

აკაკი ქანთარია

ჰიდროელექტროსადგურებზე ელექტროენერჯის გამომუშავების
გაზრდა ჰიდროაგრეგატების ოპტიმალური რემონტაშორისი ვადების
განსაზღვრის გზით

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
აპრილი, 2014

© საავტორო უფლება აკაკი ქანთარია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკის და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით აკაკი ქანთარას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “ჰიდროელექტროსაგურებზე ელექტროენერჯის გამომუშავების გაზრდა ჰიდროაგრეგატების ოპტიმალური რემონტთაშორისი ვადების განსაზღვრის გზით“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი:

ი. ლომიძე

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2014 წელი

ავტორი: აკაკი ქანთარია

დასახელება: ჰიდროელექტროსაგურებზე ელექტროენერჯის გამომუშავების
გაზრდა ჰიდროაგრეგატების ოპტიმალური რემონტთაშორისი
ვადების განსაზღვრის გზით

ფაკულტეტი : ენერჯეტიკა და ტელეკომუნიკაცია

აკადემიური ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

ვუძღვნი ჩემს სამშობლო- საქართველოს.

მადლიერება

ავტორი დიდ მადლობას უხდის დისერტაციის სამეცნიერო ხელმძღვანელს, ბატონ იური ლომიძეს დისერტაციის დამუშავების პროცესში გაწეული კონსულტაციებისათვის და გამოხატავს მადლიერების გრძნობას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის თბო და ჰიდროენერგეტიკის დეპარტამენტის თანამშრომლების და განსაკუთრებით ფაკულტეტის დეკანის, ბატონ გია არაბიძის მიმართ, დოქტურანტურაში სწავლის პერიოდში გაწეული გულისხმიერებისა და თანადგომის გამო.

რეზიუმე

საქართველოს ენერგოსისტემის ჰესების უმრავლესობა ექსპლუატაციაშია სამი ათეული წელზე მეტი, ბევრ მათგანზე არსებული ენერგეტიკული მოწყობილობა-დანადგარების მახასიათებლები აღარ შეესაბამება მათ თავდაპირველ მნიშვნელობებს. ჰიდროტურბინების მუშა თვლების ან მიმმართველი აპარატის ნიჩბების ცვეთის გამო მცირდება მისი მ.ქ.კ., რასაც სიმძლავრისა და შესაბამისად გამომუშავების კლება მოჰყვება, რომლის კომპენსირებასაც წყლის ხარჯის მომატებით ახორციელებენ. ჰიდრობლოკების ენერგეტიკული მახასიათებლების და წყლის ხარჯის უკონტროლოებას მიყვავართ ჰიდრორესურსების უხარისხო მოხმარებამდე, რაც იწვევს შრომისა და კაპიტალდაზანდებების დანაკარგებს - შესაბამისად, იზრდება ელექტროენერგიის თვითღირებულება, რაც საზოგადოდ იწვევს ფასების ზრდას.

ჰიდროაგრეგატის შერჩევას, როგორც წესი, ითვალისწინებენ სტაციონალურ მახასიათებლებს და მხედველობაში არ მიიღება ჰესის ექსპლუატაციის პერიოდში ჰიდროაგრეგატის მ.ქ.კ.-ზე ტურბინის ცვეთის გავლენა.

ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის შესწავლის მნიშვნელობას კიდევ უფრო აძლიერებს ის გარემოება, რომ აბრაზიული ცვეთის პროცესი (ნატანის ნაწილაკების სითხის ნაკადის მოძრაობა და მათი ზემოქმედება გამდინარე ნაწილის ზედაპირზე) შეიძლება გახდეს კავიტაციური მოვლენების განვითარების მაპროვოცირებელი ფაქტორი, რაც თავის მხრივ უფრო ინტენსიურს გახდის დეტალების ცვეთას და შეიძლება მათი მასალის რღვევაც გამოიწვიოს.

ამიტომ, ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობის დამახასიათებელი რაოდენობრივი ისეთი კრიტერიუმების შემუშავება იქნება აუცილებელი და აქტუალური, რომელიც გაითვალისწინებს ცვეთის ინტენსივობის დამოკიდებულებას ჰიდროტურბინის მ.ქ.კ.-ს ცვლილებასთან და გამომდინარე აქედან შესაძლებელს გახდის ჰიდროაგრეგატის რემონტში ოპტიმალური ვადის დადგენას.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ საქართველოს ჰიდროელექტროსადგურების აბსოლუტური უმრავლესობა განლაგებულია მდინარეების სამთო და მთისწინა უბნებზე, სადაც წყლის ნაკადი მაღალი სიმღვრივით (მდინარის წყალში ნატანის მაღალი შემცველობით) ხასიათდება, მაშინ ცხადია, რომ ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიული ცვეთის საკითხის შესწავლა პირდაპირ კავშირშია საქართველოს ენერგოსისტემის ჰესების ეფექტურ ფუნქციონერებასთან, რაც მეტად აქტუალური საკითხია.

წყალში მყარი ნატანის არსებობისას, ადგილი აქვს ცვეთას გამოწვეულს როგორც მყარი ნაწილაკების დაჯახებით გამდინარე ნაწილის ზედაპირთან,

ასევე მყარი ნაწილაკების გამდინარე ტრაქტის ზედაპირზე სრიალის შედეგად. ამ ფაქტორების ინტენსივობისგან დამოკიდებულებით ცალკეულ შემთხვევებში გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება გარკვეულ მათგანს.

ჰიდროტურბინების დეტალების ინტენსიური ცვეთა შეიძლება აიხსნას ზედაპირების გარსმდენი ნაკადის სიჩქარის მნიშვნელოვანი სიდიდით. ამასთან, არსებითი მნიშვნელობა აქვს არა წყლის საშუალო სიჩქარეს, არამედ იმ ადგილობრივ სიჩქარეს, რომელიც საზოგადოდ არსებობს ტურბულენტურ ნაკადში და კერძოდ აღიძვრება ცუდად გარსმდენ ზედაპირებთან კონტაქტში.

საერთოდ თვლიან, რომ გარდა სიჩქარის სიდიდისა ცვეთის ინტენსივობაზე ზემოქმედებას უნდა ახდენდეს: შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრანტის სიმსხო, სიმაგრე, ფორმა, აგრეთვე იმ მასალის ხარისხი რისგანაც დამზადებულია ჰიდროტურბინის გამდინარე ტრაქტის ელემენტები. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია იმ ზედაპირული ფენის ხარისხი რაც უშუალო კონტაქტშია შეწონილ ნაკადთან.

აღნიშნული ფაქტორების ერთობლივად რაოდენობრივი აღრიცხვა ძალიან რთული მათემატიკური პრობლემაა, ვინაიდან თითოეული ეს ფაქტორი სხვადასხვა ბუნებისაა, ამასთან დროში ცვალებადია და განსაკუთრებულ ზემოქმედებას ახდენს ჰიდროტურბინის სხვადასხვა ნაწილის ცვეთაზე.

აქვე აღვნიშნოთ, რომ ჰიდროტურბინის წონის დანაკარგი ვერ იქნება საბოლოო ანგარიშით ცვეთის პროცესის ყოველმხრივი მახასათებელი. რა საკვირველია წონის დანაკარგი მნიშვნელოვანია, მაგრამ უფრო მნიშვნელოვანია ტურბინის სიმძლავრის დანაკარგი ანუ მ.ქ.კ-ს შემცირება და ეს მახასიათებელია განმსაზღვრელი.

აუცილებელია დადგინდეს ცალკეული ზემოაღნიშნული ფაქტორის გავლენა დეტალების ცვეთაზე. ზოგიერთი მათგანის გავლენის ხასიათი შეიძლება გაირკვეს თეორიული მოსაზრებების საფუძველზე, ხოლო ზოგიერთი - მხოლოდ ექსპერიმენტული და ნატურული გზებით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ განმსაზღვრელ ზემოქმედებას ტურბინის დეტალების ცვეთაზე ახდენს, როგორ ზემოთ აღინიშნა, არა მხოლოდ ნატანის აბრაზიული თვისებები, არამედ ამ დეტალების მასალების ცვეთამდეგობაც, რის გამოც ნებისმიერი ჰიდრონარევის ცვეთისუნარიანობა, უნდა დაკავშირდეს მის მიერ ზემოქმედების ქვეშ მყოფ მასალასთან.

მოცემულია მცდელობა მიახლოებით თეორიულ მოსაზრებებზე დაყრდნობით, აბრაზიული ცვეთის ძირითადი კანონზომიერებების გარკვევისა. ამასთან, მიღებულია, რომ აბრაზიული ცვეთის დროს ხდება დეტალის მასალის რღვევა (ძირითადად ჭრა და გამოფხვნა), რომელზეც იხარჯება ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ნატანის ნაწილაკების კინეტიკური ენერგია.

ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთისას იკვეთება შემდეგი ძირითადი კანონზომიერებანი:

1. ტურბინის დეტალის ცვეთა პირდაპირპროპორციულია ჰიდრონარევის დეტალზე ზემოქმედების დროის, ნარევი აბრაზიული ნაწილაკების კონცენტრაციის და ნარევის ფარდობითი სიჩქარის კუბის;

2. ტურბინის დეტალის ცვეთა იზრდება ნაწილაკების სიმსხოს, კუთრი წონის და სისალის გაზრდისას;

3. ტურბინის დეტალის ცვეთა დამოკიდებულია ნაწილაკის ფორმაზე, დეტალის ზომებზე და ფორმაზე და დეტალის მასალის ცვეთამდეგობაზე.

2 და 3 პუნქტებში აღნიშნული ფაქტორების გავლენა ტურბინის ცვეთაზე, შესაძლებელია დადგინდეს მხოლოდ სპეციალური ექსპერიმენტალური გამოკვლევების შედეგად, რასაც ყველაზე უფრო შეესაბამება გამოკვლევები ნატურაში, მოქმედი ჰესების ტურბინებზე.

ნატანის აბრაზიისუნარიანობის მიახლოებითი რაოდენობრივი შეფასება განხორციელებულია ცალკეული ფაქტორების დაყვანით ერთ, გარკვეულ ექვივალენტამდე. ამ დროს მოცემული შემადგენლობის და საშუალოწლიური კონცენტრაციის მქონე ნატანის ცვეთისუნარიანობის შეფასებისათვის შემოთავაზებულია ექვივალენტური აბრაზიული თვისებების მქონე, 0,5 მმ დიამეტრის კვარცის ნაწილაკების ზემოქმედება ტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალებზე 8760 საათის განმავლობაში (ერთი წელიწადი).

ტურბინის ცალკეული კვანძების და ნაწილების ცვეთის პროგნოზირება უნდა მოხდეს დასაპროექტებელ და არსებულ ჰესებზე ნატანის აბრაზიულუნარიანობის შედარების გზით. ამ დროს ნატანის დაყვანილი კონცენტრაციის მნიშვნელობის განსაზღვრა მოიაზრება, ტურბინის გამდინარე ნაწილში ნაკადის ფარდობითი სიჩქარის გათვალისწინებით.

სხვადასხვა ტიპის მოქმედი ჰესების ექსპლუატაციის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ჰიდროაგრეგატის მ.ქ.კ. -ის (η) ცვლილება, მოცემული სიმძლავრის (N) დროს მთლიანად არის დამოკიდებული ექსპლუატაციის დროის (T) განმავლობაში ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილების ცვეთაზე.

ცნობილია, რომ ჰიდროაგრეგატის სიმძლავრე, მისი მუშაობის პროცენტებში $0,5N_{max} < N \leq N_{max}$ ინტერვალშია, რომელშიც ძვეს მაქსიმალური მ.ქ.კ. η_{max} , რომელსაც დაახლოებით $0,75 N_{max}$ შეესაბამება. ჰიდროაგრეგატის სამუშაო ზონის წარმოდგენა ანალიზურად-ფუნქციის სახით, დროის ფაქტორის გათვალისწინებით ანუ ცვეთის ზემოქმედებით მ.ქ.კ.-ს ცვლილების დადგენა ძალიან საჭიროა და აქტუალური.

ამ ამოცანის გადაწყვეტა ითვალისწინებს ჰიდროაგრეგატის მუშა მახასიათებლების $\eta = f(N)$ დადგენას სხვადასხვა T დროის განმავლობაში, ფიქსირებული დროის ΔT ინტერვალისა და შესაბამისად გამომუშავებული ელექტროენერჯის $\Delta \mathcal{E}$ რაოდენობის პირობებში. გაზომვებს შორის საწყისი ინფორმაციის მოძიება უნდა განხორციელდეს ჰესებზე შესაბამისი ნატურული დაკვირვებებისა და გაზომვების ჩატარების გზით ისე, რომ ჰიდროაგრეგატის მუშაობის წლიური T_0 ციკლი იქნეს მოცული.

ამგვარად, ნატურული დაკვირვებების შედეგები, საშუალებას მოგვცემს ვიმსჯელოთ მ.ქ.კ.-ს დროში ცვლილების და შესაბამისად ჰიდროტურბინის ცვეთის გავლენის შეფასების შესახებ ჰესის მიერ გამომუშავებული ელექტროენერგიასთან მიმართებაში.

ჰიდროაგრეგატის სიმძლავრის გაზომვა შესაძლებელია ჰესზე არსებული ელექტროენერგიის მრიცხველის საშუალებით, იმ პირობით რომ ჩვენების აღება უნდა მოხდეს ერთდროულად სხვა ანათვლების აღებასთან ერთად ტურბინის მიმმართველი აპარატის ფიქსირებული გაღებისას (a_0).

დაკვირვებების პერიოდში ჰიდროაგრეგატი უნდა მუშაობდეს მუდმივ რეჟიმში და სისტემაში დატვირთვის რყევა მასზე გავლენას არ უნდა ახდენდეს.

ჰიდროტურბინაში გამავალი წყლის ხარჯის გაზომვა უნდა მოხდეს ჰიდროტურბინაში გამავალი წყლის ხარჯისა და სპირალური კამერის განსხვავებულ წერტილებს შორის დაწნევის სხვაობას შორის კავშირის გათვალისწინებით.

თუ გავითვალისწინებთ ორ მეზობელ გაზომვას შორის დროის ინტერვალს (Δt), მაშინ შესაძლებელია რაოდენობრივად შევადგინოთ მ.ქ.კ-ს შემცირება დროში. ჩატარებული გამოთვლით დადგინდა, რომ რიონჰესისათვის ეს მაჩვენებელი შეადგენს ყოველწლიურად 1,1%-ს.

ზემოთმოყვანილი სიდიდეების დადგენის შემდეგ შესაძლებელია დადგინდეს ჰიდროაგრეგატის მ.ქ.კ-ს კლების საშუალო ხვედრითი სიჩქარე, ერთეულოვანი სიმძლავრისა და დაწნევისათვის $\frac{\%}{\text{სთ.კვტ.მ}}$;

საკვლევი ობიექტების ცვეთის შედეგების შედარების მიზნით შემოღებულია ჰიდროტურბინის ცვეთის ინტენსივობის ფარდობითი მახასიათებელი, რომელიც წარმოადგენს ჰიდროტურბინის მ.ქ.კ-ს ფარდობას მუშაობის პერიოდის შემდეგ, ჰიდროტურბინის მ.ქ.კ-ს საწყის სიდიდესთან მუშაობის დაწყებამდე.

ნაშრომში მოცემული თეორიული დამოკიდებულებების პრაქტიკული რეალიზაციის მიზნით, მაგალითის სახით შესწავლილი იქნა მდ. რიცეულაზე მდებარე რაჭა ჰესის ფრენისის ჰორიზონტალური ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილების ცვეთა. ავტორის მიერ განხორციელებული ჰიდროტურბინის გაცვეთილი ზონების ვიზუალური დათვალიერების, ინსტრუმენტული აზომვის და წყალში მყარი ნატანის გრანულომეტრიული და მინერალოგიური შედგენილობის ლაბორატორიული და ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილების ლითონის სისალის გამოკვლევის მასალების საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ მუშა თვალმა განიცადა უმნიშვნელო, ხოლო წინა და უკანა ხუფებმა და მიმმართველი აპარატის ნიჩბებმა - ძალიან მნიშვნელოვანი აბრაზიული ცვეთა. მიმმართველი აპარატისათვის განხორციელდა რემონტთაშორისი T პერიოდის (0,5 წელზე ნაკლები) რაოდენობრივი განსაზღვრა წყალში მყარი ნაწილაკების კონცენტრაციის, მათი

ფორმის, სიმსხოს, სისალის, ჰიდროტურბინაში გამდინარე წყლის ნაკადის სიჩქარის გათვალისწინებით, რაც შეესაბამება ჰიდროტურბინის რემონტში გაყვანის ფაქტობრივ ვადას. შესრულდა მდ. რიცეულაზე მდებარე რაჭა ჰესის ფრენსისის ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის რაოდენობრივი შეფასება. ჰიდროტურბინამ მყარი ნატანის მაღალი კონცენტრაციის (0,788 გრ/ლ) და ნატანში მაღალი სისალის (4 ერთეულზე მეტი მოლოსის სკალის მიხედვით) მქონე მინერალების მაღალი (55%) შემცველობის პირობებში იმუშავა 1248 სთ. ავტორის მიერ ჩატარებული ინსტრუმენტული აზომვისა და ნაძერწის საშუალებით განისაზღვრა გაცვეთილი ზონების ჯამური მოცულობა წინა და უკანა ხუფებზე და მიმმართველი აპარატის ნიჩბებზე, რის მიხედვითაც დადგინდა ლითონის წონითი დანაკარგი: წინა ხუფზე - 31,0 კგ, უკანა ხუფზე - 9,23 კგ, მიმმართველი აპარატის ნიჩბებზე - 3,99 კგ, სულ 44,22 კგ. ტექნიკურ ლიტერატურაში მოცემული მთელი რიგი ჰესების ჰიდროტურბინების აბრაზიულ ცვეთაზე ნატურული კვლევების შედეგებთან შედარებით დადგინდა, რაჭა ჰესის ჰიდროტურბინა მუშაობდა ცვეთის თვალსაზრისით სახიფათო ზონაში (დაწნევისა და სალი ნატანის კონცენტრაციის შესაბამისად), რამაც განაპირობა მისი რემონტში გაყვანა ფაქტობრივად 0,5 წელიწადში.

Abstract

The majority of hydroelectric power plants of the energy system of Georgia has been operated for more than three decades. The characteristics of the energy devices and equipment existing in many of them do not comply with their former standards. Because of the of the rotors of hydroturbines or the oars of the guide apparatuses, its efficiency decreases, which is followed by the reduction of power and accordingly, the decrease of production, which is compensated by the increase of water consumption. The lack of control of the energy characteristics of the hydroblocks and water consumption lead to low-quality usage of water resources, which causes losses in labour and capital investments. This is generally the reason of the rise of prices.

When choosing generating units, as a rule, stationary characteristics are taken into consideration, while the influence of water turbine on the efficiency of generating unit in the HPP operation period is not taken into consideration.

The importance of the study of abrasive wear of the flowing channel of the hydroturbine is also strengthened by the fact that the process of abrasive wear (the movement of liquid flow of alluvium particles and their influence on the surface of flowing channel), can become a factor provoking the development of cavitation effect, which in its turn, will make the parts wear more intensive and even can cause the decomposition of their material.

In this connection it will be necessary and important to work out quantitative criteria, characteristic of the intensity of abrasive wear, of the flowing channel of the hydroturbine, which envisages the relation of the intensity of wear with the change of the hydroturbine efficiency, and which as a result, will provide an opportunity for the determination of overhaul optimal period for the generating unit.

If we take it into consideration that absolute majority of HPPs is located on the mountain and mountain foot regions of rivers and the fact that the rivers in these regions are characterized by high turbidity (high content of alluvium in the river water), it becomes clear that the question of study of abrasive wear of the flowing channel of hydroturbines is in direct connection with the effective functioning of HPPs of the energy system of Georgia, which is very important for the country in the present situation.

When there is presence of hard alluvium in water, there is wear, caused by the collision of hard particles with the surface of flowing channel as well as a result of slipping of hard particles on the surface of flowing channel. In the relation of these factors with intensity decisive importance is assigned to some of them in certain cases.

Intensive abrasive of the parts of hydroturbines can be explained by a considerable value of the speed of jacking derivation flow of surfaces.

In addition, it is not the average water speed that has essential importance, but the local speed, which generally exists in the turbulent flow and, in particular, is caused badly in contact with shell derivation surface.

It is generally believed that apart from the speed volume, an impact on the abrasive intensity must be caused by: the thickness, hardness, form of the concentrate of suspended particles, as well as the quality of the material, out of which the elements of flowing highway of the hydroturbine are made. The quality of this surface layer is especially important, which is in the direct contact with suspended particles.

Quantitative registry of the given factors taken together is a very complex mathematical problem, since each of these factors is of various nature, at the same time they change in time and have special influence on the wear of various parts of the hydroturbine.

We should also mention that the loss of hydroturbine weight will not be complete characteristics of the process of wear by the final calculation. Of course, the loss of weight is important, but the power loss of turbine or the decrease of efficiency is more important and this feature is decisive.

It is very important to determine the influence of abovementioned factors on abrasive wear of hydroturbine parts. The character of their influence can be determined on the basis of theoretical considerations or through some experimental methods. All this is caused by the fact that wear of the parts of hydroturbine is significantly influenced not only by alluvium abrasion features but material wear resistance as well. Because of this, wear resistance of any hydromixture must be connected with the material under its influence. The attempt based on theoretical considerations is given in order to identify the main regularities of abrasive wear. In addition, it is accepted that decomposition of material occurs during abrasive wear. This process causes the consumption of transported alluvium particles' kinetic energy.

During abrasive wear of hydroturbines the following regularities can be observed: 1. Wear of turbine details is directly proportional to the time of hydromixture's influence on the detail, the concentrate of abrasive particles in mixture and the relative speed of mixture cubed. 2. Wear of turbine detail increases in conjunction with the increase of particle thickness, specific weight and hardness of particles. 3. Wear of hydroturbine detail depends on the shape of particles, the size and shapes of a detail and wear resistance of material.

The influence of the factors on turbine wear mentioned in the second and third paragraphs above, can only be determined by experimental studies of hydroturbines in operation.

The approximate quantitative assessment of alluvium abrasion resistance has been carried out by reducing separate factors to one certain equivalent. For the evaluation of average concentrate of alluvium wearresistance and composition given at this time, 0,5 mm diameter quartz particles' influence on the flowing channels of

hydroturbines for 8760 hours (one year) is proposed. These 0,5 mm diameter quartz particles have equivalent abrasion features.

Wear of hydroturbine's separate parts must be anticipated through the comparison of alluvium abrasion resistance in existing hydroelectric power stations and in the hydroelectric power stations which are not projected yet. At this time, determination of the meaning of alluvium 's minimized concentrate is considered on the basis of relative speed of water flow in the flowing channel of the hydroturbine.

The experience of operations of various types of operating HPPs shows us that the change of efficiency (η) of generating unit at the given power (N), completely depends on the abrasion of flowing parts during the time (T) of operation.

It is known that the power of generating unit in the processes of its work is in the interval: $0,5N_{max} < N \leq N_{max}$ in which there is maximum efficiency- η_{max} , which approximately corresponds with $0,75 N_{max}$. The representation of the work zone of generating unit in the form of analysis-function, while taking into consideration the time factor, that is the determination of efficiency change by the influence of abrasion is very necessary and important.

The solution of this problem envisages the determination of work characteristics $\eta=f(N)$ during various time T , fixed time interval ΔT and correspondingly the quantity of produced electric power $\Delta \Xi$. The search of information between measuring must be carried out by way of relevant standard observations and measuring at HPPs so as to include the annual T_0 cycle of the work of the generating unit.

Therefore, the results of full-scale observation will enable us to judge about the evaluation of the change of efficiency in time and accordingly of the influence of hydroturbine abrasion in respect of electric power generated by HPP.

Measuring of the power of the generating unit is possible by means of the electric power meter present at the HPP, on the condition that the readings will be taken simultaneously with taking other indications when there is fixed opening of turbine guide apparatus.

The generating unit must be working in permanent regime in the period of observation and it must not be influenced by the shaking of the loading in the system.

The measuring of water consumption of the water passing in the hydroturbine must be carried out by the method (16), which is based on the connection between the difference of the water consumption of the water passing in the hydroturbine and the different points of spiral cabin.

The measuring carried out provide an opportunity to determine the following according to the change of the opening of turbine guide apparatus: a curve of change of active power of generator, a curve of changeability of the fall of the level of pressure fluid (mercurous nitrate) of differential manometer; curve of changeability of

manometer pressure in front of the turbine; a curve of changeability of water level in the lower ----;

On the basis of this data there can be built a curve of changeability of the efficiency of generating unit according to the opening of guide apparatus of the turbine; a curve of changeability of generating unit, efficiency according to the power of the generator.

If we take into consideration the time interval between the two neighbouring measurements, in hours, then we can appreciate qualitative decrease of efficiency in time.

Having set the values mentioned above, it is possible to determine the average specific speed of the decrease of the generating unit efficiency for unit power and pressure % _____

h.kvt.m.

For practical realization of the theoretical attitudes given in this paper, abrasive wear of the flowing channel of Ratchahesi's (located on the River Ritseula) horizontal hydroturbines has been studied as an example. Based on the materials of authors' visual inspection, instrumental measurement, laboratorial analysis of granulometric and mineralogical content of hard alluvium in water and metal hardness of the flowing channel of the hydroturbines, it has been found that the rotors of hydroturbines underwent inferior abrasive wear while the front and rear lids, as well as the oars of the guide apparatus suffered from intensive abrasive wear. The quantitative determination of T period in-between repairing works (less than 0,5 years) has been carried out for the guide apparatus on the basis of the concentrate of hard particles in water, their shape, thickness, hardness and the flow speed of passing water in the hydroturbine which corresponds to the the actual period of hydroturbine repair.

Quantitative estimation of Ratchahesi's Francis hydroturbines abrasive wear has also been carried out. Under the conditions of hard alluvium high concentrate (0,78 g/l) and high content (more than 4 units according to Mohs scale) of mineral hardness (55%) in alluvium, the hydroturbine worked for 1248 hours. The instrumental measurement performed by the authors determined the total volume of worn areas on the front and back lids as well as the oars of the guide apparatus and based on this, metal weight loss has been determined: on the front lid- 31,0 kg, on the back lid- 9,23 kg, on the oars of the guide apparatus – 3,99 kg, in total 44,22 kg. Compared with the results of studies of a wide range of hydroelectric power stations' hydroturbines abrasive wear given in technical literature, it has been found that the hydroturbine of Ratchahesi worked in dangerous area in terms of abrasive wear (corresponding to the hydraulic head and hard alluvium concentrate), which actually required its repair in 0,5 years.

შინაარსი

შესავალი -----	19
თავი 1. ჰიდროაგრეგატის ცვეთისადმი მიძღვნილი ლიტერატურის ანალიზი	
1.1 ლიტერატურის ანალიზი -----	22
თავი 2. ჰიდროტურბინის ცვეთის განმსაზღვრელი ფაქტორები	
2.1 ჰიდროტურბინის ცვეთის დახასიათება -----	29
2.2 ცვეთის ტექნიკო-ეკონომიკური შედეგები -----	37
2.3 ნატანის ურთიერთქმედება ტურბინის დეტალებთან -----	41
2.4 ცვეთის ინტენსივობის განმსაზღვრელი ფაქტორები -----	44
თავი 3. ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობის შეფასება	
3.1 ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის პროცესის მათემატიკური მოდელირება-----	52
3.2 ჰიდროაგრეგატის ცვეთის ხარისხის მაჩვენებელი და ჰიდროტურბინის მუშაობის საანგარიშო ვადა -----	59
3.3 ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობის შეფასება მისი მ.ქ.კ.- ის კლების მიხედვით-----	65
თავი 4. ჰიდროტურბინების ექსპლუატაცია აბრაზიული ცვეთის გათვალისწინებით და რემონტაშორისი ოპტიმალური ვადების განსაზღვრა ფაქტობრივ მონაცემებზე დაყრდნობით	
4.1 ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის საწინააღმდეგო ღონისძიებები--	73
4.2 ცვეთას დაქვემდებარებული ზედაპირების რემონტი -----	78
4.3 ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის ცვეთამდეგობის ამაღლება -----	81
თავი 5. ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის მახასიათებლების განსაზღვრა ნატურულ პირობებში	
5.1 ფრენსისის ჰიდროტურბინის ცვეთის ინტენსივობის განსაზღვრა -----	83
5.2 ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის რაოდენობრივი შეფასება და ცვეთის საწინააღმდეგო ღონისძიებები რაჭა ჰესის მაგალითზე -----	93
დასკვნები -----	101
გამოყენებული ლიტერატურა -----	104

ცხრილების ნუსხა

- ცხრილი 1.** ნატანის დაყვანილი C_{KD} (გ/ლ) კონცენტრაციის მნიშვნელობების დამოკიდებულება ტურბინების რემონტაშორის პერიოდზე ----- 65
- ცხრილი 2.** ვ.დულნევის [8] მიერ მოცემული ნატანის ნაწილაკებისა და მინერალების გრანულომეტრიული და მინერალოგიური მახასიათებლები რიონჰესის ტურბინაში გამავალი წყლის ნაკადისათვის ----- 69
- ცხრილი 3.** მინერალების სისაღეები მოოსის სკალის მიხედვით ----- 96

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1 ფრენსისის ტურბინის მუშა თვალი ხანგრძლივი ექსპლუატაციის შედეგად-----	30
ნახ. 2 ფრენსისის ჰიდროტურბინის ფოლადის მუშა თვალი ერთი წლის ექსპლუატაციის შემდეგ-----	33
ნახ. 3 პროპელერის ტიპის ჰიდროტურბინის მუშა თვლის ცვეთა -----	34
ნახ. 4 კანაკერჰესის ჰიდროტურბინის მუშა მახასიათებლები მუდმივი დაწნევის დროს. -----	38
ნახ. 5 ბაქსანის ჰესის ჰიდროტურბინების მუშა მახასიათებლები -----	39
ნახ. 6 P მყარი ნატანის საშუალო წლიური შემცველობისა და H ტურბინის დაწნევის ურთიერთდამოკიდებულება -----	77
ნახ. 7 ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთისას მისი რემონტში გაყვანის ვადის განსაზღვრისათვის -----	100

სურათების ნუსხა

სურ. 1 აბრაზიულ ცვეთას დაქვემდებარებული რიონჰესის ჰიდროტურბინის მუშა თვალი-----	70
სურ. 2 ჰიდროაბრაზიული ცვეთით მწყობრიდან გამოყვანილი რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინა -----	84
სურ. 3 რაჭა ჰესის ზედა ბიეფში მეწყერული ნატანი -----	86
სურ. 4 რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის მუშა თვალი -----	87
სურ. 5 რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის გაცვეთილი წინა ხუფი -----	87
სურ. 6 რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის გაცვეთილი უკანა ხუფი -----	88
სურ. 7 რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის მიმმართველი აპარატის გაცვეთილი ნიჩაბი -----	89

შესავალი

საქართველო მდიდარია ჰიდროენერგეტიკული რესურსებით, რომელთა გონივრული ათვისება ქვეყნის მდგრადი განვითარების ერთ-ერთი პირობაა. საქართველოს ჰესებით იწარმოება ელექტროენერგია, რაც ქვეყანაში წარმოებული მთელი ელექტროენერგიის 90%-ია.

უკანასკნელი ორი ათეული წლის განმავლობაში ცნობილი მიზეზების გამო ჰიდროენერგეტიკული მშენებლობა ძალიან დაბალი ტემპით მიმდინარეობდა. ამ პერიოდში ექსპლუატაციაში შევიდა მხოლოდ ხადორი ჰესი დადგმული სიმძლავრით 24 მგვტ (თუ მხედველობაში არ მივიღებთ რამოდენიმე მცირე ჰესს, რომელთა მნიშვნელობა მათი მდებარეობის ლოკალური არეალით განისაზღვრება).

ბოლო პერიოდში ექსპლუატაციაში შევიდა ფარავანჰესი, რომლის დადგმული სიმძლავრე 87 მგვტ-ია, მიმდინარეობს ინტენსიური სამუშაოები მდ.ენგურზე ხუდონი ჰესისა და მდ.რიონზე ნამახვანი ჰესების კასკადის (ტვიში ჰესი, ნამახვანი ჰესი, ჟონეთი ჰესი) დაპროექტებისათვის, რასაც სავარაუდოდ, ახლო მომავალში ამ ენერგობიექტების მშენებლობა მოჰყვება.

საქართველოს ენერგოსისტემის ჰესების უმრავლესობა ექსპლუატაციაშია სამი ათეული წელზე მეტი, ბევრ მათგანზე არსებული ენერგეტიკული მოწყობილობა-დანადგარების მახასიათებლები აღარ შეესაბამება მათ თავდაპირველ მნიშვნელობებს. ჰიდროტურბინების მუშაოვლების ან მიმართველი აპარატის ნიჩბების ცვეთის გამო მცირდება მისი მ.ქ.კ. , რასაც სიმძლავრისა და შესაბამისად გამომუშავების კლება მოჰყვება, რომლის კომპენსირებასაც წყლის ხარჯის მომატებით ახორციელებენ. ჰიდრობლოკების ენერგეტიკული მახასიათებლების და წყლის ხარჯის უკონტროლობას მივყავართ ჰიდრორესურსების უხარისხო მოხმარებამდე, რაც იწვევს შრომისა და კაპიტალდაზღვევების დანაკარგებს - შესაბამისად,

იზრდება ელექტროენერჯის თვითღირებულება, რაც საზოგადოდ იწვევს ფასების ზრდას.

ელექტროენერჯის ეკონომიკური ხარისხის გაუარესება დამოკიდებულია აგრეთვე შიდა სასადგურო დატვირთვათა განაწილებაზე ერთნაირად გაცვეთილ ტურბინებს შორის, ასევე სხვა და სხვა ტიპის ელექტროსადგურებზე დატვირთვის გადანაწილებაზე და სიმძლავრის გადადინებაზე სისტემათა შორის კავშირის შორ მანძილზე.

მაღალი სიმძლავრის ელექტროსადგურების მშენებლობამ გამოავლინა ერთეული სიმძლავრის ჰიდროაგრეგატების გაფართოვების ტენდენცია, თითოეულ კვტ-ში დადგენილ სიმძლავრეზე კუთრი კპიტალდაბანდების შემცირების მიზნით, მაგრამ აგრეგატების გაფართოვება მოითხოვს აგრეგატების სიმძლავრის ავარიული რეზერვის გაზრდას. მეორეს მხრივ, მძლავრი ჰიდროაგრეგატების მცირე რიცხვი იწვევს ჰესის საერთო მ.ქ.კ – ს დაწევას დატვირთვის რეგულირების პერიოდში, ამნელებს გეგმაზომიერ – გამაფრთხილებელი რემონტების ჩატარებას სისტემაში საჭიროებს შესაბამის სარეზერვო სიმძლავრეს.

ჰიდროაგრეგატის შერჩევასა, როგორც წესი, ითვალისწინებენ სტაციონალურ მახასიათებლებს და მხედველობაში არ მიიღება ჰესის ექსპლუატაციის პერიოდში ჰიდროაგრეგატის მ.ქ.კ.-ზე ტურბინის ცვეთის გავლენა.

საქართველოს ჰესების უმრავლესობისათვის, რომლებიც მდინარეების სამთო და მთისწინა უბნებზეა განლაგებული და რომელთა წყალსაცავები უმეტესწილად დაღამულია, ხოლო თვითონ მდინარეები მყარი ნატანის სიუხვით გამოირჩევა, ჰიდრომალოვანი მოწყობილობის დეტალების აბრაზიული ცვეთის გავლენა მის ენერგეტიკულ მახასიათებლებზე მნიშვნელოვანია.

სწორედ ჰიდროტურბინის ცვეთის მექანიზმის, აღწერას მისი გამომწვევი ძირითადი ფაქტორებისა და მ.ქ.კ.-ზე აბრაზიული ცვეთის გავლენის შესწავლას ეძღვნება ეს ნაშრომი. ნაშრომში მოცემული თეორიული დამოკიდებულებების პრაქტიკული რეალიზაციის მიზნით მაგალითის სახით შესწავლილი იქნა მდ. რიცეულაზე მდებარე რაჭა ჰესის ფრენისის ჰორიზონტალური ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილების ცვეთა. მიმართველი აპარატისათვის განხორციელდა რემონტათაშორისი T პერიოდის რაოდენობრივი განსაზღვრა წყალში მყარი ნაწილაკების კონცენტრაციის, მათი ფორმის, სიმსხოს, სისალის, ჰიდროტურბინაში გამდინარე წყლის ნაკადის სიჩქარის გათვალისწინებით.

თავი 1. ჰიდროაგრეგატის ცვეთისადმი მიძღვნილი ლიტერატურის ანალიზი

1.1 ლიტერატურის ანალიზი

ერთ-ერთი პირველი ნაშრომები, რომლებიც ეძღვნება ჰიდროტურბინების ცვეთას ჯერ კიდევ 20 საუკუნის ორმოციანი წლების დასაწყისში გამოქვეყნდა მ. ბარკოვსკისა [1] და გ.თხინვალელის მიერ [2].

კავკასიის რეგიონში ახალი ჰიდროელექტროსადგურების (ზაჰესი, რიონჰესი, ძორაჰესი, გიზელდონჰესი და სხვა.) ექსპლუატაციაში შესვლამ კიდევ უფრო აქტუალური გახადა ჰიდროტურბინების აბრაზიული და კავიტაციური ცვეთის საკითხების შესწავლა, ვინაიდან აღნიშნულ ჰესებზე მათი ექსპლუატაციის საწყისს პერიოდშივე იჩინა თავი ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის მნიშვნელოვანმა ცვეთამ.

რიონჰესისა და ლენინაკანის ჰესის ექსპლუატაციის მონაცემებზე დაყრდნობითა და მათი ანალიზის შედეგად [3] განხორციელდა პირველი მცდელობა ჰიდროტურბინების ცვეთის ნაწილობრივად შემამცირებელი ღონისძიებების შემსუბუქების მიზნით მათი რეგულარული რემონტის წარმოების საშუალებით.

ამას მოჰყვა კ.აბიანის შრომები [4,5,6]. შემდეგ გამოქვეყნდა ვ.დულნევისა [7] და ნ.ცაბაძის [8] შრომები ანალოგიურ საკითხზე.

ყველა ზემოთ აღნიშნული სამუშაო, ძირითადათ, ეძღვნება სხვადასხვა პირობებში მომუშავე ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალების ცვეთის დაკვირვებათა შედეგების სისტემატიზაციას, ანალიზსა და ექსპლუატაციის გამოცდილების განზოგადებას, გეგმიური პროფილაქტიკური რემონტების ჩატარების ვადების დაგეგმვის მიზნით. ამ ნაშრომებში

მოყვანილია საინტერესო ცნობები ჰიდროძალოვანი მოწყობილებების ცვეთის გეომეტრიული ზომების შესახებ (იშვიათად არის მონაცემები მ.ქ.კ-ის კლების თაობაზე ცვეთის არეალის გაფართოვებასთან დაკავშირებით). ამასთან, მოყვანილია რიგი ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის ცვეთის ისეთი კატასტროფული ზომები ექსპლუატაციის ერთი წლის განმავლობაში, რამაც მთლიანად გამოუსადეგარი გახადა ჰიდროტურბინის მუშა თვალი შემდგომი გამოყენებისათვის.

რაც შეეხება ცვეთის პროცესის გაფართოვების საწინააღმდეგო ღონისძიებებს ისინი ეფუძვნება, ძირითადად, რეკომენდაციას ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალების მასალის სიმტკიცის გაზრდის შესახებ, რაც ბუნებრივია გაზრდის ჰიდრომანქანის ნორმალური მუშაობის პერიოდს. მაგრამ თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ აბრაზიულ ცვეთას არც თუ იშვიათად თან სდევს ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების კავიტაციური ცვეთა, მაშინ ძნელი სავარაუდოა ისეთი ფოლადის შერჩევა, რომელიც ერთდროულად თანაბრად შეეწინააღმდეგება აბრაზიულ და კავიტაციურ ზემოქმედებას. თუ საკითხის მიმართ იქნება დიფერენცირებული მიდგომა მაშინ შესაძლებელია მაღალხარისხოვანი, ძვირადღირებული ფოლადის გამოყენება, ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების წარმოებისათვის ცვეთის ცალკეული სახეობისა და პირობების გათვალისწინებით მიზანშეწონილი აღმოჩნდეს.

უნდა აღინიშნოს, რომ ავტორების მიერ არ ექცევა სათანადო ყურადღება ჰესებზე გამომუშავების შემცირებას ჰესზე ტურბინის გამდინარე ნაწილის ცვეთის გამო. როგორც წესი, ავტორებს არ მოჰყავთ რაოდენობრივი მახასიათებლები: კერძოდ, არ არის მონაცემები ჰესის მიერ ენერჯის დანაკარგის შესახებ ჰიდროაგრეგატის მ.ქ.კ-ს შემცირების ხარჯზე დროის გარკვეული პერიოდისათვის, მაშინ როცა სწორედ ეს დანაკარგები უშუალოდ

ახდენს ზეგავლენას ცალკეული ჰესის მიერ წარმოებული და ენერგოსისტემაში მიწოდებული ელექტროენერჯის თვითღირებულებაზე. ქვემოთ მოგვყავს ზოგიერთი მონაცემი [9], რაც ადასტურებს ენერჯის კარგვის მასშტაბებს, თუკი დროულად არ იქნება აღმოფხვრილი ჰიდროტურბინების ფიზიკური ცვეთა:

ენერჯის დანაკარგი ორ ჰესზე შეადგენდა შესაძლებელი წლიური გამომუშავების 10% ს. საშუალო სიმძლავრის მქონე 4×10300 ცხმ სიმძლავრის ჰესზე, რომლის დაწნევა შეადგენდა 126 მ, ორი წლის ექსპლუატაციის შემდეგ მ.ქ.კ-ს კლებამ შედაგინა 16%, მიუხედავად იმისა, რომ ჰესის სქემის მიხედვით გათვალისწინებული იყო სალექარის მოწყობა. მეორე ჰესზე, სიმძლავრით 3 მგტ, 1050 მ დაწნევის პირობებში, ჰესის ნორმალური ექსპლუატაციისათვის აუცილებელი იყო ჰიდროტურბინის გაცვეთილი ჩამჩების დადუღება; ელექტროდების წლიურმა ხარჯჟმა თითოეული ტურბინისათვის შეადგინა 5 ტ წელიწადში.

საფრანგეთის ჰესების ექსპლუატაციის გამოცდილებიდან, მოყვანილია პელტონის ტიპის ტურბინის ძალიან მაღალი ცვეთის ფაქტი. მიუხედავად იმისა, რომ ჰესის სქემის მიხედვით გათვალისწინებული იყო სალექარის მოწყობა, ტურბინაში დღეღამის განმავლობაში გადის 100 ტ-მდე ნატანი და 5000 სთ მუშაობის შემდეგ საქშენის ნემსას წონის დანაკარგი საშუალოდ 2,2 ტ ტოლია, ხოლო ნემსების წონის დანაკარგი 3,7 ტონის.

საინტერესოა [10]-ში მოყვანილი ცნობები: შაარიჰანის ჰესზე ინტენსიური ცვეთისა და კაპიტალური რემონტების არასათანადო ვადებში ჩატარების გამო, ექსპლუატაციის 10 წლის განმავლობაში, აუცილებელი შეიქმნა 4 მუშა თვლის შეცვლა. პირველი მუშა თვალი შვიდი წლის მუშაობის განმავლობაში ოთხჯერ იყო რემონტში, მაგრამ იგი დაიშალა ინტენსიური აბრაზიული ცვეთის შედეგად. მეორე მუშა თვალმა იმუშავა 1 წელი და შემდგომი ექსპლუატაციისათვის უვარგისი შეიქმნა. მესამე მუშა თვალი

ერთხელ გარემონტდა ექსპლუატაციის ერთი წლის შემდეგ ხოლო ექსპლუატაციის მეორე წლის ბოლოს გამოვიდა მწყობრიდან. მეორე ჰიდროტურბინაზე იმავე 10 წლის განმავლობაში შეცვლილი იქნა 2 მუშა თვალი.

ექსპლუატაციის მონაცემები აჩვენებს, რომ ჰესის რემონტის ხარჯების ის ნაწილი, რომელიც უშუალოდ არ უკავშირდება ცვეთას $3 \div 6$ -ჯერ უფრო ნაკლებია ცვეთასთან დაკავშირებულ რემონტების ღირებულებასთან შედარებით. რაც შეეხება ტურბინის რემონტთან დაკავშირებით მისი გაჩერებით გამოწვეულ ელექტროენერჯის გამომუშავების დანაკარგს მისი ღირებულება ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების ცვეთასთან დაკავშირებული რემონტების ღირებულების რიგისაა.

ანალოგიური მდგომარეობაა ტიპური კავკასიის ჰესებისთვისაც, სადაც მ.ქ.კ-ს კლება წლის განმავლობაში 10-12% ს შეადგენს.

[11]-ში მოყვანილი ცნობის მიხედვით ძორაგეთის ჰესზე, ჩამჩიანი ტურბინის 800-900 სთ მუშაობის შემდეგ აღმოჩენილია საქშენის, ნემსასა და ჩამჩების სერიოზული დაზიანებები რის შედეგადაც ტურბინის სიმძლავრე 31,5%-ით შემცირდა. ბაქსანის ჰესზე (ჩრდილო კავკასიაში) რომლის სიმძლავრე 3×8200 კვტ-ია [7] მოყვანილი მონაცემებით ჩანს, რომ ერთი წლის ექსპლუატაციის შემდეგ მ.ქ.კ. შემცირდა 10%-ით, ხოლო ენერჯის დანაკარგი მიახლოებითი შეფასებით შეადგენს ერთ აგრეგატზე 900000 კვტ.სთ/წელიწადში ანუ მთლიანად ჰესისათვის 2.7 მილიონ კვტ.სთ წელიწადში, რაც მისი საშუალო წლიური გამომუშავების 20%-ია. გ. თხინვალების მიერ ჩატარებულ კვლევების შედეგად [12] რიონჰესზე, რომლის სიმძლავრე 4×12000 კვტ-ია, N 1 ჰიდროტურბინის მ.ქ.კ. 16000 სთ ურემონტოდ მუშაობის შედეგად 7800 კვტ სიმძლავრით, აღმოჩნდა ტურბინის თავდაპირველ მ.ქ.კ-ზე 8%-ით ნაკლები. თუ დავუშვებთ, რომ რიონჰესის დანარჩენი 3 ტურბინის ცვეთაც მიმდინარეობდა იგივე რეჟიმში, რაც N1 ტურბინის, მაშინ ენერჯის

წლიური დანაკარგი იქნება 11 მლნ კვტ.სთ ანუ რიონჰესის საშუალო წლიური გამომუშავების 5%.

ჩრდილო კავკასიის ჰესებზე მ.ქ.კ-ის შემცირების ინტენსიურობის შესახებ მონაცემები მოყვანილია [13]-ში კერძოდ, გიზელდონის ჰესზე ჰიდროაგრეგატის მ.ქ.კ-ს საშუალოწლიური კლება შეადგენს 6-8%-ს, ხოლო ეზმინის ჰესზე აღინიშნა მ.ქ.კ-ის შემცირება 18%-ით ჰესის ექსპლუატაციის 19 თვის მანძილზე და მ.ქ.კ-ის შემცირება 20-21%-მდე წყალმოვარდნის ერთი პერიოდის განმავლობაში ექსპლუატაციის შემდეგ.

უნდა აღინიშნოს, რომ ზემოთ მოყვანილ ნაშრომთა უმრავლესობაში მითითებულია სხვადასხვა ტიპის ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალების კავიტაციური და აბრაზიული ცვეთის საწინააღმდეგო ღონისძიებათა არასაკმარისობის შესახებ. ამასთან, ხაზგასმულია ჰესებზე ენერჯის მნიშვნელოვანი დანაკარგების არსებობა, რაც განპირობებულია ჰიდროაგრეგატის მ.ქ.კ-ს შემცირებით (მიუხედავად ჰესების სქემაში არსებული ძვირადღირებული სალექარებისა და აგრეთვე ჰიდროტურბინების ეროზიას დაქვემდებარებული დეტალების სიმტკიცის ამაღლებისა.)

ყოველივე განხილულის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ჰესების ჰიდროტურბინების კავიტაციური ცვეთას მიზეზებით მათი მ.ქ.კ-ს შემცირება იწვევს ჰესის ფაქტობრივი გამომუშავების მნიშვნელოვნად შემცირებას. ამასთან კავიტაციური ზემოქმედების პროგნოზირება ნაწილობრივ შესაძლებელია ჰიდროტურბინების მოდელების კავიტაციურ სტენდზე გამოცდის შედეგად მიღებული მონაცემების ნატურაზე გადათვლით. რაც შეეხება ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიულ ცვეთას, მისი ინტენსივობა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე და აბრაზიული ცვეთის რაოდენობრივი მახასიათებლების პროგნოზირებისათვის აუცილებელია მოქმედი ჰესების ტურბინებზე სისტემატიური კონტროლი და ჰიდროაგრეგატების პერიოდული რემონტის

ჩატარება რაციონალურ ვადებში, რაც ინდივიდუალური იქნება კონკრეტულ პირობებში მომუშავე ჰიდროტურბინებისათვის.

ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის შესწავლის მნიშვნელობას კიდევ უფრო აძლიერებს ის გარემოება, რომ აბრაზიული ცვეთის პროცესი (ნატანის ნაწილაკების შემცველი სითხის ნაკადის მოძრაობა და მათი ზემოქმედება გამდინარე ნაწილის ზედაპირზე) შეიძლება გახდეს კავიტაციური მოვლენების განვითარების მაპროვოცირებელი ფაქტორი, რაც თავის მხრივ უფრო ინტენსიურს გახდის დეტალების ცვეთას და შეიძლება მათი მასალის რღვევაც გამოიწვიოს.

ამიტომ, ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობის დამახასიათებელი ისეთი რაოდენობრივი კრიტერიუმების შემუშავება იქნება აუცილებელი და აქტუალური რომელიც გაითვალისწინებს ცვეთის ინტენსივობის დამოკიდებულებას ჰიდროტურბინის მ.ქ.კ-ს ცვლილებასთან და გამომდინარე აქედან შესაძლებელს გახდის ჰიდროაგრეგატის რემონტშორისი ოპტიმალური ვადის დადგენას.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ საქართველოს ჰიდროელექტრო-სადგურების აბსოლიტური უმრავლესობა განლაგებულია მდინარეების სამთო და მთისწინა უბნებზე და იმასაც, რომ მდინარეები ამ უბნებზე ნაკადის მაღალი სიმღვრივით (მდინარის წყალში ნატანის მაღალი შემცველობით) ხასიათდება, მაშინ ცხადია, რომ ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიული ცვეთის საკითხის შესწავლა პირდაპირ კავშირშია საქართველოს ენერგოსისტემის ჰესების ეფექტურ ფუნქციონერებასთან, რაც ამ უკანასკნელის ეფექტური ფუნქციონერებისათვის მეტად აქტუალური საკითხია.

მეტად მნიშვნელოვანია, აგრეთვე, საინჟინრო-ტექნიკური ღონისძიებების შემუშავება და სრულყოფა (მათ შორის ჰიდროაგრეგატის ფუნქციონერების ოპტიმალური რეჟიმების შემუშავება) ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალების გაზრდილი ცვეთამედეგობის,

უზრუნველსაყოფად რაც თავის მხრივ აამაღლებს მათ ხანგამძლეობას და საიმედო მუშაობის რესურსს. ამ უკანასკნელის განსაზღვრის საფუძველზე შესაზღვრებელია ჰიდროაგრეგატის რემონტთაშორისი პერიოდის ოპტიმალური მნიშვნელობის დადგენა, რაც კაპიტალდაბანდებების რაციონალურ ხარჯვას შეუწყობს ხელს და საბოლოო ჯამში ელექტროენერჯის თვითღირებულებაზე აისახება.

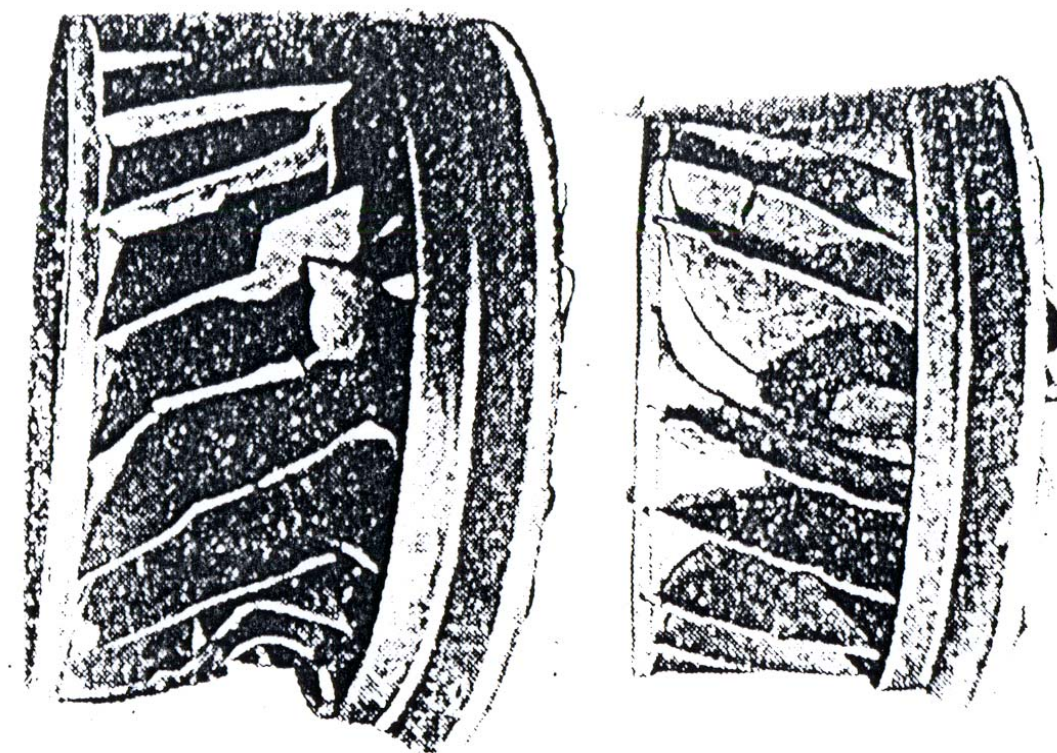
ყველა ზემოთაღნიშნული საკითხების შესწავლა და მათი დამუშავების დონის სრულყოფა ხელს შეუწყობს საქართველოს ჰიდროგენერაციის ობიექტების ეფექტურ ფუნქციონირებას და მათ მიერ წარმოებული პროდუქციის კონკურენტუნარიანობის ამაღლებას.

თავი 2. ჰიდროტურბინის ცვეთის განმსაზღვრელი ფაქტორები

2.1 ჰიდროტურბინის ცვეთის დახასიათება

ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის ზედაპირისა და ფორმის ტრანსფორმაცია-სახეცვლილება რღვევის მოვლენის შემდგომი ზრდის მიზეზი ხდება, ეს მოვლენები ხშირად მიმდებარა იმის გამო, რომ ჰესის პერსონალი ცდილობს რა სიმძლავრის შემცირების კომპენსირებას მიმდართველი აპარატის უფრო მეტად გაღებით ანუ წყლის ხარჯის ფორსირებით, ეს კი თავის მხრივ, იწვევს ნაკადის სიჩქარის გაზრდას ტურბინის ცალკეულ ადგილებში და უფრო ინტენსიურს ხდის ცვეთის პროცესს ვინაიდან, ამ დროს შესაძლებელია კავიტაციური მოვლენის განვითარების შესაძლებლობის მკვეთრად გაზრდა. ამგვარად, ერთხელ დაწყებული მუშა ორგანოების დაზიანება, სულ უფრო პროგრესირდება და საბოლოოდ მოწყობილობა გამოდის მწყობრიდან. ზოგ შემთხვევაში ასეთი პროცესი ათწლეულების განმავლობაში გრძელდება და დეტალები მდორედ ცვდებიან და თანდათან კარგავენ მუშაობის უნარს. იმისათვის, რომ შევუნარჩუნოთ ამ დეტალებს მუშა მდგომარეობა აუცილებელია პერიოდული რემონტების ჩატარება. არის შემთხვევები, როდესაც ჰიდროტურბინები მუშაობენ ათეული წლის განმავლობაში, ხოლო მათი დეტალები “დამუშავებულია” ისეთ მდგომარეობამდე, რომ მათი მოხსნის შემდეგ ისინი თითქმის დაშლის (რღვევის) პირასაა მისული.

მაგრამ, ვხვდებით საწინააღმდეგო ფაქტორსაც: როდესაც ცალკეული დეტალები ან მთლიანად ტურბინის გამდინარე ნაწილი გამოდის მწყობრიდან რამოდენიმე წლის ან რამოდენიმე თვის ექსპლუატაციის შემდეგ, ხოლო სერიოზული დაზიანებები აღმოაჩნდებათ, რამოდენიმე კვირის ან თუნდაც დღის მუშაობის შედეგად.



ნახ.1 ფრენსისის ტურბინის მუშა თვალი ხანგრძლივი ექსპლუატაციის შედეგად

ჰესის მუშაობის ფიზიკური რეჟიმი აჩქარებს მოწყობილობის კვანძების მაგ: საქუსლეებისა, სატურბინო საკისრების, მუშა თვლის ფრთების, მიმმართველი აპარატის ნიჩბებისა და სხვათა ცვეთას. ამიტომ, მნიშვნელოვანი მოთხოვნა რომელიც წაეყენება ჰესების ჰიდროენერგეტიკულ მოწყობილობას არის მისი საიმედო მუშაობის უზრუნველყოფა. საექსპლუატაციო რეჟიმების ცვლილების დიდი რიცხვის დროს ეს მოთხოვნა უნდა იქნეს უზრუნველყოფილი პროექტირების, წარმოებისა და ექსპლუატაციის პროცესში, მისი იმ კვანძების კონტროლის გაძლიერებით, რომელიც ექვემდებარება ცვეთას. დროულად

უნდა შესრულდეს პროფილაქტიკური და აღდგენითი სამუშაოები, აგრეთვე მაქსიმალურად იქნეს გამოყენებული ხელსაყრელი საექსპლუატაციო რეჟიმები.

დაჩქარებულ ცვეთას და რღვევას ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, როცა: ჰიდროენერგეტიკული დანადგარი მაღალ დაწნევაზე მუშაობს; მოწყობილობა მუშაობს აშკარად გამოკვეთილ და ინტენსიურ კავიტაციის პირობებში; ჰიდროტურბინაში გამავალი წყლის ნაკადი შეიცავს შეწონილ ნატანს. განსაკუთრებით საშიშია აღნიშნული ფაქტორების ერთობლივი მოქმედება.

მსხვილ ჰესებს, როგორც წესი, მნიშვნელოვანი მოცულობის სეზონური ან მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავები გააჩნიათ, რომელშიც პრაქტიკულად უზრუნველყოფილია მდინარის მიერ ტრანსპორტირებული შეწონილი ნატანის დალექვა.

მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი წყალსაცავები დანალექი მასებისგან გაწმენდას მოითხოვს სათანადო ორგანოების ხელშეწყობით და რეგულარული ხარჯების გადინებისას წყალსაცავიდან, ცალკეულ შემთხვევაში ეს პრობლემა შეიძლება მოგვარდეს დადებითად. უფრო რთული მდგომარეობაა შედარებით მცირე სიმძლავრის ჰესებზე, რომლებსაც იშვიათად გააჩნიათ დიდი მოცულობის წყალსაცავები, ნატანის დასაღეჭად. იგივე შეიძლება ითქვას ჰესებზე რომლებიც განლაგებული არიან მდინარის სამთო და მთისწინა უბნებზე, სადაც მდინარეებს მოაქვთ ნატანის დიდი რაოდენობა, სწორედ ასეთ ჰესებს მიეკუთვნება საქართველოს ჰესების უმრავლესობა.

განსაკუთრებით მძიმე პირობებშია ის ჰესები, რომლებიც განლაგებულია მდინარის ისეთ უბანზე, რომლის ზემოთ წარმოებს სასარგებლო წიაღისეულის საბადოთა დამუშავება, რაც დაკავშირებულია გრუნტის მნიშვნელოვანი მასების გადამუშავებასთან.

რასაკვირველია, ჰიდროტექნიკური მშენებლობის თანამედროვე დონე საშუალებას იძლევა ისეთი ნაგებობების განხორციელებისა, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია წყლის ნაკადში არსებული შეწონილი ნატანის

გამოყოფა, მაგრამ აღნიშნულ მძიმე პირობებში აგებული ნაგებობები ძალიან ძვირდღირებული იქნება და მათზე არ შეიძლება ორიენტაციის აღება, ხოლო იმ ადგილებში სადაც სასარგებლო წიდასეული მოიპოვება ნაკადში შესაძლებელია იყოს მაგარი ქანების ნაწილები მახვილი წახნაგებით, რომელთა გავლამ ჰიდრომანქანებში შეიძლება მისი დეტალების განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი ცვეთა გამოიწვიოს.

ამგვარად, არსებობს წყალდენები, რომლებშიც მიუხედავად ჰესის დადგმული სიმძლავრის სიდიდისა, წყლის გაწმენდა შეწონილი ნატანისაგან მნიშვნელოვან სირთულეს წარმოადგენს, ან ზოგ შემთხვევაში ფაქტიურად შეუძლებელია. ასეთ წყალდენებს მიეკუთვნება ჩრდილოეთ კავკასიის და ამიერკავკასიის, მათ შორის საქართველოს,, შუა აზიის მთელი რიგი რეგიონების და სხვა მდინარეები. ასეთი პრობლემები ძალიან აქტუალურია ჩინეთისთვისაც, რომლის ჰიდროენერგეტიკა უკანასკნელ წლებში ძალიან სწრაფი ტემპით ვითარდება.

ცვეთას ექვემდებარება ჰიდროტურბინის შემდეგი დეტალები:

დეტალების პირველ ჯგუფს, რომელიც ცვეთას ექვემდებარება მიეკუთვნება რეაქტიული ჰიდროტურბინის მუშა თვლები. მათ ცვეთას ადგილი აქვს იმ შემთხვევაშიც, როცა წყალი შეიცავს ნატანს და მაშინაც, როცა ის არ შეიცავს ნატანს.

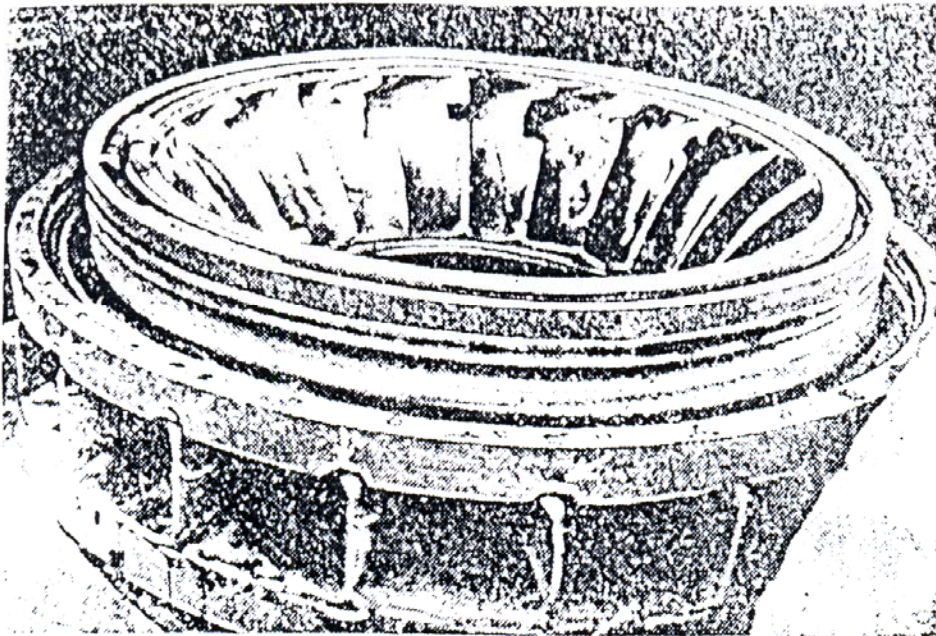
ფრენსისის ტურბინებში ცვეთა:

ა) ფრთები, განსაკუთრებით მათი გამოსასვლელი და შესასვლელი უბნები, რომლებიც განლაგებულია ფერსოებთან ახლოს. განსაკუთრებით ინტენსიურია ცვეთა ჩაზნექილ ზედაპირებზე, სადაც ადგილი აქვს უშუალოდ ზედაპირების გაცვეთას, ხოლო ამოზნექილ მხარეს უპირატესად შეიმჩნევა კავიტაციის კვალი ან უფრო ზუსტად კავიტაციური ზემოქმედების კვალი.

ბ) გარე ფერსოს შიგა ზედაპირი, განსაკუთრებით სწრაფმავალი ტურბინებისათვის, რომელთათვისაც დამახასიათებელია მუშა თვლის პერიფერიული ნაწილის დიფუზორული ფორმა.

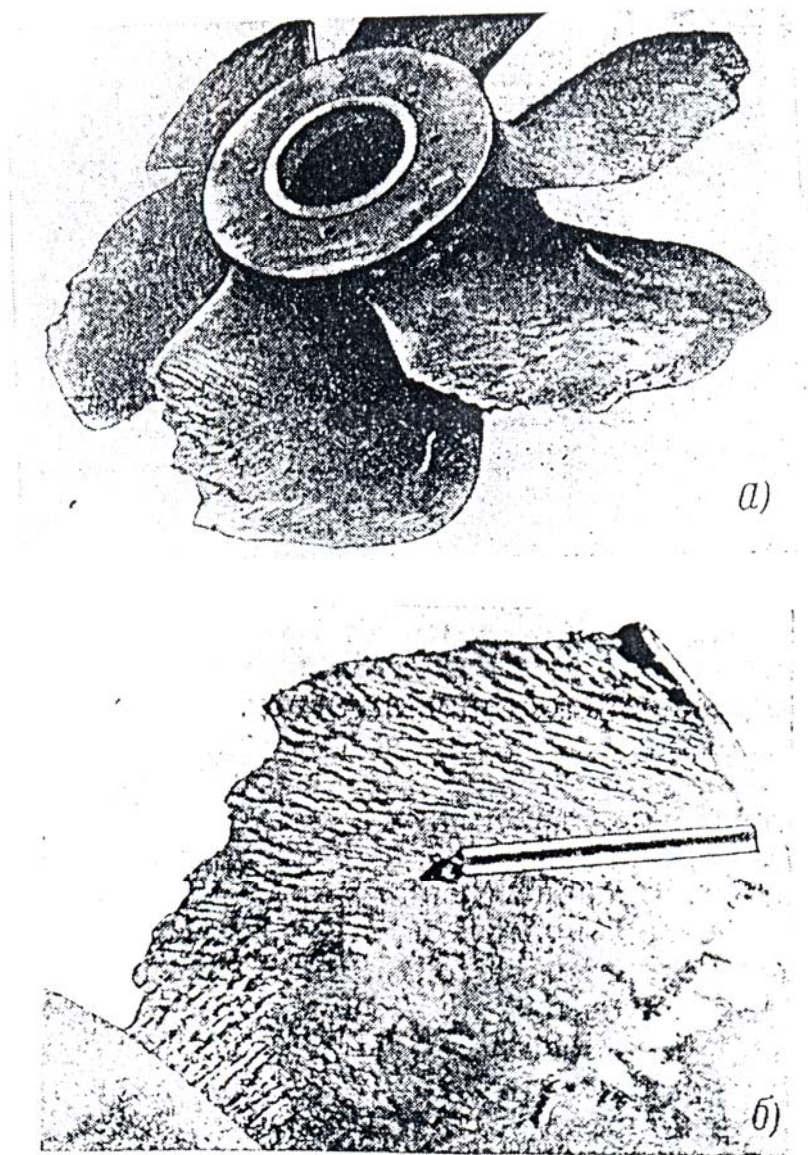
გ) ორივე ფერსოს შიგა ზედაპირები.

ზოგჯერ ცვეთას ექვემდებარება მუშა თვლის გამდინარე ნაწილების სხვა ზედაპირებიც.



ნახ.2 ფრენსისის ჰიდროტურბინის ფოლადის მუშა თვალი ერთი წლის ექსპლუატაციის შემდეგ

კაპლანისა და პროპელერის ტიპის ტურბინებში უპირატესად ცვეთას განიცდიან ფრთების ზედაპირები, გამოსასვლელი ნაწილის სიახლოვეს, რომლის ხასიათი ისეთივეა, როგორც ფრენსისის ტურბინებში. ხშირად, მნიშვნელოვნად ზიანდება ფრთების ტორსული (შუბლა) ნაწილები, ნაპრალოვანი კავიტაციის გამო.



ნახ. 3 პროპელერის ტიპის ჰიდროტურბინის მუშა თვლის ცვეთა

როგორც წესი, ცვდება აგრეთვე მუშა თვლის კამერის კედლები. ამასთან, არა მხოლოდ ფრთების მობრუნების ზონაში (რაც აიხსნება ნაპრალოვანი კავიტაციით), არამედ უფრო ზემოთ განლაგებულ სარტყელში.

ინტენსიურ ცვეთას დაქვემდებარებული დეტალების მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება რეაქტიული ტურბინის მიმმართველი აპარატის ელემენტები. ზოგ შემთხვევაში მიმმართველი აპარატის ნიჩბების და მასთან მომიჯნავე დეტალების საერთო ცვეთა აჭარბებს მუშა თვლის ცვეთის დონეს.

განსაკუთრებით ინტენსიურად ცვდება ნიჩბების ტორსი, ამასთან უფრო მეტად გამოსასვლელ ნაწილში. ზოგჯერ დაზიანებულია გვერდითი ზედაპირები, რასაც ზოგ შემთხვევაში ცვეთას მივყავართ ბოლო მონაკვეთების მნიშვნელოვნად დამოკლებამდე. ასეთი ცვეთის შედეგად მიმმართველი აპარატის მჭიდროდ დაკეტვა შეუძლებელია, რაც თავის მხრივ არის მიზეზი წყლის მნიშვნელოვანი კარგვისა, აგრეთვე ჰიდროტურბინის გაჩერების შეუძლებლობისა, ხოლო ზოგჯერ შეიძლება გახდეს ასევე თვითგაშვების მიზეზი. ნიჩბების შესავლელ უბნებს ცვეთის კვალი მხოლოდ იშვიათ შემთხვევაში ეტყობათ. ამასთან, როგორც გამოცდილება გვაჩვენებს, დაზიანებას განსაზღვრავს ნიჩბების სათავისების ნაკადის მოწყვეტით გარსდენა, ამ უკანასკნელს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს, მაშინ როცა ტურბინა მუშაობს ოპტიმალურიდან მნიშვნელოვნად განსხვავებულ რეჟიმში, რაც ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში განსხვავებულია.

მნიშვნელოვან ცვეთას აქვს ადგილი ნიჩბების საყრდენებში, განსაკუთრებით ქვედა საყრდენში. მყარი ნაწილაკების მოხვედრა პოჭოჭიკსა და საკისარს შორის ძალიან არასასურველია, მაგრამ ამის თავიდან აცილება შეუძლებელია, ვინაიდან მამჭიდრობელი მასალა (ტყავის ან რეზინის სალტეები) თვითონ ექვემდებარება მნიშვნელოვან ცვეთას. ამიტომ, თუ ზედა პოჭოჭიკის შემჭიდროვება ასე თუ ისე ასრულებს თავის ფუნქციას, ქვედა პოჭოჭიკზე შემჭიდროვების დაყენება უსარგებლოა, იმ შემთხვევაში თუ წყალი შეიცავს ნატანს.

ზოგჯერ, ქვედა პოჭოჭიკი და საკისარი ისეა გაცვეთილი, რომ მათ შორის ღრეჩო მილიმეტრებს აღწევს და საკისარი სრულებით ვერ ასრულებს

თავის ფუნქციას. შესამჩნევი ცვეთა გააჩნიათ (გაცვეთა და ამოჭმა) მიმმართველი აპარატის ტორსულ სიბრტყეებს, ამასთან ეს ცვეთა მატულობს ცენტრთან მიახლოების კვალობაზე, ანუ ნაკადის მოძრაობის სიჩქარის ზრდის კვალობაზე.

ყურადღებას იქცევს ის გარემოება, რომ დაზიანებები და მსხვილი რღვევები მუდმივად ფიქსირდებოდა იმ დეტალების შემდეგ რომელიც არის ნაკადში შეშფოთების აღძვრის მიზეზი (ფარული ჭანჭიკების შვერილები ან ჩავარდნები, ნიჩბები და მათი პოჭოჭიკები და სხვა), ასეთი დაზიანებები წარმოიქმნება არა მხოლოდ წყალში ნატანის არსებობისას, თუმცა ეს უკანასკნელი ართულებს სიტუაციას.

ცვეთას დაქვემდებარებული დეტალების მესამე ჯგუფს მიეკუთვნება დეტალები, რომლებიც ზღუდავს ფრენისის ტურბინის მუშა თვლის ზედა და ქვედა უბნებს. ამ უბნებში წყლის არსებობა, რომელიც ბრუნვით მოძრაობას ასრულებს, განაპირობებს ზოგ შემთხვევაში, როგორც უძრავი ნაწილების ასევე სხვა მოძრავი ნაწილების ცვეთას.

ასეთი ცვეთა შედეგია, იმისა, რომ სითხის ბრუნვის სიჩქარე, როგორც წესი მუშა თვლის და მასთან მიერთებული დეტალების ბრუნვის სიჩქარეზე ნაკლებია, რაც განაპირობებს ფარდობითი სიჩქარის არსებობას. ცვეთა იზრდება უფრო ხშირად პერიფერიებისკენ სიჩქარის გაზრდის გამო და მყარი ნაწილაკების ცენტრისკენული სეპარაციის გამო.

მეოთხე ჯგუფს მიეკუთვნება ტურბინის ლილვის საკისრები და მისი შემამჭიდროველები დეტალები. ამ უკანასკნელში მყარი ნაწილაკების მოხვედრა განაპირობებს მისი ელემენტებისა და ლილვის ზედაპირის სწრაფ აბრაზიულ ცვეთას, შემჭიდროების მწყობრიდან გამოსვლას (დაზიანებას) მოსდევს მყარი ნაწილაკების მოხვედრა საკისარში რაც დაუშვებელია. თუკი წყლით შეზეთვას აქვს ადგილი, მაშინ მყარი ნაწილაკები საკისარში, ამ პროცესის დროსაც შეიძლება მოხვდეს.

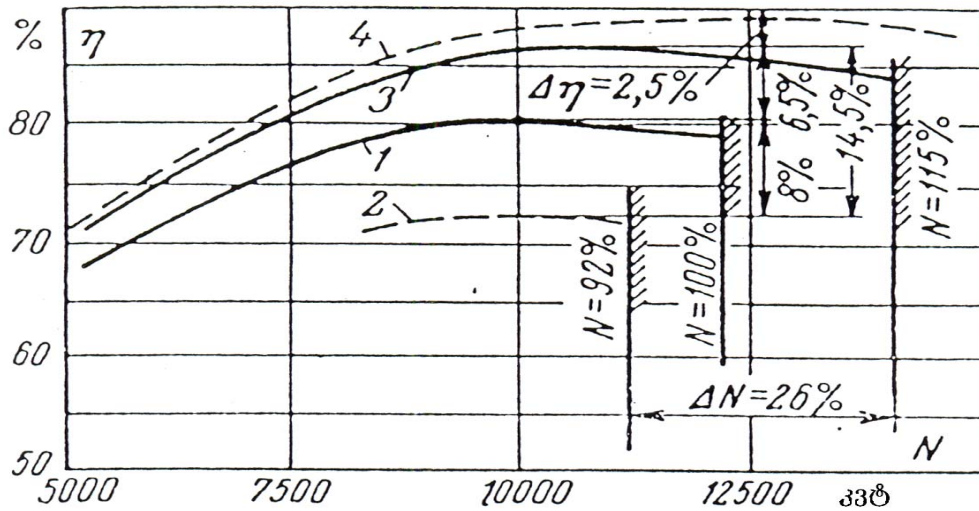
ცალკეულ შემთხვევებში აღმოჩენილია ცვეთის ნიშნები როგორც სპირალური კამერის ასევე სტატორის კოლონის ზედაპირებზე. განსაკუთრებით შესამჩნევია ცვეთა რუხი თუჯით დამზადებულ დეტალებზე. (როგორც ჩანს ეს მასალა არ უნდა იქნეს გამოყენებული საპასუხისმგებლო დეტალებში მაღალი ცვეთამედეგობის მოთხოვნის პირობებში).

2.2 ცვეთის ტექნიკო-ეკონომიკური შედეგები

ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დაზიანებული დეტალების რემონტი დაკავშირებულია მასალისა და შრომის საგრძნობ დანახარჯებთან. ვინაიდან, ჰიდროსატურბინო მოწყობილობის რემონტისათვის საჭიროა უფრო კვალიფიციური პერსონალი, უფრო სრულყოფილი და მძლავრი დანადგარები და უფრო ძვირადღირებული მასალები, ვიდრე ჩვეულებრივ პირობებში, ამიტომ სახსრების საერთო დამატებითი დანახარჯები ისეთ დონეს აღწევს, რომ ის იძენს დამოუკიდებელ ტექნიკო-ეკონომიკურ მნიშვნელობას.

წინა პარაგრაფში აღნიშნული უარყოფითი შედეგები თან ახლავს ტურბინის ცვეთას, გამოწვეულს როგორც კავიტაციით, ასევე ნატანის აბარაზიული ზემოქმედებით. ცვეთის ადგილმდებარეობა, ხასიათი და ინტენსივობა შეიძლება იყოს განსხვავებული და დამოკიდებული მრავალ ფაქტორზე, მაგრამ ცვეთის შედეგები ხშირად მსგავსია.

ნახ. 4-ზე გამოსახულია ტურბინის მახასიათებელი 13000 სთ მუშაობის შემდეგ. ტურბინის მუშა თვლის ნიჩბების ცვეთის გამო ტურბინის მახასიათებელს ჰქონდა 2 სახე. როგორც ჩანს, ამ პერიოდში ტურბინის მ.ქ.კ. შემცირდა 80%- დან 72%-მდე (8%-ით) [13].



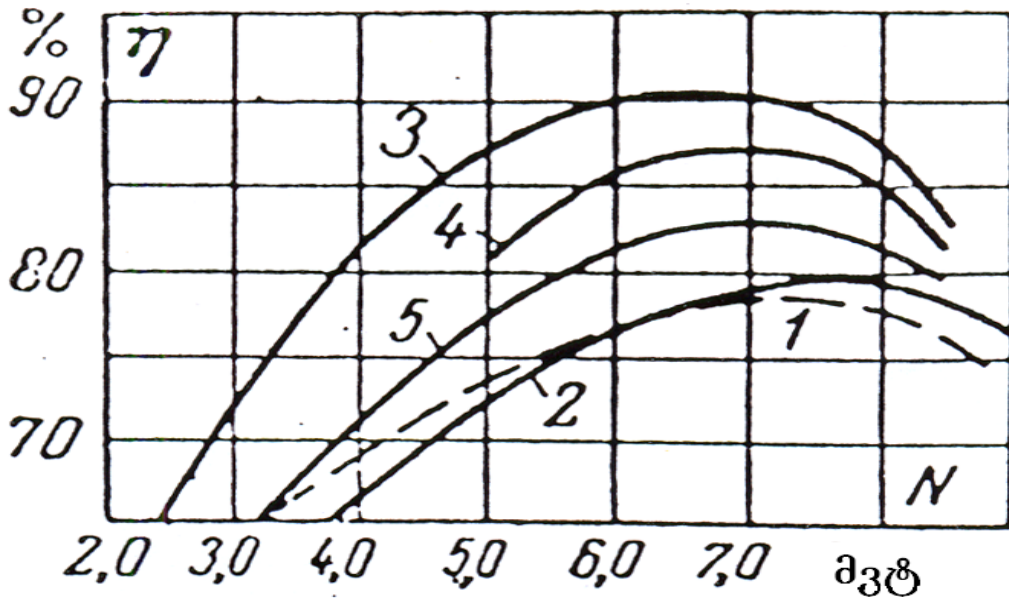
ნახ. 4 კანაკერჰესის ჰიდროტურბინის მუშა მახასიათებლები მუდმივი დაწნევის დროს

მას შემდეგ, რაც მოხდა მუშა თვლის შეცვლა, როგორც ნახ 4-დან ჩანს ტურბინის მ.ქ.კ. გაიზარდა 6% -ით (მრუდი 3). მრუდი 4 მიღებულია მოდელური გამოცდის შედეგების გადაანგარიშებით ნატურაზე. მე-3 და მე-4 მრუდებზე მ.ქ.კ.-ს შორის განსხვავება უნდა აიხსნას ნატურის და მოდელის გამდინარე ნაწილებს შორის არასრული მსგავსებითა და აგრეთვე ნატურული ტურბინის ტექნოლოგიური არასრულყოფილებით.

ჰიდროტურბინის მახასიათებელზე ნატანის აბრაზიული ცვეთის გავლენის შესაფასებლად განვიხილოთ ბაქსანის ჰესის [13] ტურბინის შემთხვევა- ნახ.5

თუ საწყისად მივიღებთ მე-3 მრუდს, რომელიც შეესაბამება გარემონტებულ ტურბინას ახალი მუშა თვლით და მას შევადარებთ მე-4 და მე-5 მრუდებს, რომელიც მიღებულია შესაბამისად 3 და 6 თვის ზაფხულის თვეების მუშაობის შემდეგ (ამ პერიოდში წყალი შეიცავს ნატანის მაქსიმალურ რაოდენობას) აღმოჩნდება, რომ მ.ქ.კ.-ს შემცირებას იგივე ხასიათი აქვს,

როგორც ზემოთ აღნიშნულ შემთხვევაში, ხოლო მ.ქ.კ.-ს კლების ინტენსივობა დროის მიხედვით მნიშვნელოვნად მეტია.



ნახ. 5 ბაქსანის ჰესის ჰიდროტურბინების მუშა მახასიათებლები

პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ტურბინის მ.ქ.კ.-ს შემცირება რომელიც დაკავშირებულია როგორც კავიტაციურ, ასევე აბრაზიულ ცვეთასთან დამოკიდებულია მრავალ მფაქტორზე და ყოველწლიურად შეადგენს 10-15%-ს, რაც თავის მხრივ უკიდურესად არასასურველია და ზოგჯერ დაუშვებელიც კი.

თუ შევადარებთ 3, 4, 5 მრუდებს 1 და 2 მრუდებს, რომლებიც შეესაბამება ტურბინის ძალიან გაცვეთილ და ნაწილობრივ გარემონტებულ მდგომარეობას შესაბამისად, დავინახავთ, რომ მ.ქ.კ.-ს შორის განსხვავება 10-12%-ია. ასე ძლიერ დაზიანებული მუშა თვლების აღდგენა დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული, რაც გამოწვეულია ფრთების ზედაპირის ფორმის სირთულით და ძნელად მისადგომობით. ამიტომ, ტურბინის მახასიათებლის თავდაპირველი სახის მიღება ადგილზე რემონტის ჩატარების შემდეგ

შეუძლებელია, ვინაიდან ეს სამუშაო მოითხოვს სამუშაოს შემსრულებლის უმაღლეს კვალიფიკაციასა და დიდ დროს და სახსრებს. ამიტომ, ამ სამუშაოს შესრულება თეორიულად შესაძლებელია, პრაქტიკულად ეს შეუძლებელია და რასაკვირველია არა რენტაბელური. ამასთან ერთად, უნდა ითქვას, რომ მცირე დაზიანებების აღმოფხვრა ადგილზე არ წარმოადგენს განასაკუთრებულ პრობლემას და მათი რეგულარული ჩატარება საშუალებას გვაძლევს ტურბინის მახასიათებელი მთლიანად აღვადგინოთ. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ტურბინის მუშა თვლის აბრაზიული ცვეთის დროს მ.ქ.კ.-ის შემცირებას ყოველთვის ახლავს განვითარებული სიმძლავრის კლება. გ.თხინვალი აღნიშნავს [12] რომ რიონჰესის ტურბინების მუშა თვლის ყოველი რემონტის შემდეგ მათი სიმძლავრე რამდენადმე მცირდება კიდევ, და შემდეგ თანდათანობით აღიდგენს თავის მნიშვნელობას შემდგომი ცვეთის კვალობაზე. ეს აიხსნება მუშა თვლის გამდინარე ცვეთის (მისი გამოსასვლელი ნაწილის) შემცირებით ლითონის დადუღების გამო. ფრთებისა და ფერსოს ცვეთასთან ერთად მრგვალი კვეთები ფართოვდება, რაც ზრდის წყლი ხარჯს და შესაბამისად ჰიდროტურბინის სიმძლავრეს.

მ.ქ.კ.-ის შემცირებაზე არანაკლებ არსებით გავლენას ახდენს მიმმართველი აპარატის ნიჩბებისა და მამჭიდროებელი რგოლების ცვეთა.

აქ უნდა აღვნიშნოს ერთი გარემოება, რომ ცვეთის გამო ტურბინის მაქსიმალური სიმძლავრის უდიდეს კლებას აქვს ადგილი, დაახლოვებით, წყალდიდობის ბოლოს მთის მდინარეებზე და ჰესის გარანტირებული სიმძლავრის შემცირება საგრძნობი ხდება ჩამონადენითა და ენერჯით ყველაზე დეფეციტურ ზამთრის პერიოდში. თუ მ.ქ.კ.-ს კლებას ზოგ შემთხვევაში მაგ: ზაფხულის წყალდიდობის დროს არ ახლავს სიმძლავრისა და გამომუშავების კლება, ზამთარ-გაზაფხულის პერიოდში ჩამონადენის სიმცირის დროს მ.ქ.კ.-ს კლება ამცირებს როგორც გარანტირებულ სიმძლავრეს ასევე გამომუშავებას.

2.3 ნატანის ურთიერთქმედება ტურბინის დეტალებთან

ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთა მიმდინარეობს სპეციფიკურ პირობებში, რომელიც არ ჰგავს იმ მანქანათა და მექანიზმების ცვეთას, რაც კარგად არის შესწავლილი, ამიტომ ჰიდროტურბინების მუშა თვლისა და მიმმართველი აპარატისათვის ზოგადად მანქანათმშენებლობის პრაქტიკაში არსებული ცვეთის წინააღმდეგ ბრძოლის გამოცდილების პირდაპირი გზით გადატანა შეუძლებელია.

როგორც წესი, წყლისა და ნატანის ნარევის უწყვეტი ნაკადი მდოვრედ გარს შემოედინება დეტალის ზედაპირს. ზედაპირების უმრავლესობას გარსშემოედინება ნაკადი, რომელიც მიმართულია ამ ზედაპირის გასწვრივ (სპირალის სიცარიელები, სტატორის სვეტების გვერდითი ზედაპირები, ფერსოების და მუშა თვლის კამერის შიგა ზედაპირები). ელემენტზე დაცემული ნაკადის მიმართ ეს ელემენტები კარგად არის ორიენტირებული- ისინი კარგად გარსმდენია და საკმაოდ გლუვი. მათ მიეკუთვნებათ სტატორის სვეტები, მიმმართველი აპარატის ნიჩბები და მუშა თვლის ფრთები. ჰიდრო ტურბინის რეგულირებისას მიმმართველ აპარატზე ნაკადის შესვლის კუთხე, ხოლო ფრენისის და კაპლანის ტურბინებისათვის მუშა თვლის ფრთაზე შესვლის კუთხე იზრდება და ძალზედ ართულებს პროცესს.

ამ დროს ჰიდროტურბინის დეტალების დაზიანება, მხოლოდ კერძო შემთხვევაში და ცალკეულ ადგილებში ჰგავს პირდაპირი გარსდენით მიყენებულ დაზიანებებს, რის შედეგად ხდება ჰიდრომანქანის წყალგამტარი არხების ზედაპირების დაზიანება.

ყველაზე უფრო გავრცელებული აზრი, ნაკადით ტრანსპორტირებული მყარი ნაწილაკების კედლებთან დაჯახების შესახებ ტურბულენტური პულსაციის შედეგად, როდესაც ამ ნაწილაკების კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნება კედლის მასალის დეფორმაციის მუშაობად. მართლაც,

კედლების ზედაპირული შრე, რომელიც ექვემდებარება მყარი ნაწილაკებით უწყვეტ ნებისმიერი კუთხით “დაბომბვას” დეფორმირდება ნარჩენი დეფორმაციის სახით. თუ გავითვალისწინებთ ზედაპირის ფაქტიურ სიმქისეს, ცხადია, რომ ზედაპირული შრის ცალკეული ნაწილაკები ამოვარდება, ამოიმტვრევა დეტალის ძირითადი მასისგან, ამასთან დატოვებს კვალს, რომელიც თავის მხრივ იქნება ახლად ხელოვნურად წარმოქმნილი მნიშვნელოვანი სიმქისე (ხორკლიანობა) დეტალის მასალის კრისტალური აგებულების და არაერთგვაროვნების გამო.

დეტალის მასალის რღვევის ინტენსივობა დამოკიდებულია ნატანით ტრანსპორტირებული ნაწილაკების პარამეტრებზე. ე.ი ნაწილაკების მასაზე და მათ სიჩქარეზე ზედაპირების მიმართ. იმ შემთხვევაში, თუ შეჯახების შედეგად ნაწილაკები დამუხრუჭებული აღმოჩნდება (რასაც შეიძლება ჰქონდეს ადგილი ნაწილაკის და დეტალის ზედაპირის კონტაქტისას, რომლებიც ნორმალურად არიან განლაგებული ნაწილაკების აბსოლუტური სიჩქარის მიმართ შეჯახების მომენტში) , მაშინ რღვევის ენერგია ნაწილაკების მთლიანი სიჩქარის შესაბამისია. სხვა შემთხვევაში დეტალზე იმოქმედებს ამ ენერგიის მხოლოდ ნაწილი, რომელიც იქნება ამ ზედაპირის მხოლოდ პერპენდიკულარული სიჩქარის შესაბამისი. ზოგად შემთხვევაში ეს ენერგია იქნება იმ სიჩქარის შესაბამისი, რომელიც წარმოადგენს ვექტორულ ჯამს ზედაპირის გასწვრივ მოძრავი ნაწილაკის სიჩქარისა და მყისიერი სიჩქარისა, რაც დაკავშირებულია ტურბულენტურ პულსაციასთან. ამგვარად, ეს ენერგია ყოველთვის მეტია ვიდრე ნაკადის საშუალო სიჩქარით გამოთვლილი ენერგია.

მეტიც, მრავალ ნაკადში შეწონილი ნაწილაკების მოუწესრიგებელი მოძრაობისას ხდება ამ ნაწილაკების ურთიერთშეჯახება, მათ შორის ისეთიც როცა ზედაპირს გადაეცემა ერთდროულად ორი და მეტი ნაწილაკის ენერგია, რაც შესაბამისად გაზრდის იმ ნაწილაკების მრღვევ მოქმედებას, რომელიც უშუალოდ ეხება კედელს.

ნაკადით ტრანსპორტირებული ნაწილაკების ფორმას დიდი მნიშვნელობა აქვს. ის ნაწილაკები, რომელთაც აქვთ წამახვილებული ფორმა და შვერილები გადასცემს უფრო დიდ ხვედრით ენერჯის თანაბარი მასისა და სიჩქარის პირობებში იმ ზედაპირს რომელთანაც ექნება კონტაქტი და შეუძლია გამიწვიოს უფრო დიდი დეფორმაცია და ადვილად დაარღვიოს კედლის მასალის მთლიანობა.

იმ შემთხვევაშიც კი, როცა ნაწილაკის მრავალჯერადი დაჯახებისას კედელთან წარმოიქმნება მასალის დრეკადი დეფორმაციები ამ მოვლენის შედეგად კი ლითონში განვითარდება “დაღლის” პროცესი, რაც საბოლოო ჯამში რღვევით დასრულდება(მაგ. ფენობრივი დაშლით). აქვე შევნიშნავთ, ფოლადის “დაღლის” პროცესისადმი სიმტკიცე წყალში უფრო ნაკლებია ვიდრე ჰაერზე.

მრავალი ნაწილაკი, რომელსაც განსხვავებული ფორმა, ზომა, ან წონა გააჩნია, ნაკადში ქმნის სხვადასხვა ინტენსივობის გრიგალების გენერაციის წყაროებს, ნაკადით გადატანილი ნაწილაკების შეჯახების შედეგად, რასაც ადგილი აქვს როგორც ძირითადი ტრაექტორიის გასწვრივ, ასევე მათ განივად, რაც კიდევ უფრო აძლიერებს წნევის პულსაციის ადგილობრივ კერებს. წნევის, სიჩქარის და ტრანსპორტირებული ნაწილაკების გარკვეული ზომების პირობებში ამ სხეულის უკან შეიძლება წარმოიქმნას ინტენსიური კავიტაციური პროცესები და ნაკადი წარმოგვიდგება, როგორც სითხის მყარი ნაწილაკების, წყლიდან გამოყოფილი ორთქლისა და გაზის ბუშტულების მოძრაობის რთული მოუწესრიგებელი პროცესი.

შევნიშნოთ, რომ დეტალების ცვეთას ადგილი ექნება ზედაპირების მყარ ნაწილაკებთან შეხების გარეშეც. ასეთ შემთხვევაში დაზიანების ხარისხი მსგავსი იქნება კავიტაციით გამოწვეული დაზიანებებისა. ეს იქნება შედეგი არა მარტო გაზისა და ორთქლის კონდენსაციისა კედლის ახლოს, არამედ უმთავრესად წნევის პულსაციის გადაცემისა სითხის მიერ.

2.4 ცვეთის ინტენსივობის განმსაზღვრელი ფაქტორები

თუ განვიხილავთ ჰიდრომანქანების ცვეთას მხოლოდ ნაკადში შეწონილი ნატანის ზემოქმედების შედეგად და არ მივიღებთ მხედველობაში ე.წ სუფთა კავიტაციას, მაშინ სხვადასხვა მკვლევარები განსაზღვრავენ ცვეთის დამოკიდებულებას ნარევიტ გარსდენის საშუალო სიჩქარესთან [14,15] :

$$\delta = k\nu^m, \quad \left[\frac{\text{გრ}}{\text{სთ.სმ}^2} \right] \quad (2.1)$$

სადაც δ არის ლითონის წონითი ან მოცულობითი ერთეულის დანახარჯია დროის ერთეულში (დროის ინტერვალში) ცვეთას დაქვემდებარებული ზედაპირის ფართობის ერთეულზე;

ν - ნაკადის საშუალო სიჩქარე ცვეთისადმი დაქვემდებარებული ზედაპირის მიმართ, მ/წმ;

k - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სხვადასხვა ფაქტორებს: ნაწილაკების კონცენტრაციას, სიმსხოს, სიმაგრეს და ფორმას აგრეთვე გარსმდენი ზედაპირის სიმძლავრის ხარისხს.

m - ხარისხის მაჩვენებელი, მიიღება $2 \div 3$ -ის ტოლი. უფრო ხშირად მას 2-ის ტოლად იღებენ.

წყალში მყარი ნატანის არსებობისას, ადგილი აქვს ცვეთას გამოწვეულს როგორც მყარი ნაწილაკების დაჯახებით გამდინარე ნაწილის ზედაპირთან, ასევე მყარი ნაწილაკების გამდინარე ტრაქტის ზედაპირზე სრიალის შედეგად. ამ ფაქტორების ინტენსივობისგან დამოკიდებულებით ცალკეულ შემთხვევებში გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება გარკვეულ მათგანს.

ჰიდროტურბინების დეტალების ინტენსიური ცვეთა შეიძლება აიხსნას ზედაპირების გარსმდენი ნაკადის სიჩქარის მნიშვნელოვანი სიდიდით. ამასთან, არსებითი მნიშვნელობა აქვს არა წყლის საშუალო სიჩქარეს, არამედ

იმ ადგილობრივ სიჩქარეს, რომელიც საზოგადოდ არსებობს ტურბულენტურ ნაკადში და კერძოდ აღიძვრება ცუდად გარსმდენ ზედაპირებთან კონტაქტში.

საერთოდ თვლიან [8,16], რომ გარდა სიჩქარის სიდიდისა ცვეთის ინტენსივობაზე ზემოქმედებას უნდა ახდენდეს: შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრანტია, სიმსხო, სისალე, ფორმა, აგრეთვე იმ მასალის ხარისხი რისგანაც დამზადებულია ჰიდროტურბინის გამდინარაე ტრაქტის ელემენტები. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია იმ ზედაპირული ფენის ხარისხი(სისალე), რაც უშუალო კონტაქტშია ნატანით შეწონილ ნაკადთან.

თუ ჩავთვლით, რომ ცვეთა დამოკიდებულია ნაკადით ტრანსპორტირებული სხეულის ფარდობით სიჩქარეზე w ცვეთის ზედაპირის მიმართ და არა საკუთრივ ნაკადის საშუალო სიჩქარეზე v , მაშინ რაც უფრო მსხვილია ნაწილაკი, მით უფრო ნაკლებია მისი გარსდენის სიჩქარე და პირიქით წვრილი ნაწილაკები მოძრაობს სიჩქარით, რომელიც უახლოვდება წყლის მოძრაობის სიჩქარეს. თუ პირველი მიახლოვებით ჩავთვლით, რომ ნაწილაკის ნაკადის მიმართ სიჩქარის კვადრატი პროპორციულია ამ ნაწილაკის მასიასა ანუ $(v - w)^2 \equiv m$ და შევაფასებთ ნაწილაკის რღვევისუნარიანობას მისი კინეტიკური ენერგიით $E = \frac{m w^2}{2}$ წინააღმდეგ მიმართ, აღმოჩნდება რომ ამ ენერგიის მაქსიმუმი შეესაბამება $w = 0,5v$ ე.ი მასის ზრდასთან ერთად თავიდან ენერგია იზრდება, ხოლო შემდეგ კი ისევ კლებულობს.

შეწონილი ნაწილაკების შედარებით მცირე გაბარიტებისა და მასის პირობებში, რაც დამახასიათებელია ჰიდროტურბინებისათვის, ამ ნაწილაკების რღვევისუნარიანობა იზრდება მათი მასის (გაბარიტების) ზრდასთან ერთად. მაგრამ ასეთი მიდგომა სამართლიანი იქნებოდა მხოლოდ განმხოლოვებულად მცურავი მყარი სხეულებისათვის თანაბარი მოძრაობის დროს. თუ გავითვალისწინებთ ნაკადით გადატანილი ნაწილაკების მუდმივ ურთიერთქმედებას, რაც მათი შეჯახებით გამოიხატება და აგრეთვე ენერგიის

პერმანენტული ურთიერგაცვლის პროცესს, მაშინ შეიძლება ჩაითვალოს რომ მცირე ზომის ნაწილაკების რღვევისუნარიანობა უფრო მნიშვნელოვანია ვიდრე ცალკეული მსხვილი ნაწილაკებისა.

მსხვილი ნაწილაკები წარმოადგენს საფრთხეს იმ შემთხვევაში, როცა ისინი განლაგებულია ფრენისის ტურბინის მუშა თვლის უბეებში რაც დამახასიათებელია სითხის ბრუნვითი მოძრაობისათვის. ნაწილაკების ყოველი შენელება მოძრავი ნაკადის მიმართ იწვევს მისი სიჩქარის გაზრდას მბრუნავი ზედაპირის მიმართ და პირიქით ასეთი ნაწილაკების მოძრაობის აჩქარება ზრდის მის ფარდობით სიჩქარეს უძრავი კედლების მიმართ. ამგვარად, სითხეში მყოფი ნაწილაკები, რომლებიც უბეშია განთავსებული ურთიერთქმედებენ რა უკანასკნელთა კედლებთან, მუდმივად იღებენ დამატებით აჩქარების იმპულსს მბრუნავ დეტალებთან შეჯახებისა ან შენელების იმპულსს უძრავ კედლებთან შეჯახებისას. ეს ყოველივე განაპირობებს მყარი ზედაპირების ინტენსიურ ცვეთას და ამას გარდა იწვევს ენერჯის დამატებით დანაკარგებს გვერდითი (დისკური) ხახუნის დასაძლევად.

რასაკვირველია, აბრაზიული ცვეთისას წყლით ტრანსპორტირებული ნაწილაკების სისაღეს დიდი მნიშვნელობა აქვს: უფრო დიდი სისაღის ნაწილაკები, ვიდრე ჰიდროტურბინის გამდინარე ტრაქტის ზედაპირის მასალის სისაღეა, წარმოადგენს საფრთხეს ამ უკანასკნელთა ცვეთის თვალსაზრისით ყველა შემთხვევაში. მაგრამ ამასთან ერთად უნდა აღინიშნოს, რომ გამდინარე ტრაქტის ზედაპირის დარღვევაში თავისი წილი შეაქვს უფრო ნაკლები სისაღის მქონე ნაწილაკებსაც, რომლებიც თავისი ენერჯის ნაწილს გადასცემენ სხვა ნაწილაკებსაც და მათ უკან ჩნდება კავიტაციის კერები. გამომდინარე ზემოთ თქმულიდან, ძალიან რთულია და თითქმის შეუძლებელია ნაწილაკების სისაღის ისეთი მნიშვნელობის დადგენა, რომელიც აბრაზიული ცვეთის ფორმირებაში გადამწყვეტ როლს თამაშობს.

ცვეთის თვალსაზრისით თეორიულად სახიფათოა ნებისმიერი სისხლის ნაწილაკი თუ მოცემული ნაკადის სტრუქტურული თავისებურების გამო ნაწილაკის ზომები არ გახდა უსასრულოდ მცირე.

ცხადია, რომ ცვეთის ინტენსივობაზე მოქმედი ერთ-ერთი ფაქტორია ნაკადში ნატანის კონცენტრაციის სიდიდე. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ მნიშვნელოვანია არა ნატანის საშუალო კონცენტრაციის სიდიდე ზოგადად, არამედ ნატანის კონცენტრაცია ნაკადში ტურბინის შიგნით გარკვეულ ზონებში, რაც ზოგადად დამოკიდებულია ტურბინის ნაწილებისა და წყალგამტარი ელემენტების კონსტრუქციულ ფორმაზე (სპირალური კამერა, საკეტები, სადაწნეო მილსადენი).

საზოგადოდ ცნობილია, რომ მყარი ნაწილაკები, რომელთაც მსხვილი ნაწიბურები და გამონაშვებები გააჩნია, განსაკუთრებით საშიშია ცვეთის თვალსაზრისით. ასეთი ნაწილაკები დიდი რაოდენობითაა სამთო მდინარეების ზემო წელში იმ ადგილების სიახლოვეს სადაც ხდება მათი წარმოქმნა სამთო ქანების რღვევის შედეგად. მას შემდეგ რაც ეს ნაწილაკები მდინარეში გარკვეულ მანძილს გაივლის მათი ურთიერთქმედებისა და ხახუნის შედეგად ამ ნაწილაკების ზედაპირი გლუვდება და ისინი ნაკლებად სახიფათო ხდება ცვეთისათვის.

აქვე აღსანიშნავია, რომ უფრო მსხვილი სხეულები, გორავს რა მდინარეთა ფსკერის გასწვრივ უფრო სწრაფად გლუვდება, ვიდრე მცირე ზომის ნაწილაკები, ვინაიდან ეს უკანასკნელი დროის უდიდეს ნაწილს შეწონილ მდგომარეობაშია და ერთმანეთს ეჯახება უფრო ნაკლები ფარდობითი სიჩქარით. უფრო მეტიც, თვით დიდი ნაწილაკების გაგლუვების პროცესში წარმოიქმნება უფრო მცირე ზომის წამახვილებული ფორმის ნამსხვრევები. ამიტომ მცირე ნაწილაკები, რომლებიც ჰიდრომანქანებში გადის ყოველთვის ნაკლებად მოგლუვებულია და უფრო სახიფათოა ცვეთის თვალსაზრისით.

უნდა ითქვას, რომ რაც უფრო დიდი სისაღე გააჩნია ნატანს მით უფრო მნიშვნელოვანია ნაწილაკების ფორმის გათვალისწინება.

განსაკუთრებული ყურადღების ღირსია ჰიდროტურბინაში ნაკადის ადგილობრივი შეშფოთების კერები, რომელთა რიცხვს მიეკუთვნება წყალგამტარი არხების ზედაპირების უსწორმასწორო ფორმა, რაც თავის მხრივ წარმოადგენს ადგილობრივი დაზიანების წყაროს იმ შემთხვევაშიც კი, თუ ჰიდროტურბინა აბსოლუტურად მცირე წყლის ხარჯზე მუშაობს. ასეთი დაზიანებები მრავალჯერ იზრდება ნატანშემცველი ნაკადის ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილში მოძრაობისას. ამ ტიპის ნაწილაკებს შეუძლია გამოიწვიოს დაზიანება არა მხოლოდ უშუალოდ საკუთარ სიახლოვეს, არამედ მათგან დაშორებულ ადგილებშიც. ამის დასტურია ის, რომ დაზიანების კვალი შეინიშნება ტურბინების მუშა თვლის ქვედა არეში და მუშა თვლის გარეთაც კი, რაც გამოწვეულია მიმმართველი აპარატის ნიჩბების გარსდენით, მიუხედავად იმისა, რომ ამ უკანასკნელს კარგი გარსდენი ფორმა გააჩნია.

ნაკადის ადგილობრივი შეშფოთების კერები განსაკუთრებით სახიფათოა, ვინაიდან ერთხელ დაწყებული ცვეთის პროცესი პროგრესირდება აღრმავებს და ზრდის დაზიანების ზონას და უარყოფითად ზემოქმედებს მისგან დაშორებულ ჰიდროტურბინის სხვა დეტალებზეც.

აღნიშნული ფაქტორების ერთობლივი რაოდენობრივი აღრიცხვა ძალიან რთული მათემატიკური პრობლემაა, ვინაიდან თითოეული ეს ფაქტორი სხვადასხვა ბუნებისაა, ამასთან დროში ცვალებადია და განსაკუთრებულ ზემოქმედებას ახდენს ჰიდროტურბინის სხვადასხვა ნაწილის ცვეთაზე.

აქვე უნდა ითქვას იმ დამატებითი გარემოებების გამო, რაც ართულებს ცვეთის ინტენსივობის მათემატიკურ ასახვას:

1. სიჩქარეები ტურბინაში (ცალკეულ კვეთში საშუალო სიჩქარეებიც კი) მუდმივად და მნიშვნელოვანი დოზით იცვლება შესასვლელ და

გამოასასვლელ კვეთებს შორის. ეს გვაიძულებს განვიხილოთ ნაკადის ტრაექტორიის გასწვრივ საშუალო სიჩქარე და შესაბამისად ცვეთის ინტენსივობის საშუალო მნიშვნელობა, რაც ობიექტურ სურათს ვერ მოგვცემს. სხვა შემთხვევებში უნდა განვიხილოთ ლოკალურად ყველაზე სახიფათო ცალკეული კვეთები ცვეთის თვალსაზრისით, რაც ცხადია საშუალებას ვერ მოგვცემს ამ შედეგების განზოგადებისათვის .

2. ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილში დინება იყოფა რამდენიმე ნაკადად (სტატორი, მიმმართველი აპარატი, მუშა თვლის ფრთათაშორისი არხები) შემდეგ ერთდება, რაც ხასიათდება სიჩქარეების ადგილობრივი შემფოთებითა და ზრდით, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, როცა გარსდენას თან ახლავს დარტყმა ტურბინის დეტალზე შეტევის კუთხის მნიშვნელოვანი სიდიდის გამო.

3. ნაკადის ნაწილი გამოეყოფა ძირითად ნაკადს და საკუთარი განსაკუთრებული ტრაექტორია გააჩნია: ვითარდება გვერდითი დინებები ფრენსისის ტურბინების შემჭიდროვებებში, კაპლანის ტურბინების ღრეჩოებში მუშა თვლის ფრთებსა და მიმმართველ აპარატის ნიჩბებს შორის. არსებობს ძალიან არახელსაყრელი ადგილები, ისეთები როგორცაა: მიმმართველი აპარატის ცილინდრული პოჭოჭიკების გარსდენა. ასეთი დინებები ხშირად არ არის დამოკიდებული დინების მსგავს ფაქტორებზე.

4. მრავალ ცოცხალ კვეთში სიჩქარეთა რეალური განაწილება მეტად არათანაბარია და ფაქტობრივი სიჩქარეები მნიშვნელოვნად განსხვავდება საშუალო სიჩქარეებისაგან. აღნიშნულს ადგილი აქვს მიმმართველი აპარატის ცილინდრულ კვეთებში, სადაც არ არის და როგორც წესი არც უნდა იყოს ღერძულ სიმეტრიული ნაკადი, აგრეთვე მუშა თვლისა და მიმმართველი აპარატის ნიჩბს შორის ღრეჩოში, სადაც ნატურალური (ფაქტობრივი-მყისიერი) სიჩქარეები მნიშვნელოვნად განსხვავდება საშუალო სიჩქარისაგან.

5. ზემოთ აღნიშნული გარემოებები განსაზღვრავს ადგილობრივი სიჩქარეების, დეფორმაციისა და ნაკადის ტრანსფორმაციას სხვადასხვა ადგილებში, ამ ფაქტორების ურთიერთზემოქმედებას და რაც მთავარია ფაქტობრივი სიჩქარეების ზრდას. ეს განსაკუთრებით შესამჩნევია იმ ადგილებში, სადაც ხდება ნაკადის გაყოფა (შემჭიდროვებაში შესვლის წინ) ან შეერთება (მიმმართველი ნიჩბების შუბლური ღრეჩოდან გამოსასვლელი).

6. კავიტაციური მოვლენები, რომლებიც თავისთავად სახიფათოა “სუფთა” წყალშიაც კი, კიდევ უფრო ინტენსივდება ნატანის არსებობისას. საუბარია არა მარტო “გარსების” წარმოშობის შესახებ მცირე ნაწილაკების გარშემო, არამედ ამ ნაწილაკებით ზედაპირების “დაბომბვაზე”, რომელთა მახლობლობაში ადგილი აქვს კონდენსაციას-კავერნების ლიკვიდაციას.

7. მკვეთრი მოხვეულობებისას, უმნიშვნელო უსწორმასწოროებისა და სხვა დაბრკოლებების გარსდენისას ადგილი აქვს უშუალოდ ამ წინააღმდეგობის შემდეგ ზედაპირების დაზიანებისა და რღვევის ინტენსიფიკაციას, რომლებიც სწრაფად ვითარდება ნაკადის აბრაზიული და კავიტაციური ერთობლივი ზემოქმედებისას. ამასთან ერთად, მნიშვნელოვნად იცვლება დინების სურათი და შესაბამისად ცვეთის კანონზომიერება.

8. წყალში ნატანის რაოდენობა დოზის მიხედვით ძლიერ იცვლება. იგივე ეხება ნატანის სიმსხოსა და სისაღეს. ამას უნდა დაემატოს ტურბინის მუშაობის რეჟიმის პერმანენტული ცვალებადობა მისი ექსპლუატაციის დროს (რეგულირება ხარჯის შეცვლით, დაწნევათა რყევა) რაც იწვევს ტურბინის სხვადასხვა ნაწილში სიჩქარეთა მნიშვნელოვან გადანაწილებას.

ზემოთ ჩამოთვლილი და სხვა უფრო ნაკლებად მნიშვნელოვანი, მაგრამ მრავალრიცხოვანი გარემოებები არ იძლევა საშუალებას, რომ მოხდეს ჰიდროტურბინის ცვეთის მათემატიკური მოდელირება ყველა აღნიშნული ფაქტორის გათვალისწინებით.

გარდა ამისა უნდა მივიღოთ მხედველობაში, რომ ნებისმიერი საშუალო დამოკიდებულებით აღწერილი ცვეთის ფუნქცია დროით ვერ იქნება ზუსტი, ვინაიდან ჰიდრომანქანაში ეს პროცესი სტაბილური არ არის და მუდმივად პროგრესირებადი რთული ფუნქციაა მის მიერ გამოწვეული პროცესებისა.

აქვე აღვნიშნოთ, რომ ჰიდროტურბინის წონის დანაკარგი ვერ იქნება საბოლოო ანგარიშით ცვეთის პროცესის ყოველმხრივი მახასათებელი. რასაკვირველია, წონის დანაკარგი მნიშვნელოვანია, მაგრამ უფრო მნიშვნელოვანია ტურბინის სიმძლავრის დანაკარგი ანუ მ.ქ.კ-ს შემცირება და ეს მახასათებელია განმსაზღვრელი.

თავი 3. ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობის შეფასება

3.1 ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის პროცესის მათემატიკური მოდელირება

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მრავალი ჰიდროელექტროსადგური განთავსებულია მდინარეებზე, რომლებშიც უხვად არის მყარი ნატანი. ეს განსაკუთრებით ეხება მთის მდინარეებს. მიუხედავად სახსრების დიდი დანახარჯებისა ნატანთან ბრძოლაზე და ტურბინების მუშა მდგომარეობაში შესანარჩუნებლად, ასეთი ჰესების ტურბინები განიცდიან ცვეთას ნატანის გამცვეთი ზემოქმედების გამო. ამ დროს ახალი ან კაპიტალური რემონტიდან გამოსული ტურბინების მდგომარეობა სწრაფად უარესდება, ეცემა მათი მ.ქ.კ. და ჰესებზე იზრდება სიმძლავრის და ელექტროენერჯის გამომუშავების დანაკარგები. ამიტომ ასეთ მდინარეებზე განლაგებული ჰესების პროექტირებისას, აუცილებელია შეფასდეს მდინარის ნატანის ცვეთუნარიანობა და ჰესების ტურბინებისათვის მისი საშიშროების ხარისხი [17].

აღნიშნულ შეფასებასთან დაკავშირებით საჭიროა დადგინდეს ტურბინის ცვეთის ინტენსივობა, მისი კავშირი ნატანის რეჟიმთან და სხვა ფაქტორებთან, რომლებსაც აქვთ გავლენა ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების ცვეთაზე.

ნატანის რეჟიმი ჰესებზე შეისწავლება წყლის ყოველდღიური სინჯების აღებით ჰიდროტურბინების შემწოვი მილის გამოსასვლელთან. შემდეგ უნდა მოხდეს სინჯების პირველადი დამუშავება (დალექვა, გამოორთქლვა და აწონვა), ჩატარდეს მყარი ნატანის ფრაქციებად დაყოფა და მათი დაწვრილებითი მინერალოგიური ანალიზი.

ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთა – ეს არის ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების საწყისი წონიდან დაკარგული წილი ან პროცენტი, რომელიც გამოწვეულია შეწონილი ნატანის გამცვეთი და დარტყმითი ზემოქმედებით. ჰიდროტურბინის დეტალების ცვეთა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, რომელთაგან ყველაზე მნიშვნელოვანია ნაკადის სიჩქარე, ნატანის კონცენტრაცია, ნატანით გაჯერებული ნაკადის ტურბინის გამდინარე ნაწილზე ზემოქმედების ხანგრძლივობა, ნატანის ნაწილაკების სისაღე, ფორმა და ზომები; აგრეთვე მნიშვნელოვანია დეტალების მასალის ცვეთამედეგობა [13,17].

იმისათვის, რომ შეიქმნას ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის ხარისხის განსაზღვრის შესაძლებლობა, აუცილებელია დადგინდეს ცალკეული, ზემოაღნიშნული ფაქტორის გავლენა დეტალების ცვეთაზე. ზოგიერთი მათგანის გავლენის ხასიათი შეიძლება გაირკვეს თეორიული მოსაზრებების საფუძველზე, ხოლო ზოგიერთი - მხოლოდ ექსპერიმენტული და ნატურული გზებით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ განმსაზღვრელ ზემოქმედებას ტურბინის დეტალების ცვეთაზე ახდენს, როგორ ზემოთ აღნიშნა, არა მხოლოდ ნატანის აბრაზიული თვისებები, არამედ ამ დეტალების მასალების ცვეთამედეგობაც, რის გამოც ნებისმიერი ჰიდრონარევის ცვეთისუნარიანობა, უნდა დაკავშირდეს მის მიერ ზემოქმედების ქვეშ მყოფ მასალასთან.

მიახლოებით თეორიულ მოსაზრებებზე დაყრდნობით, გავარკვიოთ აბრაზიული ცვეთის ძირითადი კანონზომიერებანი. ჩავთვალოთ, რომ აბრაზიული ცვეთის დროს ხდება დეტალის მასალის რღვევა (ძირითადად ჭრა და გამოფხვნა), რომელზეც იხარჯება ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ნატანის ნაწილაკების კინეტიკური ენერგია. ჩავთვალოთ, რომ საქმე გვაქვს ბრტყელ ამოცანასთან და მივიღოთ შემდეგი დაშვებები [18]:

1. ჰიდრონარევის მიერ გასაცვეთი დეტალი წარმოადგენს ბრტყელ უძრავ ფირფიტას და მისი გარსდენა ხდება ტურბულენტური ნაკადით (შეტვის ნულოვანი კუთხით), სასაზღვრო შრის მოწყვეტის გარეშე.

2. ნაკადის რეჟიმი დამყარებულია და გვაქვს თანაბარი პარალელურ-ჭავჭავური მოძრაობა.

3. ნატანის ყველა ნაწილაკი ერთგვაროვანია, იმყოფება ნაკადში შეწონილ მდგომარეობაში და თანაბრად არის განაწილებული ნაკადის კვეთში.

4. ნაკადის ნატანით გაჯერება შედარებით მცირეა, ისე რომ იგი არ ცვლის ნაკადის ხასიათს და თვისებებს.

აღნიშნულ პირობებში ფირფიტა განიცდის თანაბარ ცვეთას, რომლის ფარდობითი სიდიდე არ იქნება დამოკიდებული ფირფიტის სიგრძეზე და სიგანეზე და ძირითადად განპირობებული იქნება ჰიდრონარევის მოძრაობის რეჟიმით.

ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ნატანის თითოეულ ნაწილაკს გააჩნია კინეტიკური ენერგია, რომელიც ტოლია $E = \frac{m\varpi^2}{2}$, სადაც m არის ნაწილაკის მასა, ხოლო ϖ - ნაწილაკების საშუალო გადატანითი სიჩქარე. ნაკადის შიგნით, ტურბულენტური შერევის გამო, ნაწილაკები ეხებიან ფირფიტას, ეჯახებიან და არღვევენ მას. ამ დროს, დროის ერთეულში ფირფიტის ფარდობითი ცვეთა ρ' ერთეულოვანი ნაწილაკიდან, ლოგიკურად პროპორციულია ნაწილაკის E კინეტიკური ენერჯის:

$$\rho' = k_1 \frac{m\varpi^2}{2} \quad (3.1)$$

სადაც k_1 არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ნაწილაკის აბრაზიულ თვისებებზე და ფირფიტის მასალის ცვეთამედეგობაზე.

რადგან დროის ერთეულში ფირფიტაზე გამცვეთ ზემოქმედებას აწარმოებს n ნაწილაკი, ამიტომ ფირფიტის ცვეთა ტოლია:

$$\rho_n = n\rho' = k_1 \frac{m\varpi^2}{2} n. \quad (3.2)$$

შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ

$$n = k_F C_k \nu \quad (3.3)$$

სადაც C არის ნაკადში ნაწილაკების კონცენტრაცია, ν - ნაკადის საშუალო სიჩქარე, k_F - კოეფიციენტი რომელიც ძირითადად დამოკიდებულია ნაკადით ფირფიტის გარსდენის პირობებზე.

t დროში, ფირფიტას შეეხება N ნაწილაკი, თანაც დამყარებული რეჟიმის პირობებში გვექნება, რომ $N = nt = k_F C_k \nu t$.

ამგვარად ფირფიტის ცვეთა t დროის განმავლობაში ტოლი იქნება:

$$\rho = \rho' k_1 k_F = \frac{m\overline{\varpi^2} C_k \nu t}{2}. \quad (3.4)$$

დადგენილია, რომ შეწონილი ნაწილაკების გადატანითი სიჩქარე $\overline{\varpi}$, პროპორციულია ნაკადის ν საშუალო სიჩქარის: $\overline{\varpi} = k_{III} \nu$, სადაც k_{III} არის, როგორც წესი, ერთთან ახლოს მყოფი კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ნაკადის მიერ ნაწილაკების ტრანსპორტირების პირობებზე (ნაკადის ჰორიზონტალური, დახრილი ან ვერტიკალური მოძრაობა).

ამიტომ განტოლება (3.4)-ის ნაცვლად გვექნება

$$\rho = k_1 k_F k_m^2 \frac{m C_k \nu^3 t}{2} \quad (3.5)$$

ანდა

$$\rho = k m C_k \nu^3 t \quad (3.6)$$

სადაც $k = 0,5 k_1 k_F k_{III}^2$ - არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ნაწილაკების თვისებებზე (სისაღე, ზომა, ფორმა, კუთრი

წონა), დეტალის მასალის ცვეთამდეგობაზე და ნაკადით ნატანის ტრანსპორტირების პირობებზე.

ბოლო ფორმულა გვიჩვენებს, რომ ჰიდრონარევით გარმსდენი უძრავი დეტალის აბრაზიული ცვეთა პირდაპირპროპორციულია ნაკადში ნაწილაკების კონცენტრაციის, ნაკადის სიჩქარის კუბის, ჰიდრონარევის დეტალზე ზემოქმედების დროის და ერთი ნაწილაკის მასის.

ფირფიტის ჰიდრონარევით განსხვავებული გარსდენის პირობებში, როდესაც ფირფიტა ასრულებს წრფივ და თანაბარ მოძრაობას u სიჩქარით, მაშინ ფორმულა (3.23)-ში ნაკადის v სიჩქარის ნაცვლად უნდა ჩაისვას გარსდენის ფარდობითი სიჩქარე w , რომელიც ტოლია u და v სიჩქარეების გეომეტრიული ჯამისა.

თუ დეტალს გააჩნია მრუდწირული პროფილი, მის ნაკადით გარსდენას თან სდევს ნაკადის ჭავლების გამრუდება, რის გამოც ნაწილაკებზე იმოქმედებს ცენტრიდანული ძალები, რომლებიც გამოიწვევენ ნაწილაკების დეტალის ზედაპირზე მიკვრას ან მისგან მოცილებას. ამიტომ, ცენტრიდანული ძალების გავლენამ შესაძლებელია გამოიწვიოს დეტალის ზედაპირის როგორც რღვევის გაძლიერება (იქ სადაც ნაწილაკები მჭიდროდ ეკვრიან დეტალს), ასევე შემცირება (იქ სადაც გვაქვს ზედაპირიდან მოცილება). ამ დროს დეტალის ცვეთის ზომებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მისი ზედაპირის ხაზოვანი ზომები და მრუდწირულობა, და აგრეთვე დეტალის ზედაპირთან ნატანის კონცენტრაციის ცვლილების ხარისხი, ცენტრიდანული ძალების გავლენის გამო.

გამოვიყენოთ ფორმულა (3.6) და შევადაროთ ერთმანეთს ერთი და იგივე მასალისაგან დამზადებული, სხვადასხვა რეჟიმში მომუშავე ორი ერთნაირი დეტალის ცვეთა, თუ მათზე ნატანის ზემოქმედება ერთნაირია (ამ დროს k -ს და m -ს ექნებათ ერთნაირი მნიშვნელობა). თითოეული აღნიშნული დეტალის ცვეთა ტოლი იქნება: $\rho_0 = kmC_{k_0}v_0^3t_0$ და $\rho_1 = kmC_{k_1}v_1^3t_1$.

ამგვარად

$$\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{C_{k1}}{C_{k0}} \left(\frac{v_1}{v_0} \right)^3 \frac{t_1}{t_0} \quad (3.7)$$

ანდა

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{C_{k1}}{C_{k0}} \left(\frac{v_1}{v_0} \right)^3 \frac{t_1}{t_0} \quad (3.8)$$

ამ დამოკიდებულებიდან, რომელიც კარგად დასტურდება ექსპერიმენტებით [8,13], გამომდინარეობს, რომ თუ ექსპერიმენტით, რომელიც ჩატარდა გარკვეული C_{k0} , t_0 და v_0 -ის შემთხვევაში, დაფიქსირდება დეტალის ცვეთის სიდიდე ρ_0 , მაშინ იგივე ან იდენტური დეტალის ცვეთა იგივე ნატანის ზემოქმედების შედეგად C_{k1} , t_1 და v_1 -ის შემთხვევაში, შეიძლება განისაზღვროს გაანგარიშებით.

საინტერესოა იმის გარკვევა, თუ როგორ გავლენას ახდენს დეტალის ცვეთაზე ის ფაქტორები, რომლებზეც დამოკიდებულია ერთი ნაწილაკის მასა. ამ ფაქტორებს მიეკუთვნება ნაწილაკის მოცულობა q და ნატანის კუთრი წონა γ_N . ამიტომ თუ გავითვალისწინებთ წყლის კუთრი წონის მნიშვნელობას, მივიღებთ

$$\mathbf{m} = \mathbf{q} \frac{(\gamma_N - 1)}{\mathbf{g}} \quad (3.9)$$

სადაც \mathbf{g} არის სიმძიმის ძალის აჩქარება.

დავუბრუნდეთ ფორმულა (3.6)-ს და შევადაროთ ერთმანეთს ერთნაირი დეტალების ცვეთის სიდიდეები, სხვადასხვა ჰიდრონარევის ზემოქმედებისას. თუ ჩავთვლით, რომ C_k , v და t ერთნაირია ორივე შემთხვევაში, მაშინ გვექნება: $\rho_0 = k_0 m_0 C_k v^3 t$ და $\rho_1 = k_1 m_1 C_k v^3 t$.

ამგვარად,

$$\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{\mathbf{k}_1 \mathbf{m}_1}{\mathbf{k}_0 \mathbf{m}_0} \quad (3.10)$$

და (3.26)-ის გათვალისწინების შემდეგ გვექნება:

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{\mathbf{k}_1 \mathbf{q}_1 (\gamma_{N1} - 1)}{\mathbf{k}_0 \mathbf{q}_0 (\gamma_{N0} - 1)} \quad (3.11)$$

თუ ნაწილაკების ფორმა ერთნაირია, მაშინ

$$\frac{\mathbf{q}_1}{\mathbf{q}_0} = \left(\frac{\mathbf{d}_1}{\mathbf{d}_0} \right)^3 \quad (3.12)$$

სადაც \mathbf{d} არის ნაწილაკების დამახასიათებელი წრფივი ზომა.

ამ შემთხვევაში

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{\mathbf{k}_1 \left(\frac{\mathbf{d}_1}{\mathbf{d}_0} \right)^3 (\gamma_{N1} - 1)}{\mathbf{k}_0 (\gamma_{N0} - 1)} \quad (3.13)$$

გამოსახულება (3.13)-ში შედის კოეფიციენტები \mathbf{k}_0 და \mathbf{k}_1 , რომლებიც დამოკიდებულნი არიან ნატანის თვისებებზე (სისალე, სიმსხო, კუთრი წონა). აღნიშნულთან დაკავშირებით შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთისას იკვეთება შემდეგი ძირითადი კანონზომიერებანი:

1. ტურბინის დეტალის ცვეთა პირდაპირპროპორციულია ჰიდრონარევის დეტალზე ზემოქმედების დროის, ნარევი აბრაზიული ნაწილაკების კონცენტრაციის და ნარევის ფარდობითი სიჩქარის კუბის;

2. ტურბინის დეტალის ცვეთა იზრდება ნაწილაკების სიმსხოს, კუთრი წონის და სისალის გაზრდისას;

3. ტურბინის დეტალის ცვეთა დამოკიდებულია ნაწილაკის ფორმაზე, დეტალის ზომებზე და ფორმაზე და დეტალის მასალის ცვეთამედეგობაზე.

2 და 3 პუნქტებში აღნიშნული ფაქტორების გავლენა ტურბინის ცვეთაზე, შესაძლებელია დადგინდეს მხოლოდ სპეციალური ექსპერიმენტალური გამოკვლევების შედეგად, რასაც ყველაზე უფრო შეესაბამება გამოკვლევები ნატურაში, მოქმედი ჰესების ტურბინებზე. ამ დროს საქმე გვაქვს მდინარის ფაქტობრივ ნატანთან და რეალური პროფილების და ზომების მქონე ტურბინების დეტალებთან. ასეთი გამოკვლევებისას, შესაძლებელია კავიტაციური მოვლენების გავლენის შესწავლაც.

აღსანიშნავია, რომ ტურბინისათვის რეალურ საშიშროებას წარმოადგენს მდინარეში არსებული არა ყველა შეწონილი ნატანი, არამედ მხოლოდ მისი ის ნაწილაკები რომელთა სისაღე აჭარბებს ტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების მასალების სისაღეს. ეს უკანასკნელი, როგორც წესი, მზადდება ნახშირბადოვანი ფოლადისაგან რომელთა სისაღე (მოოსის სკალით) ტოლია $5,0 \div 5,5$ ექსპერიმენტული მონაცემები გვიჩვენებენ, რომ უფრო ნაკლები სისაღის მქონე მინერალების მარცვლებს, გააჩნიათ გაცილებით ნაკლები აბრაზიულუნარიობა და შესაძლებელია მათი უგულვებელყოფა. ამგვარად, მდინარის შეწონილი ნატანიდან გასათვალისწინებელია მხოლოდ ის ნაწილაკები, რომელთა სისაღე მეტია 5-ზე (მოოსის სკალით).

3.2 ჰიდროაგრეგატის ცვეთის ხარისხის მაჩვენებელი და ჰიდროტურბინის მუშაობის საანგარიშო ვადა

ჰესებისათვის ტურბინების პროექტირებისას, საჭიროა შეფასდეს მდინარეში შეწონილი ნატანის აბრაზიულუნარიანობა და შესრულდეს ჰიდროტურბინებისათვის ამ ნატანის საშიშროების დონის პროგნოზი. ეს შესაძლებელია განხორციელდეს მთლიანად ჰიდროტურბინისათვის და აგრეთვე მისი გამდინარე ნაწილის ცალკეული კვანძებისა და დეტალებისათვის.

ასეთი პროგნოზის შედეგად შესაძლებელია გადაწყდეს საკითხი: საჭიროა თუ არა გარკვეული ღონისძიებები ტურბინების ინტენსიური ჰიდროაბრაზიული ცვეთის პრევენციისათვის და აუცილებლობის შემთხვევაში დაისახოს გარკვეული ღონისძიებები.

დასაპროექტებელი ჰესის ტურბინის ცვეთის პროგნოზი კეთდება იმ მონაცემების მიხედვით, რომლებიც მიიღება მდინარის ნატანის რეჟიმის შესწავლის შედეგად და აგრეთვე იმ მონაცემებით, რომლებიც უკვე არსებობს მსგავსი პარამეტრების (დაწნევა და ნატანის შემადგენლობა) მქონე მოქმედი ჰესების ტურბინების ცვეთაზე. მოქმედი და დასაპროექტებელი ჰესების ნატანის აბრაზიული თვისებების შედარებით, კეთდება დასახული პროგნოზი.

ნატანის აბრაზიისუნარიანობის მიახლოებითი რაოდენობრივი შეფასება შესაძლებელია ზემოთ მოყვანილი მოსაზრებებით და დამოკიდებულებებით, თუ ცალკეულ ფაქტორებს დავიყვანთ ერთ, გარკვეულ ექვივალენტამდე. ამ დროს მოცემული შემადგენლობის და საშუალოწლიური კონცენტრაციის მქონე ნატანის ცვეთისუნარიანობის შეფასება მიზანშეწონილია ექვივალენტური აბრაზიული თვისებების მქონე, 0,5 მმ დიამეტრის კვარცის ნაწილაკების ზემოქმედებით ტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალებზე 8760 საათის განმავლობაში (ერთი წელიწადი). ეს კონცენტრაციაა, რომელსაც ეწოდება ნატანის დაყვანილ კონცენტრაციას (C_{kN}), შეიძლება გამოვიანგარიშოთ შემდეგი ფორმულით:

$$C_{kN} = k_T \sum_1^n \sum_1^m k_d k_\phi k_M C_{kMi} \quad (3.14)$$

სადაც C_{Mi} - არის გარკვეული მინერალის საშუალოწლიური კონცენტრაცია, ნატანის გარკვეულ ფრაქციაში. გ/ლ;

k_d, k_ϕ, k_M - არის დაყვანის კოეფიციენტები, რომლებიც ითვალისწინებენ ტურბინის ცვეთაზე შესაბამისად ფრაქციის საშუალო დიამეტრის, ნაწილაკების ფორმის და მინერალის აბრაზიულ თვისებების გავლენას;

n და m - შესაბამისად ფრაქციების და მყარი მინერალების რაოდენობა ნატანში;

$$k_T = \frac{T}{8760} - \text{კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჰიდროაგრეგატის}$$

გამოყენების ხანგრძლივობას წელიწადის განმავლობაში;

T - ჰიდროაგრეგატის აქტიური დატვირთვის ქვეშ მუშაობის საათების რაოდენობა წელიწადის განმავლობაში.

(3.14) ფორმულაში შემავალი k_d, k_ϕ, k_M კოეფიციენტების მნიშვნელობები დამოკიდებულია ნატანის მექანიკურ და მინერალოგიურ შემადგენლობაზე და ნატანის შემადგენლობაში შემავალი მყარი მინერალების პრევალირებულ ფორმაზე. ამიტომ ფორმულა (3.14)-დან C_{kMi} - ის განსაზღვრისათვის, ნატანი უნდა დაიყოს ფრაქციებად, თითოეულ ფრაქციაში უნდა განისაზღვროს მინერალური შემადგენლობა და ნაწილაკების ფორმა. ამ კვლევის შედეგად განისაზღვრება k_d, k_ϕ, k_M კოეფიციენტები, რის შემდეგაც თითოეული მინერალისათვის, ფრაქციის დიაპაზონში, უნდა გამოითვალოს ნამრავლი $k_d k_\phi k_M C_M$. მიღებული მნიშვნელობები ჯამდება ჯერ ყველა n ფრაქციისათვის, ხოლო შემდეგ ყველა m გამოვლენილი მყარი მინერალისათვის.

k_M და k_ϕ კოეფიციენტების დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ ლაბორატორიული გზით. ამიტომ, პრაქტიკული გამოცდილებიდან

გამომდინარე, ნატანის ნაწილაკებისათვის, რომელთა სისაღე მოოსის სკალის მიხედვით მეტია ხუთზე, შეიძლება ჩაითვალოს, რომ $k_M = k_\phi = 1$

ნატანის სიმსხოს k_d კოეფიციენტის ნაწილაკების d დიამეტრზე დამოკიდებულების $k_d = f(d)$. $d < 0,01$ მმ ფრაქციებისათვის, k_d კოეფიციენტის მნიშვნელობა იმდენად მცირეა, რომ უმეტეს შემთხვევებში, შესაძლებელია ამ ფრაქციების ცვეთაუნარიანობის უგულველყოფა.

ტურბინის ცალკეული კვანძების და ნაწილების ცვეთის პროგნოზირება, როგორც ზემოთ მითითებულ შემთხვევაში, უნდა მოხდეს დასაპროექტებელ და არსებულ ჰესებზე ნატანის აბრაზიულუნარობის შედარების გზით. ამ დროს ნატანის დაყვანილი კონცენტრაციის მნიშვნელობა უნდა განისაზღვროს, ტურბინის გამდინარე ნაწილში ნაკადის ფარდობითი სიჩქარის გათვალისწინებით, რისთვისაც უნდა გამოვიყენოთ შემდეგი ფორმულა:

$$C_{kD} = k_w k_T \sum_1^n \sum_1^m k_D k_\phi k_M C_{kMi} \quad (3.15)$$

სადაც $k_w = \left(\frac{w}{10}\right)^3$ არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნაკადის

ფარდობით სიჩქარეს ტურბინის გამდინარე ნაწილში;

w - ნაკადის გარსდენის ფარდობითი სიჩქარე, ტურბინის გამოსაკვლევ ნაწილში.

დანარჩენი აღნიშვნები ემთხვევა ფორმულა (3.14)-ის აღნიშვნებს. ამგვარად ფორმულა (3.15), განსხვავდება ფორმულა (3.14)-დან მხოლოდ k_w კოეფიციენტის არსებობით.

გავარკვიოთ თუ როგორ უნდა განისაზღვროს გარსდენის სიჩქარე w და შესაბამისად კოეფიციენტი k_w ტურბინის ისეთი ძირითადი ნაწილებისათვის როგორებიცაა მუშა თვალი, მიმმართველი აპარატი და ტურბინის ხუფი, ფუნდამენტის რგოლი და გამწოვი მილის ყელი.

როგორც გვიჩვენებს ჰესების ექსპლუატაციის პრაქტიკა, რეაქტიული ჰიდროტურბინების ყველაზე მნიშვნელოვნად ცვეთადი ნაწილი, რომლის მდგომარეობა განსაზღვრავს ჰიდროაგრეგატის ენერგეტიკულ მახასიათებლებს (მ.ქ.კ., გაცემული სიმძლავრე), არის მუშა თვალი, რომელსაც ნატანით ყველაზე მეტად ეცვითება ფრთების გამოსავლელი ნაწიბური და ქვედა ფერსო [2,3,13,19]. ამიტომ მუშა თვალისთვის w წარმოადგენს ნაკადის ფარდობით სიჩქარეს მისი ფრთების ბოლოში

$$w_2 = k_{w_2} \sqrt{2gH_{ტურ}} \quad (3.16)$$

სადაც k_{w_2} არის სიჩქარის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მუშა თვალის ტიპზე, ე.ი. ტურბინის სწრაფმავლობის n_s კოეფიციენტზე;

$H_{ტურ}$ - ტურბინის მუშა დაწნევა.

სიჩქარე w_2 აგრეთვე შეიძლება განისაზღვროს სიჩქარეთა სამკუთხედიდან მუშა თვალის გამოსავლელზე. თუ გვაქვს მუშა თვალიდან ნაკადის ნორმალური გამოსვლა, მაშინ

$$W_2 = \sqrt{u_2^2 + v_2^2} \quad (3.17)$$

სადაც $u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}$ არის წრიული სიჩქარე;

v_2 - ნაკადის მუშა თვალიდან გამოსვლის სიჩქარე, თანაც, როგორც წესი, $(1,05 \div 1,20)v_3$;

$$v_2 = (1,05 \div 1,20)v_3 ;$$

v_3 - ნაკადის გამწოვ მილში შესვლის სიჩქარე.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთა ძირითადად ხდება წყალმოვარდნების დროს [13,20], როდესაც ჰესების ჰიდროაგრეგატები მუშაობენ ნომინალური სიმძლავრით (ნატურული მონაცემების თანახმად, ამ დროს ჰესის ტურბინაში გადის ნატანის წლიური

ჩამონადენის 80-90%), ამიტომ პრაქტიკულად დასაშვებია, რომ სიჩქარეები u_2 და u_3 განისაზღვროს ტურბინაში წყლის მაქსიმალური ხარჯის გატარებისას.

ტურბინის ხუფისათვის და მიმმართველი აპარატის დეტალებისათვის (ქვედა რგოლი, მიმმართველი ნიჩბები, პოჭოჭიკის მილისები, მიმმართველი აპარატის ზედა საკისრების კორპუსები), გარსდენის სიჩქარე w , შესაძლებელია გავუტოლოთ მიმმართველ აპარატში ნაკადის აბსოლუტურ სიჩქარეს:

$$w_{\text{მს}} = \frac{Q}{a_{0\text{max}} b_0 z_0} \quad (3.18)$$

სადაც Q არის ტურბინაში გამავალი წყლის ხარჯი, ნომინალური სიმძლავრის დროს;

$a_{0\text{max}}$ - მიმმართველი აპარატის ნიჩბების მაქსიმალური გაღება;

b_0 - მიმმართველი აპარატის სიმაღლე;

z_0 - მიმმართველი ნიჩბების რიცხვი.

და ბოლოს, ფუნდამენტის რგოლის და გამწოვი მილის ყელისათვის, გარსდენის ფარდობითი სიჩქარე w , შეიძლება გავუტოლოთ გამწოვ მილში ნაკადის შესვლის სიჩქარეს

$$u_3 = k_{v_3} \sqrt{2gH_{\text{გურ}}} \quad (3.19)$$

სადაც k_{v_3} არის სიჩქარის კოეფიციენტი.

თუ გამწოვი მილის შესასვლელი კვეთის ფართი არის ω_3 , მაშინ

$$u_3 = \frac{Q}{\omega_3} \quad (3.20)$$

ნატურული მონაცემების საფუძველზე, დადგენილია ნატანის ზღვრული (მაქსიმალური დასაშვები) საშუალო მრავალწლიური დაყვანილი C_{KD} კონცენტრაციები [1], პირობისათვის, რომ ტურბინის ცალკეული

ნაწილები დამზადებული ნახშირბადოვანი ფოლადისაგან, ექსპლუატაციაში იმყოფება ერთი ან ორი წლის განმავლობაში კაპიტალური რემონტის გარეშე. ამ კოეფიციენტების სიდიდეები მოყვანილია ცხრილ 1-ში.

ნატანის დაყვანილი C_{kd} (გ/ლ) კონცენტრაციის მნიშვნელობების დამოკიდებულება ტურბინების რემონტთაშორის პერიოდზე

ცხრილი 1

N	ტურბინის კვანძის დასახელება	კაპიტალური რემონტი			
		ერთხელ წელიწადში	ორ	ერთხელ წელიწადში	ერთ
1	მუშა თვალი	0,75-0,90		1,50-1,80	
2	მიმმართველი აპარატის დეტალები და ტურბინის ხუფი	0,20-0,25		0,40-0,50	
3	ფუნდამენტის რგოლი და გამწოვი მილის ყელი	0,025-0,03		0,05-0,06	

ეს მონაცემები შეიძლება გამოვიყენოთ ნატანის რეჟიმის საშიშროების ხარისხის საორიენტაციო შეფასებისათვის, დასაპროექტებელი ჰესების ფრენისის ტიპის ტურბინების ამა თუ იმ კვანძებისათვის.

3.3 ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობის შეფასება მისი მ.ქ.კ.-ის კლების მიხედვით

იმ შემთხვევაში თუ რაიმე მიზეზით ვერ განხორციელდა ჰიდროაგრეგატის მ.ქ.კ.-ს კლების პროცესზე სისტემატიური პერიოდული დაკვირვებები, საჭირო ხდება ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილების

დეტალების აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობის მახასიათებლის მიახლოებითი განსაზღვრის საკითხი.

ჰიდროაგრეგატის რემონტისა და ცვეთისადმი მიძღვნილი ლიტერატურის [7,12,13] ანალიზმა გვიჩვენა, რომ იმ მრავალი ფაქტორიდან, რომლებიც ზემოქმედებას ახდენს ჰიდროტურბინის აბრაზიულ ცვეთაზე, დროის მოცემული მონაკვეთისათვის ძირითადად უნდა ჩაითვალოს: 1) ტურბინაში გამავალი წყლის მყარი ჩამონადენის მახასიათებელი; 2) დანადგარის მოქმედი დაწნევა; 3) წყლის მოძრაობის სიჩქარე ჰიდროტურბინის გამდინარე ტრაქტში; 4) ტურბინის გამდინარე ნაწილის მასალის მექანიკური მახასიათებლები; 5) ტურბინის ტიპი.

წყლის ნაკადის ჰიდროლოგიური მახასიათებლიდან ჰიდროტურბინების ცვეთა განპირობებულია, როგორც სითხის მოცულობის ერთეულში ნატანის პროცენტული შემადგენლობით, ასევე მისი გრანულომეტრიული და მინერალოგიური შემადგენლობით. ჰესების ექსპლუატაციის გამოცდილება ადასტურებს იმ ფაქტს, რომ ჰიდროტურბინაში აბრაზიული ცვეთის პროცესი უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს მოქმედი დაწნევის მაღალი მნიშვნელობის დროს. იგივე შეიძლება ითქვას ტურბინის გამდინარე ტრაქტში განვითარებული სიჩქარის შესახებაც.

რაც შეეხება მასალების მექანიკურ მახასიათებლებს, ცხადია, რომ რაც უფრო მეტი სისალე გააჩნია ტურბინის დეტალებს მით უფრო ნაკლებია მათი აბრაზიული ცვეთა.

გამდინარე ნაწილის დეტალების ცვეთა დამოკიდებულია აგრეთვე ტურბინების ტიპსა და კონსტრუქციაზე, თუ ტურბინები ერთი ტიპისაა, მაშინ მუშა თვლის ზომებზე, მაგრამ მაინც შედარებით ნაკლებად, ვიდრე ზემოთ ჩამოთვლილ ფაქტორებზე. დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ მსგავსი ტურბინების შემთხვევაში ცვეთის პროცესი მცირე ტურბინებისათვის უფრო ინტენსიურია, ვიდრე დიდი ტურბინებისათვის. ეს მოვლენა ანალოგიურია

ჰიდროტურბინის მ.კ.კ. მამტაბური ეფექტის მცნებისა და მას შეიძლება ცვეთის მამტაბური ეფექტი ეწოდოს. იგი შეიძლება დახასიათდეს მუშა თვლის D_1 დიამეტრით.

ზემოთ თქმული საშუალებას გვაძლევს აბრაზიული ცვეთის შედეგად წარმოვადგინოთ ჰიდროტურბინის სიმძლავრის N_0 -ის კლება T_0 დროის განმავლობაში ΔN როგორც მრავალგანზომილებიანი სივრცული დროითი ფუნქციის სახით:

$$\Delta N = F(\gamma_0, d_0, R_{6\text{მს}}, \nu_0, R_{3\text{მს}}, D_1, T), \quad (3.21)$$

სადაც, $R_{3\text{მს}}$ არის ტურბინის გამდინარე ნაწილი ლითონის სისალე;

D_1 - ტურბინის მუშა თვლის დიამეტრი;

γ_0 - სითხის მოცულობის ერთეულში ნატანის წონითი შემადგენლობა;

d_0 - ნატანის საშუალო სიძსხო, ცალკეული ფრაქციების პროცენტების მიხედვით;

$R_{6\text{მს}}$ - ნატანის საშუალოშეწონილი სისალე, დიამეტრის ფრაქციაში მინერალების პროცენტული შემადგენლობის მიხედვით;

ν_0 - Q_0 და H_0 -ის შესაბამისი, მუშა თვლის არეში ნაკადის შესვლის სიჩქარე;

ჩავთვალოთ ძირითად დამოკიდებულ სიდიდეებად γ_0, d_0, ν_0 , მაშინ (3.21) ფუნქცია π თეორემის თანახმად, შეიძლება ჩაიწეროს უგანზომილებო სახით და ზემოთმოყვანილი შენიშვნების გათვალისწინებით მივიღებთ ფორმულას [7]:

$$\Delta N = \frac{2kbT}{RD^\alpha} \quad (3.22)$$

k არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჰიდროტურბინის კონსტრუქციულ თავისებურებას (ერთი ტიპის ტურბინების $k=1$)

$$b = 1,8H_0\nu_0^2\gamma_0d_0 \quad (3.23)$$

$R_0 = R_{\text{მბს}}/R_{\text{გმბს}}$ - ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის მასალის ფარდობითი სისაღე ნატანის სისაღესთან შედარებით:

$$R_0 = \frac{\sum_{i=1}^n R_{\text{გმბს}} \cdot d_{v_0}}{\sum_{i=1}^n d_{i_0}} \quad (3.24)$$

სადაც

$$R_{\text{გმბს}} = 0,01 \sum_{i=1}^m P_{ij} R_{j,\text{გმბს}} \quad (3.25)$$

P_{ji} არის i -ური ფრაქციის შესაბამისი, $R_{j,\text{გმბს}}$ სისაღის მქონე ნატანის მასალის პროცენტული შემცველობა;

$D = D_1/d_0$ - ტურბინის მუშა თვლის ფარდობითი დიამეტრი;

α - აბრაზიული ცვეთის მასშტაბური ეფექტის ხარისხის მაჩვენებელი ;

რომელიც შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით [7]:

$$\alpha = 0,724 - 0,133D_1 \quad (3.26)$$

თუ (3.21) და (3.22)-ში μ_0 -ს შევცვლით μ_1 -ით ჰიდროაგრეგატის მ.ქ.კ.-ს კლების სიჩქარე მახასიათებელი N_0 -სთვის T_0 დროში. (3.22)-ს საფუძველზე დაიწეროს იგივეობა $T = T_0$ - სთვის:

$$\frac{2kbT}{RD^\alpha} = \frac{N_0\mu_0T_0}{\eta_1 - \frac{\mu_1T_0}{2}} \quad (3.27)$$

სადაც ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის ფარდობითი კლების სიჩქარე:

$$\mu_0 = \frac{2kb\eta_1}{N_0RD^\alpha + kbT_0} \quad (3.28)$$

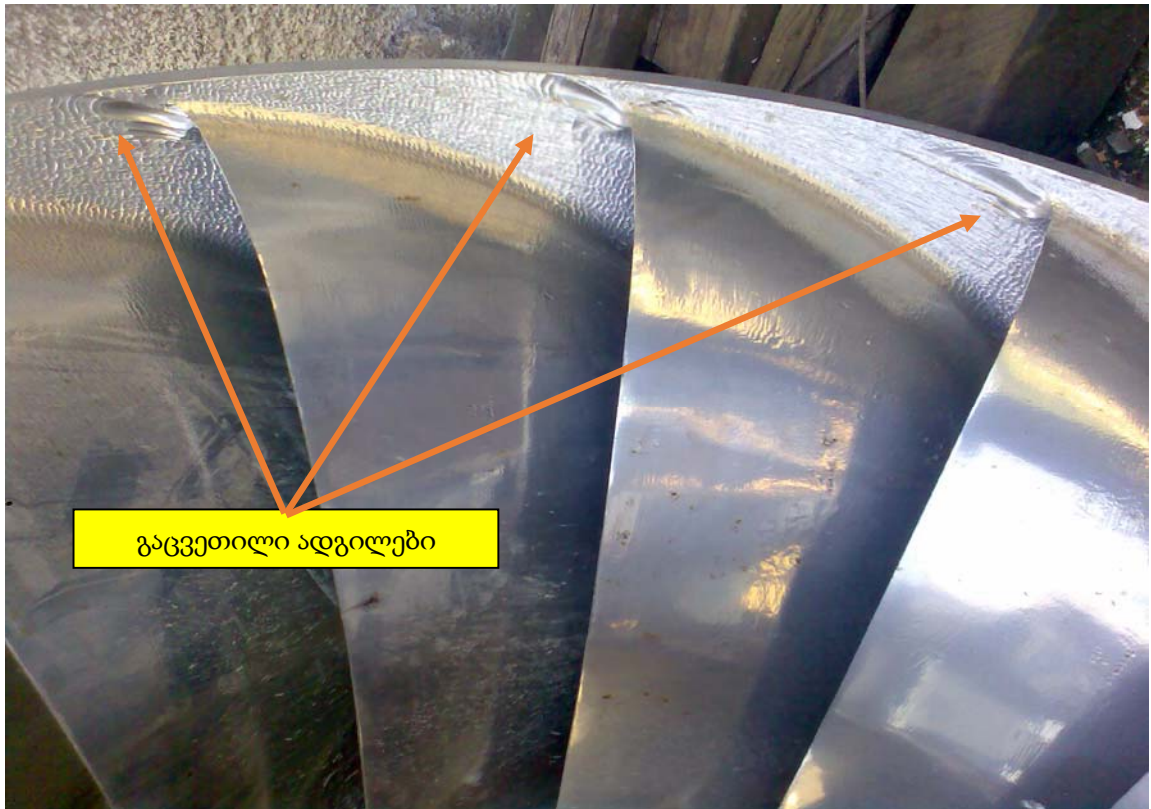
k კოეფიციენტის მსგავსად, ხარისხის მაჩვენებელი α განსხვავებულია სხვადასხვა ტიპის ტურბინებისათვის. რიონჰესისათვის $D_1 = 1,75$ მ, მაშინ $\alpha = 0.491$.

ცნობილია, რომ რიონჰესის ტურბინებში გამავალი წყალი არცთუ მცირე რაოდენობით შეიცავს მყარ ნატანს, რაც ხელს უწყობს ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების ინტენსიურ აბრაზიულ ცვეთას. აღნიშნულს ადასტურებს სურ. 1-ზე მოყვანილი რიონჰესის ფრენისის ჰიდროტურბინის მუშა თვალი, რომელზეც მკაფიოდ არის აღბეჭდილი ჰიდროაბრაზიული ცვეთის კვალი.

R_{68s} - ს განსაზღვრისთვის ცხრილში 2 მოყვანილია ვ.დულნევის [8] მიერ მოცემული ნატანის ნაწილაკებისა და მინერალების გრანულომეტრიული და მინერალოგიური მახასიათებლები რიონჰესის ტურბინაში გამავალი წყლის ნაკადისათვის.

ცხრილი 2

მინერალი	სისაღე მოოსის მიხედვით	d_i , ნატანის ფრაქციები, მმ			
		0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-0,5
		0,03	0,075	0,175	0,375
კვარცი	7	18,7	22,1	27,5	25,5
ქარსი	6	31,0	35,4	29,9	14,7
მინდვრის შპატი	5,5	15,7	18,8	13,3	29,7
სხვა დანარჩენი	3	34,6	23,7	29,3	30,1
სულ %		100	100	100	100



სურ. 1 აბრაზიულ ცვეთას დაქვემდებარებული რიონჰესის ჰიდროტურბინის მუშა თვალი

(3.25) ფორმულის თანახმად სისალის საშუალო შეწონილი მნიშვნელობები $d_i = 0.003, 0.007, 0.175, 0.375$ მმ ფრაქციების შესაბამისად იქნება $R_{63,5} = 5.07; 5.42; 5.33; 5.2$ საიდანაც (3.24) ს მიხედვით $R_{h_0} = 5.25$. თუ (3.28)- ე ფორმულაში ჩავსვამთ შესაბამის სიდიდეებს რიონჰესისათვის: $k=1, N_0=9520$ კვტ: $\eta_1=0,835; \gamma_0 = 0,85 \frac{\text{პბ}}{\text{გ}^3}; d_0 = 0,16 \text{ სმ} = 0,0162 \text{ მ}.$
 $\nu_0 = 5,86 \frac{\text{მ}^2}{\text{წმ}}$ მაშინ $b=0.517 T_0 = 8760 \text{ სთ} \mu_0 = 0,123 \cdot 10^{-5}$ ხოლო $\Delta\eta = T_0 = 0.011.$

ე.ი. ამ პირობების მიხედვით, რიონჰესის ტურბინის მ.ქ.კ ყოველწლიურად დაიკლებს 1,1 %- ით.

ამრიგად, ჰიდროტურბინაში გამავალი ნაკადის ცნობილი ჰიდროლოგიური მახასიათებლებით და ჰიდროაგრეგატის საპროექტო-საექსპლუატაციომონაცემების საფუძველზე, შესაძლებელია η -ის კლების სიჩქარის განსაზღვრა და შესაბამისად მ.ქ.კ-ს შემცირების დადგენა ტურბინის გამდინარე ნაწილის აბრაზიული ცვეთის გათვალისწინებით დროის კონკრეტულ T ინტერვალისათვის

$$\Delta\eta_{ტურ} = \eta_1 - \eta \quad (3.29)$$

თუ პარალელურად ვაწარმოებთ დაკვირვებებს დროის განმავლობაში გენერატორის მ.ქ.კ.-ის ცვალებადობაზე, მაშინ :

$$\Delta\eta_g = \mu_1 T \quad (3.30)$$

განვიხილოთ რა ჰიდროაგრეგატის ცვეთის ინტენსივობის სიჩქარე, ახლა შესაძლებელია მისი ხანგრძლივობის ანუ მისი მუშაობის პერიოდის განსაზღვრა.

ჰიდრომანქანის დროში სრული ფიზიკური ცვეთის ფუნქციის სამი მახასიათებელი უბნიდან, საწყისი და ბოლო პერიოდი შედარებით მოკლეა, ვიდრე საშუალო- ხანგრძლივი-ნორმალური მუშაობის პერიოდი. ის გამოირჩევა სიგლუვით, ცვეთის სტაბილური ინტენსივობით და პრაქტიკულად განსაზღვრავს მანქანის მუშაობის მთელ ვადას სარემონტო აღდგენითი სამუშაოს ჩატარების გარეშე.

ჰიდროაგრეგატის მუშაობის ვადის საანგარიშო ფორმულა ჰიდროტურბინის ფიზიკური ცვეთის მიხედვით ასე გამოისახება [7]:

$$T_{ა.გ.} = \frac{T_0}{1 - \zeta} \quad (3.31)$$

რაც შეესაბამება მ.ქ.კ-ს კლების ზღვარს, როცა მახასიათებელი სიმძლავრე N_0 დაეცემა ნულამდე, შემდეგი კანონით

$$N = N_1 - kT \quad (3.32)$$

სადაც N_1 არის ჰიდროაგრეგატის თავდაპირველი მახასიათებელი სიმძლავრე η_1 მ.ქ.კ-ს დროს, ჰიდროტურბინის ცვეთის პროცესის დაწყებამდე:

$$N_1 = \frac{2N_0}{1+\zeta} \quad (3.33)$$

k – ჰიდროტურბინის ცვეთის შედეგად ჰიდროაგრეგატის მახასიათებელი სიმძლავრის წრფივი ფუნქციის კუთხური კოეფიციენტი:

$$k = \frac{2N_0}{T_0} \cdot \frac{1-\zeta}{1+\zeta} \quad (3.34)$$

ხანგამძლეობის გამოსახულებას ექნება სახე:

$$T_{\text{ა.გ}} = \frac{1}{1-\zeta} \quad (3.35)$$

ამ პარამეტრს დიდი მნიშვნელობა აქვს ჰიდროაგრეგატის რემონტთა რიცხვის რაციონალური დაგეგმვისათვის და აგრეთვე ჰიდროაგრეგატის ექსპლუატაციის ხარჯების სწორად განსაზღვრისათვის

შესაძლებელია ენერგიის გამომუშავების დადგენაც:

$$\exists = (N_1 - 0,5kT)T \quad (3.36)$$

სადაც $\exists = N_1T$ – უცვეთი ჰიდროტურბინის შესაძლო ენერგო გამომუშავება, კვტ.სთ.

$\Delta \exists = 0,5kT^2$ – ჰიდროტურბინის ცვეთის შედეგად დაკარგული ენერგიის რაოდენობა, კვტ.სთ. მაგ. რიონჰესისათვის ჩვენი შეფასებით საშუალო წლიური დანაკარგები თითოეულ აგრეგატზე შეადგენს $2,5 \cdot 10^6$ კვტ.სთ. ე.ი. 3.2 % - \exists_0 - საგან.

ეს გაანგარიშება აჩვენებს, რომ აუცილებელია სხვადასხვა სიმძლავრის და ტიპის ტურბინების ცვეთის სიჩქარის მუდმივი კონტროლი ვინაიდან ამ პარამეტრის დადგენის გარეშე შეუძლებელია ჰიდროელექტროსადგურების ეფექტური ფუნქციონირება.

თავი 4. ჰიდროტურბინების ექსპლუატაცია აბრაზიული ცვეთის გათვალისწინებით და რემონტთაშორისი ოპტიმალური ვადების განსაზღვრა ფაქტობრივ მონაცემებზე დაყრდნობით

4.1 ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის საწინააღმდეგო ღონისძიებები

ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის წინააღმდეგ ბრძოლის ღონისძიებების დასახვა ძალიან რთულია, რაც განპირობებულია საკითხის შესწავლის სირთულით. სამთო მდინრეებზე განლაგებული ჰესების ჰიდროტურბინები მუდმივად განიცდის ნატანით ცვეთას, რის შედეგადაც ეცემა მ.ქ.კ. და სიმძლავრისა და გამომუშავების მნიშვნელოვან კარგვას აქვს ადგილი.

ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის წინააღმდეგ ბრძოლის ერთ-ერთი საშუალებაა ძვირადღირებული სალექრების მოწყობა, მაგარამ ეს ღონისძიება არასაკმარისად ეფექტურია, ვინაიდან ჰიდროტურბინების ცვეთა ამა თუ იმ ხარისხით შეინიშნება ისეთ ჰესებზეც, რომელთაც კარგი სალექარები გააჩნიათ.

ერთ-ერთი რთული პრობლემა, რომელიც თავს იჩენს ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის კვლევისას, არის ნაკადის საანგარიშო სიმღვრივის შერჩევა და იმ ზომის დადგენა თუ რა დოზით საჭიროებს მდინარის წყალი ნატანისაგან გაწმენდას. როგორც ცნობილია, გამწმენდი ნაგებობებისა და გამრეცხი მოწყობილობების მუშაობის პირობისა და მათი ზომების დადგენისას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ნაკადის მაქსიმალურ სიმღვრივეს წყალმოვარდნის პიკის დროს, ხოლო ტურბინების მუშაობისათვის უმნიშვნელოვანესია ჰესის მიერ გატარებული წლიური მყარი ჩამონადენის სიდიდე. ეს უკანასკნელი იმით აიხსნება, რომ წყალმოვარდნის

პიკების ხანგრძლივობა დიდი არ არის (როგორც წესი, რამოდენიმე ათეული საათი), ხოლო ჰიდროტურბინების ცვეთა და მათი მ.ქ.კ-ს ვარდნა საკმაოდ ნელა მიმდინარეობს. ამიტომაც ეს მოვლენა თავს იჩენს ტურბინის მღვრიე წყლით მუშაობის საკმაოდ დროის გასვლის შემდეგ (როგორც წესი წყლმოვარდნის პერიოდის ბოლოს). ამიტომ ძალიან მნიშვნელოვანია მდინარის წყლის საშუალო წლიური სიმღვრივის დადგენა.

რაც შეეხება მდინარის წყლის ნატანისაგან გაწმენდის საკითხს, მიჩნეულია, რომ ტურბინისათვის სახიფათოა 0.25-0.4 მმ-ზე უფრო მსხვილი ნაწილაკები. როგორც ჰიდროტურბინების ექსპლუატაციის პრაქტიკა გვიჩვენებს აბრაზიული თვისებებით ხასიათდება უფრო წვრილი ფრაქციის ნაწილაკები. ამასთან ერთად მნიშვნელოვანია ნაწილაკების მინერალოგიური შენადგენლობის გათვალისწინებაც.

მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული მდინარის ნატანის დროში განაწილების უთანაბრობა. სამთო მდინარეებზე ნატანის 80- 90% მოდის გაზაფხულ–ზაფხულის წყალმოვარდნის პერიოდზე და სწორედ ამ დროს აქვს ადგილი ძირითადად ჰიდროტურბინის აბრაზიულ ცვეთას მ.ქ.კ-ს შემცირება თავს იჩენს ზაფხულის ბოლოს ან შემოდგომაზე. უნდა აღინიშნოს, რომ ეს გარემოება ყველა ჰესზე როდია გათავალისწინებული მათი ექსპლუატაციას და ჰიდროტურბინების კაპიტალური რემონტები ტარდება ზამთრისა და გაზაფხულის პერიოდში და არა წყალმცირობის დასაწყისში (შემოდგომაზე) უშუალოდ წყალმოვარდნის დაკლების დასრულების შემდეგ. ამის გამო აგრეგატები მრავალი თვის განმავლობაში ექსპლუატაციაშია დაბალი მ.ქ.კ-ით, რაც არის მიზეზი ელექტროენერჯის გამომუშავების დანაკარგისა. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ჰიდროტურბინის ცვეთის მიზეზია არა მხოლოდ ნატანის აბრაზიული ზემოქმედება, არამედ მასთან ერთად კავიტაციური ზემოქმედებაც. ამ ორი ფაქტორის ერთობლივი მოქმედება მნიშვნელოვნად აჩქარებს ჰიდროტურბინების ცვეთას და აუცილებელს ხდის კაპიტალური

რემონტების ხშირ ჩატარებას. ამიტომ სამთო ჰესებისათვის აუცილებელია მაღალკავიტაციური მახასიათებლების მქონე ტურბინების დამზადება.

იმისათვის, რომ შევიმუშაოთ ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის საწინააღმდეგო ეფექტური ღონისძიებები, აუცილებელია, იმ ძირითადი ფიზიკური ფაქტორების გამოვლენა, რაზეც არის დამოკიდებული ჰიდრომანქანების გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობა და ზომები.

სანკტ-პეტერბურგის ჰიდროტექნიკის სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებულმა ექსპერიმენტალურმა კვლევებმა [8,14] აჩვენა, რომ ასეთ ფაქტორებად შეიძლება მიჩნეულ იქნას: ა) ცვეთას დაქვემდებარებული ნიმუშისა და მასზე მოქმედი ნატანის ნაწილაკების სისაღე; ბ) ნატანით გაჯერებული წყლის ნიმუშზე მოქმედების ხანგრძლივობა და წყალში ნატანის კონცენტრაცია; გ) ნატანით გაჯერებული ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე ; დ) ნატანის მექანიკური მახასიათებლები (ნაწილაკების ფორმა და ზომები).

თითოეული ფაქტორის ზემოქმედება აბრაზიულ ცვეთაზე ასე აისახება :

1. აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობა მცირედება გამოსაცდელი ნიმუშის სისაღის მატებასთან, ხოლო მატულობს ნატანშემცველი ნაკადის ნაწილაკების სისაღის ზრდასთან ერთად.
2. ნიმუშის ცვეთის ზომები პირდაპირპროპორციულია წყლის ზემოქმედების ხანგრძლივობისა და წყალში ნატანის კონცენტრაციისა.
3. ნიმუშის ცვეთის ზომებზე გავლენას ახდენს არა მხოლოდ ნაწილაკების სიმსხო, არამედ მათი ფორმა; წამახვილებული ფორმის ნაწილაკები სამჯერ უფრო მეტი აბრაზიულობით ხასიათდებიან, მოგლუვებული ფორმის ნაწილაკებთან შედარებით.

არსებობს კიდევ რიგი ფაქტორებისა, რაც, სავარაუდოდ, გავლენას ახდენს ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილების დეტალების ცვეთაზე (მაგ.

ნატანის ხვედრითი წონა, დეტალების ფორმა და ზომები, ცენტრიდანული ძალების მოქმედება ნატანის ნაწილაკებზე და სხვა).

ამ ფაქტორების ზემოქმედების შეფასებისათვის რაოდენობრივი მონაცემები ჯერ კიდევ პრაქტიკულად არ არსებობს.

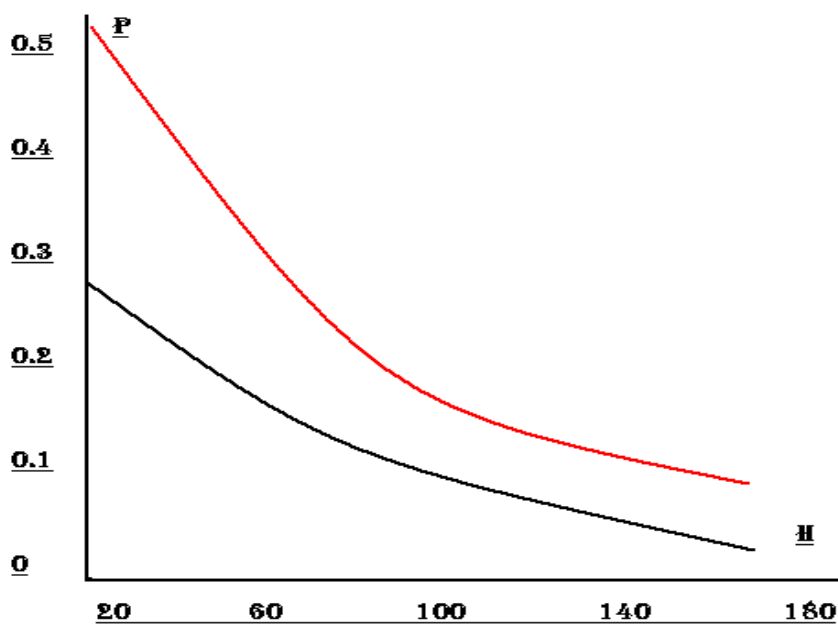
აბრაზიული ცვეთის შესასწავლად ლაბორატორიულ პირობებში, როგორც წესი შეიძლება დადგენილ იქნას სხვადასხვა ფაქტორების ზემოქმედების მხოლოდ ზოგადი კანონზომიერება და შედარებითი მახასიათებლები, რომელიც გამოსახული იქნება ფარდობით სიდიდეებში. ჰიდროტურბინების ცვეთის მახასიათებლები, გამოსახული აბსოლუტურ სიდიდეებში, რომელიც ითვალისწინებს ექსპლუატაციის პროცესში ზემოქმედების ყველა რეალურ ფაქტორს შეიძლება მიღებულ იქნას მხოლოდ ნატურალური კვლევის შედეგად.

ასეთი კვლევები განხორციელდა ზაჰესზე, რიონჰესზე (საქართველო), კანაკერჰესზე, ძორაგეთჰესზე, ორჯონიკიძის ჰესზე, ბაქსანის ჰესზე [2,4,7,12] საექსპლუატაციო პერსონალის ძალებით. ამ პერიოდში სისტემატური დაკვირვების ქვეშ იყო ნატანის რეჟიმი და ტურბინების ცვეთა. ამ დაკვირვებით მიიღეს მასალები ჰიდროტურბინების მუშაობასა და მათი ცვეთის ზომების შესახებ.

დაკვირვებების მასალების დამუშავებისას მხედველობაში იღებდნენ იმ გარემოებას, რომ ნატანით ცვეთას განიცდის ის დეტალები, რომელთა მასალის სისალე 4-5.5 ფარგლებშია. აქედან გამომდინარე, ჰიდროტურბინებისათვის რეალურ საფრთხეს წარმოადგენს ის ნაწილები რომელთა სისალე 4 და მეტია.

ჰესის ტურბინებში გამავალი ნატანის ჩამონადენის მიხედვით დადგინდა კავშირი ცვეთის დასაშვებ სიდიდესა და წყალში 4-ზე მეტი სისალის მქონე ნაწილაკების საშუალო წლიურ შემცველობასა და ტურბინის წლიურ მუშაობის საათებსა და დაწნევას შორის. განისაზღვრებოდა აგრეთვე წყალში მყარი 0.05 მმ სიმახოს ქვიშის ნაწილაკების შემცველობა.

დაკვირვების მასალების დამუშავების შედეგად აგებულ იქნა დამოკიდებულება $P = f(H)$, სადაც P მყარი ნატანის საშუალო წლიური შემცველობაა. ხოლო H ტურბინის დაწნევა.



ნახ. 6 P მყარი ნატანის საშუალო წლიური შემცველობისა და H ტურბინის დაწნევის ურთიერთდამოკიდებულება

ამ გრაფიკის მიხედვით ჩანს, რომ როცა სიმკვრივე მე-2 მრუდის ქვემოთაა ამ შემთხვევაში ტურბინის ცვეთა ზომიერი იქნება და რემონტის ჩატარება შესაძლებელია ზომიერად 2 წლის ვადაში. ამ ზონას ეწოდება უსაფრთხო სიმღვრივის ზონა. 1 და 2 მრუდებს შორის ზონაში, ტურბინის ცვეთა მეტი იქნება და საჭიროა ტურბინის ყოველწლიური რემონტი. 1 მრუდის ზემოთ მდებარე ზონა არის ტურბინის ცვეთის თვალსაზრისით სახიფათო ზონა და სიმღვრივის ამ მნიშვნელობებისათვის აუცილებელია ტურბინის

გამდინარე ნაწილის დეტალების ცვეთამედეგობის უზრუნველსაყოფად სპეციალური ზომების მიღება.

ამ გრაფიკით შესაძლებელია ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის ამას თუ იმ საწინააღმდეგო ღონისძიებების განსაზღვრა, ასე, მაგალითად, წყლის ნაკადის დიდი სიმღვრივეების დროს ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიული ცვეთისაგან დაცვა შეიძლება უზრუნველყოფილი იყოს არა მარტო ძვირადღირებული სალექარით, არამედ ყველაზე უფრო გაცვეთილი დეტალების ყოველწლიური შეცვლით ან ცვეთამედეგი მასალისაგან დამზადებული დეტალების გამოყენებით.

4.2 ცვეთას დაქვემდებარებული ზედაპირების რემონტი

ცვეთას დაქვემდებარებული ჰიდროტურბინის გამდინარე ტრაქტის ზედაპირების რემონტი მდგომარეობს მათ მომზადებაში, დადუღებასა და გაწმენდაში [12,13,14].

ზედაპირის მომზადება გულისხმობს დაზიანებული უბნების ლითონის მოცილებას სხვადასხვა მეთოდით. კერძოდ, შესაძლებელია, აღნიშნული შესრულდეს ჰაერ-რკალური შედუღების საშუალებით სწორკუთხა კვეთის ნახშირის ელექტროდებით, ზომა 20×7 მმ. ასეთი ხერხი უზრუნველყოფს დასადუღებელი ზედაპირის ქვეშ გლუვი ზედაპირის შექმნას. გამდინარე ტრაქტის ელემენტების მოკეთება სრულდება ცვეთამედეგი უწყვეტი დამცავი ფენის დადუღებით. ცვეთამედეგი მასალები უნდა ხასიათდებოდეს დაღლაზე სიმტკიცის ზღვარის მაღალი მნიშვნელობით კოროზიის პირობებში. გარდა ამისა, ასეთი მასალები შედარებით იოლად უნდა ექვემდებარებოდეს დამუშავებასა და შედუღებას. ასეთი თვისებებით ხასიათდება აუსტენიტური კლასის ელექტროდებით შესრულებული დადუღება.

მუშა თვლის კამერის თხელკედლიანი მოპირკეთება ქარხნულ პირობებში, როგორც მოპირკეთება უჟანგავი ფოლადის სარტყელებით, არ იძლევა სასურველ ეფექტს, ვინაიდან ასეთი ფურცლების მოწყვეტის შემთხვევაში ისინი დამატებით მნიშვნელოვანი რღვევის მიზეზი ხდება.

დამცავი ფენის დატანის შემდეგ ზედაპირების დამუშავება ხორციელდება, როგორც წესი, ხელით საპრიალებელი მოწყობილობით. ზოგჯერ გამოიყენება ისეთი საპრიალებელი დანადგარები რომლებიც ტურბინის მუშა თვლის მილისის გარშემო მონორელსზე მოძრაობს. ასეთი მოწყობილობა მნიშვნელოვნად ამცირებს დროს და ამასთანავე, არსებითად ამაღლებს წარმოებული სამუშაოს ხარისხს, მაგრამ მისი გამოყენება შეზღუდულია მექანიზმებისათვის ძრავის მაღალი ძაბვის საჭიროების გამო, რომლის გამოყენება მაღალი ელექტრული საფრთხის პირობებში შეუძლებელია შესაბამისი დამცავი ღონისძიებების გარეშე.

არსებობს მუშა თვლის კამერის აბრაზიული ქვებით დამუშავების გამოცდილება (ენსოჭესი, იტალია) [9]. ქვები დაყენებულია კაპლანის ტურბინის მუშა თვლის პერიფერიულ ნაწიბურთან. ზედაპირის დამუშავება ხორციელდება ტურბინის ნომინალურ ბრუნთა რიცხვის პირობებში. ქვებს გააჩნია ამორტიზატორები, რომლებიც სპეციალურ ბუდეშია მოთავსებული და მიდუღებულია მუშა თვლის ნაწიბურთან და ებჯინება კამერის კედელს ცენტრალური ძალის მოქმედების გამო. მუშა თვლის ფრთების მობრუნებით, სრული გაღებიდან სრულ დაკეტვამდე ინტერვალში ხორციელდება სფერული ზედაპირის დამუშავება. გამოიყენება საშუალო სისალის ელექტროკორუნდის ტიპის ქვები. მაღალლეგირებული და უჟანგავი ფოლადების დამუშავების დასაშვები სიჩქარე 15-20 მ/წმ-ია ხოლო ხვედრითი წნევა 0,3-0,7 მპა (3-7 კგ/სმ²). ზედაპირის დამუშავების ასეთი ხერხი მნიშვნელოვნად ამცირებს სამუშაოს ხანგრძლივობას, მაგრამ მისი გამოყენება დამოკიდებულია კამერის მდგომარეობაზე, მის ფორმაზე და საშემდგომლო სამუშაოების ხარისხზე.

ტურბინის მუშა თვალზე წარმოშობილი ბზარების დამუშავება და დადუღება უნდა განხორციელდეს ქარხანა-დამამზადებლის რეკომენდირებული ტექნოლოგიის მიხედვით, ხოლო თანამედროვე დიდი სიმძლავრის ტურბინებისათვის თითოეული მათგანის მუშაობის კონკრეტული სპეციფიკიდან გამომდინარე.

ბზარების დადუღების დროს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს მუშა თვლის ფრთის თავდაპირველი ფორმის შენარჩუნებას. ამასთან ერთად, დიდი გულისყურით და ხარისხიანად უნდა შესრულდეს საშემდუღებლო სამუშაოები, რათა არ მოხდეს ლითონის ზედაპირების ადგილობრივი დაზიანება ლოკალური გადახურების შედეგად.

მუშა თვლის ფრთის ფორმისა და პროფილის კონტროლისთვის სარემონტო სამუშაოების დაწყების წინ აუცილებელია შაბლონების დამზადება. იმ შემთხვევაში, თუ მუშა თვლის ფრთის პროფილის გადახრა შაბლონიდან აჭარბებს ± 10 მმ-ს, იგი, აუცილებლად, უნდა აღმოიფხვრას, ანუ ხელმეორედ ჩატარდეს დადუღებისა და გაპრიალების პროცესი.

საზოგადოდ, აღდგენილი უბნებისა და, კერძოდ, მისი კავიტაციური მედეგობა რამდენადმე შეიძლება გაიზარდოს გულდასმით ჩატარებული გაპრიალების შედეგად. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმ ზონებს, სადაც მოსალოდნელია მაქსიმალური კავიტაციური და აბრაზიული ცვეთა. ასეთი უბნები ქარხანაში მსხვილმარცვლოვანი საპრიალებელი წრეებით დამუშავების შემდეგ უნდა გაპრიალდეს წვრილმარცვლოვანი ქვეებით და ბოლოს ბოჭკოვანი წრეებით სარკისებრ.

ახალ ჰესებზე დამონტაჟებული ჰიდროაგრეგატების მუშა თვალის კამერის დაცვის განხორციელება მიზანშეწონილია არანაკლებ 6-8 მმ ცვეთამედეგი მოკეთებით; ამ პირობებში ტურბინის მუშაობის ხანგრძლივობა გაიზრდება და, შესაბამისად, რემონტის პერიოდი შემცირდება.

ზემოაღწერილი აბრაზიული და კავიტაციური ცვეთისგან დამცავი მეთოდების გარდა იყენებენ ე.წ გამყოფი წიბოების მეთოდს. ეს წიბოები მონტაჟდება, როგორც ცვეთის კერების წინ, აგრეთვე უშუალოდ ცვეთის კერაში.

გამყოფი წიბოების ოპტიმალური დახრის სიდიდე დაცემული ნაკადის მიმართულებასთან შედარებით, აგრეთვე მისი ზომები და ფორმა თეორიულად, ჯერჯერობით, სრულად არ არის შესწავლილი. ასეთი წიბოები იცდება ნატურალურ პირობებში. ზოგიერთ შემთხვევაში, გამყოფი წიბოს გამოყენება დადებით ეფექტს იძლევა.

კოროზიას დაქვემდებარებული ლითონებისათვის კავიტაციური და აბრაზიული ზემოქმედება განსაკუთრებით საშიშია. ასეთი ლითონები გაცილებით სწრაფად განიცდის რღვევას, ვიდრე უჟანგავი ფოლადები, რომლისგანაც ამჟამად მზადდება ჰიდროტურბინების გამდინარე ტრაქტის საპასუხისმგებლო დეტალები.

4.3 ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის ცვეთამედეგობის ამაღლება

ამრიგად, ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის ცვეთა განსაზღვრავს აგრეგატის კაპიტალურ რემონტში გასვლის ვადებს, კაპიტალური რემონტის მოცულობას. მასზეა დამოკიდებული რემონტის დროს დახარჯულ მატერიალური რესურსებისა და შრომის დანახარჯების რაოდენობა. გამდინარე ნაწილის ცვეთა კავიტაციის მოქმედების ან ნატანით გახეხვის გამო არსებით გავლენას ახდენს აგრეთვე ჰიდროაგრეგატის მ.ქ.კ-ზე, ამცირებს რა წყლის რესურსების გამოყენების ეფექტურობას. ცვეთამედეგობის გაზრდის ღონისძიების სახით შეიძლება განხილულ იქნას: კავიტაციამედეგი ფოლადის გამოყენება, ლითონის ზედაპირის განმტკიცება, ჰიდროტურბინის გისოსის

კარგად გარსმდენი პროფილების შემუშავება, ნატანთან ეფექტური ბრძოლის საშუალების დანერგვა, ისეთი სარეჟიმო გრაფიკების შემუშავება, რაც გამორიცხავს მუშაობას ჰიდროტურბინის კავიტაციის გაძლიერებული ზემოქმედებით და სხვა.

ჰიდროტურბინის საიმედოობა ანუ მისი მტყუნების გარეშე მუშაობის შესაძლებლობის ზომა, მოცემული ხანგამძლეობის და რემონტის პერიოდულობის გათვალისწინებით, განპირობებულია ცალკეული კვანძების კონსტრუქციული სრულყოფით, მათი დამზადებისა და მონტაჟის ხარისხით, აგრეთვე ჰესის მოწყობილობის ექსპლუატაციის დონით. ერთეული ჰიდროაგრეგატების გაზრდის ტენდენციას მივყავართ გაანგარიშების და ჰიდროსატურბინო მოწყობილობების დამზადების არსებულ მეთოდურობასთან. ყოველივე ეს ართულებს ცალკეული კვანძების საექსპლუატაციო პირობების პროგნოზს და შეიძლება მიგვიყვანოს დროებით საექსპლუატაციო ხარისხის გაუარესებასთან.

ამიტომ, უკვე ათვისებული მოწყობილობის ექსპლუატაციის გამოცდილების ათვისება მნიშვნელოვანი ფაქტორია, რაც ხელს უწყობს ახალი მოწყობილობების საექსპლუატაციო თვისებების ამაღლებას.

თავი 5. ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის მახასიათებლების განსაზღვრა ნატურულ პირობებში

5.1 ფრენისის ჰიდროტურბინის ცვეთის ინტენსივობის განსაზღვრა

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, საქართველოს ჰესების უმრავლესობა დერივაციული ტიპის ჰიდროკვანძებია, რომელთა სათავე ნაგებობები მდინარეთა სამთო და მთისწინა უბნებზეა განლაგებული, სადაც მდინარეები მყარი ჩამონადენის, განსაკუთრებით შეწონილი ნატანის, სიუხვით ხასიათდება. მყარი ნაწილაკების მაღალი კონცენტრაციის მქონე ნაკადი ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალების ინტენსიურ ჰიდროაბრაზიულ ცვეთას იწვევს და შესაძლოა არა მხოლოდ მნიშვნელოვნად გააუარესოს დანადგარის ჰიდროენერგეტიკული მახასიათებლები, არამედ გამოიწვიოს ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის ცალკეული დეტალების ისეთი ხარისხის რღვევა, რაც შეუძლებელს გახდის მისი ექსპლუატაციას.

ტექნიკურ ლიტერატურაში [9,10,15] განხილულია აბრაზიული ცვეთის ზონები. ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ზემოქმედებით ყველაზე უფრო ინტენსიურად ცვდება მუშა თვალი და მიმმართველი აპარატი. მუშა თვალზე ცვეთას ყველაზე მეტად დაქვემდებარებულია ფრთების მუშა მხარე, ფერსოს შიდა მხარე და ლაბირინთული შემჭიდროვებები.

ცვდება მიმმართველი აპარატის ნიჩბები, ქვედა რგოლი და ტურბინის ხუფი. მიმმართველი აპარატის ნიჩბები ძირითადად ცვდება მუშა თვლისაკენ მიმართული მხრიდან. მიმმართველი აპარატის ქვედა რგოლისა და ტურბინის ხუფის ცვეთა მეტწილად ხორციელდება მიმმართველი ნიჩბების ტორსების განლაგების ადგილებში.

ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა ფრენსისის კორიზონტალური ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილების ცვეთა. ხსენებული ჰიდროტურბინა დამონტაჟებულია მდ. რიცეულაზე მდებარე რაჭა ჰესზე. იგი დამზადებულია ჩინეთში 2011 წელს, ქარხანაში „ZHEJIANG JINLUN ELECTROMECHANICAL CO.LTD.“



სურ. 2 ჰიდროაბრაზიული ცვეთით მწყობრიდან გამოყვანილი რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინა

ჰიდროტურბინის ძირითადი მახასიათებლებია: ჰიდროტურბინის ტიპი - HLJ 90 – WJ – 100; სიმძლავრე - 5718 კვტ; დაწნევა - 280 მ; წყლის ხარჯი - 2,27 მ³/წმ; ბრუნთა რიცხვი - 1000 ბრ/წთ. ჰიდროტურბინის გამდინარე ტრაქტი შედგება: სპირალური კამერის, მიმმართველი აპარატის, მუშა თვლის და გამწოვი მილისაგან. მიმმართველი აპარატს 16 ცალი ნიჩაბი აქვს, ისინი განლაგებულია 1220 მმ დიამეტრის მქონე წრეწირზე. მუშა თვლის შესასვლელი დიამეტრია

1000 მმ, ხოლო გამოსასვლელი დიამეტრი - 710 მმ, ფრთების რაოდენობა 17 ცალი. ჰიდროტურბინა ექსპლუატაციაშია 2013 წლის აგვისტოდან. 2014 წლის ივნისის შუა რიცხვებში მდ. რიცეულას ზემოწელში, ჰესის სათავე ნაგებობებიდან მდინარის დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით შესაბამისად 15კმ და 25 კმ მანძილზე, განვითარდა ორი მეწყერი. მეწყერები შემოიჭრა მდინარის კალაპოტში და ჩამოიტანა დიდი რაოდენობით გრუნტი (სურ. 1), რომლის გარეცხვის შეგეგად მკვეთრად მოიმატა მდინარის წყლის სიმღვრივემ (წყლის მოცულობის ერთეულში ნატანის რაოდენობამ). 2014 წლის აგვისტოში ჰიდროტურბინის სიმძლავრე მნიშვნელოვნად დაეცა და იგი რემონტში იქნა გაყვანილი. ერთი წლის ექსპლუატაციის შედეგად ამ ჰიდროტურბინამ იმუშავა 5977 საათი და მისი საშუალებით გამოიმუშავებული იქნა 24,45 გვტსთ ელექტროენერგია, საშუალო სიმძლავრით 4091,2 კვტ. დემონტირებული ჰიდროტურბინის მუშა თვალს ვიზუალურად ცვეთის კვალი არ აღენიშნებოდა (სურ 2.), თუმცა ინსტრუმენტული გაზომვით აღმოჩნდა უმნიშვნელო ცვეთა. მრავლობითი მექანიკური დაზიანებები აღმოჩნდა ჰიდროტურბინის წინა და უკანა ხუფებზე და მიმმართველი აპარატის ნიჩბებზე.

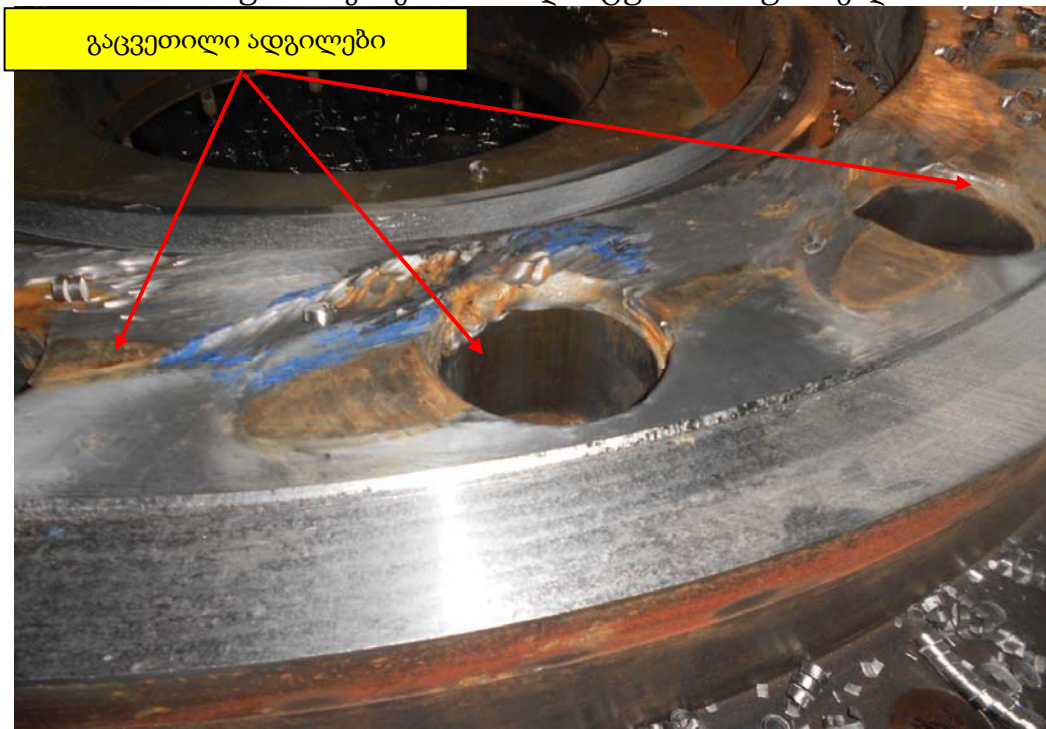
ქვემოთ მოყვანილ სურათებზე (სურ..3 და სურ.4) გამოსახულია გაცვეთილი წინა (სურ. 3) და უკანა (სურ. 4) ხუფები. მიმმართველი აპარატის გაცვეთილი დეტალების ვიზუალურმა დათვალიერებამ, აჩვენა, რომ მიმმართველი აპარატის ნიჩბების შესასვლელი და გამოსასვლელი ნაწიბურები ძლიერ არის გაცვეთილი (სურ.5), ამ ზონების ვიზუალური დათვალიერებით დასტურდება, რომ ადგილი ჰქონდა აბრაზიულ ცვეთას. ჰიდროაბრაზიული ცვეთის შედეგად ადგილი აქვს ლითონის ნაწილაკების ჩამოხეთქვას (ახლეჩას), რასაც ახასიათებს ტალღური, მქრქალი-მბრწყინავი ზედაპირი. [17].



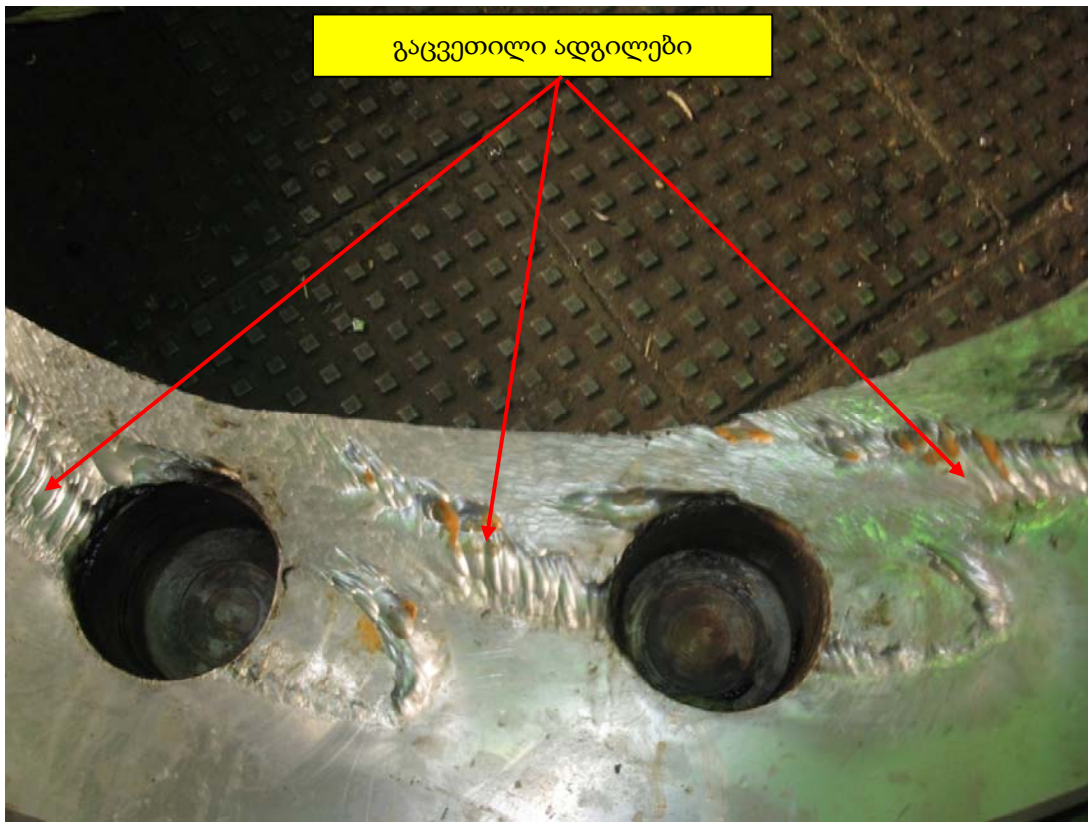
სურ.3 რაჭა ჰესის ზედა ბიეფში მეწყერული ნატანი



სურ. 4 რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის მუშა თვალი



სურ. 5 რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის გაწვეთილი წინა ხევი

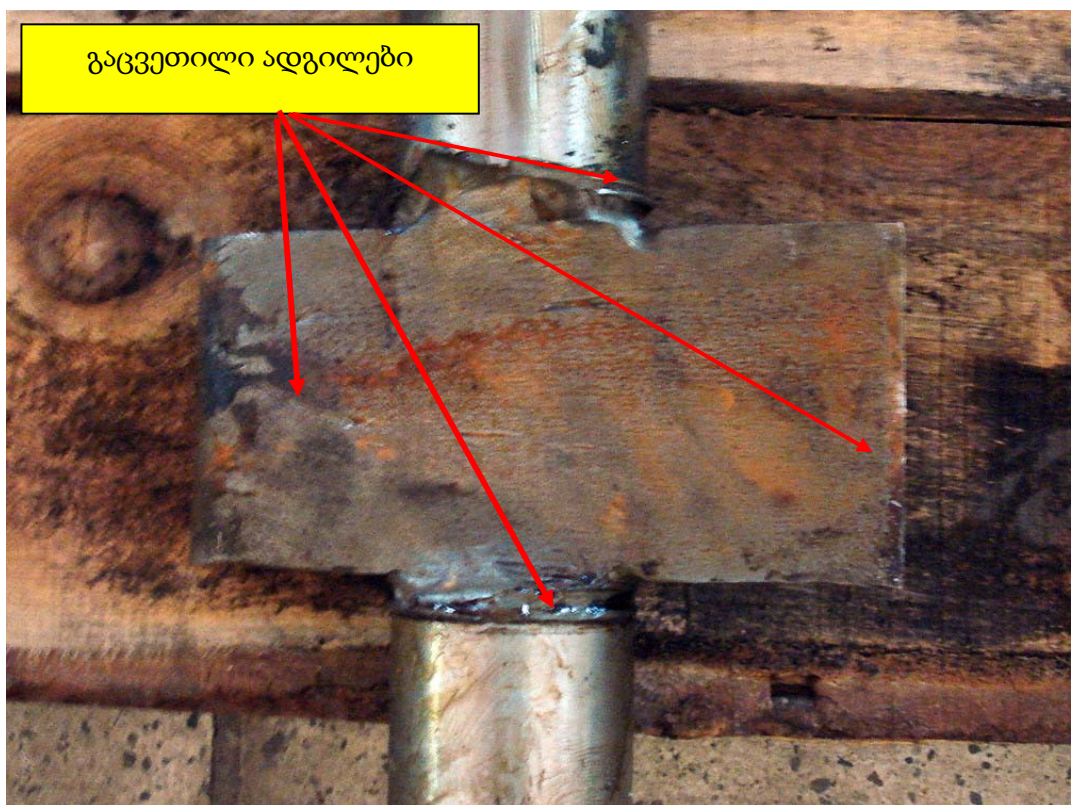


სურ. 6 რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის გაცვეთილი უკანა ხუფი

სურ.3-ზე და სურ.4-ზე მკაფიოდ ჩანს გაცვეთილი ადგილები მოპირკეთებულ ზედაპირებზე, რომლებსაც მიმართველი აპარატის ნიჩბების პროფილის სახე აქვთ. ჩვენს მიერ ჩატარებული გაცვეთილი ადგილების აზომვით დადგინდა: წინა ხუფზე ცვეთა შესამჩნევია ლაბირინთის მხრიდან: სიმაღლით 30,0 -40,0 მმ, სიღრმით 25,0 – 35,0 მმ. მაქსიმალური სიღრმე - 9,7 მმ. უკანა ხუფის დაზიანების მაქსიმალური სიღრმე 11,0 მმ-ია, ძირითადად იგი 5,0 – 9,0 მმ-ის ფარგლებშია, ხოლო დაზიანებული ზონის სიმაღლე 17,0 – 30,0 მმ-ს შორის იცვლება.

ეს სურათები ძალიან ჰგავს ლიტერატურაში [12] მოცემულ სურათს (ნახ.11-3., გვ.267). ჰიდროაგრეგატის ნორმალური ექსპლუატაციის სხვადასხვა რეჟიმების დროს, მიმართველი აპარატის ნიჩბების მიმართულება განსხვავდება ნაკადის დინების მიმართულებისაგან, რის გამოც ადგილი აქვს

წყლის ნაკადის ცირკულაციას ნიჩბის გარშემო, რაც იწვევს მისი და შესაბამისად წინა და უკანა ხუფების ინტენსიურ ცვეთას, რომლის ინტენსივობა ძირითადად დამოკიდებულია ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეზე და მყარი ნაწილაკების სიმსხოზე. სავარაუდოდ, აბრაზიულ ცვეთასთან ერთად ადგილი აქვს ადგილობრივ და ხვრელურ კავიტაციას. პირველი მათგანი წარმოიქმნება არაგლუვი ზედაპირის გარსდენისას წნევის ადგილობრივი შემცირების შედეგად, ხოლო მეორე - გამდინარე ნაწილის დეტალებს: მიმმართველი აპარატის ნიჩბების ტორსსა და ხუფის ზედაპირს შორის ღრეჩოებში, წნევის გარკვეული ვარდნილის არსებობისას[17].



სურ.7 რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის მიმმართველი აპარატის გაცვეთილი ნიჩაბი

ჰიდროტურბინის ცალკეული დეტალების ცვეთის ხასიათისა და ინტენსივობის დადგენის მიზნით განისაზღვრა წყალში არსებული მყარი ნატანის გრანულომეტრიული და მინერალოგიური შედგენლობა. წყლის სინჯი აღებული იქნა სალექარიდან გამომავალ კვეთში. მისი ანალიზით დადგინდა, რომ 0,063 მმ ზომის საცერში გავიდა წყალში არსებული მყარი ნაწილაკების 100%, ხოლო წყალში ნატანის კონცენტრაცია შეადგენს 0,788 გრ/ლ. რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის შედეგად განისაზღვრა ნატანის მინერალოგიური შედგენილობა: SiO_2 (კვარცი) – 30%, $Fe - Mg$ (ფერო-მაგნიუმიანი ფერიტები) – 20%, $Ca - Na$ (მინდვრის შპატი) 25%, ქარსი - 25%. ამ მინერალებიდან სისალის ყველაზე მაღალი სიდიდით ხასიათდება კვარცი, რომლის სისაღე მოოსის სკალის მიხედვით არის 7 ერთეული [21]. როგორც ცნობილია [17], ჰიდროაბრაზიული ცვეთის თვალსაზრისით სახიფათოა მყარი ნაწილაკები, რომელთა სისაღე აღემატება 4 ერთეულს მოოსის სკალის მიხედვით. ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის ზემოთაღნიშნული დეტალების და ჰიდროტურბინაში გამავალ წყალში არსებული მყარი ნაწილაკების სისაღეების შედარების მიზნით განისაზღვრა ჰიდროტურბინის დეტალების (ბრინელის სკალა) და წყალში არსებული მყარი ნაწილაკების (მოოსის სკალა) სისაღეებს შორის დამოკიდებულება სპეციალურ ლიტერატურაში [21] მოყვანილი გრაფიკის მიხედვით. ჩვენს შემთხვევაში 4 ერთეულზე მეტი სისალის მქონე ნაწილაკების რაოდენობა შეადგენდა 55%-ს. ამასთან, მუშა თვლის მორგვისა და ფეროს სისაღეს ბრინელის მიხედვით შეესაბამება 5,5 ერთეული მოოსის მიხედვით, მუშა თვლის ფრთებისას - 4,8 ერთეული, წინა და უკანა ხუფების მოპირკეთებულ ნაწილს - 4,1 ერთეული, წინა და უკანა ხუფების მოუპირკეთებელ ნაწილს 2,9 ერთეული, ხოლო მიმმართველი აპარატის ნიჩბებისას - 3,5 – 4,4 ერთეული. ეს უკანასკნელი სხვაობა გამოწვეულია მოწვის ტექნოლოგიის დარღვევით.

მუშა თვლის უმნიშვნელო ცვეთა შეიძლება აიხსნას მყარი ნაწილაკების ძალიან მცირე ზომებით, რომელთა მუშა თვლის ზედაპირთან შეხებისას წარმოქმნილი ძაბვები არ აღემატება მუშა თვლის მასალის დროებითი სიმტკიცის ზღვარს.

სპეციალური ლიტერატურიდან [12,17] ცნობილია, რომ კავკასიისა და შუა აზიის მყარი ნატანით მდიდარ მდინარეთა სამთო და მთისწინა უბნებზე განლაგებული ჰესების ჰიდროტურბინები განიცდის ინტენსიურ ჰიდროაბრაზიულ ცვეთას. მათ რიცხვს მიეკუთვნება: ბაქსანჰესის, ძორაჰესის, ეზმინჰესის, კანაკერჰესის, შაარიხანის ჰესების ჰიდროტურბინები. ინტენსიური ჰიდროაბრაზიული ცვეთის შედეგად დროის შედარებით მოკლე პერიოდში (ერთ წელიწადში) მნიშვნელოვნად უარესდება ჰიდროტურბინების ენერგეტიკული პარამეტრები - მცირდება მ.ქ.კ., სიმძლავრე, გამომუშავება, რაც თავის მხრივ გარდაუვალს ხდის ჰიდროტურბინის რიგგარეშე რემონტს - ე.ი. მცირდება რემონტათშორისი ვადა და იზრდება საექსპლუატაციო ხარჯები.

ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ხარისხის $I_{ა.ც.}$ და შესაბამისი რემონტათშორისი T პერიოდის განსაზღვრისათვის ლიტერატურაში [17] მოცემულია ცვეთის უნარის განმსაზღვრელი გრაფიკები მყარი ნატანის შემდგენების ერთ სისალეზე დაყვანილი კონცენტრაციის და მახასიათებელ კვეთში ნაკადის სიჩქარეზე დამოკიდებულებით, რომლებიც აგებულია მოქმედი ჰესების ჰიდროტურბინების ჰიდროაბრაზიული ცვეთის ინტენსივობისა და მყარი ჩამონადენის შესახებ კარგად შესწავლილ მონაცემებზე დაყრდნობით. ქვემოთ, მოყვანილია რაჭა ჰესის ჰიდროტურბინის მიმმართველი აპარატის ნიჩბების რემონტათშორისი პერიოდის განსაზღვრის მაგალითი.

ჰიდროტურბინის აბრაზიულ ცვეთაზე მოქმედი ფაქტორების ანალიზით დადგენილია აბრაზიული ცვეთის ხარისხის $I_{ა.ც.}$ განმსაზღვრელი ფუნქციონალური დამოკიდებულება :

$$I_{\text{ს.ც.}} = f\left(\bar{P}_{\text{მყ}}, \nu^3, t, k_{\text{ცვ.}}, D_1\right), \quad (5.1)$$

სადაც $\bar{P}_{\text{მყ}}$ არის მყარი ნატანის შემდგენების ერთ სისალეზე დაყვანილი კონცენტრაცია; ν - ნაკადის სიჩქარე მახასიათებელ კვეთში; t - ჰიდროტურბინის მუშაობის ხანგრძლივობა; $k_{\text{ცვ.}}$ - მასალის ცვეთამდეგობის კოეფიციენტი. ამ გამოსახულებაში პირველი სამი წევრი ასახავს ნაკადის ცვეთის უნარს - მათი გაზრდით ცვეთის ინტენსივობა მატულობს, ხოლო ბოლო ორი წევრი ცვეთისადმი დეტალის მასალის წინააღმდეგობის უნარს - მათი გაზრდით $I_{\text{ს.ც.}}$ მცირდება.

ნატანის შემდგენების დაყვანილი კონცენტრაცია განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$\bar{P}_{\text{მყ}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{ფ.ი}} K_{\text{სიმსხ.ი}} P_{\text{მყ.ი}}, \quad (5.2)$$

სადაც $K_{\text{ფ.ი}}$ არის ნატანის i -ური ფრაქციის ნაწილაკების ფორმის კოეფიციენტი, იგი აიღება 1-ის ტოლი;

$K_{\text{სიმსხ.ი}}=0,06$ - ნატანის i -ური ფრაქციის ნაწილაკების სიმსხოს კოეფიციენტი, აიღება ცხრილიდან [17] ნაწილაკების ზომის მიხედვით.;

$P_{\text{მყ.ი}}$ - ნატანის i -ური ფრაქციის ნაწილაკების კონცენტრაცია, რომელიც ტოლია: კვარცისათვის - 0,236 გრ/ლ, ფერიტებისათვის - 0,159 გრ/ლ, ხოლო მინდვრის შპატისა და ქარსისათვის შესაბამისად - 0,197 გრ/ლ.

მაშინ დაყვანილი კონცენტრაცია (5.2)-ის მიხედვით იქნება:

$$\bar{P}_{\text{მყ}} = 0,06 \times (0,236 + 0,159 + 2 \times 0,197) \times 1000 \times 0,55 = 26 \text{ გრ/მ}^3 \quad (5.3)$$

აქ 0,55 არის 4 ერთეულზე მეტი სისალის მქონე ნაწილაკების რაოდენობას (55%) ნატანში.

მიმმართველი აპარატში ნაკადის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$v_0 = \frac{Q}{a_0 b_0 z_0}, \quad (5.4)$$

სადაც $Q=2,27$ მ³/წმ არის ჰიდროტურბინის წყლის ხარჯი;

$a_0=0,043$ მ - მიმმართველი აპარატის გაღება;

$b_0=0,125$ მ - მიმმართველი აპარატის სიმაღლე;

$z_0=16$ ცალი - მიმმართველი აპარატის ნიჩბების რაოდენობა.

მაშინ $v_0 = 26,4$ მ/წმ.

ჩვენს მიერ გამოთვლილი $\bar{P}_{\text{მყ}}$ -ს და v_0 -ს სიდიდეების შესაბამისად, [17]-ში მოცემული ცვეთის უნარის განმსაზღვრელი გრაფიკებიდან მიიღება მიმმართველი აპარატის რემონტაშორისი T პერიოდის მნიშვნელობა 0,5 წელზე ნაკლები, რაც პრაქტიკულად დადასტურდა რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის შემთხვევაში.

5.2 ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის რაოდენობრივი შეფასება და ცვეთის საწინააღმდეგო ღონისძიებები რაჭა ჰესის მაგალითზე

ერთ-ერთი რთული პრობლემა, რომელიც თავს იჩენს ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის კვლევისას, არის ნაკადის საანგარიშო სიმღვრივის შერჩევა და იმ ზომის დადგენა თუ რა დოზით საჭიროებს მდინარის წყალი ნატანისაგან გაწმენდას. როგორც ზემოთ აღინიშნა ცნობილია [22], რომ გამწმენდი ნაგებობებისა და გამრეცხი მოწყობილობების მუშაობის პირობისა და მათი ზომების დადგენისას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ნაკადის მაქსიმალურ სიმღვრივეს

წყალმოვარდნის პიკის დროს, ხოლო ტურბინების მუშაობისათვის უმნიშვნელოვანესია ჰესის მიერ გატარებული წლიური მყარი ჩამონადენის სიდიდე. ეს უკანასკნელი იმით აიხსნება, რომ წყალმოვარდნის პიკების ხანგრძლივობა დიდი არ არის (როგორც წესი, რამოდენიმე ათეული საათი), ხოლო ჰიდროტურბინების ცვეთა და მათი მ.ქ.კ-ს ვარდნა საკმაოდ ნელა მიმდინარეობს. ამიტომაც ეს მოვლენა თავს იჩენს ტურბინის მღვრიე წყლით მუშაობის საკმაოდ დროის გასვლის შემდეგ (როგორც წესი წყალმოვარდნის პერიოდის ბოლოს). ამიტომ ძალიან მნიშვნელოვანია მდინარის წყლის საშუალო წლიური სიმღვრივის დადგენა.

მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული მდინარის ნატანის დროში განაწილების უთანაბრობა. სამთო მდინარეებზე ნატანის 80 - 90% მოდის გაზაფხულ –ზაფხულის წყალმოვარდნის პერიოდზე და სწორედ ამ დროს აქვს ადგილი, ძირითადად, ჰიდროტურბინის აბრაზიულ ცვეთას. მ.ქ.კ-ს შემცირება თავს იჩენს ზაფხულის ბოლოს ან შემოდგომაზე.

იმისათვის, რომ შევიმუშაოთ ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის საწინააღმდეგო ეფექტური ღონისძიებები, აუცილებელია იმ ძირითადი ფიზიკური ფაქტორების გამოვლენა, რაზეც არის დამოკიდებული ჰიდრომანქანების გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობა და ზომები.

სხვადასხვა მკვლევარების მიერ ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა კვლევებმა [8] აჩვენა, რომ ასეთ ფაქტორებად შეიძლება მიჩნეულ იქნას:

- ა) ცვეთას დაქვემდებარებული ნიმუშისა და მასზე მოქმედი ნატანის ნაწილაკების სისაღე;
- ბ) ნატანით გაჯერებული წყლის ნიმუშზე მოქმედების ხანგრძლივობა და წყალში ნატანის კონცენტრაცია;
- გ) ნატანით გაჯერებული ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე;

დ) ნატანის მექანიკური მახასიათებლები (ნაწილაკების ფორმა და ზომები).

ამასთან, აბრაზიული ცვეთის შესასწავლად ლაბორატორიულ პირობებში, როგორც წესი, შეიძლება დადგენილ იქნეს სხვადასხვა ფაქტორების ზემოქმედების მხოლოდ ზოგადი კანონზომიერება და შედარებითი მახასიათებლები, რომელიც გამოსახული იქნება ფარდობით სიდიდეებში. აბსოლუტურ სიდიდეებში გამოსახული ჰიდროტურბინების ცვეთის მახასიათებლები, რომლებიც ითვალისწინებს ექსპლუატაციის პროცესში ზემოქმედების ყველა რეალურ ფაქტორს, შეიძლება მიღებულ იქნეს მხოლოდ ნატურაში კვლევის შედეგად.

ჩვენს მიერ ჩატარდა ჰიდროაბრაზიულ ზემოქმედებას დაქვემდებარებული რაჭა ჰესის ჰორიზონტალური ფრენისის ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის ელემენტების: მუშა თვლის, წინა და უკანა ხუფების და მიმმართველი აპარატის ნიჩბების გამოკვლევა. ჩინური წარმოების ჰიდროტურბინის ძირითადი მახასიათებლებია: ჰიდროტურბინის ტიპი - HLJ 90 - WJ - 100; სიმძლავრე - 5718 კვტ; დაწნევა - 280 მ; წყლის ხარჯი - 2,27 მ³/წმ; ბრუნთა რიცხვი - 1000 ბრ/წთ; მუშა თვლის შესასვლელი დიამეტრი - 1000 მმ; მუშა თვლის გამოსასვლელი დიამეტრი - 710 მმ. აღნიშნული ჰიდროტურბინა ექსპლუატაციაში იყო 2013 წლის აგვისტოდან 2014 წლის აგვისტოს პირველ მეოთხედამდე, როცა იგი გაყვანილი იქნა რემონტში. 2014 წლის ივნისის შუა რიცხვებში მდ. რიცეულას (რაჭა ჰესი მდ. რიცეულას წყალს გადაამუშავებს) ხეობაში განვითარებულმა მეწყერებმა მნიშვნელოვნად გაზარდა მისი სიმღვრივე (წყალში ნატანის კონცენტრაცია), რამაც განაპირობა ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების ინტენსიური ცვეთა.

რაჭა ჰესის სალექარიდან დერივაციაში გადასასვლელ კვეთში აღებული წყლის სინჯების შპს „გეოინჟინერინგის“ მასალების ტესტირების

ლაბორატორიაში ჩატარებული ანალიზით დადგინდა, რომ სალექარიდან ჰესის სადაწნეო სისტემაში გაედინება წყალში არსებული მყარი ნაწილაკების 100%, ზომით 0,063 მმ, წყალში მათი კონცენტრაცია შეადგენს 0,788 გრ/ლ. მყარი ნატანის ანალიზის შედეგები და შესაბამისი სისალები მოოსის სკალის [21] მიხედვით მოყვანილია ცხრილში 3.

ცხრილი 3

ნატანის მინერალოგიური შედგენილობა	მინერალის %-ული რაოდენობა	მინერალის სისალე მოოსის სკალის მიხედვით	მინერალის კონცენტრაცია, გრ/ლ
<i>SiO₂</i> (კვარცი)	30	7 ერთეული	0,236
<i>Fe – Mg</i> (ფერო-მაგნიუმიანი ფერიტები)	20	2,8 – 4,5 ერთეული საშუალო - 3,65 ერთეული	0,158
<i>Ca – Na</i> (მინდვრის შპატი)	25	5 – 6,5 ერთეული საშუალო - 5,75 ერთეული	0,197
ქარსი	25	2 ერთეული	0,197

ჩატარებულმა ლაბორატორიულმა გამოკვლევამ აჩვენა, რომ მიუხედავად სალექარის შესაძლებლობისა დააკავოს 0,2-0,25 მმ და მეტი ზომის მყარი ნაწილაკები ნორმების შესაბამისად, იგი ვერ უზრუნველყოფს მაღალი სისალის მქონე, აღნიშნულზე მცირე ზომის მინერალების ჰესის წყალსატარი ტრაქტიდან არინებას. ცნობილია [17], რომ ჰიდროტურბინების ინტენსიურ აბრაზიულ ცვეთას იწვევს 4 ერთეულზე (მოოსის სკალის მიხედვით) მეტი სისალის მქონე ნაწილაკები, რომელთა საერთო რაოდენობა მყარ ნატანში ცხრილი 1-ის მიხედვით 55%-ია.

რაჭა ჰესის ჰიდროაგრეგატების ელექტროენერჯის გამომუშავების ჟურნალის ჩანაწერების მიხედვით ივნისის მეორე ნახევრიდან (მეწყერების განვითარების დაწყებიდან) აგვისტოს პირველი მეოთხედის ჩათვლით ჰიდროტურბინამ იმუშავა 1248 სთ. იმის გათვალისწინებით, რომ ჰიდროტურბინის წყლის ხარჯი 2,27 მ³/წმ-ია, მივიღებთ მითითებულ პერიოდში მასში გასული 4 ერთეულზე (მოოსის სკალის მიხედვით) მეტი სისალის მქონე ნაწილაკების რაოდენობას, რაც შეადგენს 4420 ტონას. ეს გარემოება აისახა ჰიდროაგრეგატის გამომუშავებაზე, რაც ელექტროენერჯის გამომუშავების ჟურნალის ჩანაწერების შესაბამისად 2013 წლის აგვისტოსთან შედარებით 2014 წლის შესაბამის პერიოდში 25%-ით შემცირდა.

ინსტრუმენტული აზომვისა და ნამერწის საშუალებით განისაზღვრა გაცვეთილი ზონების ჯამური მოცულობა წინა და უკანა ხუფებზე და მიმმართველი აპარატის ნიჩბებზე, რის მიხედვითაც დადგინდა ლითონის წონითი დანაკარგი: წინა ხუფზე - 31,0 კგ, უკანა ხუფზე - 9,23 კგ, მიმმართველი აპარატის ნიჩბებზე - 3,99 კგ. ამრიგად, ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების წონითმა დანაკარგმა 44,22 კგ შეადგინა.

შპს „საქართველოს საერთაშორისო ენერჯეტიკული კორპორაციის“ საკონსტრუქტორო ბიუროში ჩატარებული დეფექტოსკოპიური ანალიზით დადგინდა რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის მუშა თვლის მორგვის, ფერსოს, მუშა თვლის ფრთების, წინა ხუფის, უკანა ხუფის და მიმმართველი აპარატის ნიჩბების სისალე ბრინელის (HB) მიხედვით. მიღებული იქნა შემდეგი შედეგები:

მუშა თვლის მორგვზე - 302 HB -დან 308 HB -მდე;

მუშა თვლის ფერსოზე - 302 HB -დან 306 HB -მდე;

მუშა თვლის ფრთებზე - 270 HB -დან 282 HB -მდე;

წინა ხუფზე - მოუპირკეთებელ ნაწილზე 118-120 HB , მოპირკეთებულ ნაწილზე 191 HB;

უკანა ხუფზე -მოუპირკეთებელ ნაწილზე 118-119 HB, მოპირკეთებულ ნაწილზე 193 HB;

მიმართველი აპარატის ნიჩბებზე - 143 HB -დან 208 HB -მდე. სისალის დაბალი მნიშვნელობები ცალკეულ ნიჩბებზე აიხსნება მათი არანორმალურად მოწვით.

რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის ლაბირინთული რგოლები შესრულებულია 1X18Ni9T მარკის ფოლადით, წინა და უკანა ხუფები Q235B მარკის ფოლადით, ხოლო წინა და უკანა ხუფების მოპირკეთება და მუშა თვალი 06X13Ni4Mo მარკის ფოლადით. ამასთან, მუშა თვლის ფოლადი თერმულად არის დამუშავებული, რის გამოც მისი სისალე მაღალია.

ჩვენს მიერ საცნობარო ლიტერატურაზე [23] დაყრდნობით სისალის მნიშვნელობები ბრინელის (HB) მიხედვით შეესაბამება სისალებს მოოსის მიხედვით შემდეგი თანაფარდობით: 120 HB= სისალის 3 ერთეულს მოოსის მიხედვით, 140 HB= სისალის 3,5 ერთეულს მოოსის მიხედვით, 275 HB= სისალის 4,8 ერთეულს მოოსის მიხედვით, 308 HB= სისალის 5 ერთეულს მოოსის მიხედვით.

ლიტერატურაში [13] მოყვანილია აბრაზიულ ცვეთაზე ზაჰესზე, რიონჰესზე, კანაკერჰესზე, მორაჰესზე, ორჯონიკიძის ჰესზე, ბაქსანის ჰესზე განხორციელებული ნატურული კვლევების შედეგები. კვლევების მიმდინარეობისას სისტემატიური დაკვირვების ქვეშ იყო ნატანის რეჟიმი და ტურბინების ცვეთა. ამ დაკვირვებით მიღებული იქნა ექსპერიმენტული მასალები ჰიდროტურბინების მუშაობისა და მათი ცვეთის ზომების შესახებ.

დაკვირვებების მასალების დამუშავებისას მხედველობაში იღებდნენ იმ გარემოებას, რომ ნატანით ცვეთას განიცდის ის დეტალები რომელთა მასალის სისალე 4-5,5 ერთეულის (მოოსის სკალის მიხედვით) ფარგლებშია. ჰესის ტურბინებში გამავალი ნატანის ჩამონადენის მიხედვით დადგინდა კავშირი ცვეთის დასაშვებ სიდიდესა და წყალში 4 ერთეულზე მეტი

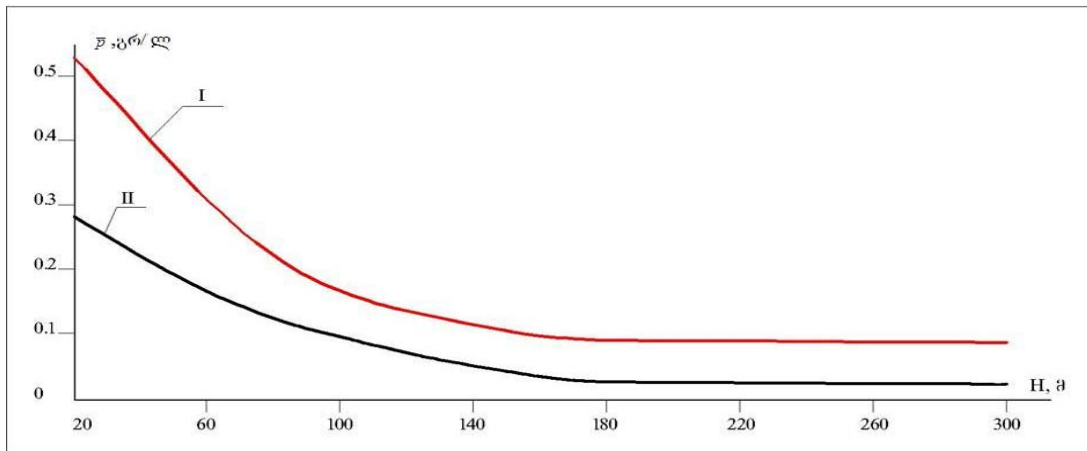
სისალის მქონე ნაწილაკების საშუალო წლიურ შემცველობასა და დაწნევას შორის. განისაზღვრებოდა აგრეთვე წყალში მყარი 0,05 მმ სიმსხოს ქვიშის ნაწილაკების შემცველობა.

დაკვირვების მასალების დამუშავების შედეგად აგებულ იქნა დამოკიდებულება, სადაც \bar{p} მყარი ნატანის კონცენტრაციაა, ხოლო H ტურბინის დაწნევა.

ამ გრაფიკის (ნახ. 7.) მიხედვით ჩანს, რომ როცა კონცენტრაცია II მრუდის ქვემოთაა ამ შემთხვევაში ტურბინის ცვეთა ზომიერი იქნება და რემონტის ჩატარება შესაძლებელია 2 წლის ვადაში. I და II მრუდებს შორის ზონაში, ტურბინის ცვეთა მეტი იქნება და საჭიროა ტურბინის ყოველწლიური რემონტი. I მრუდის ზემოთ მდებარე ზონა არის ტურბინის ცვეთის თვალსაზრისით სახიფათო ზონა და კონცენტრაციის ამ მნიშვნელობებისათვის აუცილებელია ტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების ცვეთამედეგობის უზრუნველსაყოფად სპეციალური ზომების მიღება.

ჩვენს მიერ მიღებული შედეგების დატანით ამ გრაფიკზე მიიღება, რომ რაჭა ჰესის ჰიდროტურბინა მუშაობდა აბრაზიული ცვეთის თვალსაზრისით სახიფათო ზონაში, რაც დაადასტურა საექსპლუატაციო პრაქტიკამ.

სალექარის არსებობა ვერ გამორიცხავს მცირე ზომის მაღალი სისალის მქონე მყარი ნაწილაკების ჰიდროტურბინაში მოხვედრის შესაძლებლობას. ამ შემთხვევაში ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიული ცვეთისაგან დაცვა უნდა განხორციელდეს ამ დეტალების ცვეთამედეგი მასალებისაგან დამზადების გზით, რაც ნაწილობრივ განხორციელდა რაჭა ჰესზე, რომლის ჰიდროტურბინის მუშა თვალი დამზადდა თერმულად დამუშავებული, მაღალი სისალის **06X13Ni4Mo** მარკის ფოლადით, რამაც განაპირობა მისი უმნიშვნელო ცვეთა ტურბინის წინა და უკანა ხუფებთან და მიმმართველი აპარატის ნიჩბებთან შედარებით.



ნახ.7 ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთისას მისი რემონტში გაყვანის ვადის განსაზღვრისათვის

საზოგადოდ, უნდა აღინიშნოს, რომ ჰიდროაბრაზიული ცვეთა სხვადასხვა დოზით მყარი ჩამონადენით მდიდარ მდინარეებზე განლაგებული ჰესების ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალებისათვის ყველა შემთხვევაშია დამახასიათებელი. ცვეთის ხარისხი განისაზღვრება ერთი მხრივ დეტალზე მოქმედი გარე დატვირთვით, რაც დამოკიდებულია მისი მოქმედების ხანგრძლივობაზე, მყარი ნაწილაკების კონცენტრაციაზე, მათ ზომებზე, ფორმაზე, სისაღეზე, ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეზე, ხოლო მეორე მხრივ საკუთრივ დეტალის ფორმით, ზომებით და მისი მასალის სისაღით.

დასკვნები

1. როგორც ჰიდროელექტროსადგურების ექსპლუატაციის მსოფლიო პრაქტიკამ აჩვენა ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალები ინტენსიურ ცვეთას განიცდის ნატანის კავიტაციური და აბრაზიული ზემოქმედების გამო. ეს უკანასკნელი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ნატანით მდიდარ მდინარეების სამთო და მთისწინა უბნებზე განლაგებული ჰესებისათვის, რომელთა უმრავლესობა მიეკუთვნება საქართველოს ენერგოსისტემის ჰიდროკვანძები.

2. ჰიდროტურბინის გამდინარე ტრაქტის დეტალების აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, მათ შორის: ნატანის ნაწილაკების სისაღეზე, ფორმაზე, ზომებზე, კონცენტრაციაზე, ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეზე, ჰიდროტურბინის დაწნევაზე, ტურბინის ტიპზე, გამდინარე ტრაქტის ზედაპირების მასალის მექანიკურ მახასიათებლებზე, ნატანისა და ჰიდროტურბინის დეტალების კონტაქტის ხანგრძლივობაზე.

3. ტურბინის ცალკეული კვანძების და ნაწილების ცვეთის პროგნოზირებისათვის შემოთავაზებულია განზოგადოებული დამოკიდებულება ნატანის დაყვანილი კონცენტრაციის მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის, ტურბინის გამდინარე ნაწილში ნაკადის ფარდობითი სიჩქარის გათვალისწინებით.

4. π თეორემის გამოყენებით და ტურბინის ტიპის გათვალისწინებით საანგარიშოდ მიღებულია ფუნქციონალური დამოკიდებულება, რომელიც

ამყარებს კავშირს ჰიდროტურბინის სიმძლავრის დროში კლებასა და მე-2 პუნქტში მოყვანილ ფაქტორებს შორის.

5. ჰიდროტურბინის დეტალების ცვეთის რაოდენობრივ კრიტერიუმად მიღებულია მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტის შემცირების საშუალო წლიური გრადიენტი. ეს სიდიდე საშუალებას იძლევა ცვეთის პროცესის მახასიათებლები დაუკავშირდეს ჰესის სიმძლავრესა და გამომუშავებას.

6. მე-4 პუნქტში აღნიშნული თეორიული დამოკიდებულებით ჩატარებულ გაანგარიშებებით დადგენილი მ.კ.კ-ს კლება, გამოწვეული რიონჰესის ჰიდროტურბინისათვის მიღებულია 1,1%-ის ოდენობით. რიონჰესისათვის, ჩვენი შეფასებით, საშუალო წლიური დანაკარგები თითოეულ აგრეგატზე შეადგენს $2.5 \cdot 10^6$ კვტ.სთ. ე.ი. საშუალო წლიური ენერგოგაგამომუშავების 3.2 %-ს.

7. მოცემულია რეკომენდაციები ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიული ცვეთის უარყოფითი შედეგების შესუსტებისათვის, როგორც ცვეთამდეგი მასალების გამოყენების, ასევე დაზიანებული ზედაპირების აუსტენიტური კლასის ელექტროდებით შესრულებული დადულების გზით.

8. შესწავლილი იქნა მდ. რიცეულაზე მდებარე რაჭა ჰესის ფრენსისის ჰორიზონტალური ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილების ცვეთა. დადგენილ იქნა, რომ მუშა თვალმა განიცადა უმნიშვნელო, ხოლო წინა და უკანა ხუფებმა და მიმმართველი აპარატის ნიჩბებმა - ძალიან მნიშვნელოვანი აბრაზიული ცვეთა.

9. ჩატარებული გამოკვლევები ცხადყოფს, რომ ექსპლუატაციაში მყოფ ჰიდროელექტროსადგურებზე ელექტროენერჯის გამომუშავების გაზრდის (საპროექტო სიდიდემდე მიყვანა) ერთ-ერთი ძირითადი ფაქტორია ჰიდროაგრეგატების რემონტაშორისი ვადის სწორად განსაზღვრა, რაც უნდა განხორციელდეს ინდივიდუალურად, ყოველი კონკრეტული შემთხვევის შესაბამისი ჰიდროაბრაზიული ცვეთის პროცესის მაფორმირებელი ფაქტორების გათვალისწინებით.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Барковский М.А. К вопросу об износе водяных турбин наносами. Док. на I Всесоюзн. конф. по эксплуатации гидростанций, Ленинград, 1947 г.
2. Джорджадзе П.В. и Тхинвалели Г.Х. Опыт эксплуатации гидростанций системы Грузэнерго. Док. на I Всесоюзн. конф. по эксплуатации гидростанций, Ленинград, 1991 г.
3. Вартазаров С.Я. Борьба с истиранием рабочих органов турбин. ТНИИСГЭИ, тема №558. 1942.
4. Абиан К.Х. Систематизация и сбор данных по эксплуатации турбин в отношении борьбы с истиранием и кавитацией. Тема №4. 1991.
5. Абиан К.Х. Обобщение опыта борьбы с истиранием и кавитацией на гидротурбинах. ТНИИСГЭИ, тема №4. 1946.
6. Абиан К.Х. Износ турбин от наносов и кавитации. Известия ТНИИСГЭИ. Т. 1. Тбилиси. 1947.
7. Цабадзе Н.А. Исследование математической модели сравнительных рабочих характеристик гидроагрегатов. Гидротехническое строительство и вопросы энергетики в горных условиях, Энергоиздат, М., 1981.
8. В.Б. Дульнев. Абразивный износ радиально-осевых гидротурбин и методы борьбы с ним. ВНИИГ им. Веденеева. Л., 1962 г.
9. Иванов С.А., Эдель Ю.У. Кавитационно-абразивный износ гидросилового оборудования ГЭС и меры борьбы с ним. Обзорная информация. Информэнерго. М. 1974.
10. Карелин В.Я., Денисов А.И. Некоторые аспекты Кавитационно-абразивного изнашивания Элементов гидравлических машин. Сб. Научн. Трудов. Вып. 198/МИСИ. М.: Стройиздат, 1983.
11. Влияние износа турбин на КПД гидроагрегатов. Отчет ТНИСГЭИ (ГрузНИИЭГС) заключительный, Тбилиси, 1960.
12. გ. თხინვალები. „ჰიდრავლიკური მანქანები“, თბილისი, „განათლება“, 1978.
13. Орахелашвили М.М. Износостойкость реактивных гидротурбин, М., Госэнергоиздат, 1960.
14. Дульнев В.Б. борьба с износом гидротурбин от воздействия наносов. Изд. Филиала Всесоюзного института научной и технической информации АН СССР. М., 1958.
15. Эрозия/ Под. Ред. К.Прис. М.: Мир, 1982.
16. გ. ხელიძე, ლ. შატაკიშვილი. ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობის შეფასება. „ინტელექტუალი“, საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი, #8, 2009წ., გვ. 148-152.

17. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанции. Справочное пособие. Под. Ред. Ю.С. Васильева и Д.С. Щавелева. Т.1 Основное оборудование гидроэлектростанции. М., Энергоатомиздат, 1988.
18. ი. ლომიძე, დ. ნამგალაძე “არასტაციონარული რეჟიმის გავლენა ენერგობიექტების გამდინარე ნაწილის ცვეთაზე“ სტუ-ს შრომები N2(468) 2008, გვ.30-33.
19. Пылаев Н.И. Борьба с износом гидротурбин от наносов. Сб. Гидротурбостроение. М., Машгиз. 1957. № 4.
20. Плужников В.Н. Влияние наносов и кавитации на рабочие характеристики гидроагрегатов. Электрические станции. М., 1958. № 5.
21. Гидротехнические сооружения. (Справочник проектировщика) Под. Общ. Ред. В.П. Недриги. М., Стройиздат. 1983 .
22. Kluney G.F. Engineering properties and Applications of Plastics, John Willey and Sons, New York, 1950.
23. www.treeland.ru/article/poto/gems/Mohs_scale_of_hardness.