის ნაკადის 1-1 და 2-2 კვეთებისათვის შედგენილი ბერნულის განტოლებისა და უწყვეტობის ჰიდრავლიკური განტოლების ერთობლივი ამოხსნით (იგულისხმება, რომ მილსადენი ჰორიზონტალურია და დინება ადებულ კვეთებში მდოვრედცვლადია):

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \xi_{1-2} \frac{v_2^2}{2g}, \quad (176)$$

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2, \quad (177)$$

სადაც p_1, p_2 არის სტატიკური წნევები, შესაბამისად, 1-1 და 2-2 კვეთებში,

v_1, v_2 – საშუალო სიჩქარეები 1-1 და 2-2 კვეთებში;

α_1, α_2 – კორიოლისის კოეფიციენტები 1-1 და 2-2 კვეთებში;

ξ_{1-2} – ჰიდრავლიკურ წინააღობებზე ენერგიის დანაკარგის კოეფიციენტი.

ამ განტოლებათა ამოხსნის შედეგად ვიპოვიით v_2 სიჩქარეს შევიწროებულ კვეთში:

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{\alpha_2 - \alpha_1 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 + \xi_{1-2}}} \sqrt{2g \frac{p_2 - p_1}{\gamma}}. \quad (178)$$

ფარდობას $\frac{\omega_2}{\omega_0} = \varepsilon$ ჭავლის კუმშვის კოეფიციენტი ეწოდება, სადაც ω_0 არის შემავიწროებელი მოწყობილობის ხვრეტის ფართობი. სითხის ხარჯის საანგარიშო ფორმულა

$$Q = \omega_2 v_2 = \varepsilon \omega_0 v_2.$$

თუ ამ ფორმულაში v_2 -ის მნიშვნელობას ჩავსვამთ (178) გამოსახულებიდან, $\frac{\omega_0}{\omega_1} = \left(\frac{d}{D}\right)^2$ ფარდობას აღვნიშნავთ m -ით (შემავიწროებელი მოწყობილობის მოდული) და $p_1 - p_2$ სხვაობას შევცვლით $\psi \Delta p$ -თი (80-ე ნახაზზე p_{Φ} -თი აღნიშნულია წნევის დანაკარგი შემავიწროებელ მოწყობილობაში), მივიღებთ

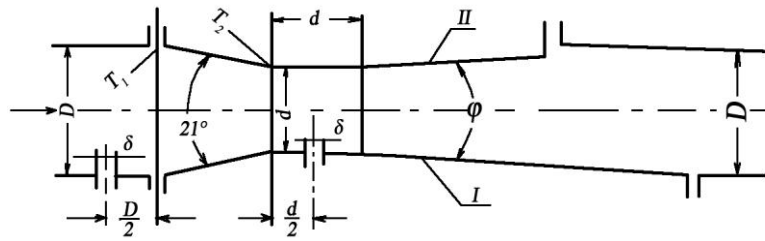
$$Q = \left(\varepsilon \sqrt{\frac{\psi}{\alpha_2 - \alpha_1 \varepsilon^2 m^2 + \xi_{1-2}}} \right) \omega_0 \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}}, \quad (179)$$

სადაც Δp არის წნევათა სხვაობა შემავიწროებელი მოწყობილობის ბოლო კვეთებს შორის;

ψ -კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კვეთების მდებარეობას Δp გასაზომად.

თუ ფრჩხილებში მოთავსებულ გამოსახულებას აღვნიშნავთ α_0 -ით მაშინ (179) გამოსახულება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$Q = \alpha_0 \omega_0 \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}}. \quad (180)$$



ნახ. 82. ვენტურის ნორმალური მილი: I–გრძელი; II–მოკლე; მომრგვალების რადიუსები: $r_1 \leq 1,3D$; $3,5 \leq r_2 \leq 3,75d$

Q ხარჯის გასაგებად საჭიროა მანომეტრით ან პიეზომეტრით გაიზომოს $\frac{\Delta p}{\gamma}$ სიდიდე. სტატიკურ წნევათა შერჩევა ხორციელდება რგოლური კამერების საშუალებით, რომლებიც მილის შიგა ღრუსთან დაკავშირებულია ექვსი ხვრეტით. ცალკეული ხვრეტის დიამეტრს– δ –ს ნიშნავენ D –ს მიხედვით შემდეგი პირობის დაცვით: $1\text{ მმ} \leq \delta \leq 10\text{ მმ}$. ნორმალურ შემავიწროებელ მოწყობილობათა ხარჯის კოეფიციენტებს (α_0) ადგენენ გრაფიკებიდან m –ის, D –ს და რეინოლდსის რიცხვის მიღებით.

თ ა ვ ი V. დამოკიდებულება დონეებსა და წყლის ხარჯებს შორის და მდინარის ჩამონადენი

§ 19. ცალსახა დამოკიდებულება დონეებსა და წყლის ხარჯებს შორის

წყლის ხარჯებზე დონეების დამოკიდებულების ჰიდრავლიკური დასაბუთება. ნაკადის ჰიდრავლიკურ ელემენტებს შორის კავშირი გამოისახება მოძრაობის განტოლებებით, რომლებიც ჰიდრავლიკაში შეისწავლება. შედარებით რთულია სითხის არადამყარებული მოძრაობა არაპრიზმულ კალაპოტში, რომელსაც ადგილი აქვს მდინარეებში წყალუხვობის დროს.

მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას შედარებით მარტივი შემთხვევისათვის, კერძოდ, დამყარებული მდოვრედცვლადი არათანაბარი მოძრაობისათვის, აქვს შემდეგი სახე:

$$-dz = d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \frac{v^2}{c^2 R} dl, \quad (181)$$

სადაც z არის წყლის ზედაპირის ნიშნული (დონე).

თუ (181) გამოსახულებაში ჩავსვამთ $v = \frac{Q}{\omega}$ მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$-dz = d\left(\frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2}\right) + \frac{Q^2}{c^2\omega^2 R} dl. \quad (182)$$

(182) განტოლებიდან ჩანს, რომ დონის ცვლილება dz განპირობებულია ნაკადის მრავალი ჰიდრავლიკური ელემენტით, ამიტომ წყლის დონესა და ხარჯს შორის კავშირი ზოგად შემთხვევაში ცალსახა არ არის.

თანაბარი მოძრაობის დროს $d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) = 0$; მაშინ (182) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$-dz = \frac{v^2}{c^2 R} dl = \frac{Q^2}{c^2 \omega^2 R} dl.$$

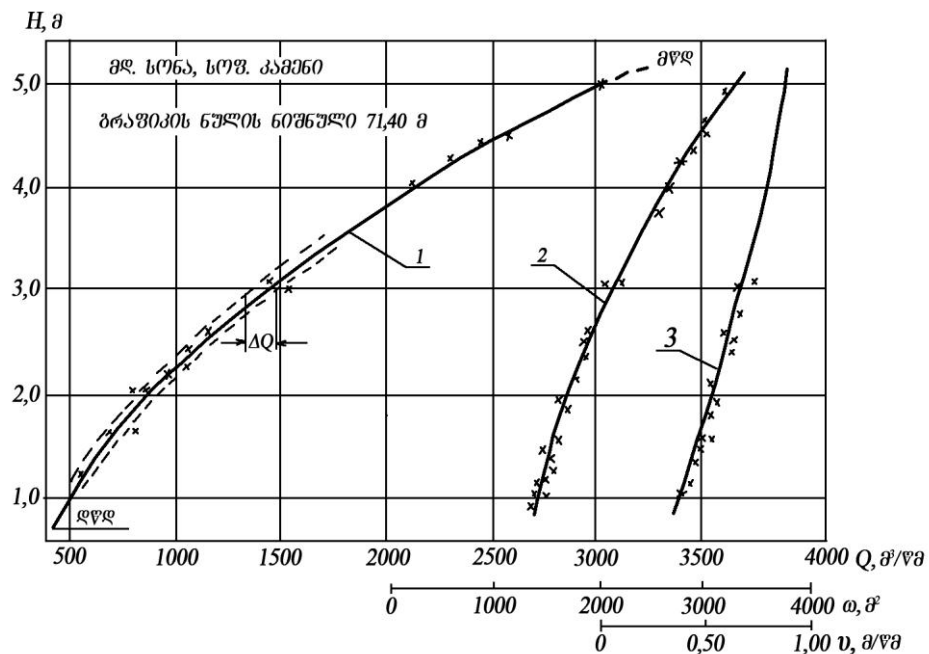
აღვნიშნოთ წყლის ზედაპირის ქანობი $I = -\frac{dz}{dl}$ -ით; მაშინ ბოლო გამოსახულებიდან მივიღებთ:

$$C\omega\sqrt{R} = \frac{Q}{\sqrt{I}}. \quad (183)$$

$\omega\sqrt{R}$ ნამრავლი წარმოადგენს ნაკადის სიღრმის და, მაშასადამე, წყლის დონის (H) ფუნქციას. შეზის კოეფიციენტი (C) დამოკიდებულია R -ზე (ან $h_{საშ}$ -ზე) და n ხორკლიანობის კოეფიციენტზე. ხორკლიანობის ცოდნის შემთხვევაში (როცა ის არ არის ნაკადის სიღრმეზე დამოკიდებული), (183) განტოლების მარცხენა მხარე ხდება H დონის ფუნქცია. აქედან, მივდივართ დასკვნამდე, რომ არსებობს ფუნქციონალური დამოკიდებულება H დონესა და $\frac{Q}{\sqrt{I}}$ ხარჯის მახასიათებელს შორის. ცნობილი და უცვლელი ქანობის შემთხვევაში არსებობს $H = H(Q)$ სახის ცალსახა ფუნქციონალური დამოკიდებულება. H -სა და Q -ს შორის დამოკიდებულებას ეწოდება ცალსახა, თუ Q -ს ნებისმიერ მნიშვნელობას შეესაბამება H -ის მხოლოდ ერთი მნიშვნელობა. წყლის დონესა და ხარჯს შორის გრაფიკულად გამოსახულ დამოკიდებულებას ხარჯების მრუდი ეწოდება. H -სა და Q -ს შორის ცალსახა დამოკიდებულების მთავარ პირობას, როგორც ეს (183) განტოლებიდან გამომდინარეობს, წარმოადგენს წყლის თანაბარი მოძრაობა. ეს კავშირი ირღვევა მრავალი ფაქტორის არსებობის გამო, მაგალითად, დაუმყარებელი მოძრაობისას, და მაშინ წყლის ერთი და იმავე ხარჯის შემთხვევაში შეიმჩნევა სხვადასხვა დონე და, მაშასადამე, კალაპოტის სხვადასხვა შევსება. ამიტომ აუცილებელია განვასხვაოთ H -სა და Q -ს შორის ცალსახა და არაცალსახა დამოკიდებულება.

$h_{\text{საშ}}$ სიღრმესა (ან H დონეს) და ხარჯს შორის დამოკიდებულება გამოისახება მრუდით, რომელიც ამოზნექილობით მიმართულია $h_{\text{საშ}}$ (ან H) ღერძისაკენ (ნახ. 83). მდინარის ნაკადის პირობებში H -ის გაზრდა ყოველთვის არ იწვევს საშუალო სიღრმის ($h_{\text{საშ}}$) ზრდას, რაც ართულებს $H = H(Q)$ დამოკიდებულების სახეს.

ჰიდრავლიკური თვალსაზრისით არგუმენტი არის Q ხარჯი, ხოლო ფუნქცია – H დონე, ე. ი. $H = H(Q)$; მაგრამ რადგანაც ჰიდრომეტრიაში ასეთი დამოკიდებულებები გამოიყენება Q -ს გამოსათვლელად–გაზომილი H -ის მიხედვით (თუ $H = H(Q)$ წინასწარ დადგენილია), ამიტომ პრაქტიკული თვალსაზრისით ღებულობენ, რომ $Q = Q(H)$. ხარჯის მრუდებს ფართოდ იყენებენ ჰიდრავლიკურ გაანგარიშებებში, მაგალითად, შეტბორვის წირების აგებისას, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ბიეფების შეუღლების გაანგარიშებისას, ხიდი ხვრეტების გაანგარიშებისას და სხვ. $Q = Q(H)$ მრუდი წარმოადგენს მდინარის ნაკადის უმნიშვნელოვანეს ჰიდრავლიკურ მახასიათებელს და საფუძვლად უდევს წყლის ჩამონადენის გაანგარიშებას.



ნახ. 83. ცალსახა მრუდების მაგალითი:

$$1 - Q = Q(H); 2 - \omega = \omega(H); 3 - v = v(H)$$

იმ პერიოდის ხანგრძლივობის მიხედვით, რომელშიც H -სა და Q -ს შორის დამოკიდებულება ცალსახაა, განასხვავებენ დროებით და მრავალწლიურ

ხარჯების მრუდს. საორიენტაციოდ თვლიან, რომ პირველის მოქმედების ვადა შემოიფარგლება ორი წლით, ხოლო მეორის—უფრო ხანგრძლივი პერიოდით.

ცოცხალი კვეთის ფართობებისა და საშუალო სიჩქარეების მრუდები. მათი ურთიერთკავშირი წყლის ხარჯების მრუდებთან. გრაფიკულ დამოკიდებულებას ცოცხალი კვეთის ფართობსა (ω) და დონეს (H) შორის ნაკადის ცოცხალი კვეთის ფართობთა მრუდი ეწოდება.

ნაკადის სწორკუთხა ფორმის ცოცხალი კვეთისათვის დაფერდების კოეფიციენტი $m = ctg\beta = 0$ -ს, სადაც β არის კუთხე ნაპირის გვერდით კედელსა (გარეთა მხრიდან) და ჰორიზონტალურ სიბრტყეს შორის. ნათელია, რომ H -სა და ω -ს შორის კავშირი იქნება წრფივი. როცა $m \neq 0$ -ს, $\omega = \omega(H)$ დამოკიდებულება ხდება არაწრფივი.

მდინარის ნაკადის დამახასიათებელი თავისებურება ისაა, რომ რაც მეტია H დონე, მით დამრეცია მისი ნაპირები. თუ ცოცხალ კვეთში გამოვყოფთ ელემენტარულ ფართობს, ვიპოვიტ: $d\omega = B dH$, საიდანაც $\frac{dH}{d\omega} = \frac{1}{B}$. რაც მეტია B სიგანე, მით ნაკლებია $\frac{dH}{d\omega}$ წარმოებული, რომელიც ახასიათებს მხების დახრას $\omega = \omega(H)$ მრუდის წერტილებში; მაშასადამე, ცოცხალი კვეთის ფართობების მრუდი ამოზნექილობით მიმართულია H ღერძისაკენ (ნახ. 83).

$\omega = \omega(H)$ გრაფიკს აგებენ სიღრმეების გაზომვისა და ნაპირების ნიველირების მონაცემების საფუძველზე; ამასთან, ნაპირების ნიველირება ხდება წყლის კიდიდან იმ ნიშნულამდე, რომლებიც აჭარბებენ მაღალი წყლების მრავალწლიურ დონეს (მწდ). მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული, რომ წყლის ზედაპირის (წყალსაცავის თავისუფალი ზედაპირის) საპროექტო ნიშნულები მაღალდაწნევიანი კაშხლის აგების შემდეგ შეიძლება მწდ-ს ნიშნულებზე მეტი აღმოჩნდეს; ასეთ შემთხვევაში ნოლა კალაპოტისა და მდელის განივი პროფილების ნიველირება უნდა მოხდეს ისეთ ნიშნულებამდე, რომლებიც საპროექტო ნიშნულებს აჭარბებენ. $\omega = \omega(H)$ მრუდი ახასიათებს კალაპოტის მორფომეტრიას; უმეტეს შემთხვევაში ის შეიძლება მიღებულ იქნეს 2%-მდე სიზუსტით.

ნაკადის საშუალო სიჩქარესა ($v = \frac{Q}{\omega}$) და დონეს (H) შორის გრაფიკულ დამოკიდებულებას ნაკადის საშუალო სიჩქარეთა მრუდი ეწოდება. დავუშვათ,

რომ $R \approx h_{\text{სგ}} = \frac{\omega}{B}$, ხოლო შეზის კოეფიციენტის (C) საანგარიშოდ თუ ვისარგებლებთ ნ. პავლოვსკის ფორმულით; მაშინ (183) გამოსახულება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$h_{\text{სგ}}^{y+0,5} = \frac{n}{\sqrt{I}} v. \quad (184)$$

თუ პირველი მიახლოებით ჩავთვლით, რომ n , I და y არ არიან დამოკიდებული $h_{\text{სგ}}$ -ზე, ვიპოვიტ:

$$\frac{dh_{\text{სგ}}}{dv} = - \frac{n\sqrt{h_{\text{სგ}}}}{(y+0,5)\sqrt{I}h_{\text{სგ}}^y} = \frac{h_{\text{სგ}}}{(y+0,5)C\sqrt{h_{\text{სგ}}I}} = \frac{h_{\text{სგ}}}{(y+0,5)v}.$$

ეს გამოსახულება ახასიათებს $h_{\text{სგ}} = h_{\text{სგ}}(v)$ მრუდის დახრას v ღერძის მიმართ. როცა $y = 0$ -ს, მაშინ (184) განტოლება წარმოადგენს მეორე რიგის პარაბოლას $h_{\text{სგ}}$ ვერტიკალური ღერძით. თუ დავუშვებთ, რომ $\frac{dh_{\text{სგ}}}{dv} \approx \frac{dH}{dv}$, მივაღწეოთ იმ დასკვნამდე, რომ $v = v(H)$ მრუდი ამოხსენილობით მიმართულია v ღერძისადმი. y -ის დიდი მნიშვნელობების დროს ($y \approx 0,5$) $v = v(H)$ დამოკიდებულება წრფივ ფუნქციას უახლოვდება.

მონაცემები $\omega = \omega(H)$ მრუდის ასაგებად თითქმის ყოველთვის საკმარისი რაოდენობით გვაქვს, მაშინ როდესაც $v = v(H)$ მრუდის აგება ხშირად გვიწევს სიჩქარეთა ველის გაზომვების შეზღუდული რაოდენობის პირობებში.

აღნიშნულ მრუდებს აგებენ ასეთი თანმიმდევრობით: $Q = Q(H)$; $\omega = \omega(H)$; $v = v(H)$ (თვლიან, რომ H ღერძი მიმართულია ვერტიკალურად, ნახ. 83). Q , ω და v სიდიდეების მასშტაბები სასურველია ისე შეირჩეს, რომ მრუდების ქორდებმა Q , ω და v ღერძებთან შეადგინონ, შესაბამისად, 45, 60 და 60°-იანი კუთხეები. (Q, H) , (ω, H) და (v, H) კოორდინატა შესაბამისი წერტილების გვერდით უნდა მიეწეროს წყლის გაზომილი ხარჯების უწყისში მითითებული ნომრები. თითქმის ყველა შემთხვევაში წერტილები ერთგვარად გაბნეულია, რაც აიხსნება აუცილებელი ცდომილებით ხარჯების გაზომვისას და $Q = Q(H)$ ფუნქციონალური დამოკიდებულების ცალსახობის დარღვევით.

უპირველეს ყოვლისა, უნდა აიგოს $Q = Q(H)$ ფუნქციის გასაშუალებული მრუდი ყინულის რეჟიმის არარსებობისას. მას მდოვრედ ატარებენ გაბნეულ წერტილების (Q, H) ზოლის შუაში. წერტილთა დიდი რიცხვის შემთხვევაში, რომლებიც დაახლოებით თანაბრად არიან განაწილებული დონეთა ამპლიტუდის ფარგლებში, მიზანშეწონილია მათი 10–12 ჯგუფად დაყოფა; თითოეული

ჯგუფისათვის უნდა გამოითვალოს Q და H -ის საშუალო მნიშვნელობები და ამ წერტილთა კოორდინატებზე გატარდეს წყლის ხარჯების მრუდი. შემდეგ უნდა აიგოს დამხმარე მომვლები მრუდი (ნახ. 83, წყვეტილი წირი). ეს წირები საშუალებას იძლევა უკეთესად განისაზღვროს ხარჯების მრუდის გასაშუალებული მდებარეობა და დადგინდეს, ცალსახაა თუ არა $Q = Q(H)$ ფუნქციონალური დამოკიდებულება. მომვლებ წირებს შორის ჰორიზონტალური მანძილი მასშტაბში (ΔQ) ახასიათებს წერტილების აბსოლუტურ გაზნევას, ხოლო $\frac{\Delta Q}{Q}$ ფარდობა – წერტილების ფარდობით გაზნევას. აქ Q არის გასაშუალებული მრუდიდან აღებული ხარჯი. თუ $\frac{\Delta Q}{2Q} \cdot 100$ სიდიდე მოთავსებულია წყლის ხარჯების გაზომვის სიზუსტის ფარგლებში, მაშინ $Q = Q(H)$ დამოკიდებულება შეიძლება ჩაითვალოს ცალსახად.

ანალოგიურად აგებენ $\omega = \omega(H)$ და $v = v(H)$ მრუდებს, ამასთან $\frac{\Delta v}{2v} \cdot 100 \leq 2-3\%$ (თუ სიჩქარეები გაზომილია ჰიდრომეტრიული ტრიალათი) და $\frac{\Delta \omega}{2\omega} \cdot 100 \leq 2-3\%$.

განხილული მრუდები დაკავშირებულია ერთმანეთთან, რაც გამოისახება ფორმულით $Q = \omega \cdot v$. ამიტომ მათი აგებისას მკაცრად უნდა დავიცვათ შემდეგი წესი: საშუალო სიჩქარის (v) ნამრავლი ცოცხალი კვეთის ფართობზე (ω) უნდა იძლეოდეს წყლის ხარჯს განსახილველ ჰიდრომეტრიულ კვეთში. ამაში მდგომარეობს $Q = Q(H)$, $\omega = \omega(H)$ და $v = v(H)$ მრუდების ურთიერთკავშირი. წყლის დონეები ამ მრუდების აგებისას შეიძლება მოცემულ იქნეს როგორც აბსოლუტური, ისე ფარდობით (გრაფიკის ნულიდან, ნახ. 83) ნიშნულებში.

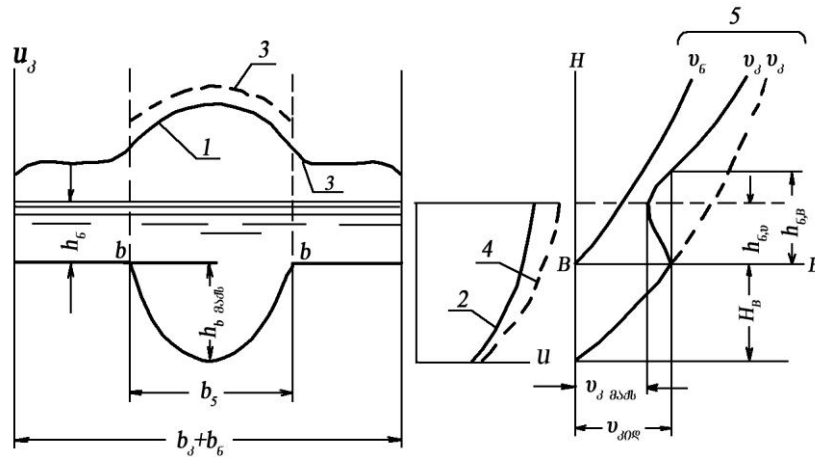
უდაწნეო ნაკადის კინემატიკური ეფექტი. წყლის მოძრაობისას მდინარეებში და რთული ფორმის არხებში ჰიდრავლიკური წინაღობები ნაკადის სიგანეზე შეიძლება მკვეთრად იცვლებოდეს. წარმოვიდგინოთ, რომ ძირითად კალაპოტს h_j სიღრმით და ნოღა კალაპოტს h_f სიღრმით აქვთ ერთნაირი აბსოლუტური ხორკლიანობა Δ_j და Δ_f . რადგანაც $h_j > h_f$, მიტომ ნოღა კალაპოტის $\frac{\Delta_f}{h_f}$ ფარდობითი ხორკლიანობა ყოველთვის მეტია კალაპოტის $\frac{\Delta_j}{h_j}$ ფარდობით ხორკლიანობაზე, რაც ქმნის განსხვავებას ძირითადი კალაპოტისა და ნოღა კალაპოტის ჰიდრავლიკურ

წინაღობათა შორის. მაგრამ თუ გავითვალისწინებთ, რომ თითქმის ყოველთვის $\Delta\epsilon > \Delta_p$, მაშინ განსხვავება წინაღობებში კიდევ უფრო მეტი გახდება. ამიტომ წყლის მოძრაობა ნოღა კალაპოტში წყალდიდობის დროს მიმდინარეობს კალაპოტისა და გამავალი ნაკადების რთული ურთიერთქმედების პირობებში.

ამით არის განპირობებული სიჩქარეთა დიდი გრადიენტები კალაპოტის კიდის მახლობლად, გრიგალების წარმოქმნა, მასის განივი ცვლა და ტურბულენტობის მაღალი ინტენსივობა. ყოველივე ამის გამო იზრდება ნაკადის ენერგიის დანაკარგები და მისი კინემატიკური სტრუქტურა ძირითად კალაპოტში არსებითად იცვლება; კერძოდ, მცირდება ადგილობრივი და საშუალო სიჩქარეები ძირითად კალაპოტში, ხოლო სიჩქარეები ნოღა კალაპოტში კიდის მახლობლად რამდენადმე იზრდება. სიჩქარეთა შემცირება ძირითად კალაპოტში არ კომპენსირდება ნოღა კალაპოტში სიჩქარის გაზრდით.

აღწერილი პროცესი თავს იჩენს მაშინაც, როცა სიღრმეები ნაკადის სიგანეზე ან არ იცვლება, ან იცვლება მდოვრედ, ხოლო ფსკერი ხასიათდება ხორკლიანობის მკვეთრი ცვლილებით. თავის მხრივ, ეს უკანასკნელი იწვევს ფარდობითი ხორკლიანობის და, მაშასადამე, ჰიდრავლიკურ წინაღობათა ცვლილებასაც. კალაპოტის სიგანეზე სხვადასხვა ჰიდრავლიკური წინაღობის მქონე უდაწნეო ნაკადების ურთიერთქმედების მოვლენას, რომელიც განაპირობებს სიჩქარეთა შემცირებას ნაკადში ფსკერის ნაკლები ფარდობითი ხორკლიანობით, უდაწნეო ნაკადის კინემატიკური ეფექტი ეწოდება. ეს მოვლენა პირველად შეამჩნია და შეისწავლა ცნობილმა მკვლევარმა გ. ჟელეზნიაკოვმა 1947–1948წწ. შემდგომში მან დასაბუთება პოვა მრავალი მეცნიერის შრომებში.

84-ე ნახაზზე სქემატურად ნაჩვენებია ადგილობრივ და საშუალო სიჩქარეთა ტიპური ცვლილება კინემატიკური ეფექტის ზეგავლენით. ლაბორატორიულ ექსპერიმენტებში ძირითადი ნაკადი ნოღა კალაპოტში გამავალი ნაკადისაგან შეიძლება გამოვყოთ კალაპოტის კიდეზე თხელი გლუვი კედლის მოთავსებით.



ნახ. 84. ვერტიკალზე საშუალო u_3 სიჩქარეების, ღერძულ ვერტიკალზე u ადგილობრივი სიჩქარეებისა და v საშუალო სიჩქარეთა ეპიურები:

1,2-ძირითად და ნოლა კალაპოტში გამავალი ნაკადების ურთიერთქმედებისას; 3, 4-მათი იზოლაციისას; 5-ცოცხალ კვეთში საშუალო სიჩქარეთა ცვლილება H დონის მიხედვით:

v_6 – ნოლა კალაპოტში;

v_3 – ძირითად კალაპოტში ნაკადების ურთიერთქმედებისას;

v_3' – ურთიერთქმედების არარსებობისას

ნაკადების ურთიერთქმედება რომ არ არსებობდეს, მაშინ საშუალო სიჩქარეთა მრუდი კალაპოტის $b - b$ კიდის ზემოთ (ნახ. 84) გამოისახებოდა $v_3' = v_3'(H)$ გრაფიკით. ნაკადების ურთიერთქმედების შედეგად კი v_3' სიჩქარე კლებულობს v_3 , მინ-მდე (ნოლა კალაპოტში h_{6v} სიღრმისას), რჩება რა ამ დროს ნოლა კალაპოტში საშუალო სიჩქარეზე (h_6) მეტი და $v_{კიდ} = v_b$ სიჩქარეზე ნაკლები (კალაპოტის კიდემდე წყლით შევსებისას). $h_6 > h_{6v}$ შემთხვევაში v_3 სიჩქარე იზრდება და ნოლა კალაპოტში $h_{6კიდ}$ სიღრმისას $v_{კიდ}$ -ის ტოლია, თუმცა ნაკლები რჩება v_3' სიჩქარეზე. შეიძლება გამოვყოთ კინემატიკური ეფექტის შემდეგი ზონები:

$\frac{dv_3}{dH} < 0$ – ნაკადების ზემოქმედების ინტენსივობა იზრდება;

$\frac{dv_3}{dH} = 0$ – ნაკადების ზემოქმედების ინტენსივობა მაქსიმალურია;

$\frac{dv_3}{dH} > 0$ – ნაკადების ზემოქმედების ინტენსივობა კლებულობს. ყველა ამ

შემთხვევაში $\frac{dv_6}{dH} > 0$.

საშუალო სიჩქარეთა ფარდობითი შემცირება კალაპოტში კინემატიკური ეფექტის ზემოქმედებით აღწევს 15–30%-ს და მეტს. თუ $v = v(H)$ მრუდს (ნახ. 83) შევადარებთ $v_g = v_g(H)$ მრუდს (ნახ. 83), შევნიშნავთ, რომ პირველი მათგანი პასუხობს წყლის მოძრაობის უფრო მარტივ ფორმას.

წყლის ხარჯების მრუდის განტოლება. არსებობს რამდენიმე განტოლება, რომლებიც გამოსახავენ დამოკიდებულებას Q -სა და H -ს შორის და რომლებშიც პარამეტრები გამოითვლება გაზომილი სიდიდეების მიხედვით. გ. გლუშკოვის მიერ რეკომენდებულ ფორმულაში ცალსახა დამოკიდებულება Q და H -ს შორის მოცემულია შემდეგი სახით:

$$Q = a(H + H_0)^m, \quad (185)$$

სადაც H_0 არის წყლის დონე $Q = 0$ -ს შემთხვევაში;

a და m – განტოლების პარამეტრები.

H_0 , a და m -ის გამოსათვლელად დამუშავებულია ორიგინალური მეთოდიკა, რომლის მიხედვითაც საჭიროა (185) ფუნქციის წრფივი ანამორფოზის აგება. ამისათვის წინასწარ გრაფიკულად ან ანალიზურად უნდა მოიძებნოს H_0 . $Q = Q(H)$ ფუნქციის გრაფიკზე ექსტრაპოლაციით მიიღება $Q = 0$ ხარჯის შესაბამისი H_0 სიდიდე, რომელიც შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი; ეს დამოკიდებულია დონეთა გრაფიკის ნულის შერჩეულ ნიშნულზე. თუ დონეთა გრაფიკის ნული დანიშნულია $Q = 0$ ხარჯის შესაბამის ნიშნულზე, მაშინ $H_0 = 0$ -ს.

იმისათვის, რომ ანალიზურად ვიპოვოთ H_0 , წარმოვიდგინოთ, რომ აგებულია სხვადასხვა H_0 -ის შესაბამისი $Q = Q(H)$ -ის წრფივი და არაწრფივი ანამორფოზები (ნახ. 85).

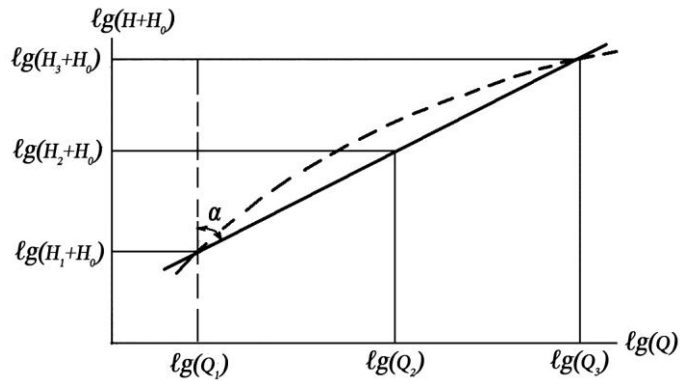
$Q = Q(H)$ მრუდის ზედა და ქვედა ნაწილებში შევარჩიოთ წერტილები H_1 და Q_1 , H_3 და Q_3 კოორდინატებით; ასევე დავნიშნოთ ამ წერტილების შესაბამისი წერტილები ლოგარითმულ ანამორფოზაზე. (185) განტოლებაში შემავალი a და m პარამეტრები შეიძლება განისაზღვროს, თუ მოხდება წრფივი და არაწრფივი ანამორფოზების შერწყმა, რაც გამოისახება შემდეგი პირობით:

$$lgQ_2 = \frac{1}{2}(lgQ_1 + lgQ_3),$$

საიდანაც

$$Q_2 = \sqrt{Q_1 Q_3}, \quad (186)$$

ე. ი. Q_2 ხარჯი Q_1 და Q_3 ხარჯების საშუალო გეომეტრიულია.



ნახ. 85. $Q = Q(H)$ ლოგარითმული ანამორფოზის აგება

თუ (186) გამოსახულებაში შევიტანთ ხარჯების მნიშვნელობებს (185) ფორმულიდან, მივიღებთ:

$$a(H_2 + H_0)^m = \sqrt{a(H_1 + H_0)^m a(H_3 + H_0)^m}$$

ან

$$(H_2 + H_0)^2 = (H_1 + H_0)(H_3 + H_0).$$

ამ განტოლების ამოხსნა H_0 -ის მიმართ გვაძლევს:

$$H_0 = \frac{H_2^2 - H_1 H_3}{H_1 + H_3 - 2H_2}. \quad (187)$$

H_2 დონე აიღება $Q = Q(H)$ მრუდიდან (186) ფორმულით გამოთვლილი Q_2 ხარჯის მიხედვით.

a და m პარამეტრებს პოულობენ გაზომილ ხარჯებსა და დონეების ყველა წერტილის მიხედვით აგებული წრფივი ლოგარითმული ანამორფოზის საშუალებით:

$$I g Q = I g a + m I g (H_0 + H). \quad (188)$$

m მაჩვენებელი წარმოადგენს წირის დახრის კუთხის (α) ტანგენსს $I g (H + H_0)$ ღერძის მიმართ, ხოლო $I g a$ –თავისუფალ წევრს და განისაზღვრება (188) განტოლების პოტენცირებით. როცა $H + H_0 = 1$ –ს, მაშინ α შეიძლება ვიპოვოთ (185) ფორმულითაც. $H + H_0$ და Q სიდიდეთა ლოგარითმების გამოთვლის თავიდან აცილების მიზნით სარგებლობენ ლოგარითმული უჯრედულათი.

a და m –ის მნიშვნელობები შეიძლება ვიპოვოთ ანალიზურად, თუ წინასწარ (185) განტოლებას ჩავწერთ ხარჯის ორი Q_1 და Q_2 მნიშვნელობისათვის, ავიღებთ მათ ფარდობას და გავალოგარითმებთ:

$$m = \frac{I_g\left(\frac{Q_1}{Q_3}\right)}{I_g\left(\frac{H_1+H_0}{H_3+H_0}\right)}. \quad (189)$$

უკვე ცნობილი H_0 და m -ისათვის

$$a = \frac{Q_1}{(H_1+H_0)^m} = \frac{Q_3}{(H_3+H_0)^m}.$$

სასურველია m დამრგვალდეს 0,5–მდე, რისთვისაც საჭიროა გადაანგარიშებულ იქნეს H_0 და a სიდიდეები (H_1, Q_1) და (H_3, Q_3) წერტილების კოორდინატების მიხედვით.

გაანგარიშებათა საბოლოო შემოწმების მიზნით აუცილებელია აგებულ იქნეს $Q = Q(H)$ მრუდი (185) განტოლების მიხედვით და შედარდეს გაზომილი ხარჯებითა და დონეებით აგებულ ასეთივე მრუდთან.

m მაჩვენებლის მნიშვნელობები დაახლოებით შემდეგია: სწორკუთხა ფორმის კალაპოტისათვის – 1,5 პარაბოლური კალაპოტისათვის – 2,0 სამკუთხა კალაპოტისათვის – 2,5.

§ 20. არაცალსახა დამოკიდებულება დონეებსა და წყლის ხარჯებს შორის

დონეებსა და ხარჯებს შორის არაცალსახა დამოკიდებულების ძირითადი ტიპები. დონეებსა და ხარჯებს შორის დამოკიდებულებას ეწოდება არაცალსახა, როცა დონე დამოკიდებულია ხარჯზე და კიდევ სხვა ფაქტორებზე, რომლებიც იწვევენ თანაბარი უდაწნეო ნაკადისათვის დამახასიათებელ სიჩქარეთა ველისა და ჰიდრავლიკურ წინაღობათა შეცვლას. მაშასადამე, ხარჯების არაცალსახა მრუდს წერენ შემდეგი სახით $Q = Q(H, H_t)$, სადაც H_t არის პარამეტრი, რომლის ბუნებაც ძალზე რთულია და უმეტეს შემთხვევაში იცვლება დროის მიხედვით. მისი მოქმედება საბოლოო ჯამში გამოისახება დონის ცვლილებით და განპირობებულია თანაბარი მოძრაობის არათანაბარში გადასვლით (სიგრძეზე ω -ს ცვლილების ან ნაკადზე ნაგებობის ზემოქმედების შედეგად), თანაბარი და არათანაბარი მოძრაობის დაუმყარებელში გადასვლით, ფსკერის დეფორმაციებით, უდაწნეო მოძრაობის დაწნევაში გადასვლით და პირიქით, კალაპოტის მოშამხნარებით. იმის გამო, რომ ჩამოთვლილი ფაქტორებიდან ბევრი დამოკიდებულია დროზე, რიგ შემთხვევაში გარკვევით მჟღავნდება ხარჯების ცალსახა მრუდების არაცალსახაში გადასვლა და, პირიქით. ჩამოთვლილმა ფაქტორებმა შეიძლება თავი

იჩინოს ერთდროულად სხვადასხვაგვარ კომპლექსში; რაც ართულებს დამოკიდებულებას H -სა და Q -ს შორის.

$Q = Q(H)$, $\omega = \omega(H)$ და $v = v(H)$ სახის მრუდების ერთობლივი ანალიზი საშუალებას იძლევა გაირკვეს H_t პარამეტრის ბუნება. $Q = Q(H)$ არაცალსახა მრუდების ძირითადი ტიპები მოცემულია მე-16 ცხრილში. საკლასიფიკაციო ნიშანს წარმოადგენს ნაკადის მოძრაობის ფორმა. მდინარეთა გაყინვისას საშუალო სიჩქარეები გამოითვლება ხარჯის ფარდობით ყინულქვეშა ცოცხალი კვეთის ფარდობასთან. მაშასადამე, ღრმულებში წყლის დონეების შესაბამის ω ფართობს წინასწარ უნდა გამოაკლდეს წყალში ჩაძირული ყინულის $\omega_{\text{ყ}}$ ფართობი. სასურველია აგებულ იქნეს აგრეთვე მრუდი $(\omega - \omega_{\text{ყ}} H)$ კოორდინატების მიხედვით; ის მოთავსდება $\omega = \omega(H)$ ცალსახა მრუდის მარცხნივ.

მე-16 ცხრილის ანალიზიდან შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: შეტბორვის, ყინულის რეჟიმის ან კალაპოტის მოშამბნარების პირობებში მრუდის ქვედა მომვლები მიახლოებით წარმოადგენს წყლის ხარჯების ცალსახა მრუდს.

ც ხ რ ი ლ ი 16

წყლის ხარჯების არაცალსახა მრუდების ტიპები

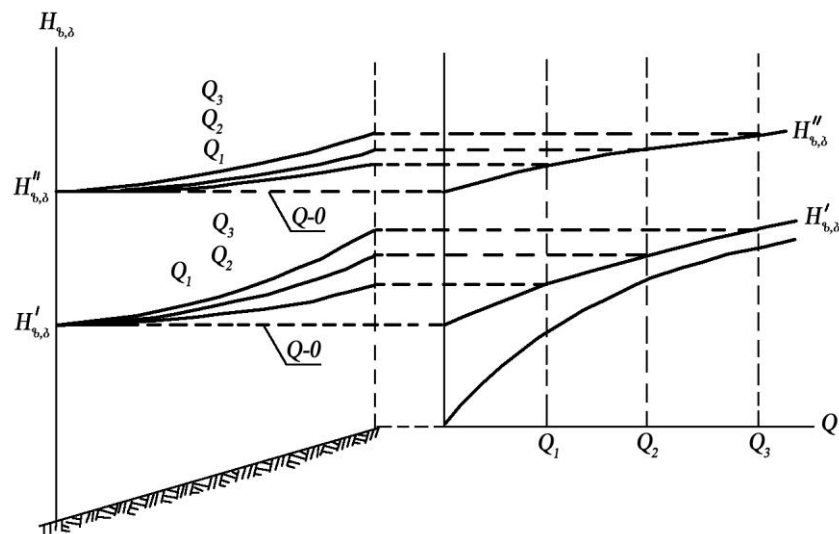
ძირითადი ჰიდრაულიკური ნიშანი	ცდისეული წერტილების განლაგება	თავისუფალი	კალაპოტის ცალსახა მრუდების მიმართ
	$Q = Q(H)$	$v = v(H)$	$\omega = \omega(H)$
არათანაბარი მოძრაობა: მუდმივი შეტბორვისას	იხრება მარცხნივ წერტილების გაბნევის გარეშე.	იხრება მარცხნივ წერტილების გაბნევის გარეშე.	შენარჩუნებულია ცალსახა დამოკიდებულება
ცვლადი შეტბორვისას	იხრება მარცხნივ წერტილების გაბნევით.	იხრება მარცხნივ წერტილების გაბნევით.	იგივე
დაუმყარებელი მოძრაობა (წყალმოვარდნის ტალღები)	აწევისას იხრება მარჯვნივ, დაცემისას—მარცხნივ.	აწევისას იხრება მარჯვნივ, დაცემისას— მარცხნივ.	იგივე

ყინულის რეჟიმი	იხრება მარცხნივ	იხრება მარცხნივ	იგივე
წყალმცენარეული საფარის არსებობა	იხრება მარცხნივ	იხრება მარცხნივ	იგივე
კალაპოტის დეფორმაცია: წარეცხვისას დალექვისას წარეცხვისა და დალექვის პერიოდული ცვლილება	იხრება მარჯვნივ იხრება მარცხნივ წერტილები გაბნეულია	იხრება მარჯვნივ იხრება მარცხნივ წერტილები გაბნეულია	იხრება მარჯვნივ იხრება მარცხნივ ცალსახა დამოკიდებულება ირღვევა

ხარჯების მრუდი წყლის თანაბარი მოძრაობისას. განასხვავებენ ჰიდროტექნიკური ნაგებობებით შექმნილ ხელოვნურ და ბუნებრივ შეტბორვას, გამოწვეულს წყალმოვარდნის ტალღით (ფშანებს ქვემოთ), ჩქერების წარეცხვით, ქარის მიერ წყლის დონის აწევით და სხვ. ხელოვნური შეტბორვა სტაბილურია, თუ ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ზედა ბიეფში დონე მუდმივია. უცვლელი ხარჯის შემთხვევაში ჰიდრომეტრიულ კვეთში შენარჩუნებულია მუდმივი შეტბორვა. თუ ხარჯი იცვლება, მაშინ იცვლება შეტბორვაც ამ კვეთში.

ჰიდრომეტრიულ კვეთში გაზომილი წყლის ხარჯებისა და დონეების მიხედვით აგებენ $Q = Q(H)$ მრუდს, რომელიც შეესაბამება დონის გარკვეულ ნიშნულს ჰიდროტექნიკური ნაგებობის ზედა ბიეფში ($H_{\text{ზბ}}$). ამის შედეგად ადგენენ $Q = Q(H, H_{\text{ზბ}})$ ნომოგრამას (ნახ.86). H -ის გაზრდით ხარჯის მრუდები ერთმანეთს უახლოვდება. შემტბორავი ნაგებობების ზედა ბიეფში წყლის ზედაპირის ნიშნულებს $H'_{\text{ზბ}}$, $H''_{\text{ზბ}}$ -ს და ა.შ. შეესაბამება წყლის სხვადასხვა ხარჯები ჰიდრომეტრიულ კვეთში Q_1 , Q_2 და ა. შ. რაც მეტია ხარჯი ამ კვეთში მოცემული $H_{\text{ზბ}}$ დონისათვის, მით მეტია I ქანობი და $\Delta H = H - H_{\text{ზბ}}$ ვარდნა ნაკადის განსახილველ უბანზე. $H_{\text{ზბ}}$ დონის ყოველ მნიშვნელობას შეესაბამება $Q = Q(H)$ ცალსახა მრუდი, რომელიც H ღერძს ჰკვეთს $Q = 0$ წერტილში. ნათელია, რომ Q ნულოვანი ხარჯის დროს წყლის ზედაპირის აბსოლუტური ნიშნულები შემტბორავი ნაგებობის ზედა ბიეფში და ჰიდრომეტრიულ კვეთში ტოლი უნდა იყოს, ე. ი. $H_{\text{ზბ}} = H$. ცვლადი ხელოვნური შეტბორვა ჰიდრომეტრიულ კვეთში

გამოწვეულია $H_{\text{ზ.ბ}}$ დონის ცვლილებით, მაგალითად, წყალსაცავის ავსების ან დამუშავებისას. ბუნებრივი შეტბორვა თითქმის ყოველთვის ცვლადია.



ნახ. 86. H და Q სიდიდეებს შორის არაცალსახა დამოკიდებულების აგების სქემა ნაგებობით გამოწვეული შეტბორვისას

ცვლადი დაწნევისას რეკომენდებულია წყლის ხარჯების მრუდის აგებისა და ყოველდღიური ხარჯების გამოთვლის შემდეგი ხერხები:

ხარჯის მახასიათებლის ინვარიანტობის პოსტულატის გამოყენება. ინვარიანტი–ეს არის გამოსახულება, რომელიც უცვლელი რჩება ამ გამოსახულებასთან დაკავშირებული ცვლადების განსაზღვრული გარდაქმნისას. ხარჯის მახასიათებელი წარმოადგენს $\frac{Q}{\sqrt{H}} = K$ ფარდობას. ინვარიანტობის (უცვლელობის) პოსტულატის თანახმად, ხარჯის მახასიათებელი მოცემული H დონისათვის მუდმივია წყლის ხარჯის ნებისმიერი ცვლილებისა და, შესაბამისად, ქანობის ცვლილების შემთხვევაში. (183) განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ $K = K(H)$. წყლის ყველა გაზომილი ხარჯისათვის გამოითვლიან K -ს და ნახაზზე, სადაც აგებულია $Q = Q(H)$ მრუდი, აგებენ $K = K(H)$ გრაფიკსაც. დონეთა სკალა უნდა იყოს საერთო. ყურადღება უნდა მიექცეს წერტილთა გაფანტვას. $K = K(H)$ მრუდებზე წერტილთა გაფანტვა მნიშვნელოვნად ნაკლებია და დასაშვები გაფანტვის ზოლი შეადგენს 10%-ზე ნაკლებს $-\frac{\Delta K}{K} \cdot 100 \leq 10\%$, სადაც K ათვლილია $K = K(H)$ საშუალო მრუდის მიხედვით.

ყოველდღიური დონეების მიხედვით ხარჯის მახასიათებელთა მრუდიდან იღებენ K -ს მნიშვნელობებს; ხარჯებს გამოითვლიან ფორმულით:

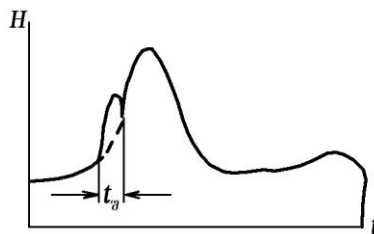
$$Q = K\sqrt{I}. \quad (190)$$

იმ შემთხვევაში, როცა ფაქტიური ყოველდღიური ქანობების შესახებ მონაცემები არ არსებობს, სარგებლობენ ხარჯების განსაზღვრისას გაზომილი ქანობების მნიშვნელობათა შორის ინტერპოლაციით. ამისათვის აგებენ $I = I(H)$ ან $I = I(t)$ ფუნქციის გრაფიკს, სადაც t არის დრო. ჰიდრომეტრიაში ხშირად ხარჯის მახასიათებლის მაგივრად, რომელსაც წყლის ხარჯის განზომილება აქვს, გამოიყენება მისი პროპორციული შემდეგი მახასიათებლები: $K' = \frac{Q}{\sqrt{\Delta H}}$, სადაც ΔH არის წყლის დონის ვარდნა მუდმივი სიგრძის უბანზე; $K'' = \frac{Q}{\sqrt{\Delta H + \Delta H_0}}$, სადაც ΔH_0 არის დონის ვარდნის ოპტიმალური მუდმივი ნაზრდი, რომლის დროსაც K'' და H კოორდინატების მიხედვით აგებულ მრუდზე წერტილთა გაფანტვა მინიმალურია; $K''' = \frac{Q}{\sqrt{\Delta H / \Delta H_{\text{საშ}}}}$, სადაც $\Delta H_{\text{საშ}}$ არის დროში გასაშუალებული დონის ვარდნა უბანზე. K''' მახასიათებელს K' და K'' მახასიათებლებისაგან განსხვავებით აქვს წყლის ხარჯის განზომილება. ხშირ შემთხვევაში K'' და K''' მახასიათებლების გამოყენება წყლის ყოველდღიური ხარჯების საანგარიშოდ უფრო მიზანშეწონილია, ვიდრე K სიდიდის.

წყლის ხარჯების ნომოგრამის აგება. ეს ნომოგრამა წარმოადგენს ხარჯის მრუდების ოჯახს, რომელთაგან თითოეული შეესაბამება გარკვეულ I ქანობს, ΔH ვარდნას, ან დონეს ქვემოთმდებარე წყალსაზომ საგუშაგოზე. Q და H კოორდინატებით აგებულ წერტილებს უწერენ I -ს მნიშვნელობებს, შემდეგ ნიშნავენ ქანობებს ტოლ ინტერვალებს შორის და ატარებენ $Q = Q(H)$ მდოვრე წირებს, რომლებიც ამ ქანობებს პასუხობენ. წერტილების ნაწილი (15%-მდე) შეიძლება გამოვიდეს I ქანობების შესაბამისი ინტერვალების ფარგლებს გარეთ. ჩამოყალიბებული ხერხი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როცა ზემოაღნიშნული ხერხი არ იძლევა დადებით შედეგებს, ე. ი. $K = K(H)$ მრუდი არ ხდება ცალსახა.

შეტბოროლი დონეების დაყვანა. ჰიდრომეტრიულ კვეთში შეტბოვრისას გაზომილ დონეებს ცვლიან იმ დონეებით, რომლებიც იარსებებდნენ

შეტბორვის არარსებობის შემთხვევაში. ასეთ დონეებს დაყვანილს უწოდებენ. მათ პოულობენ $H = H(t)$ გრაფიკიდან შეტბორვის დაწყებისა და დამთავრების შესაბამის დონეთა წერტილების მდოვრე წირით შეერთებით (ნახ. 87). ყოველდღიურ ხარჯებს შეტბორვის t დროის განმავლობაში განსაზღვრავენ $Q = Q(H)$ მრუდიდან დაყვანილი დონეების მიხედვით. ამ ხერხით, რომელიც ხანმოკლე შეტბორვის პირობებისათვის არის რეკომენდებული, შეიძლება ვისარგებლოთ იმ შემთხვევაშიც, როცა შეტბორვის $t_{\text{შ}}$ პერიოდში ხარჯის სიდიდეების გაზომვის შესახებ მონაცემები არ არსებობს. თუმცა აქვე შევნიშნავთ, რომ $H = H(t)$ გრაფიკზე შეტბორილ დონეთა საზღვრები ნათლად უნდა იყოს გამოყოფილი.



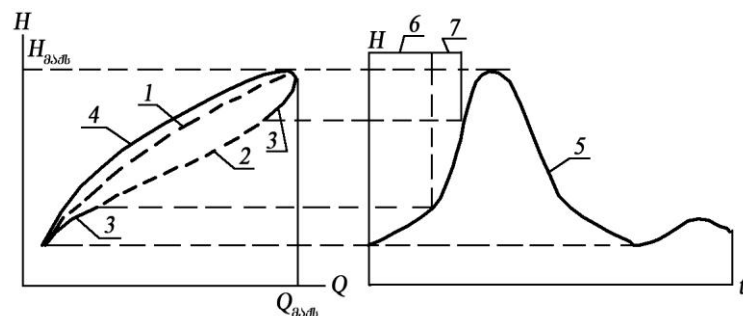
ნახ. 87. შეტბორვის დონეთა დაყვანის სქემა

დროებითი წირების აგება შეტბორვის პერიოდისათვის . გამოყოფენ ერთმანეთთან ქრონოლოგიურად წერტილთა (H, Q) ჯგუფებს და შეტბორვის $t_{\text{შ}}$ პერიოდისათვის აგებენ $Q = Q(H)$ მრუდებს. ამ მრუდებს ხშირად რთული მოხაზულობა აქვთ; მაგალითად, შენაკადის ჰიდრომეტრიულ კვეთში $Q = Q(H)$ გრაფიკს აქვს მარყუჟის ფორმა საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით. ასეთ შემთხვევას ადგილი აქვს ძირითად მდინარეში და შენაკადში ერთდროულად წყალმოვარდნისას.

ინტერპოლაცია წყლის გაზომილ ხარჯებს შორის გამოიყენება სწრაფი ცვლილებისას. შესაძლებელია წრფივი ან მრუდწირული გრაფიკული ინტერპოლაცია.

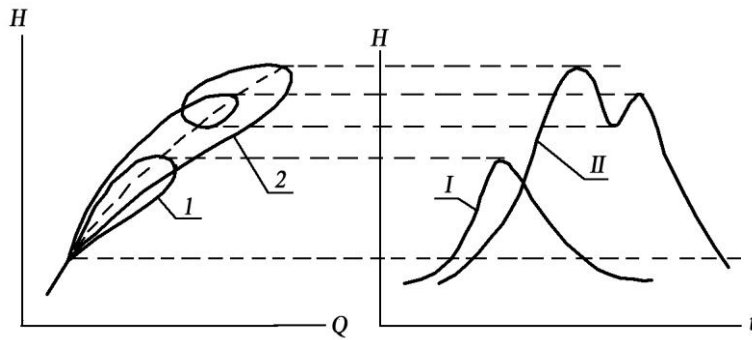
ხარჯის მრუდები წყლის დაუმყარებელი მოძრაობისას. სითხის დაუმყარებელი მოძრაობის თეორიიდან ცნობილია, რომ წყლის ზედაპირის ქანობები წყალმოვარდნის ტალღის აწევისას მეტია, ვიდრე დაწევისას. ამას მივყავართ იქამდე, რომ ერთი და იმავე დონეების შემთხვევაში $Q_{\text{ა}} > Q_{\text{დ}}$, სადაც $Q_{\text{ა}}$ არის ხარჯი წყლის დონის აწევისას, ხოლო $Q_{\text{დ}}$ – ხარჯი წყლის დონის დაწევისას.

ამის შედეგად წარმოიქმნება ხარჯების მარყუჟისებრი არაცალსახა მრუდი, რომელსაც გააჩნია დონეების აწევისა და დაწევის შტოები. H -სა და Q -ს შორის ასეთ დამოკიდებულებას წყალმოვარდნის მარყუჟი ეწოდება. შედარებით მკაფიოდ წყალმოვარდნის მარყუჟი გამოსახულია ბარის დიდ მდინარეებზე; მათ აგებენ ცალ-ცალკე ყოველი წყალმოვარდნისათვის. განასხვავებენ ერთტაქტიან წყალმოვარდნას-დონის ერთი აწევით და ერთი დაწევით და მრავალტაქტიან წყალმოვარდნას დონეების რამდენიმე აწევით და დაწევით. 88-ე ნახაზზე გამოსახულია ერთტაქტიანი წყალმოვარდნის მარყუჟი და დონის რხევის გრაფიკი. $Q = Q(H)$ ფუნქციის ცალსახა მრუდი - 1 შეიმჩნევა დამყარებული მოძრაობისას, ხოლო დონის აწევის მრუდის ნაწილი - 2 ყინულსვლის ან გაზომილი ხარჯების რაოდენობის უკმარისობის დროს. დონის აწევისა და დაწევის შტოები ქვედა ნაწილში იკვეთებიან მრუდის - 1 ერთ წერტილში, ხოლო ზედა ნაწილში-მდოვრე წირის სახით უღლდებიან წერტილში, რომელიც აგრეთვე მრუდზე - 1 მდებარეობს. იმის გამო, რომ დაუმყარებელი მოძრაობისას $Q_{მაქს}$ ხარჯის დამყარება რამდენადმე წინ უსწრებს $H_{მაქს}$ დონის დამყარებას, ამიტომ $Q_{მაქს}$ -ის შესაბამისი წერტილი აწევის შტოზე $H_{მაქს}$ -ის ქვემოთ მდებარეობს.



ნახ. 88. წყალმოვარდნის მარყუჟი და ერთტაქტიანი წყალმოვარდნის გრაფიკი $H = H(t)$: 1. $Q = Q(H)$ ცალსახა მრუდი; 2. დონის აწევის მრუდის ნაწილი ყინულსვლის შემთხვევაში; 3. დონის აწევის მრუდი; 4. დაცემის მრუდი; 5. $H = H(t)$ გრაფიკი; 6. გაყინვის პერიოდი; 7. ყინულსვლის პერიოდი

89-ე ნახაზზე გამოსახულია $H = H(t)$ ფუნქციის გრაფიკი ერთტაქტიანი და ორტაქტიანი წყალმოვარდნისათვის, რომელზედაც I და II წყალმოვარდნები შესაბამისად წარმოქმნიან წყალმოვარდნის მარყუჟებს 1 და 2.



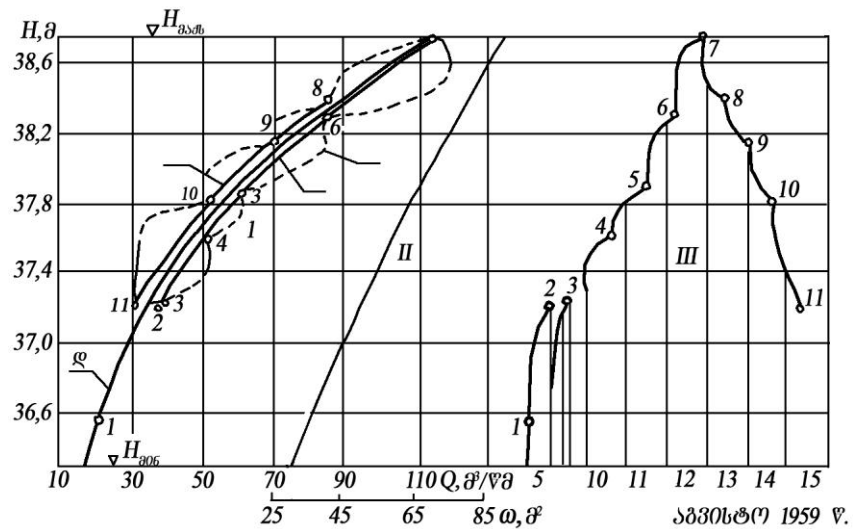
ნახ. 89. წყალმოვარდნის მარყუქები (1, 2) და ერთტაქტიანი (I) და ორტაქტიანი (II) წყალმოვარდნის გრაფიკები $H = H(t)$

$Q = Q(t)$ მრუდებს ქვედა ბიეფისათვის, წყალსაცავიდან წყლის პერიოდული გაშვებით წარმოქმნილი ტალღების პირობებში, კიდევ უფრო რთული ფორმა აქვს. მაგალითისათვის 90-ე ნახაზზე გამოსახულია $Q = Q(H)$ მრუდი ნოვოტვერეცკის (რუსეთი) ჰესის (მდ. ტვერცა) ქვედა ბიეფისათვის წყლის პერიოდული გაშვების სხვადასხვა რეჟიმის შემთხვევაში. ამავე ნახაზზე მოცემულია $\omega = \omega(H)$ და $H = H(t)$ მრუდებიც, რომლებიც ახასიათებენ წყლის გაშვების რეჟიმებს.

ჰიდრავლიკიდან ცნობილია, რომ ინვარიანტობის პოსტულატი ძალაში რჩება იმის მიუხედავად, თუ როგორია ჰიდრომეტრიულ კვეთში ხარჯისა და ქანობის ცვლილების გამომწვევი მიზეზი; ამიტომ წყლის ყოველდღიური ხარჯების გამოსათვლელად დაუმყარებელი მოძრაობის შემთხვევაშიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს $K = K(H)$ მრუდი. თუ ხარჯი დონის აწევისას Q_s (ან, პირიქით, Q_d – დონის დაწევისას) გაზომილი არ არის, მაშინ ინვარიანტობის პოსტულატით სარგებლობენ შემდეგი ფორმით

$$\frac{Q_s}{\sqrt{I_s}} + \frac{Q_d}{\sqrt{I_d}}, \quad (191)$$

სადაც I_s და I_d არის წყლის ზედაპირის ქანობები, შესაბამისად, დონის აწევისა და დაწევის შემთხვევაში ერთი და იმავე H დონისათვის.



ნახ. 90. დამოკიდებულება H და Q სიდიდეებს შორის წყლის პერიოდული გაშვებით წარმოქმნილი ტალღების გავლის შემთხვევაში (მდ. ტვერცა). მრუდები: I- $Q = Q(H)$ წყლის პერიოდული გაშვებით წარმოქმნილი და ტალღების გავლის დროს; II- $\omega = \omega(H)$; III- $H = H(t)$;

ა-ქრონოლოგიური თანმიმდევრობით აგებული ხარჯების მრუდი;

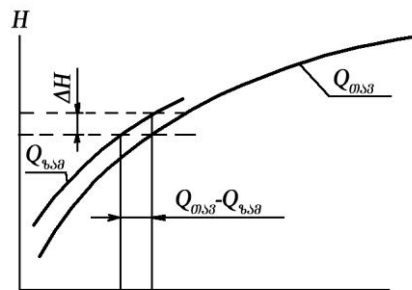
ბ-დონის აწევის მომვლები წირი; გ-დონის დაცემის მომვლები წირი;

დ-ხარჯების მრუდი წყლის დამყარებული მოძრაობისათვის; 1-11-წყლის პერიოდული გაშვების ყოველი საფეხურის ბოლო მომენტის შესაბამისი წერტილები

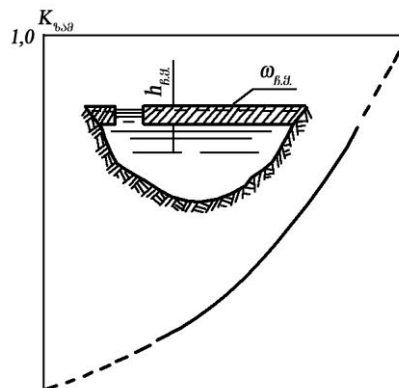
წყლის ხარჯების მრუდი მდინარეში ყინულის არსებობისას. ნაკადის მოძრაობა ასეთ შემთხვევაში რთული პროცესია და დამოკიდებულია ჰიდრომეტეოროლოგიურ პირობებზე; ნაკადი უდაწნეო მდგომარეობიდან გადადის დაწნევაში, წყალი მოძრაობს როგორც ყინულქვეშ, ისე მის ზემოთ; ნაკადს გადააქვს ყინული და თოში ცოცხალ კვეთში მათი რთული განაწილებით და სხვ. $Q = Q(H)$ ფუნქციის გრაფიკის აგების ამოცანის გადაწყვეტა რთულდება ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა წარმოების სიძნელეებისა (მდგრადად გაყინვის პერიოდს გარდა) და ნაკადის ელემენტების გაზომვის სიზუსტის შემცირების გამო.

მე-17 ცხრილში მოყვანილია მდინარეთა ყინულის რეჟიმის ძირითადი ტიპები და ყოველდღიური ხარჯების გამოთვლის მიზანშეწონილი ხერხები. პრაქტიკაში გვხვდება ძალზე რთული მოვლენებიც, რომლებსაც ცხრილი არ ითვალისწინებს.

შედარებით ფართოდაა გავრცელებული ეგრეთ წოდებული ზამთრის ხარჯის გარდამავალი კოეფიციენტების ხერხი. ყინულის რეჟიმის პირობებში იზრდება ნაკადის ჰიდრავლიკური წინააღობები, ამიტომ გაზომვის მონაცემების სფუძველზე აგებული $Q = Q(H)$ მრუდი, რომელსაც ხარჯის ზამთრის მრუდს უწოდებენ (ნახ. 91), თავსდება ყინულისაგან თავისუფალი კალაპოტის მრუდის მარცხნივ. ყინულწარმონაქმნების შემცველი ნაკადის წყლის ხარჯის ($Q_{ზაშ}$) ფარდობას ყინულისაგან თავისუფალი კალაპოტის ნაკადის ხარჯთან ($Q_{თავ}$), ზამთრის გარდამავალი კოეფიციენტი ეწოდება, ე. ი. $K_{ზაშ} = \frac{Q_{ზაშ}}{Q_{თავ}}$. ყოველდღიური ხარჯების გამოსათვლელად $K_{ზაშ}$ კოეფიციენტები გამოიყენება გრაფიკების სახით.



ნახ. 91. ზამთრისა და ზაფხულის $Q = Q(H)$ მრუდების ურთიერთმდებარეობა



ნახ. 92. ცოცხალი კვეთის პროფილი და $K_{ზაშ} = K_{ზაშ}(\epsilon)$ უგანზომილებო გრაფიკი

ქ რ ო ნ ო ლ ო გ ი უ რ ი გ რ ა ფ ი კ ი $K_{ზაშ} = K_{ზაშ}(t)$. თავისუფალი კალაპოტისათვის აგებული $Q = Q(H)$ მრუდიდან აღებული $Q_{ზაშ}$ და $Q_{თავ}$ ხარჯების მიხედვით გამოითვლიან $K_{ზაშ}$ -ს და აგებენ $K_{ზაშ} = K_{ზაშ}(t)$ გრაფიკს. გაყინვის დაწყებისას $K_{ზაშ}$ ღებულობს უმცირეს მნიშვნელობას; დაგროვილი თოში შემცირებისა და ჩაძირული ყინულის ქვედა ზედაპირის ხორკლიანობის შემცირების შემდეგ $K_{ზაშ}$ იზრდება. ყინულის სისქის ($h_{გ.შ}$) შემდგომი ზრდისას

შეიმჩნევა $K_{\text{ზაზ}}$ -ს შემცირება. გაზაფხულზე დონეთა აწევის დროს $K_{\text{ზაზ}}$ შეიძლება მნიშვნელოვნად გაიზარდოს. $K_{\text{ზაზ}} = K_{\text{ზაზ}}(t)$ გრაფიკის მიხედვით პოულობენ $K_{\text{ზაზ}}$ -ს ყოველდღიურ მნიშვნელობებს და გამოითვლიან $Q_{\text{ზაზ}} = K_{\text{ზაზ}} Q_{\text{თავ}}$ ხარჯებს. $Q_{\text{თავ}}$ ხარჯებს იღებენ თავისუფალი კალაპოტის ხარჯების მრუდიდან t თარიღების შესაბამისი დონეებისათვის. $K_{\text{ზაზ}}$ მახასიათებლის გამოყენება იმ შემთხვევაში, როცა Q -სა და H -ს შორის მკაფიოდ გამოსახული კავშირი არ არსებობს, გამორიცხულია.

$K_{\text{ზაზ}} = K_{\text{ზაზ}}(\varepsilon)$ ფუნქციის გრაფიკი. აქ $E = \frac{\omega_{\text{თავ}} - \omega_{\text{ზაზ}}}{\omega_{\text{თავ}}}$ არის ცინულით ნაკადის ცოცხალი კვეთის შევიწროების კოეფიციენტი; $\omega_{\text{თავ}} - \omega_{\text{ზაზ}}$ - ცოცხალი კვეთის ფართობი ცინულის საფარქვეშ, $\omega_{\text{ზაზ}}$ - ჩადირული ცინულის ფართობი. ზამთარში $\omega_{\text{თავ}}$ არის ღრმულებში წყლის დონის შესაბამისი ფართობი. როცა $\varepsilon = 0$ -ს (კალაპოტის სრული გაყინვა), მაშინ $Q_{\text{ზაზ}} = 0$ -ს და, მაშასადამე, $K_{\text{ზაზ}} = 0$ -ს. როცა $\omega_{\text{ზაზ}} = 0$ -ს (ცინულის რეჟიმის არარსებობისას), $\varepsilon = 1$ -ს და $K_{\text{ზაზ}} = 1$ -ს.

ცხრილი 17

$Q = Q(H)$ მრუდის აგების ხერხები და წყლის ყოველდღიური ხარჯების გამოთვლა ცინულის რეჟიმის ძირითადი ტიპების მიხედვით

ხერხები მათი გამოყენების რიგის მიხედვით	ცინულის რეჟიმის ტიპი და მისი მოკლე აღწერა				
	მდინარის გაყინვა ცინულის დნობის გარეშე; მდინარე იკვებება გრუნტის წყლებით (გაყინვის პერიოდში)	მდინარის გაყინვა ცინულის დნობით; მდინარე იკვებება გრუნტის და ზედაპირული წყლებით; ადგილი აქვს წყალსაცავიდან წყლის პერიოდულ გაშვებას ცინულის ზედაპირზე	მდინარის გაყინვა ცინულის დროდადრო დასკდომით, ცინულურების წარმოქმნით და შეზღუდული თოშსვლით	კალაპოტში ცინულის გაჭედვით გამოწვეული შეტბორვის ხანგრძლივი პერიოდები ჰიდრომეტრიულ კვეთში	ნაკადის გაყინვა კალაპოტში წყლის დინების შეწყვეტით
1	ინტერპოლაცია გაზომილ ხარჯებს შორის	$K_{\text{ზაზ}} = K_{\text{ზაზ}}(t)$	$K_{\text{ზაზ}} = K_{\text{ზაზ}}(t)$ დონეთა დაყვანასთან შერწყმით	ინტერპოლაცია გაზომილ ხარჯებს შორის	ინტერპოლაცია გაზომილ ხარჯებს შორის
2	ინტერპოლაცია გაზომილ ხარჯებს შორის	ზამთრის ხარჯების მრუდი	$K_{\text{ზაზ}} = K_{\text{ზაზ}}(t)$ შედარებით მდგრადი გაყინვის	დონეთა დაყვანა	ზამთრის ხარჯების მრუდი

3	$K_{\text{ზაშ}} = K_{\text{ზაშ}}(t)$ დამოკიდებულებას გამოყენებით ზამთრის ხარჯების მრუდი; უპირატესად დიდი მდინარეებისათვის	$K_{\text{ზაშ}} = K_{\text{ზაშ}}(\varepsilon)$	პერიოდებისათვის ინტერპოლაცია გაზომილ ხარჯებს შორის; ხარჯების ძალზე ხშირ გაზომვის პირობებში	დონეთა აღდგენა შეტბორვის საგუშაგოსთან კავშირის გრაფიკით	
---	---	--	---	--	--

გაზომვის მონაცემებით აგებული $K_{\text{ზაშ}} = K_{\text{ზაშ}}(\varepsilon)$ გრაფიკიდან ε -ის მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს $K_{\text{ზაშ}}$ -ს მნიშვნელობა ნებისმიერი დღისათვის. ε -ის მნიშვნელობებს პოულობენ $\omega = \omega(H)$ მრუდიდან აღებული $h_{\text{ზაშ}}$ და $\omega_{\text{თავ}}$ სიდიდეების მიხედვით მოცემული H დონეებისათვის. წინასწარ უნდა აიგოს $h_{\text{ზაშ}} = h_{\text{ზაშ}}(t)$ დამოკიდებულების ქრონოლოგიური გრაფიკი ჰიდრომეტრიულ კვებში. $\omega_{\text{ზაშ}}$ ფართობს გამოითვლიან $h_{\text{ზაშ}}$ -ის გამრავლებით ნაკადის შესაბამის სიგანეზე, ხოლო შემდეგ აგებენ $K_{\text{ზაშ}} = K_{\text{ზაშ}}(\varepsilon)$ გრაფიკს; $Q_{\text{ზაშ}}$ გამოითვლება ისევე, როგორც წინა შემთხვევაში.

$K_{\text{ზაშ}} = K_{\text{ზაშ}}(\varepsilon)$ დამოკიდებულება შეიძლება დასაბუთებულ იქნეს ჰიდრაულიკურად. ვიგულისხმობთ, რომ ყინულის საფარი მიყვება წყლის დონის ცვლილებას და დონის მდებარეობა ღრმულებში ყინულის ზედა და ქვედა ზედაპირების მიმართ განპირობებულია ყინულის ცურვით (ნახ. 92). ჰიდრაულიკურ წინაღობათა ცვლილება, რაც ყინულის საფარის მოქმედებით არის გამოწვეული, ხასიათდება $K_{\text{ზაშ}}$ კოეფიციენტით (ერთნაირი დონეების შემთხვევაში) ან ΔH დონეთა სხვაობით (წყლის ერთი და იმავე ხარჯისათვის $Q_{\text{თავ}} = Q_{\text{ზაშ}}$, ნახ. 81). ჩავთვალოთ, რომ წყლის მოძრაობა თანაბარია და ვისარგებლოთ $K_{\text{ზაშ}}$ კრიტერიუმით.

$Q_{\text{ზაშ}}$ ხარჯი გამოითვლება განტოლებიდან

$$Q_{\text{ზაშ}} = C_{\text{ზაშ}}(\omega_{\text{თავ}} - \omega_{\text{ზაშ}}) \sqrt{\frac{\omega_{\text{თავ}} - \omega_{\text{ზაშ}}}{2B_{\text{ზაშ}}}} I_{\text{ზაშ}}, \quad (192)$$

სადაც $2B_{\text{ზაშ}}$ არის სველი პერიმეტრის სიგრძე იმ დაშვებით, რომ $x = B_{\text{ზაშ}}$

$x_{\text{ფ}}$ -სველი პერიმეტრის სიგრძე ნაკადის ფსკერის გაყოლებით;

$B_{\text{ზაშ}}$ -ნაკადის სიგანე ჩადირული ყინულის ქვედა ზედაპირის გაყოლებით.

$Q_{თავ}$ ხარჯი განისაზღვრება განტოლებიდან

$$Q_{თავ} = \beta_* C_{თავ} \omega_{თავ} \sqrt{\frac{\omega_{თავ}}{B_{თავ}}} I_{თავ} \quad (193)$$

(192) და (193) ფორმულებიდან ვპოულობთ:

$$K_{ზაგ} = \frac{C_{ზაგ}}{C_{თავ} \beta_*} \sqrt{\frac{I_{ზაგ}}{I_{თავ}}} \sqrt{\frac{B_{თავ}}{2B_{ზაგ}}} \left(\frac{\omega_{თავ} - \omega_{ზაგ}}{\omega_{თავ}} \right)^{1,5} \quad (194)$$

აქ $B_{თავ}$ წარმოადგენს თავისუფალი ნაკადის სიგანეს, რომელიც ღრმულებში წყლის დონეს შეესაბამება. C გამოვსახოთ ნ. პავლოვსკის ფორმულით და (194) გამოსახულება ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$K_{ზაგ} = \frac{n_{თავ}}{n_{ზაგ} \beta_*} \sqrt{\frac{I_{ზაგ}}{I_{თავ}}} \left(\frac{B_{თავ}}{2B_{ზაგ}} \right)^{0,5+y}, \quad \left(\frac{\omega_{თავ} - \omega_{ზაგ}}{\omega_{თავ}} \right)^{1,5+y}, \quad (195)$$

სადაც $n_{თავ}$ არის თავისუფალი ნაკადის ფსკერის ხორკლიანობის კოეფიციენტი;

$n_{ზაგ}$ –ხორკლიანობის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ფსკერისა და ყინულის საფარის ქვედა ზედაპირის წინაღობას.

β_* –ნაკადის ცოცხალი კვეთის ფორმის კოეფიციენტი (§ 13).

თუ გავითვალისწინებთ მხოლოდ მთლიანი ყინულის საფარის გავლენას, ე. ი. უგულებელვყოფთ წყალქვეშა ყინულის გავლენას, მაშინ $K_{ზაგ} = K_{ზაგ}(t)$ ფუნქცია ამ მარტივ შემთხვევაშიც კი არაცალსახაა.

$1,5 + y$ გამოსახულება აღვნიშნოთ m -ით, $\frac{\omega_{თავ} - \omega_{ზაგ}}{\omega_{თავ}} - \varepsilon$ -ით, ხოლო მის წინ მდგომი მთელი გამოსახულება $-a$ -თი. მაშინ (195) ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს:

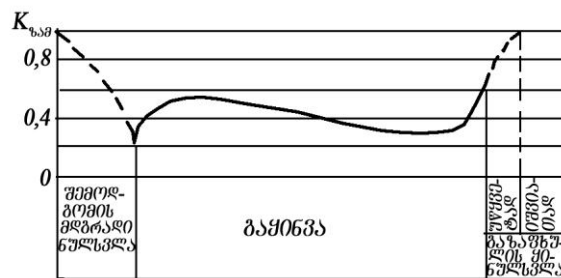
$$K_{ზაგ} = a \varepsilon^m. \quad (196)$$

ამ დამოკიდებულებას $a = 1$ -ს შემთხვევაში აგებენ მოცემული ჰიდრომეტრიული კვეთისა და მდგრადად გაყინვის მოცემული პერიოდისათვის. ამგვარად, ძირითად პარამეტრს წარმოადგენს მაჩვენებელი $m > 1$. საკითხის ასე დასმისას ადვილდება უგანზომილებო $K_{ზაგ} = K_{ზაგ}(\varepsilon)$ ფუნქციის გრაფიკის აგება, რადგანაც წინასწარ ცნობილია მისი ქვედა და ზედა წერტილების მდებარეობა (ნახ. 92).

$K_{ზაგ}$ კოეფიციენტის ცვლილება დროის მიხედვით რთული ფორმისაა, ხოლო ცვლილების ხასიათი არსებითად დამოკიდებულია წყალსადინარის ზომებზე. $K_{ზაგ}$

კოეფიციენტზე ძირითად გავლენას ახდენს ნაკადის შევიწროების ხარისხი ან ხორკლიანობა, ანდა ორივე ერთად.

93-ე ნახაზზე მოცემულია სქემატური გრაფიკი ლ. კოვალიოვის მიხედვით. ეს გრაფიკი იძლევა ხარისხობრივ წარმოდგენას დროის მიხედვით $K_{\text{ხაზ}}$ კოეფიციენტის ცვლილების შესახებ სწრაფი დინების მქონე საშუალო და მცირე სიდიდის მდინარეებისათვის, რომლებისთვისაც მდგრადი გაყინვის სხვადასხვა პერიოდში ჭარბობს ε და $n_{\text{გყ}}$ სიდიდეთა ერთობლივი გავლენა.



ნახ. 93. დროის მიხედვით $K_{\text{ხაზ}}$ -ს ცვლილების სქემატური გრაფიკი

$K_{\text{ხაზ}}$ კოეფიციენტის გამოთვლის აღნიშნული ხერხების გამოყენება შემოდგომის და გაზაფხულის ყინულის რეჟიმის გარდამავალ პერიოდებში შეზღუდულია, ან საერთოდ გამორიცხულია. ამ შემთხვევაში საჭიროა კოეფიციენტის ცვლილების ანალიზი ჰიდრომეტეოროლოგიური პირობების გათვალისწინებით.

ხარჯების მრუდი მცენარეული საფარის არსებობისას. წყალმცენარეები ზრდის ჰიდრავლიკურ წინაღობებს, რაც ამცირებს კალაპოტის გამტარუნარიანობას; ამიტომ გაზომილი ხარჯების შესაბამისი წერტილები განლაგდება იმ ხარჯების მრუდის მარცხნივ, რომელიც აგებულია ჩვეულებრივი შემთხვევისათვის (მცენარეული საფარის არარსებობისას). წყალმცენარეთა გავლენა $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ხასიათზე სხვადასხვაა მისი ვეგეტაციის სხვადასხვა პერიოდისათვის. H დონე თანდათანობით იზრდება მცენარეულობის განვითარების პერიოდში (უცვლელი ხარჯისას), შემდეგ დგება ხანგრძლივი პერიოდი, როდესაც მცენარეული საფარის გავლენა $Q = Q(H)$ მრუდზე შედარებით სტაბილურია. ეს გავლენა თანდათანობით სუსტდება მცენარეული საფარის მოსპობასთან ერთად.

წყლის ტემპერატურის დაახლოებით 10° -მდე გაზრდა გადამწყვეტ გავლენას ახდენს წყალმცენარეთა ვეგეტაციაზე. მცენარეული საფარის არსებობისას წყლის ყოველდღიური ხარჯების გასაანგარიშებლად გამოიყენება შემდეგი გრაფიკული დამოკიდებულებები ან ინტერპოლაციური გამოთვლები.

ქ რ ო ნ ო ლ ო გ ი უ რ ი გ რ ა ფ ი კ ი $K_{მოშ} = K_{მოშ}(t)$. აქ $K_{მოშ} = \frac{Q_{მოშ}}{Q_{თავ}}$, სადაც $Q_{მოშ}$ არის მოშამბნარებულ კალაპოტში გაზომილი წყლის ხარჯი, ხოლო $K_{მოშ}$ -იმავე პირობებში ხარჯის გარდამავალი კოეფიციენტი. კოეფიციენტის გამოყენების მეთოდიკა ისეთივეა, როგორც $K_{ზაშ}$ კოეფიციენტის. $K_{მოშ} = K_{მოშ}(t)$ გრაფიკი ცდისეული წერტილების გაბნევის შემთხვევაში უნდა შესწორდეს $K_{მოშ} = K_{მოშ}(H)$ გრაფიკის მიხედვით.

თუ $K_{მოშ}$ -ს გამოსათვლელად არ არსებობს მიმდინარე წელში გაზომილი ხარჯები, მაშინ საჭიროა დადგინდეს $K_{მოშ}$ კოეფიციენტსა და წინა წლებში ჰაერის დადებით ტემპერატურათა ჯამს შორის ურთიერთკავშირის არსებობის შესაძლებლობა.

მ ო შ ა მ ბ ნ ა რ ე ბ უ ლ ი კ ა ლ ა პ ო ტ ი ს ხ ა რ ჯ ე ბ ი ს დ რ ო ე ბ ი თ ი მ რ უ დ ე ბ ი . ასეთი მრუდები ახლოსაა მცენარეულობის სტაბილური მდგომარეობის პერიოდის ცალსახა მრუდებთან. H -სა და Q -ს შორის დამოკიდებულების ფორმა მცენარეულობის განვითარებისა და გადაშენების (მოსპობის) პერიოდებისათვის რთულდება.

ი ნ ტ ე რ პ ო ლ ა ც ი ა წ ყ ლ ი ს გა ზ ო მ ი ლ ხ ა რ ჯ ე ბ ს შ ო რ ი ს. ეს ხერხი რეკომენდებულია გაზომილი ხარჯების დიდი რაოდენობის შემთხვევაში. ამასთან, უპირატესობა ეძლევა გრაფიკულ მრუდწირულ ინტერპოლაციას.

ხარჯების მრუდი დეფორმირებადი კალაპოტის მქონე წყალსადინარებისათვის. კალაპოტის დეფორმაცია დიდი სირთულით ხასიათდება. კალაპოტი და ნაკადი განუწყვეტელ ზემოქმედებას ახდენენ ერთმანეთზე. ასეთ პირობებში ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა სიზუსტე დაბალია. ჰიდრომეტრიულ კვეთში დეფორმაციის შესახებ მსჯელობენ $\omega = \omega(H)$ მრუდისა და კალაპოტის შეთავსებული განივი პროფილების ხასიათის მიხედვით.

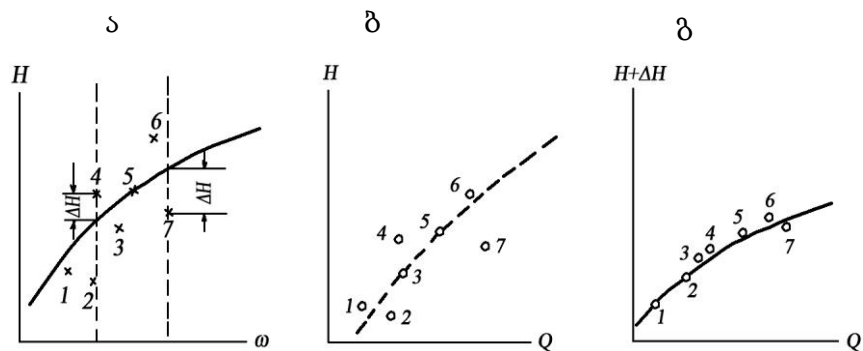
$Q = Q(H)$ მრუდების აგებისა და ყოველდღიური ხარჯების გამოთვლის ხერხები განპირობებულია დეფორმაციის ტიპებით. მე-18 ცხრილში მოყვანილია

კალაპოტის დეფორმაციის ძირითადი ტიპები და $Q = Q(H)$ გრაფიკების აგების ხერხები ქ. სანკტპეტერბურგის ჰიდროლოგიური ინსტიტუტის რეკომენდაციების შესაბამისად. ცალსახა (კალაპოტის დეფორმაციის პერიოდებში) მრუდების აგებისას საჭიროა ყურადღება მიექცეს ამ მრუდების შეუღლებას. ინტერპოლაცია ხდება გაზომილ ხარჯებს შორის $Q = Q(t)$ გრაფიკის მიხედვით; წერტილებზე მრუდს ატარებენ მდოვრედ. უფრო დაწვრილებით შევჩერდეთ შემდეგ ხერხებზე.

ხარჯების მრუდის დაყვანა ძირითად ცოცხალ კვეთზე . ამ ხერხით H -სა და Q -ს შორის არაცალსახა დამოკიდებულების გარდაქმნა ცალსახა ხდება გაზომილი ხარჯების დაყვანით ცოცხალ კვეთზე, რომელიც ყველაზე უფრო ახლოსაა საშუალოსთან. ასეთ კვეთს ძირითადი ეწოდება. მისი ყველაზე უდაბლესი ნიშნული გაზომილ დონეებზე (H) ნაკლები უნდა იყოს.

ჯერ აგებენ $\omega = \omega(H)$ მრუდს ძირითადი კვეთისათვის და დააქვთ (H, ω) წერტილები, რომლებიც მიიღება წყლის ხარჯების გაზომვისას. ფსკერის დეფორმაციის გამო ეს წერტილები მნიშვნელოვნად იხრება ძირითადი კვეთისათვის აგებული $\omega = \omega(H)$ მრუდიდან. თუ მათზე გავატარებთ H ღერძის პარალელურ წრფეებს ძირითადი კვეთის $\omega = \omega(H)$ მრუდის გადაკვეთამდე, მივიღებთ დონეებს, რომელთა შესაბამისი ფაქტიური ფართობები ძირითადი კვეთის ფართობების ტოლია (ნახ. 94,ა); ამასთან, H დონეები შეიცვლება ΔH სიდიდით, რომელიც წარმოადგენს H -ის შესწორებას, გამოწვეულს ფსკერის დეფორმაციით. ხარჯების დაყვანილ მრუდს აგებენ Q და $(H + \Delta H)$ კოორდინატებში.

ამა თუ იმ ხერხის გამოყენება შეიძლება გამართლებულად ჩაითვალოს, თუ არაცალსახა მრუდი H და Q კოორდინატებში (ნახ. 94,ბ) გარდაიქმნება ცალსახად $(H + \Delta H)$ და Q კოორდინატებში (ნახ. 94,გ). ყოველდღიური ხარჯების გამოსათვლელად აგებენ ქრონოლოგიურ გრაფიკს $\Delta H = \Delta H(t)$ და ითვალისწინებენ, რომ ΔH ალგებრული სიდიდეა. შემდეგ ყოველდღიურ დონეებში შეაქვთ ΔH შესწორება და $Q = Q(H)$ დაყვანილი მრუდიდან იღებენ წყლის ხარჯის მნიშვნელობებს.



ნახ. 94. წყლის ხარჯების ძირითად კვებზე დაყვანის სქემა

ცხრილი 18

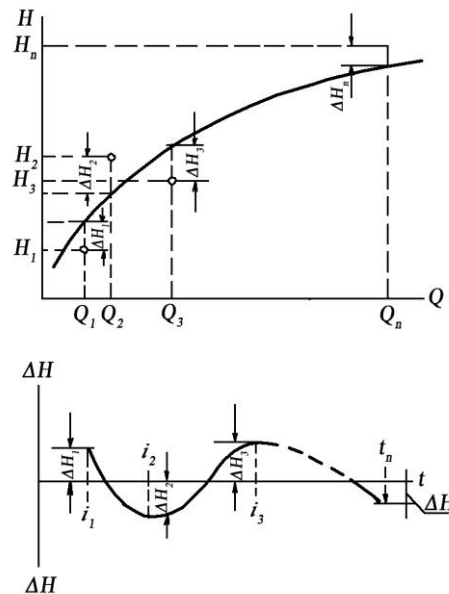
$Q = Q(H)$ მრუდების აგებისა და ყოველწლიური ხარჯების გამოთვლის ძირითადი ხერხები დეფორმირებადი კალაპოტის მქონე წყალსადინარებისათვის

კალაპოტის დეფორმაციის ხასიათი			
კალაპოტის პერიოდული დეფორმაციები, რომლებიც დაკავშირებულია წყალმოვარდნასთან	კალაპოტის დეფორმაციები ვერტიკალური მიმართულებით (წარეცხვა ან დაღეჟვა) წყლის ზედაპირის ქანობის შეუცვლელად	კალაპოტის დეფორმაციები, რომლებიც დაკავშირებულია წყალმოვარდნების ხშირ მონაცვლეობასთან	მოხეტიალე კალაპოტის უწყვეტი ინტენსიური დეფორმაციები
ხარჯების მრუდის აგების ხერხი			
წყლის ხარჯების დროებითი მრუდის აგება	ხარჯების მრუდის დაყვანა ძირითად ცოცხალ კვებზე. მრუდი $Q = Q(h_{საშ})$	ხარჯების სტანდარტული მრუდი და დონეთა შესწორების გრაფიკი $\Delta H = \Delta H(t)$	ინტერპოლაცია გაზომილ ხარჯებს შორის

$Q = Q(h_{საშ})$ მ რ უ დ ი . ზოგიერთ შემთხვევაში H -სა და Q -ს შორის არაცალსახა დამოკიდებულება უახლოვდება ცალსახას $h_{საშ}$ -სა და Q კოორდინატებში. იმისათვის, რომ ვისარგებლოთ $Q = Q(h_{საშ})$ მრუდით, საჭიროა

წინასწარ აიგოს $H = H(t)$ და $H_{\text{საშ}} = H_{\text{საშ}}(t)$ დამოკიდებულებათა შეთავსებული გრაფიკი, სადაც $H_{\text{საშ}} = H - \frac{\omega}{B}$ არის საშუალო ფსკერის ნიშნული. ვერტიკალური მანძილები ამ მრუდებს შორის იძლევა ყოველდღიურ საშუალო სიღრმეებს, რომელთა მიხედვითაც $Q = Q(h_{\text{საშ}})$ მრუდის გამოყენებით პოულობენ ყოველდღიურ Q ხარჯებს. სტანდარტული ხარჯების მრუდი და დონეთა შესწორების გრაფიკი $\Delta H = \Delta H(t)$.

გაზომილი ხარჯებისა და დონეების მიხედვით აგებენ $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების გასაშუალებულ მდოვრე წირს, რომელსაც მიიჩნევენ სტანდარტულად (ნახ. 95). შემდეგ საზღვრავენ $\Delta H = H - H_b$ შესწორებას (სადაც H_b არის დონე სტანდარტული მრუდის მიხედვით) და აგებენ მდოვრე ქრონოლოგიურ გრაფიკს $\Delta H = \Delta H(t)$. სტანდარტული ხარჯების მრუდის ასეთი შერჩევისას ΔH წარმოადგენს ალგებრულ სიდიდეს. ყოველდღიურ დონეებში შეაქვთ ΔH შესწორება და სტანდარტული ხარჯების მრუდის საშუალებით გამოითვლიან წყლის ხარჯებს.



ნახ. 95. ხარჯების სტანდარტული მრუდი და $\Delta H = \Delta H(t)$ შესწორებათა გრაფიკი

§ 21. წყლის ხარჯებსა და დონეებს შორის დამოკიდებულების ექსტრაპოლაცია

$Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაცია მდგომარეობს მის გამოყენებაში წყლის გაზომილი ხარჯების ფარგლებს გარეთ. რაც ნაკლებია დაკვირვებათა პერიოდი, მით ნაკლებია ნაკადის ჰიდრაულიკური ელემენტების

გაზომვის ამპლიტუდა. $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაცია შეიძლება როგორც უმცირესი, ისე უდიდესი ხარჯების ფარგლებს გარეთ. მეორე შემთხვევა პრაქტიკაში შედარებით უფრო გავრცელებულია.

$Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაციას ასრულებენ მაქსიმალური ხარჯების გამოსათვლელად. ხარჯების მრუდის ექსტრაპოლაციის ხერხები ერთმანეთისაგან განსხვავდება ძირითადად ნაკადის ჰიდრავლიკური ელემენტების იმ ფუნქციის გვარობით, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი ხდება წყლის დონესა და ამ ფუნქციას შორის წრფივი დამოკიდებულების დამყარება. ექსტრაპოლაციურ გამოთვლათა მეთოდის დამოკიდებულია საწყისი მონაცემების სისრულეზე. დამაკმაყოფილებელი სიზუსტით გაზომილი წყლის ზედაპირის ქანობების სისრულე ყველაზე მეტ გავლენას ახდენს $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაციის მეთოდის შერჩევაზე.

სანამ ექსტრაპოლაციას შევუდგებოდეთ, საჭიროა არაცალსახა მრუდები დავიყვანოთ ცალსახაზე, თუ ეს შესაძლებელია. საერთოდ კი ექსტრაპოლაცია შეიძლება მოხდეს ხარჯების ნომოგრამის $[Q = Q(H, H_t)]$ ფორმითაც.

იმის მიხედვით, თუ წყლის მოძრაობის რომელი განტოლება უდევს საფუძვლად $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაციას, განასხვავებენ ამ უკანასკნელის ორ სახეს–ექსტრაპოლაციას არათანაბარი მოძრაობის და თანაბარი მოძრაობის განტოლებათა საფუძველზე.

პირველ შემთხვევაში გაანგარიშების მეთოდის არასაკმარისად არის დამუშავებული, თუმცა მდინარეებისათვის ის ძირითადი უნდა იყოს. ასეთი მეთოდის დამუშავება დაკავშირებულია ჰიდრომეტრიულ სამუშაოთა მოცულობასთან. ჰიდრომეტრიულ კვეთებში ნაკადის ელემენტების ჩვეულებრივ გაზომვებთან ერთად უნდა შესრულდეს გაზომვები სხვა კვეთებშიც–ჰიდრომეტრიული კვეთის ზემოთ და ქვემოთ. $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაციის დროს მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული წყლის არა მარტო არათანაბარი, არამედ დაუმყარებელი მოძრაობაც.

იმის მიხედვით, განიხილება მთელი ნაკადი, თუ მხოლოდ მისი ელემენტების ცვლილება სიგანეზე, განასხვავებენ $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაციას, რომლის დროსაც ითვალისწინებენ, ან არ ითვალისწინებენ

ნაკადის სიგანეზე სიღრმეების, სიჩქარეებისა და ხორკლიანობის განაწილებას. ამ უკანასკნელს ნაწილობრივ მიეკუთვნება Q -ს გაანგარიშებაც კალაპოტის კიდის ზედა ნიშნულების შესაბამისი დონეებისათვის მდინარის ძირითად და ნოღა კალაპოტებად დაყოფისას.

შემდეგ აუცილებელია გამოიყოს ექსტრაპოლაცია, როდესაც არსებობს მონაცემები წყლის ზედაპირის ქანობების შესახებ და როდესაც ისინი არ არსებობენ.

$Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაციის ფარგლების მიხედვით განასხვავებენ ექსტრაპოლაციას ბუნებრივ დონეებამდე, რაც უფრო ხშირად მდინარის ჩამონადენის გაანგარიშებასთან არის დაკავშირებული, და ექსტრაპოლაციას საპროექტო დონეებამდე, რაც დაკავშირებულია ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა დაგეგმარებასთან.

დონეებს ეწოდება ს ა პ რ ო ე ქ ტ ო, რომლებიც შეესაბამებიან წყლის საანგარიშო ხარჯებს ჰიდროტექნიკური ნაგებობებისა და ხიდების დაგეგმარებისას. მაღალდაწნევიანი კაშხლების მშენებლობისას საპროექტო დონეებმა შეიძლება მნიშვნელოვნად გადააჭარბოს წყლის ბუნებრივ მაქსიმალურ დონეებს.

მათემატიკური თვალსაზრისით $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაცია შესაძლებელია მისი ან მასთან დაკავშირებული სხვა ფუნქციის სრული ან ნაწილობრივი ლინეარიზაციით. შესაძლებელია აგრეთვე ხარჯების მრუდის უშუალო ექსტრაპოლაცია მისი დასაბუთებული ნაწილის გაგრძელების გზით.

ექსტრაპოლაცია ითვლება საიმედოდ, თუ $Q = Q(H)$ მრუდი გრძელდება ზემოთ დაახლოებით 0,2 ($H_{\text{მაქს}} - H_{\text{მოფ}}$)-მდე, ხოლო ქვემოთ-დაახლოებით 0,05 ($H_{\text{მაქს}} - H_{\text{მოფ}}$)-მდე. ექსტრაპოლაცია ქვემოთ უფრო სარწმუნოა, რადგანაც ხარჯების მრუდის ქვედა ნაწილი ჩვეულებრივად უფრო ზუსტად არის გატარებული, და, გარდა ამისა, შეიძლება წინასწარ ვიპოვოთ ნულოვანი ხარჯის H_0 დონე მდინარის გრძივი პროფილის მიხედვით. H_0 დონის დროს წყლის მოძრაობა ჰიდრომეტრიულ კვეთში წყდება. აქ ძირითადად განიხილება $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ინტერპოლაცია ზემოთ.

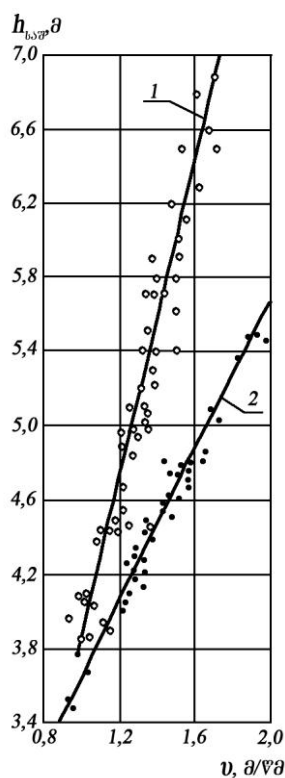
მდინარეებში წყლის მოძრაობის სირთულის გამო დღემდე შეუძლებელია $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაციის უნივერსალური ხერხის რეკომენდირება; ამიტომ პასუხსაგებ შემთხვევებში სასურველია გამოყენებულ იქნეს სხვადასხვა ხერხი და უპირატესობა მიეცეს იმას, რომლის საშუალებითაც მოცემულ კონკრეტულ შემთხვევაში ხდება $Q = Q(H)$ ფუნქციის ან მასთან დაკავშირებული სხვა ფუნქციის ლინეარიზაცია. ექსტრაპოლაციის ყველა ხერხის გამოყენებისას ყურადღება უნდა მიექცეს ცოცხალი კვეთის ფორმისა და ნაკადის სიგანეზე ფსკერის ხორკლიანობის ცვლილებას, განსაკუთრებით $Q = Q(H)$ მრუდის საექსტრაპოლაციო ნაწილის ფარგლებში. მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს ჰიდრაულიკური მოდელირება.

წყლის ხარჯების მრუდის უშუალო ექსტრაპოლაცია და ექსტრაპოლაცია საშუალო სიჩქარეთა მრუდის მიხედვით. $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაცია შეიძლება იყოს გრაფიკული და ანალიზური. პირველ შემთხვევაში ხარჯების მრუდი გრძელდება გაზომვის მონაცემების ფარგლებს გარეთ და ძირითადად ინარჩუნებენ თავის მიმართულებას. ამასთან, მხედველობაში მიიღება, რომ ხარჯების მრუდი მისი საექსტრაპოლაციო ნაწილის ფარგლებში დამრეცი ხდება, ე. ი. $\frac{dH}{dQ}$ კლებულობს ნაპირების დაქანების შემცირებისას, და, პირიქით, – ნაკლებად დამრეცი ხდება ნაპირების ხორკლიანობის ზრდისას (მაგალითად, მცენარეული საფარის გავლენით).

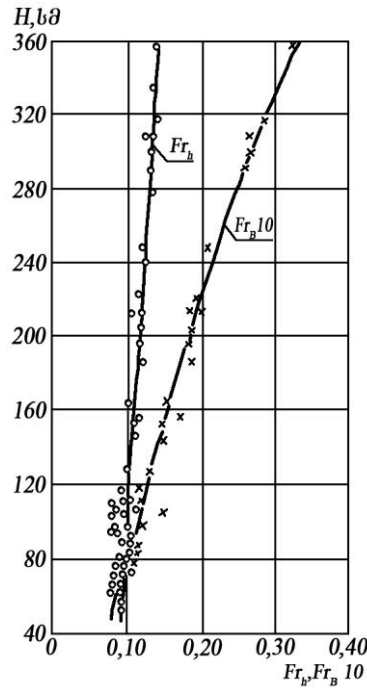
ანალიზურად ექსტრაპოლაცია სრულდება (185) და (188) განტოლებების მიხედვით. ამისათვის გამოითვლიან H_0 , m და a პარამეტრებს ისე, როგორც ეს ზემოთაა ნაჩვენები. შემდეგ (185) განტოლებაში $Q = Q(H)$ მრუდის საექსტრაპოლაციო ნაწილის ფარგლებში სვამენ დონეებს და პოულობენ მათ შესაბამის ხარჯებს.

იმის გათვალისწინებით, რომ $Q = \omega v$ -ს, ხოლო $\omega = \omega(H)$ არ საჭიროებს ექსტრაპოლაციას, რადგანაც ω -ს გამოთვლიან ნებისმიერი დონისათვის, ასრულებენ მხოლოდ $v = v(H)$ მრუდის გრაფიკულ ექსტრაპოლაციას. იმ შემთხვევაში, როდესაც ამ უკანასკნელი ფუნქციის ექსტრაპოლირება მისი სირთულის გამო შეუძლებელია, სარგებლობენ მ. სასოროვის მეთოდით, რომელიც დაკავშირებულია $v = v(h_{\text{საშ}})$ გრაფიკის წინასწარ აგებასთან. ზოგიერთ

შემთხვევაში ეს ფუნქცია მდინარეებისათვის ახლოსაა წრფივთან (ნახ. 96). მოცემული მაღალი დონეებისათვის $\omega = \omega(H)$ მრუდიდან იღებენ ω -ს მნიშვნელობებს, გამოთვლიან $h_{საშ} = \frac{\omega}{B}$ სიდიდეებს, რის შემდეგაც ექსტრაპოლირებული $v = v(h_{საშ})$ მრუდიდან იღებენ v -ს მნიშვნელობებს და გამოთვლიან $Q = \omega v$ ხარჯებს.



ნახ. 96. ნაკადის სიჩქარის დამოკიდებულება საშუალო სიღრმეზე მდინარის სხვადასხვა კვეთებში - 1; 2



ნახ. 97. ჰიდრომეტრიულ კვეთში ფრუდის რიცხვთა ცვლილების მაგალითი.

წყლის ხარჯების მრუდის ექსტრაპოლაცია ფრუდის რიცხვის მიხედვით. დამყარებული არათანაბარი მოძრაობის განტოლება ასეთი სახით ჩავწეროთ:

$$-dz = -\frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} d\omega + \frac{v^2}{C^2 R} dl. \quad (197)$$

$\frac{\alpha Q^2}{g\omega^3}$ და $\frac{v^2}{C^2 R}$ გამოსახულებები ასე გარდავქმნათ:

$$\frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} = \frac{\alpha v^2}{g\omega} = \frac{\alpha v^2}{gh_{\text{სშ}} B} = \frac{Fr_h}{B};$$

$$\frac{v^2}{C^2 R} \approx \frac{v^2 g}{C^2 gh_{\text{სშ}}} = \frac{g Fr_h}{\alpha C^2},$$

სადაც Fr_h არის ფრუდის რიცხვი.

(197) განტოლება შეიძლება ასედაც ჩაიწეროს:

$$-dz = Fr_h \left(\frac{g}{\alpha C^2} dl - \frac{d\omega}{B} \right). \quad (198)$$

ამგვარად, მიღებულ გამოსახულებაში შემავალ მთავარ უგანზომილებო კრიტერიუმს ფრუდის რიცხვი (Fr_h) წარმოადგენს. Fr_h და აგრეთვე $Fr_B = \frac{av^2}{gB}$ კრიტერიუმების გამოკვლევა გვიჩვენებს, რომ მდინარეებისათვის აგებული $H = H(Fr_h)$ და $H = H(Fr_B)$ გრაფიკები თავიანთ ზედა ნაწილში უახლოვდებიან წრფეს. საკითხი Fr_B რიცხვის სამდინარო ჰიდრავლიკაში გამოყენების შესახებ წამოჭრა.

ს.იზბაშმა. 97-ე ნახაზზე საილუსტრაციოდ მოცემულია აღნიშნულ

დამოკიდებულებათა გრაფიკები. ასეთი გამოკვლევის საფუძველზე გ.ჟელეზნიაკოვის მიერ რეკომენდებულია ხარჯების მრუდის ექსტრაპოლაცია ფრუდის რიცხვის მიხედვით. ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს Fr_h ან Fr_B რიცხვი იმის მიხედვით, თუ რომელი მათგანი იძლევა $H = H(Fr_h)$ ან $H = H(Fr_B)$ ფუნქციის ლინეარიზაციის მეტ ხარისხს.

$Q = Q(H)$ ფუნქციის ექსტრაპოლაციას Fr_h პარამეტრით ასრულებენ შემდეგი თანმიმდევრობით. $h_{\text{სშ}}$ სიღრმეებისა და v სიჩქარეების შესახებ მონაცემების მიხედვით გამოთვლიან Fr_h სიდიდეს და აგებენ $H = H(Fr_h)$ ფუნქციის გრაფიკს. α კოეფიციენტს საზღვრავენ ფორმულით:

$$\alpha = 1 + 0,88 \left(0,34 + \frac{1 + \frac{v_*}{v}}{2,3 + 0,3 \frac{v}{v_*}} \right)^2. \quad (199)$$

მიახლოებითი გაანგარიშების დროს ღებულობენ, რომ $\alpha = 1$ -ს. შემდეგ ასრულებენ ამ წრფივი ან დაახლოებით წრფივი დამოკიდებულების ინტერპოლაციას საჭირო დონემდე. მოცემული მაღალი დონისათვის აითვლიან Fr_h -ის მნიშვნელობას და გამოითვლიან ჯერ ნაკადის საშუალო სიჩქარეს

$$v = \sqrt{Fr_h g h_{\text{სშ}}}, \quad (200)$$

ხოლო შემდეგ ხარჯს $Q = \omega v$.

Fr_h კრიტერიუმი წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით

$$Fr_h = \frac{\alpha Q^2 B}{g \omega^3}.$$

როცა $\omega = \text{const}$, მაშინ

$$\frac{dFr_h}{dQ} = \frac{2\alpha B}{g \omega^3} Q = 2 \frac{Fr_h}{Q},$$

საიდანაც დიფერენციალების განტოლებით აბსოლუტურ ცდომილებასთან მივიღებთ:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 0,5 \frac{\Delta Fr_h}{Fr_h}.$$

მაშასადამე, წყლის ექსტრაპოლირებული ხარჯის ფარდობითი ცდომილება ორჯერ ნაკლებია $H = H(Fr_h)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაციის ცდომილებაზე, რაც აღნიშნული ხერხის ღირსებაზე მიუთითებს.

ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება მიზანშეწონილი აღმოჩნდეს Fr_h -ის ნაცვლად $\sqrt{Fr_h}$ -ის გამოყენება. თუ ჩავთვლით, რომ $\alpha = 1$ -ს და სიმძიმის ძალის

აჩქარებას პირობითად მივიჩნევთ ერთეულად, მაშინ $Q = Q(H)$ -ის ექსტრაპოლაციისათვის დამხმარე გრაფიკის სახით შეიძლება გამოვიყენოთ $H = H\left(\frac{v}{\sqrt{h_{\text{საშ}}}}\right)$ ფუნქციის გრაფიკი.

$Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაციის ხერხის შემდგომი განვითარება დაკავშირებულია ფრუდის რიცხვის შემდეგი სახის გამოყენებასთან:

$$Fr_r = \frac{\alpha v^2 \Gamma}{g} = \frac{\alpha v^2}{g h_{\text{საშ}}} \cdot \frac{B}{h_{\text{საშ}}} = \frac{Fr_h}{\alpha_B},$$

სადაც $\Gamma = \frac{\sqrt{B}}{h_{\text{საშ}}}$ **ვ. გლუშკოვის** მორფოლოგიური პარამეტრია;

$$\alpha_B = \frac{h_{\text{საშ}}}{B};$$

α -კორიოლისის კოეფიციენტი, რომელიც გამოითვლება (199) ფორმულით.

თუ მდინარის მოცემული კვეთის ფარგლებში (ან მდინარეთა ჯგუფისათვის) Fr_r ინარჩუნებს დაახლოებით მუდმივ მნიშვნელობას, მაშინ $v = \frac{Q}{B h_{\text{საშ}}}$ შემთხვევაში ეს ნიშნავს, რომ $h_{\text{საშ}}^2 \cdot \left(\frac{gB}{\alpha}\right)^{1/2}$ და Q კოორდინატებში აგებული დამოკიდებულება უნდა იყოს წრფივი. C_r -ის მნიშვნელობა სხვადასხვა მდინარისა და არხისათვის შედარებით დიდ საზღვრებში იცვლება.

წყლის ხარჯების მრუდის ლინეარიზაციის შესაძლებლობის საკითხს აღნიშნული კოორდინატების საშუალებით (როცა $\alpha = 1$ -ს და $C_r = \text{const}$) **კ. გრიშანინი** იხილავს რამდენიმე ბარის მდინარის მაგალითზე.

წყლის ხარჯების მრუდის ექსტრაპოლაცია თანაბარი მოძრაობის განტოლებით. თანაბარი მოძრაობის განტოლება (183) ჩავწეროთ ასეთი სახით:

$$Q = C \omega \sqrt{R I}. \quad (201)$$

მდინარის ნაკადებისათვის, როცა $\frac{h_{\text{საშ}}}{B} \leq 10$, შეიძლება მივიღოთ, რომ $R \approx h_{\text{საშ}}$.

განვიხილოთ ხარჯების მრუდის საექსტრაპოლაციოდ თანაბარი მოძრაობის განტოლების გამოყენების ძირითადი შემთხვევები.

ქანობების გაზომვის მონაცემების არსებობისას ვიგულისხმობთ, რომ $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების ექსტრაპოლაციის ზონის ფარგლებში გაზომილ იქნა წყლის ზედაპირის I ქანობები; მაშასადამე, (201) განტოლების ყველა წევრი, C კოეფიციენტის გარდა, ცნობილია. ამიტომ საჭიროა ამ კოეფიციენტის ექსტრაპოლირება. ამ მიზნით C -ს გამოთვლიან (201) ფორმულით 5–7 დონის

შემთხვევაში. მათ ნიშნავენ დაახლოებით ტოლი ინტერვალების გამოშვებით ფაქტიური მონაცემების საფუძველზე აგებული $Q = Q(H)$ მრუდის ზედა ნაწილში (სასურველია სველი პერიმეტრის გარდატეხის წერტილებში). აღნიშნულ დონეებში შედის უდიდესი გაზომილი ხარჯის შესაბამისი დონეც. ν -ს მნიშვნელობებს აითვლიან $\nu = \nu(H)$ მრუდზე. შემდეგ აგებენ $C = C(H)$ გრაფიკს და ახდენენ მის ექსტრაპოლაციას საჭირო მაღალ დონეებამდე; შესაბამის Q ხარჯებს გამოთვლიან (201) ფორმულით. დიდი მდინარეებისათვის $C = C(H)$ მრუდის ზედა ნაწილი ხშირად წარმოადგენს H ღერძის პარალელურ წრფეს, ე. ი. $C = const$. იმ შემთხვევაში, როდესაც $C = C(H)$ გრაფიკს აქვს რთული ხასიათი, რაც დამახასიათებელია პატარა მდინარეებისათვის, საჭიროა შემოწმდეს C -ს ექსტრაპოლაციის შესაძლებლობა $C = C(h_{\text{საშ}})$ და $C = C(I)$ დამოკიდებულებათა მიხედვით.

ქ ა ნ ბ ე ბ ი ს გ ა ზ ო მ ვ ი ს მ ო ნ ა ც ე მ ე ბ ი ს ა რ ა რ ს ე ბ ო ბ ი ს ა ს. (201)

გამოსახულებაში $C = \frac{1}{n} h_{\text{საშ}}^{1/6}$ მნიშვნელობის ჩასმით მივიღებთ:

$$Q = \frac{1}{n} h_{\text{საშ}}^{1/6} \omega \sqrt{h_{\text{საშ}} I} = \frac{\sqrt{I}}{n} \omega h_{\text{საშ}}^{6/3}. \quad (202)$$

ს. კრიცკი და მ. მენკელი წინადადებას იძლევიან მოვახდინოთ $\sqrt{\frac{I}{n}}$ ფარდობის H დონესთან დამოკიდებულების ინტერპოლირება. წყლის გაზომილი Q ხარჯების მიხედვით წინასწარ გამოთვლიან საექსპლოატაციო ფუნქციას:

$$\frac{\sqrt{I}}{n} = \frac{Q}{\omega h_{\text{საშ}}^{2/6}}.$$

$\frac{\sqrt{I}}{n}$ ფარდობასა და H დონეს შორის დამოკიდებულების გრაფიკებს აგებენ ცალკე ძირითადი კალაპოტისათვის და ცალკე-მარჯვენა და მარცხენა ნოღა კალაპოტებისათვის. მათი არაწრფივობის შემთხვევაში საჭიროა შემოწმდეს $\frac{\sqrt{I}}{n}$ ფარდობის $h_{\text{საშ}}$ -ზე დამოკიდებულების გამოყენების შესაძლებლობა.

$Q = Q(H)$ მრუდის ექსტრაპოლაციის მეორე გზა (ქანობების შესახებ მონაცემების არარსებობისას) დამყარებულია ჯ. სტივენსის იმ დაშვებაზე, რომ $C\sqrt{I} = const$. აქედან გამომდინარეობს, რომ Q ხარჯსა და $\omega\sqrt{R} \approx \omega\sqrt{h_{\text{საშ}}} = B h_{\text{საშ}}^{3/2}$ ნამრავლს შორის დამოკიდებულება უნდა იყოს წრფივი, რაც (201) განტოლებიდან

ჩანს. იმის გამო, რომ სინამდვილეში $C = C(n, R)$, აღნიშნული დამოკიდებულების წრფივობა ხშირად ირღვევა. ექსტრაპოლაციას აღნიშნული ხერხით ასრულებენ შემდეგი თანამიმდევრობით: გაზომილი Q ხარჯებისა და H დონეების მიხედვით ჯერ აგებენ ხარჯების მრუდს, ხოლო შემდეგ $Bh_{\text{საშ}}^{3/2}$ და H სიდიდეებს შორის დამოკიდებულების გრაფიკს. ეს უკანასკნელი შეიძლება აიგოს გაზომვის მონაცემების მიხედვით H -ის ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის, ე. ი. ექსტრაპოლაციის გარეშე.

შემდეგ აგებენ Q და $Bh_{\text{საშ}}^{3/2}$ სიდიდეებს შორის დამოკიდებულების მრუდს გაზომვის მონაცემების მიხედვით და ახდენენ მის ექსტრაპოლაციას მაქსიმალურ დონემდე. განსახილველი ფუნქციის მრუდის მცირე სიმრუდე არ აბრკოლებს ამ ხერხის გამოყენებას. $Q = Q(H)$ მრუდის ასაგებად საექსტრაპოლაციო ზონაში უშვებენ H -ის მნიშვნელობებს, გრაფიკულად პოულობენ ჯერ $Bh_{\text{საშ}}^{3/2}$ -ს, შემდეგ Q -ს და, მაშასადამე, $Q = Q(H)$ მრუდის წერტილების კოორდინატებს. თუ აღმოჩნდება, რომ აგებული მრუდი ამოზნექილობით Q ღერძისადმი არის მიმართული, მაშინ ჯ.სტივენსის ხერხის გამოყენება არ შეიძლება. არსებობს ამ ხერხის გამოყენების სფეროს გაფართოების შემდეგი გზები:

1. ნულოვანი სიჩქარეების მქონე ნაკადის ცოცხალი კვეთის (ω_0) გამორიცხვა (ვ. კოზლოვსკის წინადადებით), ე. ი. $\omega h_{\text{საშ}}^{1/2}$ სიდიდის ნაცვლად გაანგარიშებაში შეაქვთ გამოსახულება

$$(\omega - \omega_0) \sqrt{\frac{\omega - \omega_0}{B}} = (\omega - \omega_0)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{B}} = Bh_{\text{საშ}}^{3/2} \left(1 - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^{3/2}$$

2. აღნიშნული ხერხის გამოყენება წყალმცირობის დონეზე მაღალი დონეებისათვის; $h_{\text{საშ}}$ -ს დიდი მნიშვნელობებისათვის C კოეფიციენტი ნაკლებად არის მასზე დამოკიდებული.

წყლის ხარჯების მრუდის ექსტრაპოლაცია ჰიდრავლიკური ანალოგიის ხერხით. ამ ხერხს საფუძვლად უდევს ვ. გლუშკოვის იდეა მდინარის ნაკადისა და თანაბრად მოძრავი ნაკადის ჰიდრავლიკური ანალოგიურობის შესახებ.

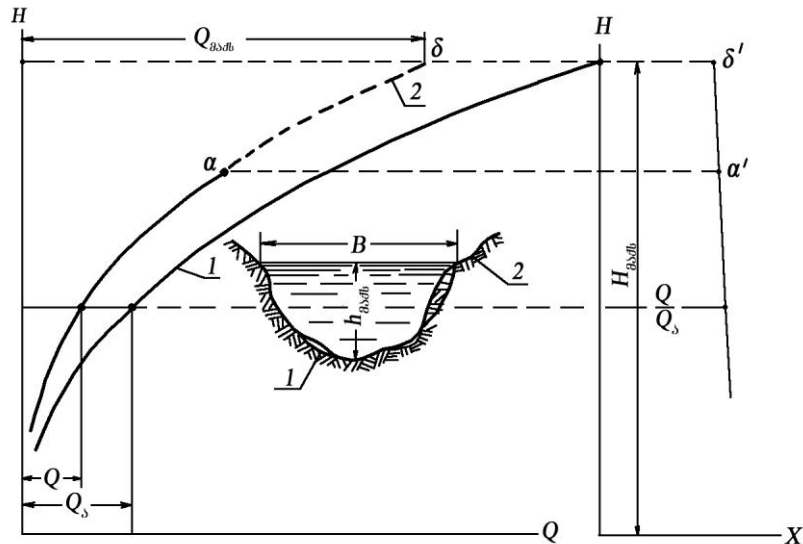
ნაკადების ანალოგიურობისათვის საჭიროა ცოცხალი კვეთების ფორმათა მსგავსება. ვ. გლუშკოვი ანალოგად ღებულობს თანაბრად მოძრავ ნაკადს სწორი

ფორმის ცოცხალი კვეთის მქონე კალაპოტში (არხში). რამდენადაც საუბარია რთული ფორმის ცოცხალი კვეთის მქონე მდინარის ნაკადის შესახებ, შეიძლება ვილაპარაკოთ მდინარის ნაკადისა და არხში გამავალი ნაკადის მხოლოდ მიახლოებით ანალოგიაზე. პარაბოლური კვეთი წარმოადგენს იმ მდინარის ცოცხალი კვეთის საუკეთესო ანალოგს, რომლის კალაპოტიც შედგება არაბმული (შეუკავშირებელი) გრუნტებისაგან. ამიტომ ანალოგად დებულობენ პარაბოლური ფორმის კალაპოტში თანაბრად მოძრავ ნაკადს.

ნაკადი-ანალოგისა და მდინარის ნაკადის B სიგანე და $h_{\text{მეშ}}$ მაქსიმალური სიღრმე მოცემული დონის შემთხვევაში ტოლი უნდა იყოს. ამგვარად, ნაკადის-ანალოგის სიგანე წარმოადგენს ცვლად სიდიდეს. ვ. გლუშკოვის ხერხი ასეთი გზით დააზუსტა ტ. ნეგოვსკაიამ.

გაანგარიშებას ატარებენ შემდეგი თანამიმდევრობით. გაზომილი Q და H -ის მიხედვით აგებენ $Q = Q(H)$ მრუდს a წერტილამდე (ნახ. 98). შემდეგ იმავე მრუდს პარაბოლური კალაპოტისათვის აგებენ წყლის თანაბარი მოძრაობის განტოლებით. მდინარის ნაკადის ცოცხალი კვეთის პროფილიდან იღებენ $h_{\text{მეშ}}$ და B სიდიდეებს სხვადასხვა დონის შემთხვევაში და პოულობენ ნაკადი-ანალოგის Q_a ხარჯს (201) განტოლებით. თუ დავუშვებთ, რომ პარაბოლური კვეთისათვის $\omega = \frac{2}{3} B h_{\text{მეშ}}$ -ს, $h_{\text{საშ}} = \frac{2}{3} h_{\text{მეშ}}$ -ს და C გამოითვლება ნ. პავლოვსკის ფორმულით, მივიღებთ:

$$Q_a = \frac{B}{n} \left(\frac{2}{3} h_{\text{მეშ}} \right)^{1.5+y} \sqrt{I}. \quad (203)$$



ნახ. 98. წყლის ხარჯების მრუდის ექსტრაპოლაციის სქემა ჰიდრავლიკური ანალოგიის ხერხით: 1-ნაკადი-ანალოგისათვის; 2-მდინარისათვის

თუ გაგვაჩნია n -ის და I -ს ფაქტიური მნიშვნელობები, მაშინ ისინი აიღება საანგარიშოდ. ქანობები შეიძლება გამოთვლილ იქნეს წყალსაზომ საგუშაგოებზე და $Q = Q(H)$ მრუდის საექსტრაპოლაციო ზონაში (ab) გაზომილი დონეების მიხედვით (ნახ. 98). წინააღმდეგ შემთხვევაში აუცილებელია n ავიღოთ ხორკლიანობის კოეფიციენტის ცხრილებიდან უბნის აღწერილობის მიხედვით, ხოლო I მივიღოთ მოცემული პირობებისათვის შესაბამისი. შემდეგ ვპოულობთ წყლის ფარდობით ხარჯებს $\kappa = \frac{Q}{Q_a}$ და ვაგებთ $\kappa = \kappa(H)$ ფუნქციის გრაფიკს a' წერტილამდე ფარგლებში (ნახ. 98). ეს დამოკიდებულება (წრფივი, ან თითქმის წრფივი) ექსტრაპოლირდება $H_{მყვ}$ დონემდე ($a'b'$ წირი). შემდეგ ამ წირიდან ვიღებთ κ -ს მნიშვნელობებს, ხოლო ნაკადი-ანალოგის ხარჯების მრუდიდან Q_a -ს მნიშვნელობებს რამდენიმე დონის შემთხვევაში, ვპოულობთ $Q = \kappa Q_a$ ხარჯებს და ვაგებთ ab ხარჯის მრუდს საექსტრაპოლაციო ზონაში. იმ შემთხვევაში, როდესაც $\kappa = \kappa(H)$ ფუნქცია რთულ სახეს ღებულობს და ამიტომ მისი ექსტრაპოლაცია გართულებულია, უნდა შევამოწმოთ $\kappa = \kappa(h_{საშ})$ ფუნქციის გამოყენების შესაძლებლობა.

κ ფარდობითი ხარჯი შეიძლება განვმარტოთ უფრო ფართო გაგებით, თუ ვიგულისხმებთ, რომ ის წარმოადგენს მოცემულ ცოცხალ კვეთში გამავალი ნებისმიერი Q ხარჯის ფარდობას იმავე კვეთში გამავალ რაიმე დამახასიათებელ ხარჯთან. ამ უკანასკნელს მიეკუთვნება ხარჯი კალაპოტის შევსებისას, ხარჯი

მოცემული უზრუნველყოფით, რომელიც ახდენს კალაპოტის ფორმირებას, მაქსიმალური გაზომილი ხარჯი და სხვ.

ასეთი ხარჯი აღვნიშნოთ Q_x -ით, ხოლო მისი შესაბამისი საშუალო სიღრმე $h_{საშx}$ -ით. ჰიდრავლიკიდან ცნობილია, რომ

$$\left(\frac{Q}{Q_x}\right)^2 = \left(\frac{h_{საშ}}{h_{საშx}}\right)^x, \quad (204)$$

სადაც x არის კალაპოტის ჰიდრავლიკური მაჩვენებელი. თუ შემოვიტანთ $\eta = \frac{h_{საშ}}{h_{საშx}}$ ფარდობითი სიღრმის ცნებას, მაშინ (204) ფორმულა შეიძლება ასე ჩავწეროთ:

$$x^2 = \eta^x. \quad (205)$$

x -ის მნიშვნელობას ვპოულობთ (205) ფუნქციის ლოგარითმული ანამორფოზის აგების გზით წყლის გაზომილი ხარჯების ფარგლებში.

Q ხარჯებს საექსტრაპოლაციო ზონისათვის (204) განტოლების საფუძველზე გამოვთვლით ფორმულით:

$$Q = \sqrt{\eta^x} Q_x. \quad (206)$$

ამოცანის ამონახსნის დასაზუსტებლად შეიძლება ავაგოთ $x = x(H)$ გრაფიკი და მოვახდინოთ მისი ექსტრაპოლაცია საჭირო დონეებამდე, თუ x -ის მუდმივობა არ არის შენარჩუნებული $H_{აქს}$ -მდე ფარგლებში.

წყლის ხარჯების მრუდის ექსტრაპოლაცია ნაკადის სიგანეზე მისი ელემენტების ცვლილების გათვალისწინებით. ეს ხერხი პირველად მ. ველიკანოვმა დაამუშავა. ის ითვალისწინებს ნაკადის სიგანეზე h სიღრმის განაწილების უთანაბრობას. წყლის ხარჯი ვერტიკალზე ტოლია:

$$q = C_3 h \sqrt{hI}, \quad (207)$$

სადაც C_3 არის შეზის კოეფიციენტი h სიღრმის ვერტიკალზე. მთელი ნაკადის Q ხარჯი (207) გამოსახულებიდან შეიძლება ასეთი სახით წარმოვადგინოთ (იმ დაშვებით, რომ ნაკადის სიგანეზე I არ იცვლება და შეზის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა ვერტიკალზე $C_3 \approx C$):

$$Q = C \sqrt{I} \int_0^B h^{3/2} db, \quad (208)$$

ინტეგრალს (208) გამოსახულების მარჯვენა ნაწილში პოულობენ გრაფიკულად ნაკადის სიგანეზე $h^{3/2}$ -ის ცვლილების მრუდის წინასწარი აგების გზით. ამ მრუდითა და წყლის ზედაპირის წირით შემოსაზღვრული ფართობი

იძლევა საძიებელ ინტეგრალს. აღნიშნული ხერხი შეიძლება დავაზუსტოთ, თუ ჩავთვლით, რომ $C_3 = C_3(n_3, h)$. თუ დავუშვებთ, რომ $\overline{n_3} = n$ -ს და $y = \frac{1}{6}$ -ს, (207) გამოსახულებიდან მივიღებთ:

$$Q = \frac{\sqrt{I}}{n} \int_0^B h^{5/3} db. \quad (209)$$

ინტეგრალს მარჯვენა ნაწილში გამოთვლიან ნაკადის სიგანეზე $h^{5/3}$ -ის ცვლილების მრუდის აგებით.

მ. ველიკანოვის მიერ რეკომენდებული ხერხის შემდგომი განვითარება ეკუთვნის გ. ჟელეზნიაკოვს, რომელმაც (208) განტოლებას ასეთი სახე მისცა:

$$Q = \beta_* C B h_{\text{საშ}}^{3/2} \sqrt{I}; \quad (210)$$

ამ უკანასკნელის შესაბამისად სალინეარიზაციო ფუნქციის სახით გამოიყენება $\beta_* B h_{\text{საშ}}^{3/2}$ გამოსახულება. β_* -ს განსაზღვრა მოცემულია მე-13 პარაგრაფში.

ი. კრავჩენკო წინადადებას იძლევა გათვალისწინებულ იქნეს ნაკადის სიგანეზე ვერტიკალებზე საშუალო სიჩქარეთა (u_3) განაწილების უთანაბრობა. ამ მიზნით აგებენ $u_3 = u_3(H)$ მრუდს თითოეული სიჩქარითი ვერტიკალისათვის და ახდენენ მის ექსტრაპოლაციას $H_{\text{შეს}}$ დონემდე. ამ მრუდებიდან იღებენ u_3 -ს მნიშვნელობებს საექსტრაპოლაციო ზონისათვის და პოულობენ $q = u_3 h$ ხარჯებს ვერტიკალებზე; h სიღრმეებს იღებენ წყლის კვეთის პროფილიდან შესაბამისი დონეებისათვის. შემდეგ აგებენ $q = q(b)$ მრუდს. ფართობი, რომელიც შემოსაზღვრულია ამ მრუდით და წყლის სარკის წირით, იძლევა წყლის ექსტრაპოლირებულ ხარჯს.

ბ. პოლიაკოვმა დაამუშავა $Q = Q(H)$ მრუდის აგებისა და ექსტრაპოლაციის ხერხი, რომელიც უშუალოდ ითვალისწინებს სიღრმისა და u_3 სიჩქარის ცვლილებას ნაკადის სიგანეზე. წყლის გაზომილი ხარჯებისა და ქანობების მიხედვით ბ. პოლიაკოვმა ააგო ვერტიკალებზე $\frac{q}{\sqrt{I}}$ ხარჯის მახასიათებლების ცვლილების გრაფიკი h სიღრმისა და კალაპოტის ფსკერის ხორკლიანობის ცვლილების მიხედვით. ცოცხალი კვეთის პროფილისა და ხორკლიანობის ტიპის შესაბამისად პოულობენ $\frac{q}{\sqrt{I}}$ სიდიდეებს და აგებენ ამ სიდიდეთა ეპიურებს სხვადასხვა დონის (H) შემთხვევაში.

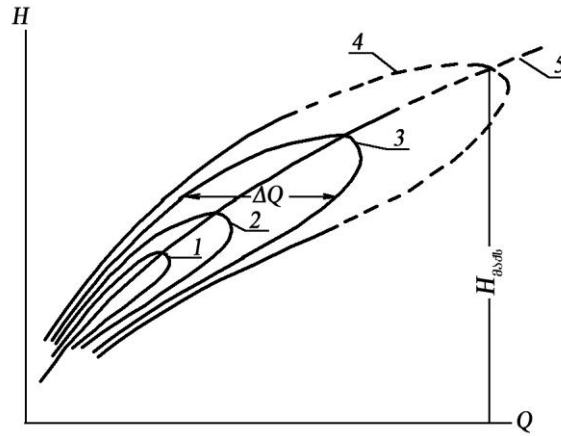
წყლის ხარჯის ფორმულას მოცემული დონისათვის აქვს ასეთი სახე:

$$Q = \sqrt{I} \int_0^B \left(\frac{q}{\sqrt{I}} \right) db. \quad (211)$$

ინტეგრალს (211) გამოსახულების მარჯვენა ნაწილში გამოითვლიან პლანიმეტრირებით ან ეპიურის ფარდობის დაყოფით მარტივ ნაკვეთებად. I ქანობი განისაზღვრება მდინარის გრძივი პროფილით, თუ ის არ იყო გაზომილი მაღალი დონეების შემთხვევაში.

წყალმოვარდნის მარყუჟის ექსტრაპოლაცია. ზემონათქვამი ეხება ცალსახა ხარჯის მრუდებისა და ისეთი არაცალსახა მრუდების ექსტრაპოლაციას, რომელთა დაყვანა ცალსახაზე რაიმე გზით შესაძლებელია. განვიხილოთ წყლის დაუმყარებელი მოძრაობის შემთხვევა, რომელშიც მკვეთრად გამოსახულია წყალმოვარდნის მარყუჟი. ვიგულისხმობთ, რომ წარმოიქმნება სამი მარყუჟი (ნახ. 99; 1, 2, 3). საჭიროა შესრულდეს წყალმოვარდნის მარყუჟის 4 ექსტრაპოლაცია გაზომილ $H_{\text{მკვ}}$ დონემდე. ამ მარყუჟის ნაწილი აგებულია გაზომილი ხარჯებისა და დონეების მიხედვით.

უპირველეს ყოვლისა, აუცილებელია აიგოს $Q = Q(H)$ მრუდი წყლის დამყარებული მოძრაობისათვის (მრუდი 5). ამ უკანასკნელს ატარებენ მდოვრედ წყალმოვარდნის მარყუჟების წვეროებზე და ახდენენ მის ექსტრაპოლაციას. შემდეგ გადაზომავენ გაზომილი დონეებიდან უდიდესს $-H_{\text{მკვ}}$ -ს და ამ წერტილზე ატარებენ აწევისა და დაცემის (წყვეტილით) შტოებს 1,2 და 3 მრუდების განლაგების მხედველობაში მიღებით. მრუდის 4 აგებაში რომ მეტი გარკვეულობა იქნეს შეტანილი, საჭიროა ყურადღება მიექცეს ხარჯების მაქსიმალურ სხვაობათა ცვლილებას ΔQ -ს (ნახ. 99) H დონის მიხედვით. წყალმოვარდნის მარყუჟის ექსტრაპოლაციის ეს მიახლოებითი ხერხი მისაღებია, თუ არა აქვს ადგილი ცვლად შეტბორვას და არ ხდება კალაპოტის ფსკერის დეფორმაცია.



ნახ. 99. წყალმოვარდნის მარყუქების ექსტრაპოლაციის სქემა: 1–4– წყალმოვარდნის მარყუქები; 5– $Q = Q(H)$ მრუდი წყლის დამყარებული მოძრაობისას

ხარჯების მრუდის გადატანა საანგარიშო კვეთებში და მაქსიმალური ხარჯების გამოთვლა მაღალი წყლების ჭდეების მიხედვით. დასაგეგმარებელი ჰიდროტექნიკური ნაგებობებისა და ხიდების კვეთები თითქმის არასოდეს არ თანხვდება ჰიდრომეტრიულ კვეთებს, რაც მათთვის წაყენებული მოთხოვნების სხვადასხვაობით უნდა აიხსნას. ამ მიზეზით ისმის საკითხი $Q = Q(H)$ მრუდის გადატანის შესახებ დასაგეგმარებელ ნაგებობათა კვეთებში. ასეთ კვეთებს, ჰიდრომეტრიულისაგან განსხვავებით, საანგარიშოს უწოდებენ.

თანაბარი მოძრაობისას $Q = Q(H)$ მრუდი გადააქვთ საანგარიშო კვეთში დონის ვარდნის (ΔH) ტოლი სიდიდით ამ მრუდის პარალელური გადაადგილების გზით. ΔH -ის მნიშვნელობა დადებითია, თუ ხარჯის მრუდის გადატანა ხდება ზემოთ ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით, წინააღმდეგ შემთხვევაში კი უარყოფითია..

დამყარებული არათანაბარი მოძრაობისას ΔH -ს გამოთვლიან (182) განტოლების საშუალებით, რომელიც ამოიხსნება ჰიდრავლიკაში ცნობილი ხერხებით.

$Q = Q(H)$ მრუდის გადატანა საანგარიშო კვეთში შედარებით საიმედოა შესაბამისი დონეების მიხედვით; ამიტომ რთულ შემთხვევაში საანგარიშო კვეთში წინასწარ (წყალმეტობამდე) აწყობენ წყალსაზომ საგუშაგოს და პარალელურად ზომავენ დონეებს.

წყლის ხარჯები იმ დონეებზე, რომლებიც მაღალი წყლების ჭდეებს შეესაბამებოდა, გამოითვლება (210) ფორმულით. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთ შემთხვევაში ნაკადის სიღრმეები დიდია, C კოეფიციენტის გამოსათვლელად შეიძლება ვისარგებლოთ ფორმულით, რომელიც მართებულია დიდი სიღრმეებისათვისაც:

$$C = C' + \sqrt{(C')^2 + \frac{\sqrt{g}}{0,13} \left(\frac{1}{n} + \sqrt{g} l g R \right)}, \quad (212)$$

სადაც

$$C' = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0,13} (1 - l g R) \right].$$

ამ ფორმულით შედგენილია მე-19 ცხრილი. გაანგარიშებებში მიიღება $R \approx h_{\text{საშ}}$, ხოლო ხორკლიანობის კოეფიციენტი (n) ნიშნავენ მდინარის უბნის აღწერილობის შესაბამისად. ცხრილში მოცემულია $h_{\text{საშ}}$ -ს მცირე მნიშვნელობებიც, რადგანაც ნოლა კალაპოტებში შეიძლება იყოს პატარა სიღრმეები.

§ 22. წყლის ჩამონადენის განსაზღვრა

ჩამოდინების პროცესებს და მის ფაქტორებს შეისწავლიან ჰიდროლოგიის კურსში. ჰიდრომეტრიის ამოცანას შეადგენს ნაკადის ჰიდრავლიკური ელემენტების გაზომვის საფუძველზე ჩამონადენის მოცულობის (W) განსაზღვრა. ჩამონადენის მოცულობა არის წყლის ჯამური რაოდენობა, რომელიც ჩაედინება წყალშემკრებიდან მდინარეში, ან სხვა წყალმიმღებ ობიექტებში, დროის რაიმე შუალედში. კერძოდ, ერთ წამში ჩამოდინებული წყლის მოცულობას, როგორც ეს ზემოაღნიშნულიდან ჩანს, უწოდებენ ხარჯს. თუ ცნობილია W , შეიძლება გამოითვალოს ჩამონადენის სხვადასხვა მახასიათებელი, მაგალითად, მისი მოდული, რომელიც წარმოადგენს ჩამონადენის მოცულობას დროის ერთეულში წყალშემკრების ფართობის ერთეულიდან. W -ს გამოსათვლელად საჭიროა საწყისი მონაცემები—ყოველდღიური დონეების და წყლის ხარჯის მრუდი.

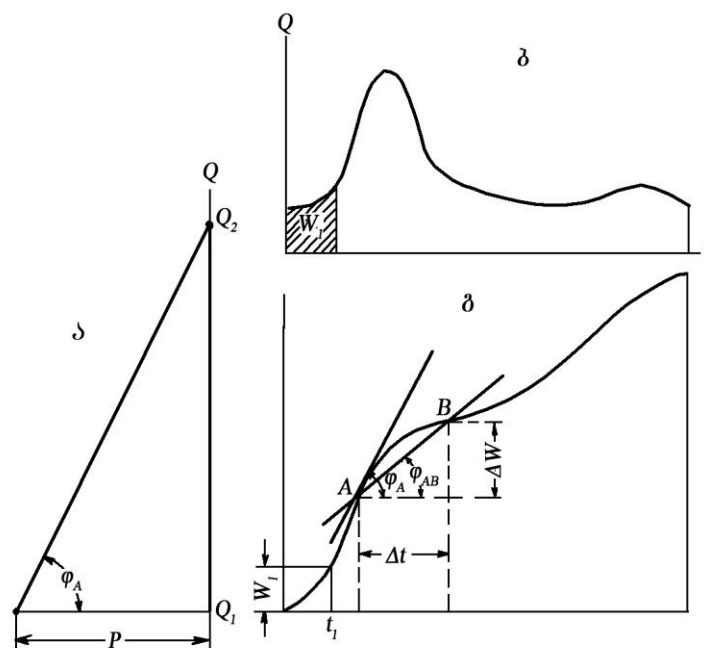
ჰიდროგრაფი. ყოველდღიურად გაზომილი H დონეების მიხედვით, ხარჯების ცალსახა მრუდიდან, პოულობენ Q ხარჯებს. არაცალსახა მრუდებისათვის გამოიყენება გაანგარიშების მეთოდика, რომელიც ითვალისწინებს დონეებისათვის ΔH შესწორებებისა ან ხარჯებისათვის K კოეფიციენტების (მაგალითად, $K_{\text{ზაბ}}$) შემოტანას. **ტ. ეიპრეს** მონაცემებით ΔH შესწორებათა ხერხი ნაკლებ ცდომილებას

იმლევა, ვიდრე K კოეფიციენტების ხერხი. გარდა ამისა, პირველი ხერხით ჩამონადენის გამოსათვლელად იხარჯება ნაკლები დრო.

ხარჯების მრუდის მასშტაბმა უნდა უზრუნველყოს Q -ს ათვლა სამნიშნა ციფრის სიზუსტით. თუ $Q = Q(H)$ მრუდი წლების განმავლობაში უცვლელი რჩება და ხშირად გვიხდება მისი გამოყენება, მაშინ მიზანშეწონილია შევადგინოთ ხარჯების ცხრილი. მასში იწერება დონეები 1 სმ-ის ინტერვალით ჰორიზონტალური მიმართულებით და 10 სმ-ის ინტერვალით-ვერტიკალური მიმართულებით. თუ ცხრილში ინტერვალი 1 სმ-ს აღემატება, მაშინ ხარჯები შუალედური დონეებისათვის გამოითვლება ჩვეულებრივ, წრფივი ინტერპოლაციით. წყლის საშუალო დღედამური ხარჯები გამოითვლება საშუალო დღედამური დონეების მიხედვით. დღედამის განმავლობაში დონეების მკვეთრად ცვლილებისას ასეთ ხერხს მივყავართ საშუალო დღედამური ხარჯის შემცირებამდე; ამ შემთხვევაში ჯერ უნდა მოიძებნოს ხარჯები „სასწრაფო დონეების“ მიხედვით, ხოლო შემდეგ-მათი საშუალო მნიშვნელობა. საშუალო დღედამური ხარჯები წლის განმავლობაში შეაქვთ სტანდარტულ ცხრილში-„წყლის ყოველდღიური ხარჯები“. ციფრების მარჯვნივ პირობითი ნიშნებით აღნიშნავენ ყინვით გამოწვეულ მოვლენებს. ცხრილის ქვემოთ წერენ ხარჯებს: საშუალო დეკადურს; საშუალო, მაქსიმალურ და მინიმალურ თვიურს; საშუალო, მაქსიმალურ და მინიმალურ წლიურს; მოცემული წლის 30, 90; 180, 270 და 365 დღედამის განმავლობაში უზრუნველყოფილს.

C ($\partial^{0.5}/\sqrt{m}$) კოეფიციენტის მნიშვნელობები გ. ჟელეზნიაკოვის ფორმულით

$R(h_{\text{სფ}})n$	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,040	0,050	0,080	0,10	0,020
0,1	80,7	49,2	34,5	26,0	20,5	14,1	10,5	5,47	3,92	1,01
0,2	86,3	54,3	28,7	29,7	23,8	16,8	12,7	7,00	5,20	1,79
0,3	89,7	57,3	41,4	32,1	26,0	18,6	14,3	8,09	6,13	2,37
0,4	92,1	59,5	43,4	33,9	27,6	20,0	15,5	8,98	6,89	2,86
0,5	94,0	61,2	44,9	35,3	28,9	21,1	16,5	9,79	7,54	3,29
0,6	95,6	62,6	46,2	36,5	30,0	22,7	17,4	10,4	8,12	3,68
0,7	96,9	63,8	47,4	37,6	31,0	22,9	18,1	11,0	8,65	4,04
0,8	98,0	64,9	48,3	38,4	31,8	23,7	18,8	11,5	9,13	4,38
0,9	99,1	65,8	49,2	39,3	32,6	24,4	19,4	12,0	9,58	4,68
1,0	100,0	66,7	50,0	40,0	33,3	25,0	20,0	12,5	10,0	5,00
1,2	101,6	68,2	51,4	41,3	34,5	26,1	21,0	13,3	10,8	5,56
1,4	103,0	69,4	52,6	42,4	35,6	27,1	21,9	14,1	11,4	6,07
1,6	104,1	70,5	53,6	43,4	36,5	27,9	22,7	14,8	12,1	6,55
1,8	105,2	71,5	54,5	44,3	37,4	28,7	23,4	15,4	12,6	7,00
2,0	106,1	72,4	55,4	45,1	38,1	29,4	24,1	16,0	13,2	7,43
2,5	108,1	74,3	57,6	46,8	39,8	31,0	25,6	17,2	14,4	8,41
3,0	109,7	75,8	58,6	48,2	41,1	32,2	26,8	18,3	15,4	9,28
3,5	111,1	77,1	59,9	49,4	42,3	33,3	27,8	19,3	16,3	10,1
4,0	112,3	78,3	61,0	50,5	43,3	34,3	28,8	20,2	17,1	10,8
4,5	113,4	79,3	61,9	51,4	44,2	35,2	29,6	20,9	17,9	11,5
5,0	114,3	80,2	62,8	52,2	45,1	36,0	30,4	21,6	18,6	12,1
6,0	116,0	81,8	64,4	53,7	46,5	37,4	31,7	22,9	19,8	13,2
7,0	117,4	83,1	65,3	55,0	47,8	38,6	32,9	24,0	21,0	14,2
8,0	118,6	84,3	66,8	56,1	48,8	39,6	33,9	25,0	21,9	15,2
9,0	119,7	85,4	67,8	57,1	49,8	40,6	34,8	25,9	22,7	16,0
10,0	120,7	86,3	68,7	58,0	50,7	41,4	35,7	26,7	23,5	16,8
12,0	122,4	87,9	70,3	59,5	52,2	42,9	37,2	28,1	24,9	18,1
14,0	123,8	89,3	71,6	60,9	53,5	44,2	38,4	29,3	26,1	19,3
16,0	125,0	90,5	72,8	62,0	54,6	45,3	39,5	30,4	27,2	20,4
18,0	126,1	91,6	73,8	63,0	55,7	46,3	40,5	31,4	28,2	21,3
20,0	127,1	92,5	74,8	64,0	56,6	47,2	41,4	32,2	29,0	22,2



ნახ. 100. სხივური მასშტაბი (ა), ჰიდროგრაფი (ბ) და ჩამონადენის ინტეგრალური მრუდი (გ)

თვალსაჩინო წარმოდგენას წყლის ხარჯების ცვლილების შესახებ იძლევა $Q = Q(t)$ გრაფიკი, რომელსაც ჰიდროგრაფი ეწოდება (ნახ. 100,ბ).

იგი წარმოადგენს ხარჯის ცვლილების გრაფიკს დროის რაიმე პერიოდისათვის: წლის ნაწილისათვის (წყალდიდობა, წყალმცირობა და სხვ.), წლისთვის, რამდენიმე წლისთვის. ჰიდროგრაფი ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა ჰიდროლოგიურ გაანგარიშებაში. წყლის ჩამონადენი (W) რაიმე t პერიოდისათვის გამოისახება ინტეგრალით:

$$W = \int_0^t Q dt, \quad (213)$$

რომელიც რიცხობრივად 100,ბ ნახაზზე ნაჩვენები დაშტრიხული (წახაზული) ფართობის ტოლია (მაგალითად, როცა $t = t_1$ -ს, მაშინ $W = W_1$ -ს). ეს ფართობი შეიძლება განისაზღვროს პლანიმეტრირებით Q -ს და t -ს მასშტაბების გათვალისწინებით. დღედამური ჩამონადენი 86400 Q -ს ტოლია, სადაც Q არის საშუალო დღედამური ხარჯი, ხოლო 86400-წამთა რიცხვი დღედამეში. ამიტომ (213) ინტეგრალი შეიძლება ასეთი სახით წარმოვადგინოთ:

$$W = \sum_1^n (86400 Q) = 86400 \sum_1^n Q. \quad (214)$$

თუ ამ გამოსახულების მარჯვენა ნაწილს გავამრავლებთ და გავყოფთ განსახილველ პერიოდში დღედამეთა რიცხვზე (n), მივიღებთ:

$$W = 86400n \left(\frac{\sum_1^T Q}{n} \right) = NQ_{\text{საშ}}, \quad (215)$$

სადაც $Q_{\text{საშ}}$ არის ამავე პერიოდისათვის წყლის ხარჯის საშუალო მნიშვნელობა;

N –წამთა რიცხვი განსახილველ პერიოდში.

დაკვირვებათა დამუშავების შედეგს წარმოადგენს წყლის ხარჯის მრავალწლიური მახასიათებლები, რომელთაც მიეკუთვნება მათი საშუალო და ექსტრემალური მნიშვნელობები, აგრეთვე ჩამონადენის მოდულის საშუალო წლიური (ხუთწლეულების მიხედვით) და მრავალწლიური სიდიდეები.

წყლის ხარჯები, ისევე როგორც დონეები, შეიძლება დამუშავებულ იქნეს სტატისტიკურად.

მდინარის სიგრძეზე ჩამონადენის განაწილების გაზომვებსა და გაანგარიშებებში შესაძლო შეცდომათა გამოვლინების მიზნით ატარებენ ჩამონადენის შესახებ არსებული მონაცემების ანალიზს.

ჩამონადენის ინტეგრალური მრუდი. მდინარის ჩამონადენის რეგულირებისათვის საჭირო გაანგარიშებებში, რომლებიც დაკავშირებულია წყალსაცავების დაგეგმარებასა და ექსპლოატაციასთან, ფართოდ გამოიყენება $W = W(t)$ მრუდი, რომელსაც ჩამონადენის ინტეგრალურ მრუდს უწოდებენ. ვერტიკალურ ღერძზე ზომავენ W ჯამურ ჩამონადენს, ხოლო ჰორიზონტალურზე– t დროს (ნახ.100,გ). ინტეგრალური მრუდის ნებისმიერი ორდინატა იძლევა წყლის მოცულობას, რომელიც გაედინება მდინარის ან არხის მოცემული ჰიდრომეტრიული კვეთის ცოცხალ კვეთში დროის საწყისი მომენტიდან მოცემულ მომენტამდე; ორდინატთა სხვაობა მათ მიერ შემოსაზღვრულ დროის შუალედში ჩამონადენის სიდიდის ტოლია. $W = W(t)$ მრუდზე ავიღოთ A და B წერტილები (ნახ.100,გ). ჩამონადენი $t_B - t_A = \Delta t$ დროში $W_B - W_A = \Delta W$ –ს ტოლია. საშუალო ხარჯი Δt პერიოდში შეადგენს $Q_{AB} = \frac{\Delta W}{\Delta t}$. თუ B წერტილს მივუახლოვებთ A წერტილს, მაშინ AB მკვეთი გადაიქცევა A წერტილში გატარებულ მხეზად, ხოლო ხარჯი დროის t_A მომენტისათვის იქნება $Q_A = \frac{dW}{dt}$. მამასადამე, წყლის ხარჯის ცნება შეიძლება განისაზღვროს როგორც ჩამონადენის მოცულობის პირველი წარმოებული დროით. ხარჯები φ_A კუთხის საშუალებით გამოისახება შემდეგნაირად:

$$Q_A = \frac{m_w}{m_t} t g \varphi_A, \quad (216)$$

სადაც m_w არის მოცულობის ერთეულთა რიცხვი გრაფიკის ერთ წრფივ ერთეულში;

m_t –დროის ერთეულთა რიცხვი გრაფიკის ერთ წრფივ ერთეულში.

მაშასადამე, ჩამონადენის ინტეგრალურ მრუდზე Q ხარჯს შეესაბამება გარკვეული φ კუთხე. ეს იძლევა სხივური მასშტაბის აგების შესაძლებლობას, რომლითაც შეიძლება ვისარგებლოთ ჩამონადენის ინტეგრალური მრუდის აგებისა და გამოყენებისას. ვთქვათ, O წერტილი არის პოლუსი, ხოლო $OO_1 = p$ მონაკვეთი – პოლუსური მანძილი. O_1 წერტილიდან ზემოთ მიემართება Q ხარჯების მრუდი, რომელზეც წერტილთა მდებარეობა, მაგალითად, O_2 წერტილის, ფიქსირებულია φ_A კუთხით (ნახ. 100,ა). თუ გვეცოდინება პოლუსური p მანძილი და Q ღერძზე გარკვეული ინტერვალებით გადავზომავთ წერტილებს, რომელთაც შემდეგ პოლუსთან შევაერთებთ, მივიღებთ წყლის გარკვეული ხარჯების შესაბამის სხივებს (100, ა ნახაზზე ნაჩვენებია OO_2 სხივი). პოლუსური მანძილი დამოკიდებულია m_w, m_t და m_q სიდიდეებზე, სადაც m_q არის ხარჯის ერთეულთა რიცხვი გრაფიკის ერთ წრფივ ერთეულში. 100, ა ნახაზიდან ჩანს, რომ $O_1O_2 = p t g \varphi_A$, (216) ფორმულის გათვალისწინებით ვიპოვიით:

$$O_1O_2 = p \frac{m_t}{m_w} \cdot Q_A.$$

O_1O_2 -ის ნაცვლად ჩავსვათ $\frac{Q_A}{m_q}$ ფარდობა, მაშინ მივიღებთ:

$$p = \frac{m_w}{m_q m_t}. \quad (217)$$

ჩამონადენის ინტეგრალური მრუდის ორდინატები $Q > O$ –ზე შემთხვევაში ყოველთვის იზრდება, რაც (213) განტოლებიდან გამომდინარეობს. როცა $Q = O$ –ს, ეს მრუდი ჰორიზონტალურია. რაც მეტია Q ხარჯები, მით მკვეთრად იწევს $W = W(t)$ მრუდი ზემოთ, და პირიქით. ხარჯების ზრდისა და შემცირების ურთიერთმონაცვლეობა, მაგალითად, წყალდიდობიდან წყალმცირობაზე გადასვლისას, $W = W(t)$ მრუდს ტალღურ ხასიათს აძლევს. $Q = const = Q_0$ –ს შემთხვევაში (213) განტოლება ასე ჩაიწერება: $W = Q_0 t$, ე. ი. ჩამონადენის ინტეგრალური მრუდი ღებულობს წრფის სახეს, რაც მთლიანად დარეგულირებულ ჩამონადენს შეესაბამება. მდინარის ჩამონადენის

რეგულირებისათვის $W = W(t)$ მრუდს აგებენ მრავალწლიანი პერიოდისათვის; ასეთ შემთხვევაში ის თავსდება ნახაზის დიაგონალურად და იკავებს საკმარისად დიდ ადგილს. ამის თავიდან აცილების მიზნით ჩამონადენის ინტეგრალურ მრუდს აგებენ ირიბკუთხა კოორდინატებში.

Q -სა და H -ს შორის მყარი დამოკიდებულების არსებობისას თანამედროვე ტექნიკა ჰიდროგრაფისა და ჩამონადენის ინტეგრალური მრუდის ავტომატური რეგისტრაციის საშუალებას იძლევა.

თუ დონის თვითმწერში ტივტივიან თვალს შევცვლით ჰიდრომეტრიული ნიჟარით-მასზე დახვეული გვარლით, მაშინ დონის თვითმწერის დოლი იბრუნებს წყლის ხარჯის პროპორციულად.

ჰიდრომეტრიული ნიჟარის ფორმა ითვალისწინებს $Q = Q(H)$ დამოკიდებულების სახეს.

ირიგაციულ არხებში წყლის ხარჯვის აღნუსხვის ავტომატიზაციის საკითხები განხილულია მე-16 პარაგრაფში.

თ ა ვ ი VI. ნატანის ხარჯები და ჩამონადენი

§ 23. შეწონილი (ტივტივა) ნატანის ხარჯების განსაზღვრა

ნაკადის მიერ გადატანილ მყარ ნაწილაკებს, რომლებიც კალაპოტისა და ნოღა კალაპოტების ფორმირებას ახდენენ, ნატანი ეწოდება. მდინარეებისა და არხების ნატანით გამდიდრებას აქტიურად უწყობს ხელს წყლის ზემოქმედებით გამოწვეული ეროზია წყალსადინარების კალაპოტებსა და აუზებში. ნაკადისა და კალაპოტის ურთიერთქმედების შედეგად ხდება ნატანის ტრანსპორტირება და აკუმულირება; ნატანი ხან შეწონილ მდგომარეობაში იმყოფება, ხან კი ხდება მისი დალექვა, განუწყვეტლივ გადადის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში იმის მიხედვით, თუ როგორია ნაკადის დინამიკა და მყარი ნაწილაკების სიმსხო.

ნატანი ორი სახისაა-შეწონილი და ფსკერული. შეწონილი ეწოდება ისეთ ნატანს, რომელიც ნაკადში გადაადგილდება შეწონილ მდგომარეობაში რთული ტრაექტორიით; ეს უკანასკნელი დამოკიდებულია ნაკადის ტურბულენტურ სტრუქტურაზე; შეწონილი ნაკადი უმეტეს შემთხვევაში ნოღა კალაპოტებში ილექება. ფსკერული ნატანი ნაკადში გადაადგილდება სალტაციის გზით და წარმოქმნის ფსკერულ დანალექებს.

ნაკადის რაოდენობას, რომელიც ნაკადის ცოცხალ კვეთში დროის ერთეულში გაედინება, ნატანის ხარჯი ეწოდება. შესაბამისად, განასხვავებენ შეწონილი ($G_{\text{შ}}$) და ფსკერული ($G_{\text{ფ}}$) ნატანის ხარჯს, მოცულობით ან წონით ერთეულებში. ნატანის რაოდენობას, რომელსაც წყლის მოცულობის ერთეული შეიცავს, წყლის სიმღვრივე

ეწოდება; ის ახასიათებს ნაკადში ნატანის კონცენტრაციას (კონსისტენციას), ე. ი. გრუნტით ნაკადის გაჯერების ხარისხს. ისევე, როგორც სიჩქარე, განასხვავებენ ადგილობრივ სიმღვრივეს (ρ), ვერტიკალზე საშუალო სიმღვრივეს (ρ_3) და მთელი ნაკადის საშუალო სიმღვრივეს ($\rho_{საშ}$). ჰიდრომეტრიაში სიმღვრივეს ძირითადად წონის ერთეულებში გამოსახავენ. $\rho_{საშ}$ წარმოადგენს შეწონილი ნატანის ხარჯის ფარდობას წყლის ხარჯთან; ამიტომ

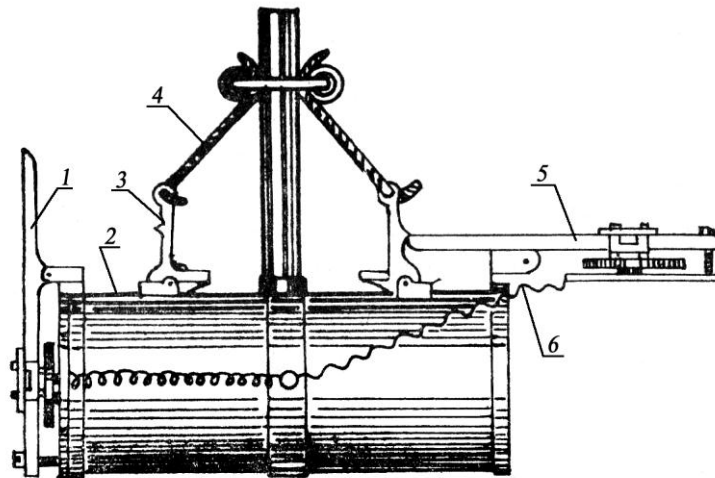
$$G_{\text{წ}} = \rho_{\text{საშ}} Q. \quad (218)$$

აქედან ცხადია, რომ ნატანის ხარჯის გამოსათვლელად საჭიროა ნაკადის სიჩქარის, სიღრმის, ხარჯისა და სიმღვრივის გაზომვა. იმის გამო, რომ სიჩქარეების, სიღრმეებისა და ხარჯების გაზომვის ხერხები ჩამოყალიბებულია წინა თავებში, ნატანის ჰიდრომეტრიის საკითხები აქ გაშუქებულია მოკლედ.

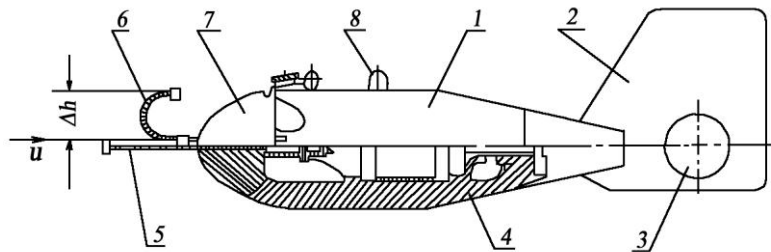
წყლის სიმღვრივის გასაზომი ხელსაწყოები-ბათომეტრები.

წყლის სიმღვრივის საზომ ხელსაწყოებს ბათომეტრები ეწოდება. მოქმედების პრინციპით ისინი იყოფიან მყისიერი და ხანგრძლივი ავსების ბათომეტრებად.

ნ. ნ. ჟუკოვსკის კონსტრუქციის მყისიერი ავსების ბათომეტრი (ნახ.101). ხელსაწყო შედგება ლითონის ცილინდრისაგან -2, რომელზეც დამაგრებულია სახურავები -1 და 5 რეზინის ფენილით; ნახაზზე ერთი სახურავი -5 ღიაა, მეორე -1 დახურული. სახურავები იკეტება ზამბარის -6 საშუალებით. გამშვები მექანიზმი -3 მოქმედებაში მოდის ზონარით -4, ხოლო ბათომეტრის ნაკადში მოთავსებისას-გვარლზე მოძრავი ტვირთით. ბათომეტრებს აქვს 1, 2, 3 და 5 ლიტრის ტევადობა. აღებულ წყალს ასხამენ ბოთლებში. ბათომეტრი შეიძლება დამონტაჟდეს ჰიდრომეტრიულ ტრიალასთან ერთად, რათა ერთდროულად მოხდეს დინების სიჩქარის გაზომვა და წყლის სინჯის აღება. მყისიერი ავსების ბათომეტრები რეკომენდებულია სიმღვრივის პულსაციის გამოსაკვლევად წყლის სინჯის თანამიმდევრული აღების გზით. დროის მიხედვით გასაშუალებული სიმღვრივე განისაზღვრება ხანგრძლივი ავსების ბათომეტრით.



ნახ. 101. ნ. ნ. ჟუკოვსკის ბათომეტრი: 1-ხუფი; 2-ცილინდრი; 3-ჩასაშვები მექანიზმი; 4-ზონარი; 5-ღია ხუფი; 6-ზამბარა



ნახ. 102. ბათომეტრ-ბოთლი:

1-კორპუსი; 2-კუდის ფრთაშესხმულობა; 3-ტვირთი; 4-ქვეში; 5-წყალამდები მილაკი; 6-ჰაერგამყვანი მილაკი; 7-მოსახსნელი ხუფი; 8-რგოლი

ხ ა ნ გ რ ძ ლ ი ვ ი ა ვ ს ე ბ ი ს ბ ა თ ო მ ე ტ რ - ბ ო თ ლ ი. ეს ხელსაწყო შედგება 1 ლ ტევადობის ბოთლისაგან, მიმღები ნაწილისა და სამართულისაგან. სამართული (ბათომეტრის შტანგით ჩაშვებისას) შესრულებულია ბუდის სახით, რაც საშუალებას იძლევა ბოთლი მოთავსდეს ჰორიზონტალური სიბრტყისადმი $24-25^{\circ}$ -იანი კუთხით. ნაკადში ბათომეტრის გვარლით ჩაშვებისას გამოიყენება სამართული კარგი გარსდენის მქონე ღრუ ტვირთის სახით (ნახ. 102). ტვირთი შედგება კორპუსისაგან -1, კუდის ფრთაშესხმულობისა -2 და ვერტიკალური ჭრილის მქონე მოსახსნელი თავისაგან -7, რომლიდანაც გამოდის წყალამდები -5 და ჰაერგამყვანი -6 მილაკები. ეს მილაკები ჩამონტაჟებულია ლითონის თავში-საცობში, რომელსაც გააჩნია რეზინის ფენილები. ამ უკანასკნელთა დანიშნულებაა ჰერმეტიკულად დახუროს ბოთლის ხვრეტი. კუდის ფრთაშესხმულობას აქვს პატარა ტვირთი -3 ნაკადში მოთავსებული ბათომეტრის ბალანსირებისათვის. გვარლს ამაგრებენ რგოლში -8. ბოთლი ივსება სხვადასხვა სიმძლავრეზე განლაგებული მილაკების -5 და 6 შესასვლელ ხვრეტებს შორის არსებულ $\gamma\Delta h$ წნევითა სხვაობის გამო. სასურველია, რომ მილის -5 ხვრეტში წყლის შესვლის სიჩქარე მცირედ განსხვავდებოდეს დინების ადგილობრივი u სიჩქარისაგან, რაც მიიღწევა Δh -ის ცვლილებით. ბ. პოლიაკოვი წინადადებებს იძლევა Δh -ის ცვლილება მოხდეს წყალამდები და ჰაერგამყვანი მილაკების ბრუნვით საკუთარი ღერძის გარშემო.

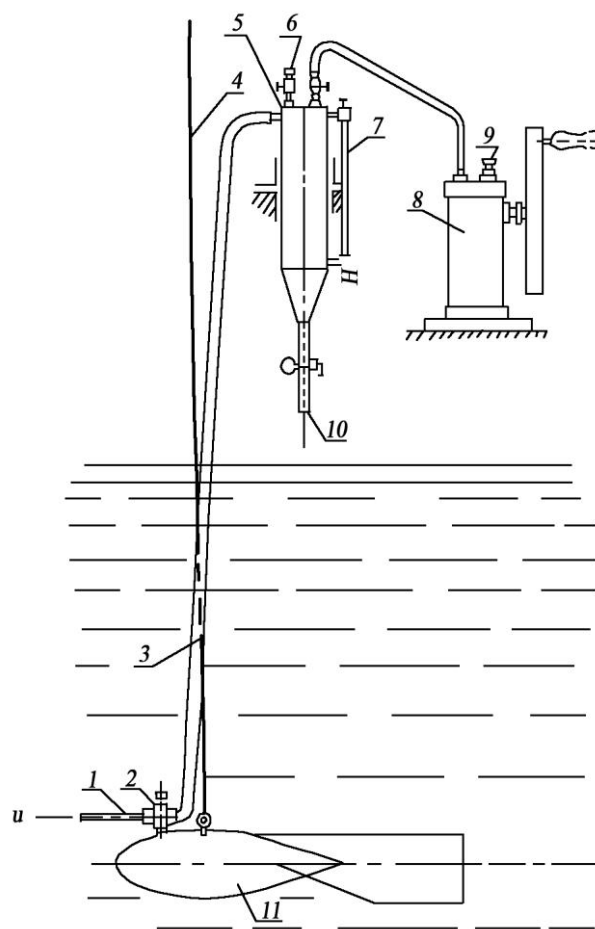
102-ე ნახაზზე გამოსახულ ბათომეტრში ბოთლის ავსება რეგულირდება ნაცმებით, რომლებიც ჩაიხრახნება მილაკებზე სხვადასხვა კომბინაციით, იმის მიხედვით, თუ როგორია u სიჩქარე (ცხრილი 20).

ც ხ რ ი ლ ი 20

ნაცმის დიამეტრები (d) ბათომეტრ-ბოთლის ავსების რეგულირებისათვის

სიჩქარე u , მ/წმ	d , მმ	
	წყალამდები მილაკი	ჰაერგამყვანი მილაკი
< 1	6	1,5
1-2	4	2
> 2	4	4

ვაკუუმური ბათომეტრი. სიმღვრივის გასაგებად წყლის სინჯის ასაღებ შედარებით სრულყოფილ ხელსაწყოს წარმოადგენს ვაკუუმური ბათომეტრი (ნახ. 103). ასეთი ხელსაწყოების კონსტრუქციები დაამუშავა და გამოიყენა ბ. პროსკურიაკოვმა, ბ. პოლიაკოვმა და სხვ. მათი მოქმედების პრინციპი დამყარებულია ნატანით გაჯერებული წყლის შეწოვაზე ვაკუუმურ კამერაში წყალამღები მილაკის -1, რეზინის მილისა -3 და ტუმბოს -8 საშუალებით. კამერაში იქმნება გაიშვიათება, რომელიც უზრუნველყოფს წყლის შეწოვას დაახლოებით ადგილობრივი u სიჩქარის ტოლი სიჩქარით. ნაკადის სიღრმისა და დინების სიჩქარის შესაბამისად წყალამღებ მილაკს ჰიდრომეტრიულ ტვირთთან -11 ერთად უშვებენ ნაკადში შტანგით ან გვარლით, ისე როგორც ეს ნაჩვენებია 103-ე ნახაზზე.



ნახ. 103. ვაკუუმური ბათომეტრი:

1-წყალამღები მილაკი; 2-შემაკავებელი; 3-რეზინის მილი; 4-გვარლი; 5-ვაკუუმური კამერა; 6-ჰაერის გამოსაშვები ონკანი; 7-წყალსაზომი მინა; 8-ტუმბო; 9-საჰაერო ხვრეტი; 10-წყლის გამოსაშვები მილაკი; 11-ჰიდრომეტრიული ტვირთი
ვაკუუმური ბათომეტრის კამერის ტევადობა არის 1; 3 და 6 ლ.

ხელსაწყოთი მუშაობა შეიძლება ნავიდან, კატარლიდან, პონტონიდან, ხიდიდან და საკიდარიდან ისე, რომ კამერა წყლის დონიდან 4 მ-ზე მაღლა არ

მდებარეობდეს. თუ ნაკადის სიგანე 20 მ-ზე ნაკლებია, მაშინ ვაკუუმურ კამერას ტუმბოთი ათავსებენ ნაპირზე.

წყლის სინჯის აღების დროს ტუმბოს საშუალებით შენარჩუნებულია მუდმივი ვაკუუმი, რაც უზრუნველყოფს წყალამღებ მილაკში წყლის მოძრაობის სიჩქარის შესაბამისობას, ნაკადის წერტილში დინების სიჩქარესთან. სინჯის აღებისას არ დაიშვება კამერის ზედმეტად შევსება, რადგანაც ამ დროს წყალი შეიძლება მოხვდეს ტუმბოში და გამოიყვანოს ის მწყობრიდან.

სინჯს ასხამენ ბოთლში მთლიანად გაღებული ონკანიდან, რადგანაც ამ დროს ხდება წყლის სწრაფი გამოდინება და კამერის კედლებიდან ნატანის ჩამორეცხვა.

აღებული სინჯის გაფილტვრა შეიძლება უშუალოდ კამერიდან ბოთლში ჩამოსხმის გარეშე. ამისათვის მილაკს -10, რეზინის მილის საშუალებით უერთებენ გასაფილტრ ხელსაწყოს და კამერაში -5 ქმნიან წნევას, რომელიც არ აღემატება 1 ატ-ს.

თუ ვაკუუმმეტრი არ არსებობს, მაშინ საჭირო ვაკუუმს კამერაში ამოწმებენ მისი ავსების t_p დროით, რომელიც დამოკიდებულია წყლის დინების u სიჩქარესა და კამერის W_p მოცულობაზე (ცხრილი 21).

ცხრილი 21

ვაკუუმური ბათომეტრის კამერის ავსების t_p დრო $W_p = 3$ ლ ტევადობის შემთხვევაში

u , მ/წმ	t_p , წმ	u , მ/წმ	t_p , წმ	u , მ/წმ	t_p , წმ	u , მ/წმ	t_p , წმ
0,2	530	0,6	180	1,0	110	1,8	59
0,3	350	0,7	150	1,2	88	2,0	53
0,4	270	0,8	130	1,4	76	2,2	48
0,5	210	0,9	120	1,6	66	2,5	42

$W_p = 6$ ლ მოცულობისას t_p იზრდება ორჯერ, ხოლო $W_p = 1$ ლ შემთხვევაში t_p მცირდება სამჯერ იმ მნიშვნელობასთან შედარებით, რომელიც მოცემულია 21-ე ცხრილში. ვაკუუმური ბათომეტრი გამოიყენება სიღრმის 0,1 მ-დან 20 მ-მდე ცვლილებისას.

ლაბორატორიულ პირობებში შესაძლებელი ხდება შედარებით მკაცრად იქნეს დაცული ნაკადის ადგილობრივი სიჩქარისა და წყლის შეწოვის სიჩქარის ტოლობა. ვაკუუმური ბათომეტრი საშუალებას იძლევა გაიზომოს დროის მიხედვით გასაშუალებელი ადგილობრივი სიჩქარეები და სიმღვრივე.

სიმღვრივის გასაზომად პერსპექტიულია სინათლის გამოსხივებისა და კინოგადაღების ხერხები. მათი ძირითადი უპირატესობა მდგომარეობს ნაკადის სტრუქტურის შენარჩუნებასა და სიმღვრივის გაზომვის პროცესის ავტომატიზაციის შესაძლებლობაში. გარდა ამისა, აღნიშნული ხერხების გამოყენებისას ისპობა ნატანის ლაბორატორიული დამუშავების აუცილებლობა.

სიმღვრივის გასაზომ ხელსაწყო, რომლის მოქმედების პრინციპიც სინათლის გამოსხივებაზეა დამყარებული, ფოტოელექტრული ხელსაწყო (კონსისტომეტრი) ეწოდება. მისი მოქმედება ემყარება ფოტოელემენტში ელექტრული დენის ცვლილებას, რაც გამოწვეულია ორფაზა გარემოში (ნატანით გაჯერებულ ხსნარში) გამავალი სინათლის ნაკადის მოქმედებით. თუ შეწონილ ნაწილაკებზე სინათლის ერთმაგი გაბნევის პირობა არ ირღვევა, მაშინ ფოტოდენი ნაკადის სიმღვრივის პირდაპირპროპორციულია.

შეწონილი ნაკადის ხარჯის გაზომვის მეთოდика. ჰიდრომეტრიულ კვთებში შეწონილი ნატანის ხარჯებს ზომავენ წერტილოვანი, ჯამური და ინტეგრაციის ხერხებით.

წ ე რ ტ ი ლ ო ვ ა ნ ი ხ ე რ ხ ი. ამ ხერხით სიმღვრივე იზომება სიჩქარითი ვერტიკალების წერტილებში. ამასთან რეკომენდებულია ხუთწერტილოვანი ანუ დეტალური, ორწერტილოვანი და ერთწერტილოვანი ხერხები. სიჩქარით ვერტიკალებზე წერტილები სიმღვრივის გასაზომად განლაგდება ისე, როგორც ეს მოცემულია 22-ე ცხრილში.

ც ხ რ ი ლ ი 22

სიჩქარით ვერტიკალებზე წერტილების მდებარეობა სიმღვრივის გასაზომად

ხუთწერტილოვანი ხერხი	ორწერტილოვანი ხერხი		ერთწერტილოვანი ხერხი
	კალაპოტი, რომელიც თავისუფალია ყინულისა და მცენარეული საფარისაგან	კალაპოტი, რომელიც დაფარულია ყინულით ან მცენარეულობით	
ზედაპირთან: 0,2 h; 0,6 h; 0,8 h ფსკერთან	0,2 h; 0,8 h	0,15 h; 0,85 h	0,6h

ხუთწერტილოვანი ხერხი გამოიყენება $\rho_{\text{საშ}} > 100$ გ/მ³ შემთხვევაში ცოცხალ კვთში სიმღვრივის განაწილების გამოსაკვლევად, რომლის მიზანია (2–3 წლის დაკვირვებათა საფუძველზე) ვერტიკალებისა და მათზე მდებარე წერტილების რაოდენობის შემცირების შესაძლებლობის გამოვლინება. დიდ და საშუალო მდინარეებზე $\rho_{\text{საშ}} = 50-100$ გ/მ³ შემთხვევაში ძირითადად გამოიყენება ორწერტილოვანი ხერხი, ხოლო პატარა მდინარეებზე—ერთწერტილოვანი.

ჯ ა მ უ რ ი ხ ე რ ხ ი . გამოიყენება $\rho_{\text{საშ}} < 50$ გ/მ³ შემთხვევაში. ამ ხერხის მიხედვით ვერტიკალის სხვადასხვა წერტილში (უფრო ხშირად 0,2 h და 0,8h წერტილებში) აღებულ წყლის სინჯებს ასხამენ ერთ ჭურჭელში და ატარებენ მის ჯამურ ანალიზს. როცა $\rho_{\text{საშ}} < 20$ გ/მ³, დასაშვებია ნაკადის მთელ ცოცხალ კვთში აღებული წყლის სინჯების შერევა.

ი ნ ტ ე გ რ ა ც ი ის ხ ე რ ხ ი . ამ შემთხვევაში ხდება ბათომეტრის თანაბარი ვერტიკალური გადაადგილება წყლის ზედაპირიდან ფსკერამდე და უკან. ამის შედეგად გამოითვლიან საშუალო სიმღვრივეს ვერტიკალზე (ρ_3). ინტეგრაციის ხერხის გამოყენების შესაძლებლობა განპირობებულია სიღრმით, სიჩქარით და

სიმღვრივით ვერტიკალზე, ბათომეტრის გადაადგილების სიჩქარითა და მისი კამერის (ბოთლის) მოცულობით. თუ დავუშვებთ კამერის მოცულობას და ბათომეტრის გადაადგილების სიჩქარეს, მაშინ ინტეგრაციის ხერხის გამოყენების ზღვარი შეიძლება დავახასიათოთ სიღმისა და ვერტიკალზე საშუალო სიჩქარის ნამრავლით $hu_3 = q$. კერძოდ, ბათომეტრ-ბოთლისათვის $q = 6 - 8 \text{ მ}^2/\text{წმ}-\text{ს}$.

ნებისმიერი ხერხით აღებული წყლის სინჯის მოცულობას ნიშნავენ ნაკადის სიმღვრივის მიხედვით. რაც ნაკლებია ρ სიმღვრივე, მით მეტი უნდა იყოს სინჯის W_ρ მოცულობა, რათა უზრუნველყოფილ იქნეს სინჯის გაფილტვრის ერთნაირი ფარდობითი ცდომილება. 4%-იანი ცდომილებისას დადგენილია W_ρ -ს შემდეგი მნიშვნელობები: როცა $\rho > 100 \text{ გ/მ}^3$, მაშინ $W_\rho = 1 \text{ ლ}$; როცა $\rho = 50 - 100 \text{ გ/მ}^3$, მაშინ $W_\rho = 2 \text{ ლ}$; როცა $\rho = 20 - 50 \text{ გ/მ}^3$, მაშინ $W_\rho = 5 \text{ ლ}$; როცა $\rho < 20 \text{ გ/მ}^3$, მაშინ $W_\rho = 10 \text{ ლ}$.

ნატანის განცალკევება წყლისაგან ხდება გაფილტვრის ან დალექვის გზით სამუშაო ადგილზე (გემზე) ან ჰიდროლოგიური სადგურის (საგუშაგოს) სათავეში. ამაში მდგომარეობს წყლის სინჯის პირველადი დამუშავება სიმღვრივეზე. ფილტრებს ნატანთან ერთად ფუთავენ და აგზავნიან სტაციონარულ ლაბორატორიაში, სადაც საზღვრავენ ნატანის წონას (სინჯის მეორადი დამუშავება).

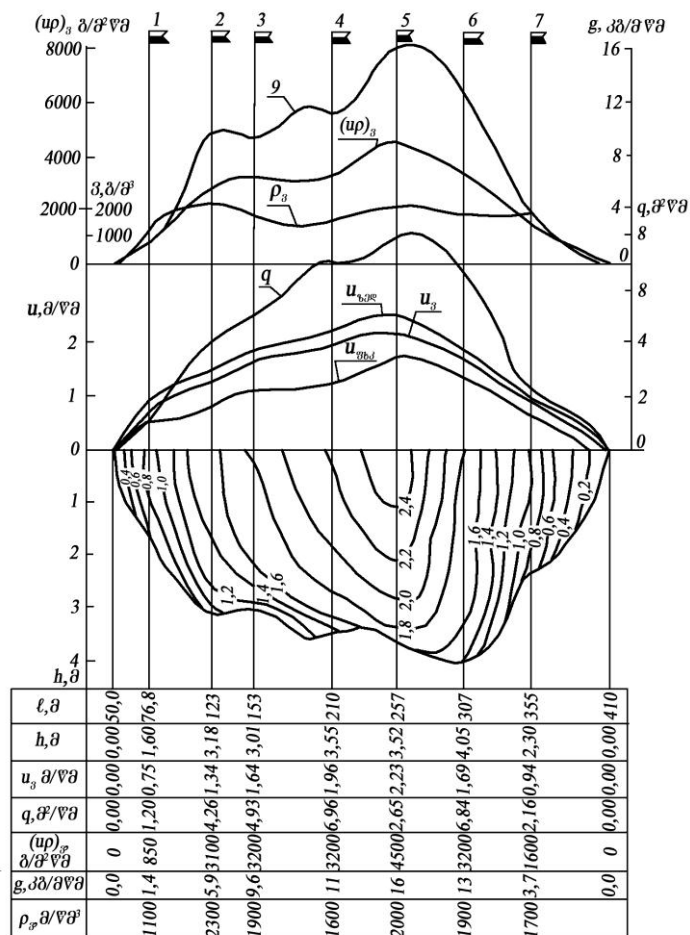
ლაბორატორიული დამუშავების შემადგენლობაში შედის აგრეთვე ნატანის ხვედრითი და ფარდობითი წონებისა და გრანულომეტრიული შემადგენლობის განსაზღვრა. ლაბორატორიული ანალიზის ჩასატარებლად წყლის სინჯის W_ρ მოცულობა უნდა შეიცავდეს ნატანის აუცილებელ a რაოდენობას. ნათელია რომ $W_\rho = \frac{a}{\rho}$. a -ს მნიშვნელობა აიღება 0,5-დან 7 გ-მდე გრანულომეტრიული ანალიზის ხერხისა და დეტალიზაციის მიხედვით.

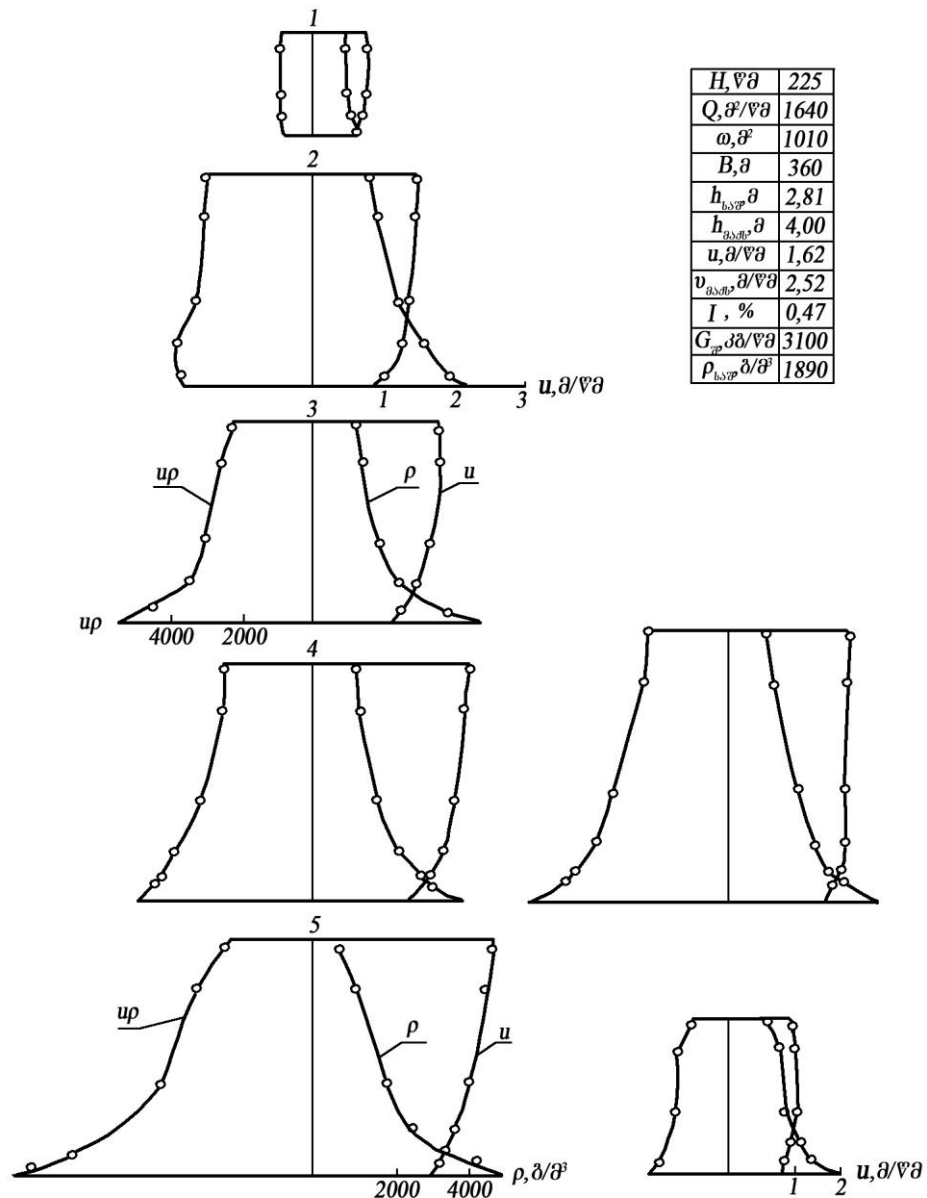
წლის განმავლობაში ზომავენ შეწონილი ნატანის 10-დან 60-მდე ხარჯს ($G_{\text{წ}}$). გაზომილ ხარჯთა რაოდენობა დამოკიდებულია მდინარის ან არხის მოცემულ კვეთში ნატანის რეჟიმის სირთულესა და შესწავლის ხარისხზე. შეწონილი ნატანის ხარჯების დიდ რაოდენობას ზომავენ უმეტესად წყალუხვობის პერიოდში.

ნატანის ხარჯების განსაზღვრის მეთოდიკა ითვალისწინებს მათი ყოველდღიური მნიშვნელობების გამოთვლის შესაძლებლობას წლის განმავლობაში გაზომილი რამდენიმე $G_{\text{წ}}$ ხარჯისა და მასთან დაკავშირებული ნაკადის სხვა ელემენტების მიხედვით. აქ, უპირველეს ყოვლისა, უნდა აღინიშნოს ლოკალური სიმღვრივე ნაკადის რომელიმე წერტილში ან საშუალო სიმღვრივე ვერტიკალზე. ლოკალური სიმღვრივის გასაგებად წყლის სინჯის (ე. წ. ერთეულოვანი სინჯის) აღების ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ნაკადის ცოცხალ კვეთში წყლის სხვადასხვა დონის შემთხვევაში სიმღვრივის განაწილების ანალიზის საფუძველზე. აუცილებელია, რომ სიმღვრივე შერჩეულ ვერტიკალზე ფუნქციონალურად იყოს დაკავშირებული ნაკადის საშუალო სიმღვრივესთან. ასეთ

ვერტიკალებად ირჩევენ ისეთ ვერტიკალებს, რომლებიც ინარჩუნებენ თავიანთ ადგილმდებარეობას (რეპრეზენტატული ვერტიკალები). ისინი, თითქმის ყოველთვის მოთავსებულია მდინარის ფარვატერზე. სიმღვრივის გაზომვების საიმედოობის ასამაღლებლად ირჩევენ ორ რეპრეზენტატულ ვერტიკალს. წყლის ერთეულოვან სინჯებს იღებენ ყოველდღიურად წყლის დონეთა გაზომვის ვადებში. გარდა ამისა, ამავე ვერტიკალებზე ნატანის ხარჯების ყოველი გაზომვისას იღებენ წყლის სინჯებს, რომელთაც საკონტროლო სინჯები ეწოდება. სასურველია, რომ წყლის ყველა სინჯი G_{θ} ხარჯის გამოსათვლელად აღებულ იქნეს ერთნაირი ტიპის ბათომეტრებით. ყოველდღიური G_{θ} ხარჯების გაანგარიშებასთან დაკავშირებით წყლის ერთეულოვან და საკონტროლო სინჯებს აქვთ ისეთივე მნიშვნელობა, როგორიც H დონეებს ყოველდღიური Q ხარჯების გამოსათვლელად.

შეწონილი ნატანის ხარჯების გაანგარიშების ხერხები. დეტალური ხერხით გაზომილი შეწონილი ნატანის ხარჯების გაანგარიშება ხდება გრაფიკულად, ხოლო ჯამური, ინტეგრაციული და წერტილოვანი (ორ და ერთ წერტილში) ხერხით გაზომილი ხარჯებისა—ანალიზურად. გაანგარიშებას იწყებენ ადგილობრივი ρ სიმღვრივის ან ვერტიკალზე საშუალო ρ_3 სიმღვრივის გამოთვლით, იმის მიხედვით, თუ როგორია G_{θ} ხარჯის გაზომვის ხერხი; ამასთან, ρ_3 და ρ ტოლია p_6/W_p ფარდობის, სადაც p_6 არის ნატანის წონა W_p მოცულობის წყლის სინჯში. თუ p გამოსახულია გ-ობით, ხოლო W_p სმ³-ობით, მაშინ $\rho = \frac{p_6}{W_p} 10^6$ გ/მ³.





ნახ. 104. შეწონილი ნატანის გაანგარიშების გრაფიკული ხერხი

სიმღვრივეს გამოითვლიან სამნიშნა რიცხვის სიზუსტით, მაგრამ არა უზუსტეს 0,01 გ/სმ³-ის.

გ რ ა ფ ი კ უ ლ ი ხ ე რ ხ ი . ეს ხერხი გამოიყენება Q ხარჯის გაანგარიშების პარალელურად (ნახ. 104). აგებენ $u = u(y)$ სიჩქარეებისა და $\rho = \rho(y)$ სიმღვრივეების ეპიურებს. ρ -ს ნამრავლი u ადგილობრივ სიჩქარეზე ($u\rho$ გმ/მ². წმ) იძლევა ნატანის ხარჯს წერტილში, ანუ ე. წ. შეწონილი ნატანის ერთეულოვან ხარჯს. შემდეგ აგებენ სიღრმეზე $u\rho$ სიდიდის განაწილების ეპიურებს. ამ ეპიურათა ფართობები, რომლებსაც პლანიმეტრირებით ან სხვა გზით პოულობენ, წარმოადგენენ შეწონილი ნატანის g ხარჯს ვერტიკალებზე (გმ/მ. წმ-ობით). g -ს ფარდობა h -თან იძლევა ნატანის საშუალო ერთეულოვან ხარჯებს ვერტიკალებზე ($u\rho$), რომელთა მიხედვითაც აიგება ნატანის სიგანეზე მათი განაწილების მრუდი. ამ ეპიურიდან აიღება ($u\rho$) მნიშვნელობები თითოეული ვერტიკალისათვის და გამოითვლება ნატანის ხარჯები ყველა ვერტიკალზე – $g = (u\rho)h$. შემდეგ აგებენ

ნაკადის სიგანეზე g -ს განაწილების ეპიურას, რომლის ფართობიც რიცხობრივად შეწონილი ნატანის Q_g ხარჯის (გ/წმ-ობით) ტოლია. ნაკადის სიმღვრივის ჯამური მახასიათებლების სახით გამოითვლიან საშუალო სიმღვრივეებს ვერტიკალებზე ($\rho_3 = \frac{g}{q}$), აგებენ $\rho = \rho(b)$ ეპიურებს (ნახ. 104) და საზღვრავენ მთელი ნაკადის საშუალო სიმღვრივეს ($\rho_{\text{საშ}} = \frac{G_g}{Q}$). თუ G_g გამოსახულია კგმ/წმ-ობით, მაშინ $\rho_{\text{საშ}} = \frac{G_g \cdot 100}{Q}$ გ/მ³-ს.

ნატანის ერთეულოვანი საშუალო ხარჯი მთელი ნაკადისათვის ტოლია $\frac{G_g}{\omega} = \frac{\rho_{\text{საშ}} Q}{\omega} = \nu \rho_{\text{საშ}}$. საშუალო სიჩქარის ნამრავლს სიმღვრივეზე ნ ა ტ ა ნ ი ა ნ ო ბ ა ს უწოდებენ (ე. ბლიზნიაკი).

104-ე ნახაზზე ცოცხალი კვეთის პროფილის ქვეშ ამოწერილია რიცხვითი მონაცემები, მასზე დატანილია იზოტაქები, ხოლო კვეთის ზემოთ აგებულია ფსკერული, საშუალო და ზედაპირული სიჩქარეების ეპიურები ვერტიკალებზე; კიდევ უფრო ზემოთ გამოსახულია ეპიურები, რომელთა შესახებაც აღნიშნული იყო ნატანის ხარჯის გაანგარიშებასთან დაკავშირებით.

ა ნ ა ლ ი ზ უ რ ი ხ ე რ ხ ი . ამ შემთხვევაში გამოითვლიან საშუალო ერთეულოვან ხარჯებს ვერტიკალებზე შემდეგი ფორმულებით:

$$(u\rho)_3 = 0,5[(u\rho)_{0,2} + (u\rho)_{0,8}], \quad (219)$$

$$(u\rho)_3 = 0,5[(u\rho)_{0,15} + (u\rho)_{0,85}], \quad (220)$$

$$(u\rho)_3 = (u\rho)_{0,6}. \quad (221)$$

შეწონილი ნატანის G_g ხარჯს გამოთვლიან სტრუქტურული თვალსაზრისით (103) ფორმულის ანალოგიური ფორმულით, K კოეფიციენტის იმავე მნიშვნელობით, რომელიც ითვალისწინებს სიჩქარეთა განაწილებას წყალსადინარის ნაპირების მახლობლად:

$$G_g = k(u\rho)_{31}\omega_1 + \left[\frac{(u\rho)_{31} + (u\rho)_{32}}{2}\right]\omega_2 + \dots + \left[\frac{(u\rho)_{3n-1} + (u\rho)_{3n}}{2}\right]\omega_n + k(u\rho)_{3n}\omega_{n+1}. \quad (222)$$

$\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n+1}$ ფართობებს გამოთვლიან წყლის ხარჯის გაანგარიშებისას იმის გამო, რომ ჯამური ან ინტეგრაციის ხერხით ხარჯის გაზომვისას უშუალოდ ზომავენ ρ_3 საშუალო სიმღვრივეს ვერტიკალზე, ამიტომ G_3 ხარჯს გამოთვლიან ფორმულით:

$$G_g = \rho_{31}Q_1 + \frac{\rho_{31} + \rho_{32}}{2}Q_2 + \dots + \frac{\rho_{3n-1} + \rho_{3n}}{2}Q_n + \rho_{3n}Q_{n+1}, \quad (223)$$

სადაც Q_1 არის წყლის ნაწილობრივი ხარჯი ნაპირსა და პირველ სიჩქარით ვერტიკალს შორის;

$Q_2, \dots, Q_n$ – წყლის ნაწილობრივი ხარჯები მეზობელ ვერტიკალებს შორის;

Q_{n+1} – წყლის ნაწილობრივი ხარჯი უკანასკნელ ვერტიკალს და ნაპირს შორის.

თუ მთელი ნაკადის სიმღვრივის (ρ_6) დასადგენად აღებულ სინჯებს გავაერთიანებთ ერთ სინჯად, მაშინ

$$G_g = \rho_6 Q. \quad (224)$$

თუ ρ -ს ავიღებთ გმ/მ³-ობით, u -ს-მ/წმ-ობით, ხოლო Q -ს-მ³/წმ-ობით, მაშინ G_{θ} -ს მნიშვნელობა (222), (223) და (224) ფორმულებით მიიღება გმ/წმ-ობით. ჩვეულებრივ, ნატანის ხარჯს ანგარიშობენ კგმ-ობით, ამიტომ G -ს მიღებულ მნიშვნელობებს ყოფენ 1000-ზე.

§ 24. ფსკერული ნატანის ხარჯების განსაზღვრა

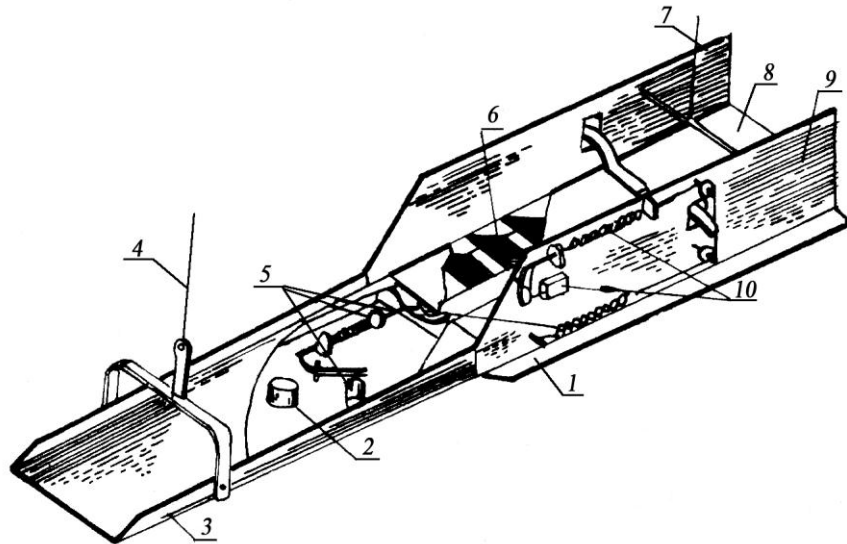
ფსკერული ნატანის ხარჯებს ზომავენ ფსკერული ბათომეტრების საშუალებით. ერთდროულად ფსკერული დანალექების სინჯებს იღებენ ხელსაწყოებით, რომელთა კონსტრუქციაც დამოკიდებულია კალაპოტის ფსკერის ხასიათზე. ფსკერული ნატანის ხარჯების განსაზღვრა დეფორმირებადი ფსკერის მქონე ნაკადების ჰიდრომეტრიის ერთ-ერთი ურთულესი საკითხია.

ფსკერული ბათომეტრები და ფსკერული დანალექების სინჯების ასაღები ხელსაწყოები. აღსანიშნავია, რომ ფსკერული ბათომეტრები არსებით სრულყოფას მოითხოვს. ამოცანის სირთულე იმაში მდგომარეობს, რომ ბათომეტრის შეუღლება რთული მიკრორელიეფის მქონე დეფორმირებად კალაპოტთან ყოველთვის ინდივიდუალურია. ეს ქმნის ბათომეტრის კორპუსის გარსდენისა და ნატანის ტრანსპორტის სხვადასხვა პირობებს. მკაცრად რომ ვთქვათ, ფსკერული ბათომეტრის ტარირება ისე უნდა მოხდეს, რომ რაც შეიძლება ზუსტად განისაზღვროს მის მიერ დაჭერილი ნატანის რაოდენობა ნაკადის კინემატიკის, ფსკერული ნატანის მექანიკური შემადგენლობისა და მოძრაობის ფორმის, ბათომეტრის დაყოვნების ხანგრძლივობისა და სხვათა გათვალისწინებით.

ბ. პოლიაკოვის ფსკერული ბათომეტრი (ა. კადუკინის კონსტრუქციის) შედგება (ნახ. 105) ჰორიზონტალური - 1 და ვერტიკალური - 9 სტაბილიზატორებისაგან, რომელთა საშუალებითაც ბათომეტრს ათავსებენ ფსკერზე ნაკადის დინების მიმართულებით. ნაკადი შემოდის ტრამპლინზე - 3, რომლის ქანობია 1:20 და გროვდება მიმღებ ბუნკერში - 8; ეს უკანასკნელი აღჭურვილია ჟალუზებიანი დამჭერით - 6, რომლის ფრთებიც ნაკადის დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით 45°-იანი კუთხით არიან დახრილნი.

მიმღები ბუნკერი დამჭერით იღება ბათომეტრის ფსკერზე ჩაშვების შემდეგ და იკეტება ბათომეტრის ამოღების წინ. ბუნკერის გაღებისა და ჩაკეტვისას ხდება წამმზომის ჩართვა და გამორთვა. დამჭერი იღება და იკეტება ავტომატურად; ამ

დროს მართვის პულტიდან ელექტრული იმპულსი მიეწოდება დისტანციური მართვის გამღებ - 5 და ჩამკეტ - 10 მექანიზმებს. ბათომეტრს ნაკადში უშვებენ ორი (4 და 7) გვარლით. მის მდებარეობას ფსკერზე აკონტროლებენ ფიქსატორის 2 საშუალებით, რომელიც ჰორიზონტთან ბათომეტრის 15°-ზე მეტი კუთხით დახრისას ჩვენებას გადასცემს მილიამპერმეტრს. ცდის მონაცემებით დამჭერის სიგრძე 75 სმ-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს.

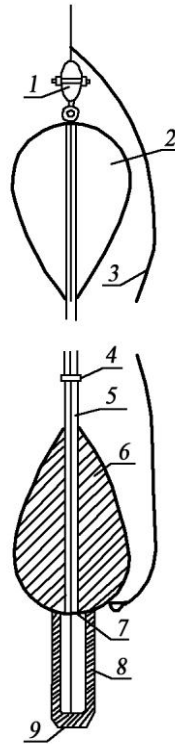


ნახ. 105. ბ. პოლიაკოვის ბათომეტრი (ა. კადუკინის კონსტრუქციის): 1-ჰორიზონტალური სტაბილიზატორი; 2-ფიქსატორი; 3-ტრამპლინი; 4-გვარლი; 5-გამღები მექანიზმი; 6-ჟალუზებიანი დამჭერი; 7-გვარლი; 8-მიმღები ბუნკერი; 9-ვერტიკალური სტაბილიზატორი; 10-ჩამკეტი მექანიზმი

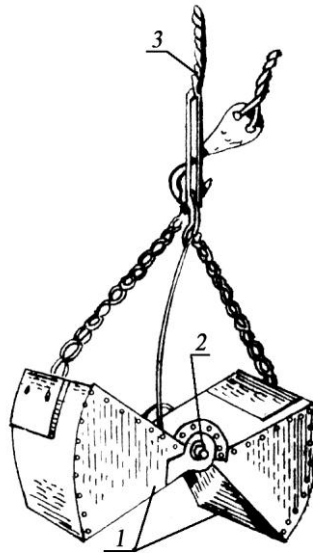
კენჭოვანი ნატანის ხარჯის გამოსათვლელად რეკომენდებულია ბადისებრი ბათომეტრები.

ფსკერული დანალექის სინჯებს იღებენ სხვადასხვა ხელსაწყოებით, იმის მიხედვით, თუ როგორია ეს დანალექი. მაგალითად, ქვიშოვანი დანალექის სინჯს იღებენ **ბ. აპოლოვის** კონსტრუქციის საცეცით (ნახ. 106), კენჭოვანი და ხრეშოვან-კენჭოვანი დანალექის სინჯს-ფსკერიხაპიათი (ნახ. 107).

ბ. აპოლოვის საცეცს ნაკადში უშვებენ გვარლით. მისი ძირითადი ნაწილია 3,5-4 სმ დიამეტრისა და 12 სმ სიგრძის მჭრელი ჭიქა - 8. მასში მოთავსებულია ჭოკი, რომელიც ტვირთის 6 გავლით შედის ზედა მილაკში - 5, რომლის სიგრძე 45 სმ-ია. ზედა მილაკი მთავრდება მიმმართველი კალმით - 2, ხოლო მის ქვემოთ იმყოფება 10 კგ წონის ტყვიის ტვირთი - 6. ხელსაწყოს სიგრძე 1,1 მ-ია.



ნახ. 106. ბ. აპოლოვის კონსტრუქციის ფსკერული საცეცი: 1-მომჭერი; 2-მიმმართველი კალამი; 3-გვარლი; 4-სახელური; 5-ზედა მილაკი; 6-ტვირთი; 7-ხვრეტი; 8-მჭრელი ჭიქა; 9-დგუმი



ნახ. 107. ფსკერიხაპია: 1-საგდულები; 2-ღერძი; 3-გვარლი

ფსკერზე საცეცის დავარდნისას გრუნტი შედის ცილინდრში და ზემოთ წევს ცილინდრში მოთავსებულ დგუმს - 9; იმისათვის, რომ წყალი დგუმის უკანა მხრიდან გამოვიდეს, ცილინდრის ზედა ნაწილში გაკეთებულია ხვრეტები - 7. საჭის ბოლოზე გაკეთებულია რგოლი ზამბარიანი დამჭერისათვის - 1. გვარლს

ამაგრებენ რგოლთან და დამატებითი მსუბუქი გვარლით აერთებენ ზამბარიან დამჭერთან. საცეცის ვარდნისას გვარლი მიყვება ზედა ზამბარიან რგოლს; ამოღებისას ზამბარიანი დამჭერი - 1 ცილდება ზედა რგოლს და საცეცს იღებენ წყლიდან გადაბრუნებულ მდგომარეობაში, რაც საშუალებას იძლევა აღებულ იქნეს ადვილად წარეცხვადი ქანების სინჯები. ხელსაწყოდან სინჯის ამოსაღებად სახელურით - 4 მოქმედებენ დგუშზე - 9.

ფსკერიხაპია (ნახ. 107) შედგება ლითონის ორი საგდულისაგან - 1, რომლებიც ღერძის - 2 გარშემო ბრუნავენ. ნაკადში გვარლით - 3 ხელსაწყოს ჩაშვებისას საგდულები იღება რაზით. ფსკერიხაპიას ამოღებისას საგდულები იხურება.

ფსკერული ნატანის ხარჯების განსაზღვრის მეთოდიკა. ფსკერული ნატანის ხარჯების გაზომვა ხდება წყლისა და შეწონილი ნატანის ხარჯების გაზომვის პარალელურად ერთსა და იმავე ვერტიკალებზე. ერთი წლის განმავლობაში უნდა ჩატარდეს ათამდე ასეთი გაზომვა, რომელთაგან 6-8 სრულდება წყალდიდობის პერიოდში. ფსკერული ნატანის მოძრაობისას ქვიშის კვლების (ტალღების) სახით წინასწარ აუცილებელია გაიზომოს სიღრმეები გემის ბორტის გაყოლებით 3-4 მ-ის მანძილზე, რათა დადგინდეს ქვიშის ტალღის ფორმა. ბათომეტრს ათავსებენ ქვიშის ტალღის ზედაპირზე ნაკადის დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით. ნაკადში ბათომეტრის ჩაშვებისას საჭიროა ის 1-2 წუთით შევაჩეროთ ფსკერიდან დაახლოებით 0,5 მ მანძილზე, რათა ბათომეტრმა მიიღოს ფსკერისპირა დინების მიმართულება, ხოლო შემდეგ ნელ-ნელა დავუშვათ ფსკერზე.

სინჯის აღებისას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ფსკერზე ბათომეტრის დაყოვნების t_{θ} ხანგრძლივობას. რაც ნაკლებია წყლის დინების სიჩქარე ფსკერული ბათომეტრის მოთავსების ადგილას, მით მეტია t_{θ} . ბათომეტრისათვის (ნახ. 105) t_{θ} -ს მიახლოებითი მნიშვნელობები მოცემულია იმ დაშვებიდან გამომდინარე, რომ $u_{\theta} \approx u_{\theta_{\text{სკ}}}$ ან $u_{\theta} \approx u_{0,8}$:

u_{θ} , მ/წმ 0,25 0,5 1,0 1,5 2,0 2,5

t_{θ} , წთ 10,0 6,5 4,5 3,0 2,0 1,0

ფსკერული ნატანის სინჯს იღებენ სამჯერ, ათავსებენ საზომ ცილინდრებში და ამრობენ ჰაერზე (გემზე ან სათავსში), შემდეგ აგზავნიან ლაბორატორიაში მექანიკური ანალიზის ჩასატარებლად.

ნატანის ხარჯის განსაზღვრა ბათომეტრის გარეშე შესაძლებელია მაშინ, თუ ფსკერული ნატანი ქვიშის ტალღების ფორმით მოძრაობს. ვთქვათ, ქვიშის ტალღის სიგრძე არის l , სიმაღლე h_{ϕ} , ხოლო ტალღის თხემის მოძრაობის სიჩქარე – u_{σ} .

$\frac{l}{u_{\sigma}} = t_{\phi}$ დროის მონაკვეთში ტალღა გადაადგილდება მთელ l სიგრძეზე.

ფსკერული ნატანის მოცულობა ვერტიკალზე (ნაკადის ერთეული სიგანის შემთხვევაში) ტოლია $\psi l h_{\phi}$ ნამრავლის, სადაც ψ არის ქვიშის ტალღის ფორმის კოეფიციენტი; მაგალითად, თუ ტალღის გრძივი ჭრილი სამკუთხედის ფორმისაა, მაშინ $\psi = 0,5$. ჩვეულებრივ, $\psi > 0,5$.

ფსკერული ნატანის წონითი ხარჯი ვერტიკალზე იქნება:

$$g_g = \frac{\psi \gamma_{\phi} l h_{\phi}}{t_{\phi}} = \frac{\psi l h_{\phi}}{\frac{l}{u_{\sigma}}} = \psi \gamma_{\phi} h_{\phi} u_{\sigma}, \quad (225)$$

სადაც γ_{ϕ} არის ნატანის ხვედრითი წონა.

მაშასადამე, g_g ხარჯის გამოსათვლელად აღნიშნული ხერხით უნდა ვიცოდეთ ტალღის სიმაღლე, მისი მოძრაობის სიჩქარე და ფორმის კოეფიციენტი ψ .

საველე პირობებში შედარებით რთულია u_{σ} სიჩქარის განსაზღვრა. ის მნიშვნელოვნად ნაკლებია ვერტიკალზე საშუალო სიჩქარის (u_3) სიდიდეზე. გ. ჟელეზნიაკოვისა და ვ. დებოლსკის გამოკვლევებით $\frac{u_{\sigma}}{u_3}$ ფარდობა საორიენტაციოდ იცვლება 0,0004–დან 0,02–მდე იმის მიხედვით, თუ როგორია ნაკადისა და ნატანის მახასიათებლები. u_{σ} სიდიდეზე დიდ გავლენას ახდენს ნატანის სიმკვრივე.

მთის მდინარეებში მსხვილი ნატანის მოძრაობის სარეგისტრაციოდ ნ. სოკოლოვის მიერ რეკომენდებულია ხელსაწყო, რომლის გადამწოდიც ღებულობს ნატანის ნაწილაკების დარტყმებს და გარდაქმნის მათ ელექტრულ სიგნალებად. დარტყმათა ინტენსივობის პროპორციული სიგნალების სიდიდის რეგისტრაცია შეიძლება დისტანციურად ოსცილოგრაფის ფოტოფირზე.

ფსკერული ნატანის ხარჯების გაანგარიშება. ფსკერული ნატანის ხარჯს ვერტიკალზე გამოითვლიან ფორმულით

$$g_g = \frac{p_g}{t_{gbg}}, \quad (226)$$

სადაც p_g არის ნატანის წონა სინჯში, გ–ობით;

t_g –ბათომეტრის დაყოვნების ხანგრძლივობა;

b_g -ფსკერული ბათომეტრის შესასვლელი ხვრეტის სიგანე.

ჩვეულებრივ, g_g -ს გამოსახავენ გრ/წმ-ობით, t_g -ს-წმ-ობით, b_g -ს-სმ-ობით. ასეთი განზომილებების შემთხვევაში (226) ფორმულის მრიცხველი უნდა გავამრავლოთ 100-ზე.

გ რ ა ფ ი კ უ ლ ი ხ ე რ ხ ი . ამ ხერხის გამოყენებისას G_g -ს გამოთვლიან ნაკადის სიგანეზე g_g -ს განაწილების ეპიურის აგების გზით. ამ ეპიურის ფართობი რიცხობრივად G_g -ს ტოლია. მისი საწყისი და საბოლოო წერტილები წყლის კიდეებს არ თანხვდება, რადგანაც ფსკერის სანაპირო უბნებზე, სადაც ნაკადის სიჩქარეები მცირეა, არ შეიმჩნევა ნატანის მოძრაობა. ვერტიკალების მდებარეობას ($g_g = 0$ -ს შემთხვევაში) პოულობენ ფსკერული ნატანის სინჯების აღების პროცესში. პრაქტიკულად ის ვერტიკალი, რომელზედაც 10 წთ-ის განმავლობაში ბარომეტრში ნატანი არ ხვდება, შეიძლება ჩაითვალოს ვერტიკალად ნულოვანი ფსკერული ხარჯით ($g_g = 0$). მის მდებარეობას პოულობენ u_{gn} ფსკერული სიჩქარის იმ ფორმულებიდან გამომდინარე, რომლებიც ფსკერული ნატანის მოძრაობის დაწყებას განსაზღვრავენ; ასე, მაგალითად, ქვიშის ნატანისათვის $u_{gn} \approx 20$ სმ/წმ-ს. თუ ავაგებთ ნაკადის სიგანეზე ფსკერული სიჩქარეების განაწილების ეპიურას (§ 10), ვიპოვით მასზე წერტილს $u_g = u_{gn}$ შემთხვევისათვის. შემდეგ აღნიშნული წერტილი გადაგვაქვს ვერტიკალის გასწვრივ წყლის დონის წირზე, რადგანაც ეს უკანასკნელი პასუხობს პირობას $g_g = 0$ -ს.

ა ნ ა ლ ი ზ უ რ ი ხ ე რ ხ ი . G_g -ს გამოთვლიან ფორმულით:

$$G_g = \frac{g_{g1}}{2} b_1 + \frac{g_{g1} + g_{g2}}{2} b_2 + \dots + \frac{g_{gn-1} + g_{gn}}{2} b_n + \frac{g_{gn}}{2} b_{n+1}, \quad (227)$$

სადაც $g_{g1}, g_{g1}, \dots, g_{gn}$ არის ფსკერული ნატანის ხარჯები ვერტიკალებზე;

b_1 და b_{n+1} -მანძილი სანაპირო ვერტიკალებსა და კიდეებს ან ნულოვანი ფსკერული ხარჯების შესაბამის წერტილებს შორის.

$b_2, \dots, b_n$ -მანძილი მეზობელ ვერტიკალებს შორის.

g_g ხარჯებს ჩვეულებრივ გრ/წმ-ობით გამოსახავენ, ხოლო h სიგანეს -მ-ობით; ამიტომ G_g -ს მიღებული მნიშვნელობის კგ-ში გადასაყვანად მას ამრავლებენ 0,001-ზე.

§ 25. ნატანის ჩამონადენის განსაზღვრა

ნატანისა და წყლის ჩამონადენის გაანგარიშების მეთოდოკათა შორის დიდი მსგავსებაა. აქ, უპირველეს ყოვლისა, უნდა აღინიშნოს ხარჯსა და ნაკადის იმ ელემენტებს შორის დამოკიდებულებით სარგებლობა, რომლებსაც შედარებით სწრაფად და მარტივად ზომავენ (დონეები, ლოკალური სიმღვრივები). ნატანის ჩამონადენის გაანგარიშებისას სარგებლობენ აგრეთვე ნატანისა და წყლის ხარჯებს შორის არსებული დამოკიდებულებითაც.

1. შეწონილი ნატანის ჩამონადენის გაანგარიშება. შეწონილი ნატანის ჩამონადენს, ანუ ნაკადის მიერ ცოცხალ კვეთში დროის რაიმე პერიოდში (დეკადაში, თვეში, წელიწადში და სხვ.) ტრანსპორტირებული შეწონილი ნატანის რაოდენობას ანგარიშობენ ორი ძირითადი დამოკიდებულების გამოყენებით— ლოკალურ (ρ) და საშუალო ($\rho_{საშ}$) სიმღვრივეთა შორის არსებული დამოკიდებულებით და შეწონილი ნატანისა ($G_{წ}$) და წყლის (Q) ხარჯებს შორის არსებული დამოკიდებულებით. ამ ორიდან უპირატესობა ეძლევა იმას, რომელიც მდინარის ან ირიგაციული არხის პირობებისათვის ახლოსაა ფუნქციონალურ და ცალსახა დამოკიდებულებასთან და რომელიც საშუალებას იძლევა ნატანის ხარჯი გამოითვალოს მეტი სიზუსტით.

წყლის ერთეულოვანი სინჯის სიმღვრივესა და ნაკადის საშუალო სიმღვრივეს შორის დამოკიდებულების გამოყენება

ლოკალურ სიმღვრივედ ღებულობენ ერთეულოვან ($\rho_{ერთ}$) და საკონტროლო ერთეულოვან ($\rho_{საკერთ}$) სიმღვრივეებს. ნაკადის საშუალო სიმღვრივეს ($\rho_{საშ} = \frac{G_{წ}}{Q}$) გამოთვლიან გაზომვის მონაცემების მიხედვით.

პირველ რიგში აგებენ $\rho_{საკერთ}$ და $\rho_{საშ}$ ერთდროულ მნიშვნელობათა შორის დამოკიდებულების გრაფიკს. ასეთი დამოკიდებულება უფრო ხშირად წრფივია. წყლის დონის და, მაშასადამე, ხარჯის ცვლილებისას ნაკადის კინემატიკის შეცვლის გამო ხდება კალაპოტისა და ნაპირების ადგილობრივი წარეცხვა, ამიტომ ძლიერ იცვლება ლოკალური და საშუალო სიმღვრივები. ყველაფერი ეს იწვევს

წერტილების გაბნევას აღნიშნულ გრაფიკზე. თუ $\rho_{ერთ}$ და $\rho_{საკერთ}$ სიმღვრივებს შორის კავშირი ცალსახაა და მდგრადია, მაშინ აგებენ $\rho_{ერთ} = \rho_{ერთ}(\rho_{საშ})$ გრაფიკს, რომელსაც უშუალოდ იყენებენ ყოველდღიური $\rho_{საშ}$ სიმღვრივების გამოსათვლელად. ეს დამოკიდებულება ითვლება დამაკმაყოფილებლად, თუ ექსპერიმენტული წერტილების არა უმეტეს 20% გამოდის $\pm 20\%$ გაბნევის ზოლის ფარგლებს გარეთ $\rho_{ერთ}$ ღერძის მიმართულებით. შეიძლება მოვახდინოთ $\rho_{ერთ} = \rho_{ერთ}(\rho_{საშ})$ დამოკიდებულების ტიპიზაცია ისე, როგორც ეს მოცემულია 23-ე ცხრილში. მასში მოყვანილია დამოკიდებულების ტიპების მოკლე დახასიათება. თუმცა $\rho_{ერთ}$ წარმოადგენს $\rho_{საშ}$ -ს ფუნქციას, მაგრამ 23-ე ცხრილში განტოლებები ჩაწერილია $\rho_{საშ} = \rho_{საშ}(\rho_{ერთ})$ სახით, რადგანაც ფაქტიურად $\rho_{ერთ}$ -ის მიხედვით გვიხდება $\rho_{საშ}$ -ს გამოთვლა; თავისუფალი წევრი განტოლებებში აღნიშნულია ρ_0 -ით.

ც ხ რ ი ლ ი 23

ნაკადის საშუალო სიმღვრივეზე ლოკალური სიმღვრივის დამოკიდებულების ტიპების მოკლე დახასიათება

ტიპის №	ხარისხობრივი მახასიათებლები და სამუშაოთა პირობები	განტოლება
1	ძირითადი შემთხვევა; დამოკიდებულება წრფივია; შეიმჩნევა წლის ან მრავალი წლის განმავლობაში; წერტილები გაბნეულია გაზომვის სიზუსტის ფარგლებში	$\rho_{საშ} = K\rho_{ერთ}$
2	წერტილები განლაგებულია ორი ან მეტი ზოლის ფარგლებში; დამოკიდებულება ირღვევა წლების მიხედვით; იცვლება ჰიდროკვეთის ან რეპრეზენტატული ვერტიკალის მდებარეობა	$\rho_{საშ} = K_1\rho_{ერთ}$ $\rho_{საშ} = K_2\rho_{ერთ}$ და ა. შ.
3	წერტილები განლაგებულია ორ ზოლად; მცირე სიმღვრივეთა გაზომვის სიზუსტე სისტემატურად დაქვეითებულია; შეწონილი ნატანის ტრანსპორტის ხასიათი არსებითად იცვლება წლის სხვადასხვა პერიოდში	$\rho_{საშ} = K_1\rho_{ერთ}$ $\rho_{საშ} = K\rho_{ერთ} + \rho_0$; $K_2 < K_1$
4	იგივე	$\rho_{საშ} = K_1\rho_{ერთ}$ $\rho_{საშ} = K_2\rho_{ერთ} - \rho_0$; $K_2 > K_1$
5	რეპრეზენტატული ვერტიკალის მდებარეობა მცირე სიმღვრივების პერიოდში შერჩეულია არასწორად	$\rho_{საშ} = K\rho_{ერთ} - \rho_0$
6	იგივე	$\rho_{საშ} = K\rho_{ერთ} + \rho_0$

შეწონილი ნატანის ყოველდღიური ხარჯების გამოთვლა $\rho_{საშ} = \rho_{საშ}(\rho_{ერთ})$ დამოკიდებულების გამოყენებით ხდება შემდეგნაირად: აგებენ $\rho_{ერთ} = \rho_{ერთ}(t)$ გრაფიკს, სადაც t არის დრო. თუ სიმღვრივის ერთეულოვანი სინჯი დღელამის განმავლობაში ორჯერაა აღებული, მაშინ წინასწარ გამოთვლიან $\rho_{ერთ}$ -ს საშუალო დღელამურ მნიშვნელობას. ამავე ნახაზზე აგებენ $Q = Q(t)$ ჰიდროგრაფს. $\rho_{ერთ}$ -ს და Q -ს ცვლილების მსვლელობას ადარებენ ერთმანეთთან და აანალიზებენ; ცალკეულ წერტილებს, რომლებიც მკვეთრად იხრებიან საერთო მიმართულებიდან, გამორიცხავენ. $\rho_{ერთ} = \rho_{ერთ}(\rho_{საშ})$ გრაფიკის გამოყენებით პოულობენ $\rho_{საშ}$ და $G_{შ} = \rho_{საშ}Q$ სიდიდეთა ყოველდღიურ მნიშვნელობებს. შემდეგ აგებენ $G_{შ} = G_{შ}(t)$ გრაფიკს, რომელსაც ზოგჯერ შეწონილი ნატანის ხარჯების ჰიდროგრაფს უწოდებენ. ამ მრუდით შემოსაზღვრული ფართობი რიცხობრივად შეწონილი ნატანის ჩამონადენის ($W_{შ}$) ტოლია რაიმე პერიოდისათვის (თვე, წელიწადი და სხვ). $W_{შ}$ უფრო სწრაფად და მარტივად შეიძლება გამოითვალოს ანალიზურადაც შემდეგი ფორმულით:

$$W_{შ} = 86400(K \sum_1^n \rho_{ერთ} Q \pm \sum_1^n \rho_0 Q), \quad (228)$$

სადაც K და ρ_0 არის 23-ე ცხრილში მოთავსებულ ფორმულებში შემავალი პარამეტრები;

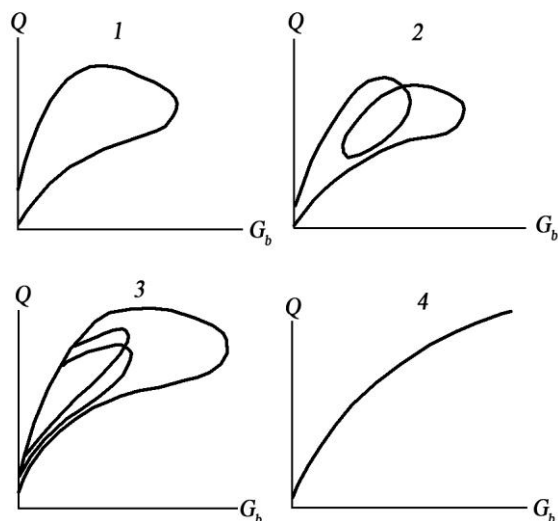
n – დღელამეთა რიცხვი პერიოდში.

გამოსახულებაში (228), მეორე წევრის წინ დასმული ნიშანი ($\pm$) დამოკიდებულია $\rho_{საშ} = \rho_{საშ}(\rho_{ერთ})$ დამოკიდებულების ტიპზე. თუ $\rho_{საშ} = \rho_{საშ}(\rho_{ერთ})$ გადის კოორდინატთა სისტემის სათავეზე, მაშინ აღნიშნული წევრი ნულის ტოლია. K და ρ_0 პარამეტრებს გამოთვლიან $\rho_{საშ} = \rho_{საშ}(\rho_{ერთ})$ დამოკიდებულების გასაშუალებელი გრაფიკიდან აღებული ორი წერტილის კოორდინატების მიხედვით.

წყლისა და შეწონილი ნატანის ხარჯებს შორის არსებული დამოკიდებულების გამოყენება. ეს ხერხი გამოიყენება მაშინ, როცა წინა ხერხში $\rho_{საშ} = \rho_{საშ}(\rho_{ერთ})$ დამოკიდებულების ცალსახობა ირღვევა. $G_{შ} = G_{შ}(Q)$ დამოკიდებულება მჟღავნდება საკმაოდ მრავალგვარი ფორმით. მისი ძირითადი ტიპები მოცემულია 108-ე ნახაზზე. პირველი ტიპი ხასიათდება მარყუჟისებრი მრუდით. მარჯვენა შტო შეესაბამება Q ხარჯებისა და ρ სიმღვრივის ზრდას, ხოლო

მარცხენა – მათ შემცირებას. ხშირად ამ შტოებს შორის აღმოჩნდება ხოლმე Q და G_{θ} -ს უკუდამოკიდებულება, რომელიც შეესაბამება მაქსიმალური G და ρ –ს შესაბამის თარიღებს შორის დროის მნიშვნელობას. მეორე ტიპი შეესაბამება სხვადასხვა ინტენსივობის ორ წყალმოვარდნას, ამიტომ $G_{\theta} = G_{\theta}(Q)$ დამოკიდებულების მრუდზე არის ორი მარყუქი. მესამე ტიპი ხასიათდება წყალმოვარდნის მარყუქთა ოჯახით და შედარებით მკაფიოდ არის გამოსახული მთის მდინარეთა პირობებში. მეოთხე ტიპში $G_{\theta} = G_{\theta}(Q)$ დამოკიდებულების მრუდი ამოხსნეილობით მიმართულია Q ღერძისაკენ; წერტილები გაბნეულია დაახლოებით $\pm 15\%$ ზოლის ფარგლებში ქრონოლოგიური განლაგების გარეშე. $G_{\theta} = G_{\theta}(Q)$ დამოკიდებულებისა და ყოველდღიური Q ხარჯების მიხედვით პოულობენ ყოველდღიურ G_{θ} ხარჯებს და გამოთვლიან $W_{\theta\delta}$ ჩამონადენს წყლის ჩამონადენის გაანგარიშების ანალოგიურად. ზოგჯერ, ნატანის ჩამონადენის გაანგარიშების ორივე ხერხს იყენებენ ერთდროულად.

ფსკერული ნატანის ჩამონადენის გაანგარიშება. ფსკერული ნატანის ჩამონადენის გასაანგარიშებლად სარგებლობენ $G_{\theta} = G_{\theta}(Q)$ დამოკიდებულებით. ეს კავშირი შეიძლება იყოს ცალსახა ან არაცალსახა. ამ უკანასკნელის გასარკვევად საჭიროა ვიცოდეთ წყლის დინების სიჩქარე (v), ნაკადის სიღრმე ($h_{\theta\theta}$) და ქანობი (I), რადგანაც მათზეა დამოკიდებული ნაკადის უნარი, მოახდინოს ნატანის ტრანსპორტირება. G_{θ} და Q კოორდინატებით აგებული წერტილების გვერდით წერენ v -ს, I -ს ან $h_{\theta\theta}$ -ს მნიშვნელობებს და ამ სამი ცვლადიდან ამოირჩევენ იმას, რომლის მიხედვითაც ააგებენ ნომოგრამას (მაგალითად, $G_{\theta} = G_{\theta}(Q)$ სახით). თუ ერთი ცვლადის საშუალებით არ ხერხდება (G_{θ}, Q) წერტილთა ველში კანონზომიერების გამოვლინება, მაშინ საჭიროა გამოვიყენოთ რთული ცვლადი სიდიდე $\frac{v^2}{gh_{\theta\theta}}$ ფრუდის რიცხვის ან $v_* = \sqrt{gh_{\theta\theta}I}$ დინამიკური სიჩქარის სახით. $G_{\theta} = G_{\theta}(Q)$ დამოკიდებულების მრუდი ამოხსნეილობით უმეტეს შემთხვევაში მიმართულია Q ღერძისაკენ. ასეთი დამოკიდებულების საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს G_{θ} ყოველდღიური ხარჯები წყლის ყოველდღიური Q ხარჯების მიხედვით.



ნახ. 108. წყლისა და შეწონილი ნატანის ხარჯებს შორის
ურთიერთდამოკიდებულების ტიპები (1–4)

მონაცემებს ნატანის ჩამონადენისათვის იყენებენ წყალსაცავების, ირიგაციული არხების, ჰეს–ებისა და სხვა ნაგებობათა დაპროექტებისას.

ნატანის ჩამონადენის განსაზღვრა წყალსაცავების საშუალებით. ეს ხერხი, რომელსაც ჯამური ხერხი ეწოდება, გამოიყენება წყალსადინარებზე, რომელთაც აქვთ შეტბორვის ზონა. ამ ზონაში ხდება დინების სიჩქარეთა მნიშვნელოვნად შემცირება და ნატანის შედარებით მსხვილი ფრაქციების დალექვა. ნატანის ჩამონადენის გამოსათვლელად აღნიშნული ხერხით გამოიყენება კაშხლებით შექმნილი წყალსაცავები, წყალმიმღების სალექარები და სხვ.

ჯამური ხერხის არსი მდგომარეობს წყალსაცავში დალექილი ნატანის მოცულობის სისტემატურ გამოთვლაში გაზომვებისა და ნიველირების გზით; ერთდროულად ხდება დალექილი ნატანის ხვედრითი წონის განსაზღვრაც. შეწონილი ნატანის ჩამონადენს ზომავენ წყალსაცავის ზემოთ და ქვემოთ. ირჩევენ ისეთ წყალსაცავებს, რომლებიდანაც მათი გაწმენდის პერიოდებს შორის არ ხდება ნატანის კაშხალზე გადადინება. იმის გამო, რომ ნატანის ხარჯები და ჩამონადენი გამოისახება წონით ერთეულებში (კგ/წმ, ტონა–თვეში და ა. შ.), საჭიროა დალექილი ნატანის რაოდენობაც წონით ერთეულებში გამოისახოს; ამასთან, უნდა ვისარგებლოთ ნატანის უშუალოდ გაზომილი ხვედრითი წონის მნიშვნელობით.

დროის Δt შუალედში საწყის კვეთში გამავალი ნატანის საერთო რაოდენობა წყალსატევში დალექილი ნატანისა და Δt დროის იმავე შუალედში ქვედა კვეთში

მოხვედრილი ნატანის წონათა ჯამის ტოლია. ამიტომ წყალსატევის ნატანის ბალანსის განტოლებას აქვს ასეთი სახე:

$$W_{\text{ფ}} = W_{\text{დალ}} + W_{\text{გნკ}} \quad (229)$$

სადაც $W_{\text{ფ}}$ არის შეწონილი და ფსკერული ნატანის ჩამონადენი საწყის კვეთში Δt დროის განმავლობაში.

$W_{\text{დალ}}$ – წყალსაცავში Δt დროში დალექილი ფსკერული და შეწონილი ნატანის წონა;

$W_{\text{გნკ}}$ – შეწონილი ნატანის ჩამონადენი ქვედა კვეთში დროის იმავე მონაკვეთში.

თუ გვექნება მონაცემები საწყის კვეთში შეწონილი ნატანის ჩამონადენისათვის ($W_{\text{გნს}}$), შევძლებთ ამ კვეთში Δt დროის შუალედში ფსკერული ნატანის ჩამონადენის ($W_{\text{გნს}}$) განსაზღვრას

$$W_{\text{გნს}} = W_{\text{ფ}} - W_{\text{გნს}}. \quad (230)$$

საწყის კვეთში ნატანის საერთო ჩამონადენისა და ფსკერული ნატანის ჩამონადენის მიხედვით შეიძლება გამოვთვალოთ Δt დროის შუალედების შესაბამისი საშუალო ხარჯები (ნატანის). ნატანის საერთო ხარჯი იქნება:

$$G_{\text{ფ}} = \frac{W_{\text{ფ}}}{\Delta t},$$

ხოლო ფსკერული ნატანის ხარჯი

$$G_{\text{გ}} = \frac{W_{\text{გნს}}}{\Delta t}.$$

გაზომვებს წყალსაცავში ჩვეულებრივ ატარებენ 5–15 დღეში ერთხელ, თვეში ერთხელ ან უფრო იშვიათადაც. წყლის ხარჯებს ზომავენ წყალსატევის ზემოთ მდებარე სპეციალურად აღჭურვილ ჰიდროკვეთებში (სასურველია შეტბორვის გამოსოღვის ზონის ფარგლებს გარეთ). წყალსაცავის ზემოთ მდებარე ჰიდროკვეთებში შეწონილი ნატანის ჩამონადენს გამოთვლიან სიმღვრივის დასადგენად წყლის ყოველდღიური სინჯების აღებისა და დეტალური ხერხით შეწონილი ნატანის ხარჯის გაზომვის გზით; წყალსაცავის ქვემოთ მდებარე ჰიდროკვეთებში–სიმღვრივის დასადგენად წყლის სინჯების აღების გზით (შეწონილი ნატანის ხარჯების გაზომვის გარეშე).

ფსკერული ნატანის ხარჯებისა და ჩამონადენის განსაზღვრის აღნიშნული ხერხი გაცილებით ზუსტია ფსკერული ბათომეტრების გამოყენებაზე დამყარებულ ხერხზე.

თავი VII. ოკეანეებისა და ზღვების ჰიდრომეტრიული სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა

§ 26. ოკეანეებისა და ზღვების კვლევის საშუალებები და მეთოდები

ოკეანეებისა და ზღვების კვლევებისათვის მრავალი სახის საშუალებები არსებობს:

სამეცნიერო-კვლევითი გემები; ზედაპირული სამეცნიერო მცურავი და ფიქსირებული ბაქნები; წყალქვეშა საკვლევი საშუალებები; წყალქვეშა კვლევის ავტომატური აპარატები; წყალქვეშა სტაციონალური ლაბორატორიები; ავტონომიური ბუიანი სადგურების გაერთიანებული გლობალური სისტემა; ავტონომიური ბუიანი სადგურები; ტაკელაჟები; გვარლები; ჯალამბრები; დუზები.

სამეცნიერო-კვლევითი გემების კლასიფიკაცია

1. კოსმოსის საკვლევი გემები (კსგ), წყალწყვა(10000-45000 ტ) კოსმონავტი იური გაგარინი, აკადემიკოსი სერგი კოროლიოვი, კოსმონავტი ვლადიმერ კომაროვი, რომლებზეც შეიძლება განხორციელდეს დაკვირვებები კოსმოსურ აპარატებსა და დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე, მათგან კავშირი და მათგან სამეცნიერო და სხვა სახის ინფორმაციის მიღება-დამუშავება. ცურვის რადიუსი განუსაზღვრელია;
2. საექსპედიციო-სგ (6000-7000 ტ) აკადემიკოსი კურჩატოვი, პროფესორი ზუმოვი, პროფესორი ვიზე, მიხეილ აიმოვი, და სხვ. ამ გემებზე შეიძლება კომპლექსური ექსპედიციების ჩატარება მსოფლიო ოკეანის ნებისმიერ რაიონში, მათ შორის ნაკლებად-შესწავლილ აკვატორიებშიც;
3. უნივერსალური - უგ (1900-4200 ტ) ატლინტის II, კონრადი, დისკავერი, ვანშარკო, ხოკუხო-მარუ, აღნიშნულ გემებზე მსოფლიო ოკეანის ზოგიერთი რაიონის ფუნდამენტური, თემატური გამოკვლევები;
4. რუსეთის ოკეანოგრაფიული -ოგ (2500-5000 ტ) ჰეკლა, ოუმენოგრაფერი, იმშოკალსკი, ჰუდზონი, იანალიდი. ამ გემებზე შესაძლებელია ოკეანის ფსკერის ტოპოგრაფიული აგეგმვა, დედამიწის ფიზიკური ველის გამოკვლევა, ფსკერის გრუნის სინჯების აღება, სეისმოაკუსტიკური გამოკვლევები, მეტეოროლოგიური და აეროლოგიური დაკვირვებები და სხვ.;
5. ჰიდროგრაფიული - ჰგ (2500-3000 ტ) ნიკოლოზ ზუბოვი, მორესბი, მეიე, არებინი, ზემოაღნიშნული გემებით შეიძლება ჩატარდეს ზღვის სიღრმის, დინებების, ტალღების და სხვ. გაზომვა, საზღვაო რუკებისათვის ინფორმაციის შეკრება, სანაპიროების აგეგმვა და შექუერების, სანავიგაციო მოწყობილობებისა და ავტონომიური სადგურების მომსახურება;
6. მეტეოროლოგიური (ამინდის) გემები - მაგ (2500-7000 ტ) ვანკუვერი, მუსონი, პასატი, კუმულუსი, ასეთი სახის მცურავ საშუალებებზე შესაძლებელია სისტემატური მეტეოროლოგიური დაკვირვებების ჩატარება, მეტეოინფორმაციის მიღება და გადაცემა

სხვა გემებზე, თვითმფრინავებსა და მეტეოცენტრებში, რადიოშუქურის როლის შესრულება, მრავალგვარი ოკეანოგრაფიული დაკვირვებების ჩატარება;

7. ოპერატიული დაზვერვის - სოგ (500-2000 ტ), ლა სალი, კრომველი, რექსი, ასეთი სახის გემების გამოყენება შეიძლება შემდეგი სამუშაოების ჩასატარებლად: სარეწაო დაზვერვა, თევსაჭერი იარაღების სრულყოფისათვის გამოკვლევების ჩატარება, თევზის შენახვისა და დამუშავების გაუმჯობესებას, წყალქვეშა გამოკვლევები;
8. ვიწრო-სპეციალიზებული საკვლევი - სსგ (500-2000 ტ), ამაღთე, კორიოლისი, პლანეტა, გლომარ ჩელენჯერი, ჯოიდის რეზოლუმენ, მირჩიკი, აღნიშნულ გემებზე შეიძლება განხორციელდეს სპეციალური გამოკვლევები ზღვის ფსკერის გეოლოგიასა და ტოპოგრაფიაში, აკუსტიკური და მაგნიტური გამოკვლევები. გამოყენებითი ხასიათის გამოკვლევები ფიზიკურ ოკეანოგრაფიაში, ნაპირდაცვისთვის სპეციალური აგეგმვები და სხვ.;
9. ყინულმჭრელი და ყინულმტეხი - ყსგ (14000-25000 ტ), არქტიკა, ციმბირი, მოსკოვი, ასეთი გემებით შეიძლება ჩატარდეს გამოკვლევები არქტიკულ და ანტარქტიკულ აუზებში, ოპერატიული და გრძელვადიანი ყინულდაზვერვა, მოზამთრე ჯგუფებისა და მოდრეიფე სადგურების მომსახურება, ოკეანოგრაფიული ინფორმაციის შეკრება გემთა ქარავნების გაცილებისას.

ზღვის სიღრმეების საზომი საშუალებები. ოკეანეებისა და ზღვების კვლევის სფეროში ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა ზღვის სიღრმეების გაზომვა. ზღვის სიღრმეების გასაზომად გამოიყენება თანამედროვე ექოლოტები, რომლითაც შეიძლება გაიზომოს როგორც მცირე ისე დიდი სიღრმეები. ექოლოტების მუშაობის პრინციპი ულტრაბგერითია და ემყარება წყალში ბგერის გავრცელების სიჩარეს დროში.

ზღვის ფსკერის საკვლევი გრუნტსასინჯი საშუალებები და იარაღები. უსინათლოა ოკეანეში და ზღვებში, აგრეთვე წყლის კოლოსალური წნევა უაღრესად აძნელებს ოკეანეებისა და ზღვის ფსკერის შესწავლას. არადა ბოლო წლებში, ინტერესი ზემოაღნიშნული პრობლემის მიმართ გაზრდილია.

მაგალითისათვის ჩვენს ქვეყანაში განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს შავი ზღვის ფსკერის შესწავლა, რათა როგორმე დაზუსტდეს ფსკერზე გოგირდის შემცველი ფენებისა და წყლების მძლავრ გამოსასვლელთა რაოდენობა.

ოკეანეებისა და ზღვების ფსკერის შესწავლა და კონკრეტული ამოცანების გადაწყვეტა წარმოადგენს ურთულეს პირობას, რისთვისაც საჭიროა შესაბამისი კონსტრუქციების საოკეანო ტექნიკა, მათ შორის: სხვადასხვა მოდიფიკაციის ფსკერიხაპები, სტრატომეტრები, ვიბროდგუშიანი გრუნტსასინჯი მილაკი, სწორდინებადი გრუნტსასინჯი მილაკი, სწორდინებადი დარტყმითი გრუნტსასინჯი მილაკი, დგუშიანი მილაკი, დგუშიან-ჩარჩოიანი მილაკი, დიდი დიამეტრის დგუშიანი მილაკი, ღრმაწყლის ჰიდროსტატიკური მილაკი, მობილური მსუბუქი მილაკი.

მილაკები, რომლებიც დღეისათვის გამოიყენება ოკეანოგრაფიაში არის სანავიგაციო მილაკი თავისი ორი მოდიფიკაციით ე.წ. „მსუბუქი“ და „მძიმე“.

კლდოვანი ქანების სინჯის ასაღებად გამოიყენება მილაკები „სატეხი“ და „ქვემეხი“.

ზღვის ფსკერიდან სინჯების ასაღებად გამოიყენება სპეციალური ხელსაწყო დრაგა და ტრალი.

ზღვის ფსკერის გამოკვლევა წყალქვეშა, საბურღი და აკუსტიკური აპარატებით. ზღვის ფსკერის გამოსაკვლევად არსებობს საოკეანო საბურღი გემები შესაბამისი მოწყობილობებით, მათ შორის ფსკერის საბურღი მოწყობილობა სამიზნე აკუსტიკური მოწყობილობით.

ოკეანეებისა და ზღვის წყლის სინჯების აღება. ოკეანისა და ზღვის წყლის ტემპერატურის გასაზომად გამოიყენება ჩარჩოიანი თერმომეტრი, საყირავი თერმომეტრი, თერმოელექტრონული თერმომეტრი, რადიაციული (დილატომეტრული) და პიეზოკვარტიანი თერმომეტრები.

არსებობენ წყლის ტემპერატური ჩამწერი და გადამღები იარაღები: ბათითერმოგრაფი, ბათი თერმოზონდი, ელექტრობათითერმოზონდი, ფოტო-თერმოგრაფი, თერმისტორული ასხმულა (გემით ბუქსირებისას).

წყლის სინჯების ასაღებად ასევე გამოიყენება დიდი მოცულობის ბათომეტრი - FM-42, ბათომეტრი - BM -48, ავტომატური ბათითერმოგრაფი.

დაკვირვება ზღვის დონეებზე. როგორც ცნობილია ოკეანისა და ზღვის ზედაპირი მუდმივ მოძრაობაშია. გარე ძალების ზემოქმედებით წყლის ზედაპირზე აღიმგრება მოკლე და გრძელპერიოდიანი ტალღები, რის გამოც წყლის ზედაპირი ხან იმატებს და ხან კლებულობს. გრძელპერიოდიანი ტალღების ზემოქმედებით ზღვის დონე რამდენიმე სანტიმეტრიდან ათეულ მეტრამდე იცვლება, თანაც ზოგიერთი მათგანის პერიოდი საკმაოდ გრძელია.

წყლის ზედაპირის ვერტიკალურ რყევას, როელიც იწვევს ზღვის სანაპირო ზოლთან წყლის ჰორიზონტალურ გადაადგილებას და მის ცოდნას დიდი მნიშვნელობა აქვს ადამიანის სამეურნეო საქმიანობაში. ზემოაღნიშნულის გამო ჯერ კიდევ რამდენიმე საუკუნის წინ დაიწყო სისტემატური დაკვირვებები გრძელპერიოდიან რყევებზე. წყნარი ოკეანის აუზის ქვეყნებში შეიქმნა სპეციალური „ცუნამის სამსახური“, რომელიც მოსახლეობას წინასწარ ატყობინებს ცუნამის სიმაღლესა და პერიოდს. აღნიშნულიდან გამომდინარე საჭირო გახდა ზღვის დონის რყევების შესახებ სპეციალური ტერმინოლოგიის შემოღება. საერთაშორისო ოკეანოგრაფიული კომისიის მიერ განისაზღვრა, რომ ზღვის დონე ეწოდება ზღვის ზედაპირის სიმაღლეს, რომელიც ათვლილია წინასწარ შერჩეული პირობითი სიბრტყიდან. თუ დონე განისაზღვრება ზღვის ერთიანი საწყისი სიბრტყიდან, მაშინ მას აბსოლუტური დონე ეწოდება, ხოლო თვით საწყისი სიბრტყე დონის ასათვლელი ნულოვანი სიბრტყეა.

ზღვის დონეზე მოქმედ ფაქტორებს წარმოადგენენ: 1- ჰიდრომეტეოროლოგიური ელემენტები; 2- ასტრონომიული ფაქტორები, 3- გეოლოგიური ფაქტორები; 4- ფაქტორების ერთობლიობა, რომლებიც დაკავშირებულია მსოფლიო ოკეანის, ან მისი ცალკეული აუზის მოცულობით ცვალებადობასთან, რასაც ვესტატურ ფაქტორს უწოდებენ.

ზღვის დონის რყევის დასადგენად გამოიყენება სხვადასხვა მეთოდები, მათ შორის: საზღვაო დონესაზომი ლარტყები (ფუტშტოკები), ტივტივიანი მარეოგრაფები, ჰიდროსტატიკური მარეოგრაფები, ჰიდროსტატიკური დისტანციური მარეოგრაფი და მისი გადამწოდი, ელექტროელემენტებით მგრძნობიარე დონესაზომი - რეზონანსული დონესაზომი და სხვ.

ცუნამის სარეგისტრაციოდ არსებობს ცუნამის ტივტივიანი რეგისტრატორები, სარეგისტრაციო ჰიდრაულიკური ფილტრები.

დაკვირვება ზღვის ღელვაზე. ღელვა ზღვებისა და ოკეანეების მთავარი თვისებაა. ზღვის ღელვასთანაა დაკავშირებული ნავიგაციის, თევზჭერის, ჰიდროტექნიკური მშენებლობისა და სხვა ბევრი პრობლემა, რომლებზეც დიდადაა დამკვიდრებული საზღვაო

კატასტროფების დიდი ნაწილი. ზღვის დეღვის შესაფასებლად არსებობს ზღვის ზედაპირის მდგომარეობის შესაფასებელი ათბალიანი სკალები. ქვემოთ წარმოავდგენთ ზღვის ზედაპირის მდგომარეობისა (ცხრ. 24) და ტალღის სიმაღლის შეფასების (ცხრ. 25) ცხრილებს.

ცხრილი 24

ზღვის ზედაპირის მდგომარეობის სკალა

ზღვის ზედაპირის მდგომარეობა, ბალები	ზღვის ზედაპირის მდგომარეობის განმსაზღვრელი ნიშნები
1	2
0	ზედაპირი წყნარია, ტალღები არ შეინიშნება
1	ჩნდება ღელვილი
2	ტალღები დაბალია, მაგრამ ალაგ-ალაგ მათი ვარდნისას წარმოიქმნება ზღვისფერი ქაფი.
3	ტალღები წამოზრდილი იმდენად, რომ კარგად გამოხატული თხემები აქვთ და ზოგჯერ ქოჩორსაც /ზუქუქებს/ იკეთებენ.
4	ზღვის მთელ ზედაპირზე ქოჩორა ტალღებია, აქა-იქ მაღალი ტალღებიც ჩნდება.
1	2
5	ხშირია ტალღები. ზღვის ზედაპირის მეტი ნაწილი მათ ქაფმოკიდებულ თხემებს უჭირავს ქარი იტაცებს ქაფს ტალღის წვერიდან .
6	ყველგან მაღალი ტალღებია, რომელთა მიმდევრობა გრძელ კედელს მოგვაგონებს, ქარი იტაცებს ქაფს ტალღის თხემიდან და მის ფერდებზე შლის, ჰაერში შეიმჩნევა.
7	ტალღების მეტი ნაწილი ქაფითაა დაფარული. ქარი წყლის შხეფებს შორს ისვრის. ისმის ძლიერი ხმაური.
8	ქაფი სქელ ფენად ფარავს ტალღებს და წყლის ზედაპირი მხოლოდ ალაგ-ალაგ ჩნდება. ჰაერში უხვადაა შხეფები. მძლავრი გუგუნის მაგვარი ხმაური აძნელებს სმენადობას.
9	ზღვის ზედაპირი მთლიანად აქაფებულია და ჰარი სავსეა შხეფებით, რომელთაც ძლიერი ქარი დიდი სისწრაფით ისვრის. ხილვადობა უკიდურესად შემცირებულია. ძალიან ძლიერი და გაბმული გუგუნის გამო ყურთასმენა აღარ არის.

ცხრილი 25

ზღვის დეღვის სკალა

ტალღის სიმაღლე, მ	დეღვა ბალებში	დეღვის სიტყვიერი დახასიათება
	0	ზღვა არ დეღავს
0-0,25	I	სუსტი დეღვა
0,26-0,75	II	ზომიერი დეღვა
0,76-1,25	III	მნიშვნელოვანი დეღვა
1,26-2,0	IV	
2,1-3,5	V	
2,6-6,0	VI	ძლიერი დეღვა
6,0-8,5	VII	
8,6-11,1	VIII	ძალიან ძლიერი დეღვა
11,1 და მეტი	IX	განსაკუთრებული სიძლიერი დეღვა

ტაღების გასაზომად გამოიყენება: ტაღსაზომი ლარტყები და სარყეები; ტაღსაზომი მოწყობილობები ბინოკლის ოპტიკური ბალით; ელექტროკონტაქტური ტაღმწერი; სიმიანი (რეზისტული) ტაღმწერი; ჰიდროსტატიკური ტაღმწერი; ზღვის ტაღმწერი და ტაღსაზომი.

პირობითი ნიშნები

- H - წყლის დონე, სიმაღლე ზღვის დონიდან
 h - ნაკადის წყლის სიღრმე
 L - მდინარის (ნაკადის) სიგრძე
 η - ფარდობითი სიღრმე
 U - ნაკადის სიჩქარე ვერტიკალზე
 U_* - დინამიკური სიჩქარე
 σ_U - სიჩქარის საშუალო კვადრატული გადახრა
 C - შეზის უგანზომილებო კოეფიციენტი ($m^{0.5}/წმ$)
 ω_i - პულსაციის საშუალო სიჩქარე
 V - ნაკადის სიჩქარე
 D - ნაკადის საშუალო სიჩქარის აბსოლუტური დეფიციტი
 I - ნაკადის ზედაპირული ქანობი
 b - ნაკადის სიგანე
 β - ცოცხალი კვეთის სიგანე
 ω - ნაკადის განიკვეთის ფართობი
 q - წყლის ხარჯი ვერტიკალზე
 F_a - წყალქვეშა მიდელური კვეთის ფართობი
 Q - ნაკადის ხარჯი
 Q_* - ნაკადის დინამიკური ხარჯი
 $R_{\text{ჟ}}$ - ყინულის ხორკლიანობის კოეფიციენტი
 $G_{\text{ტ}}$ - ტივტივას მოცულობა
 $V_{\text{ტ}}$ - ტივტივას მოცულობა
 γ - წყლის ხვედრითი წონა
 γ - ტივტივას მასალის ხვედრითი წონა
 R - წინაღობის ძალა
 $R_{\text{ტ}}$ - ტივტივას წინაღობის ძალა
 ξ - წინაღობის კოეფიციენტი
 α - კოეფიციენტი სხვადასხვა
 g - სიმძიმის ძალის აჩქარება
 P - სიმძიმის ძალა
 N - ტრიალის ბრუნთა რიცხვი
 $R_{\text{ფ}}$ - ფრთებიანი ხრახნის გეომეტრიული ბიჯი
 ρ - სიმკვრივე
 $q_{\text{ფსკ}}$ - ფსკერული ნატანის ხარჯი
 $\gamma_{\text{ნ}}$ - ნატანის ხვედრითი წონა
 $U_{\text{თ}}$ - ტალღის თხემის მოძრაობის სიჩქარე
 ψ - ტალღის ჭრილის ფორმის კოეფიციენტი

h_{δ} - ტალღის სიმაღლე
 $P_{\text{ფსკ}}$ - ფსკერული ნატანის წონა სინჯში
 t_{δ} - ბათომეტრის დაყოვნების ხანგრძლივობა
 b_{δ} - ფსკერული ბათომეტრის შესასვლელი ხვრეტის სიგანე
 $U_{\text{ფნ}}$ - ფსკერული ნატანის სიჩქარე
 $W_{\text{ფნ}}$ - შეწონილი ნატანის მოცულობა
 W_6 - წყალსაცავის ჯამური ნატანი
 $W_{\text{დალ}}$ - დალექილი ნატანი
 $W_{\text{ფნ.ქ}}$ - შეწონილი ნატანის ჩამონადენი ქვედა კვეთში
 $W_{\text{ფნ.ს}}$ - შეწონილი ნატანის ჩამონადენი საწყის კვეთში
 Z - შეტბორვის წირი
 φ - გეოგრაფიული განედი
 X, Y - კოორდინატთა ღერძები
 X - სველი პერიმეტრი
 $\sum$ - ჯამი
 α - კოეფიციენტი (სხვადასხვა)
 β - კოეფიციენტი (სხვადასხვა)
 n - რიცხვითი რაოდენობა (სხვადასხვა მნიშვნელობები)
 m - მორწყვის ნორმა ; მასშტაბის მნიშვნელობა; მასის მნიშვნელობა; რიგითი ნომერი
 სტატისტიკურში და ა.შ.
 T, t, τ - T - დრო; t - ტემპერატურა; τ - განმეორებადობა დროში და ა.შ.
 θ (თეტა) - ტემპერატურა.

ლიტერატურა

1. კერესელიძე დ., ტრაპაიძე ვ., ბრეგვაძე გ., ზოგადი ჰიდროლოგია, თსუ გამომცემლობა, 2011;
2. კიკილაშვილი თ., ქოჩიაშვილი დ., ხმელეთის ჰიდროლოგიის პრაქტიკუმი, თსუ გამომცემლობა, თბილისი, 1974;
3. მეტრეველი გ., საზღვაო ჰიდრომეტრია, თსუ გამომცემლობა, თბილისი, 1997;
4. უკლება ნ., ჰიდრომეტრია, თსუ გამომცემლობა, თბილისი, 1967;
5. დანელია ზ., ამბროლაძე თ., თოფურია მ. - ჰიდრაულიკა, ჰიდროლოგია, ჰიდრომეტრია. საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი. 2013 წ.;
6. ჩიკვაშვილი ბ. - ჰიდროლოგია ჰიდრომეტრია ჩამონადენის რეგულირება - გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, 1976 წ.;
7. მამასახლისი ჟ., კუხალაშვილი ე., სახვაძე ა., ომსარაშვილი გ. - საინჟინრო ჰიდროლოგია და ჩამონადენის რეგულირება. მეთოდური მითითებები, თბილისი, 2009 წ.;
8. Быков В.Д., Васильев А.В., Гидрометрия, Гидрометеиздат. Л., 1977;
9. Методика измерения расходов наносов и изучения деформация речных русел и исследование твердого стока. Изд. СЭВ, Будапешт, 1972;
10. Быков В.Д., Васильев А.В., Гидрометрия, Гидрометеиздат, 1965;
11. Измерение расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами. Изд. Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, М., 1968;
12. Железняков Г.В. Теоретические основы Гидрометрии. Л., 1968;
13. Железняков Г.В. Гидрология и гидрометрия. М., 1981;
14. Лучшева А.А. Практическая гидрометрия, Л., 1972.
15. Lorant M. The Rating of Water Current Meters. Water and Water Engineering, vol. 55, N 670, 444-446. 1951.
16. Chow V.T., Maidment D.R., Mays L. W., Applied hydrology, McGraw-Hill, New-York, 1988.
17. Mays L.W., Water Resources Handbook, McGraw-Hill, New-York, 1996.