

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გრიგოლი მანდარია

ენერგეტიკული მაგისტრალური სამილსადენო სისტემების
ფუნქციონირების გარდამავალი რეჟიმების და ექსპლუატაციის მართვა
ეფექტურობის და ენერგოდაზოგვის გაზრდისას

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა: "ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია"

შიფრი: 0405

თბილისი

2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ჰიდროენერგეტიკის და მაგისტრალური სამილსადენო სისტემების
დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი დიმიტრი ნამგალაძე

რეგენზენტები:

დაცვა შედგება 2018 წლის "-----" ----- "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე

კორპუსი VIII , აუდიტორია 118

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

სამუშაოს აქტუალურობა. მაგისტრალური მილსადენების ნავთობგადასატუმბი სადგურების ეფექტური მუშაობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა, რომ მაგისტრალური ტუმბოების ექსპლუატაცია მოხდეს მხოლოდ მუშა ზონაში, ხოლო სხვა შესაძლო რეგულირების მეთოდების გამოყენება უნდა მოხდეს ყველაზე ეკონომიკურ, კონკრეტული ექსპლუატაციის პირობებისათვის.

დღეისათვის დიდი ყურადღება ექცევა ენერგოდაზოგვის და ენერგოეფექტურობის ზრდის პრობლემებს. სამწუხაროდ, ჩვენს ქვეყანაში ჯერ არ არსებობს ენერგოდაზოგვის და ენერგოეფექტურობის ზრდის პრობლემების საკანმდებლო აქტები, თუმცა გარკვეული მუშაობა მიმდინარეობს. მაგალითად, როგორც ისეთი დიდი ქვეყნისათვის როგორც რუსეთისათვის, არსებობს ფედერალური კანონის (Федеральный закон РФ №261 „Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности“ „Энергетической стратегии России на период до 2030 года“) რომლის თანახმად, ნებისმიერი სტრატეგიის მიზანია სახელმწიფო ენერგეტიკული პოლიტიკის ეკონომიკის ენერგეტიკული ეფექტურობის ზრდა და ენერგეტიკული რესურსების გამოყენება.

მაგისტრალური ნავთობსადენების ექსპლუატაცია ხასიათდება გარკვეული მუშაობის რეჟიმით, რომელიც ვარაუდობს შემდეგი ტექნოლოგიური პარამეტრების მნიშვნელობების ერთობლიობას: სამილსადენო სისტემის მწარმოებლობა და წნევა, რომელიც, როგორც წესი, წარმოადგენს დროში ცვლად სიდიდეს. ეს ცვლილება გამოწვეულია სისტემის მუშაობის რეჟიმთან დაკავშირებული ტექნოლოგიური პარამეტრების მთელი რიგით.

მთელ მსოფლიოში ენერგოდაზოგვის თემა მეტად აქტუალურია, რადგანაც ენერგოეფექტურობის ხარისხის გაზრდა წარმოადგენს მაგისტრალური მილსადენების ექსპლუატაციის პრიორიტეტებს. სისტემების რეიტინგური ინდექსი, კერძოდ სისტემის საკვანძო

მახასიათებლების ეფექტურობა, ქმნის კუთრი ენერჯის მოხმარების პროდუქტის ტრანსპორტირებას.

სამილსადენო ტრანსპორტის ენერგეტიკული ეფექტურობის გაზრდისათვის, ნავთობის გადასატუმბი სადგურების ცენტრიდანული ტუმბოების და მაგისტრალური სატუმბი აგრეგატების ექსპლუატაცია უნდა მოხდეს ისეთ რეჟიმებში, რომ ყველა დანახარჯების მინიმუმი (და ყველა შესაძლო რეგულირების მეთოდებით) უნდა გვამღვედეს ოპტიმალურ ეკონომიას კონკრეტული პირობებისათვის.

მაგისტრალურ ტრანსპორტირებისას მოხმარებული ელექტროენერჯის გადახდის წილი დაახლოებით აღემატება საექსპლუატაციო დანახარჯების 30%-ს, ამიტომ ნავთობის ტრანსპორტის ენერგოდანახარჯების შემცირება მეტად აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

სამუშაოს მიზანი: ნავთობის სამილსადენო ტრანსპორტის ენერგოდანახარჯების შემცირება და ნავთობგადასატუმბი ტუმბოების მუშაობის ოპტიმალური რეჟიმების დასაბუთება.

ძირითადი ამოცანები. სითხის დაწნევიანი მოძრაობის აღმწერ დიფერენციალურ განტოლებებზე დაყრდნობით შექმნილია თეორიული ბაზა, რომელიც წარმოადგენს მაგისტრალური მილსადენების ჰიდრავლიკური პროცესის აღწერის რიცხვითი ალგორითმს და შემუშავებულია რიცხვით-ანალიზური მეთოდი; ნავთობგადასატუმბი სადგურების სატუმბი მოწყობილობის რეჟიმის პარამეტრების განსაზღვრის თეორიისა და პრაქტიკის თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზი; შემუშავდეს მაგისტრალური სატუმბი აგრეგატების მართვის ახალი მეთოდის მეთოდები, რომელიც უზრუნველყოფს ექსპლუატაციის ენერგოდამგზოვ რეჟიმს; შემუშავდეს „სატუმბი მოწყობილობის-მაგისტრალური მილსადენი“ სისტემის მუშაობის პროცესების მათემატიკური მოდელი სხვადასხვა პარამეტრების ცვლილებისას; შემუშავდეს საპროექტო სტადიაზე, მაგისტრალურ მილსადენში სისტემის

ნავთობგადასატუმბი სადგურის მუშაობის რაციონალური რეჟიმების შერჩევის ალგორითმი.

ამგვარად, ნაშრომის არსი შემდეგშია: ნავთობგადასატუმბი ტუმბოების მუშაობის ენერგოდამზოგავი რეჟიმების დადგენა სადაწნეო და ტუმბოების მახასიათებლების ერთობლივი განტოლებების ამოხსნით, რაც უზრუნველყოფს „სატუმბი მოწყობილობის-მაგისტრალური მილსადენის“ სისტემის მდგრად მუშაობას მაქსიმალური მქკ-ით და გარე ტექნოლოგიური ფაქტორების დამოკიდებლის გარეშე.

კვლევის მეთოდები: კვლევისა და დასმული ამოცანების ამოხსნისას გამოყენებულია სისტემური მიდგომა, რომელიც შეიცავს თეორიული და ექსპერიმენტალური მეთოდების კვლევას, ენერგოდანახარჯების შემცირების ფაქტორების ანალიზს, სისტემის „სატუმბი მოწყობილობის-მაგისტრალური მილსადენის“ მუშაობის რეჟიმების მათემატიკურ აღწერას, პროგრამულ მოდელირებას, მიღებული განმსაზღვრელი ფაქტორების ვარირების გეგმებს და ა.შ.

სამეცნიერო სიახლე: მიღებული წნევის, მაგისტრალური ტუმბოს მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირეს, მიწოდებასა და კონსტრუქციულ პარამეტრებს შორის ფუნქციონალური დამოკიდებულებები, რომელიც შეესაბამება „სატუმბი მოწყობილობის-მაგისტრალური მილსადენის“ სისტემას, ცენტრიდანული ტუმბოს მქკ-ით; ასევე, შემუშავებულია ცენტრიდანული სატუმბი აგრეგატების მუშაობის ჩართვის მათემატიკური მოდელი, მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის რეგულირების გათვალისწინებით. შემუშავებულია ნავთობგადასატუმბი სადგურის სარეჟიმო პარამეტრების განსაზღვრის საინჟინრო მეთოდიკა, მაქსიმალური მქკ-ის უზრუნველყოფით და მაგისტრალური მილსადენის ნავთობგადასატუმბი სადგურის კუთრი ენერგოდანახარჯების გაანგარიშების საფუძველზე.

ნაშრომის კვლევის ობიექტი და შედეგების რეალიზაცია: ნატურული და თეორიული კვლევების საფუძველზე შემუშავებულია მილსადენების

არასტაციონარული პროცესების სიტუაციების პრევენციული მეთოდი, რომელიც იძლევა ხარჯების ეკონომიას საშუალებას საჯარიმო სანქციების გარეშე, ნედლეულის დანაკარგების შემცირებისა და მილის შეცვლის ხარჯზე. მიღებული ნახშირწყალბადების მილსადენებით ტრანსპორტირების გაანგარიშებები შეიძლება დაინერგოს სასწავლო პროცესში. შექმნილი პროგრამით შესაძლოა მოხდეს ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების არასტაციონარული რეჟიმების ან ნებისმიერი სხვა სითხეების გაანგარიშება.

შედეგების გამოყენების სფერო: მიღებული შედეგების გამოყენების სფეროა მაგისტრალური ნავთობ და ნავთობპროდუქტების მილსადენები, მაგისტრალური გაზსადენები და სხვა პროდუქტის გადასატუმბი მილსადენები. შედეგები გამოიყენება საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული სექტორის განვითარების სტრატეგიული გეგმის მეცნიერულად დასაბუთებული პროგნოზების და პროგრამის ტექნიკური უზრუნველყოფის შესაბამისად.

აპრობაცია: სადისერტაციო სამუშაოს შედეგები მოხსენებულ იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის კოლოქვიუმებსა და სემინარებზე. ასევე, საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე: 1) ქ. ქუთაისში, მესამე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე - „ენერგეტიკა; რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“; 2) ქ. თბილისში, საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე - ”მექანიკა 2014”.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია სტატიების სახით სამეცნიერო ჟურნალებში.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება: შესავლისაგან, 5 თავისაგან, დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. ნაშრომი შეიცავს 159 გვერდს, 18 ცხრილს, 68 ნახაზს და 101 ლიტერატურულ წყაროს.

სამუშაოს ძირითადი შინაარსი

პირველ თავში განხილულია მაგისტრალური მილსადენების სისტემის სარეჟიმო პარამეტრების განსაზღვრის თეორიისა და პრაქტიკის თანამედროვე მდგომარეობა. კერძოდ დადგენილია მაგისტრალური მილსადენების ტექნოლოგიური სარეჟიმო პარამეტრების ცვლილების მიზეზების განსაზღვრა; მაგისტრალური მილსადენების სისტემების მუშაობის რეჟიმების რეგულირების მეთოდების კრიტიკული ანალიზი და მათი შერჩევის პრობლემა; ცენტრიდანული ტუმბოების ძირითადი პარამეტრები და მახასიათებლები; მილსადენებში არასტაციონარული პროცესების თანამედროვე მათემატიკური მოდელები და საბოლოოდ ნაშრომის ამოცანების კვლევის დასმა.

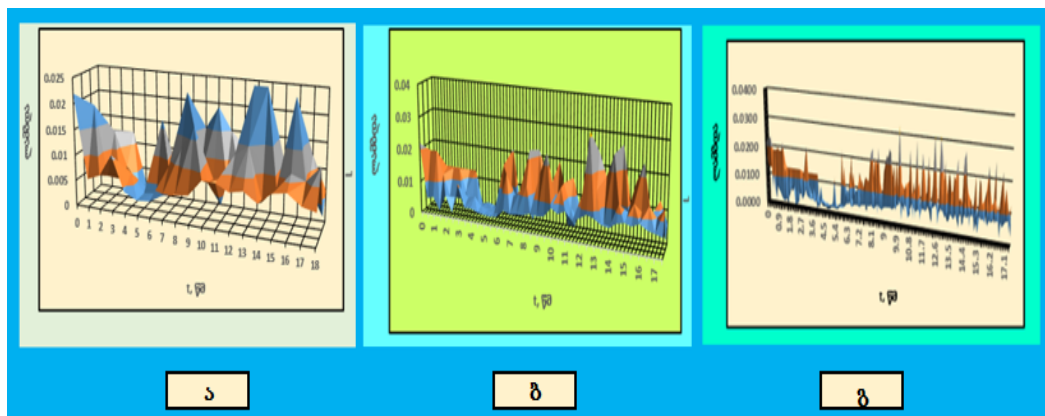
მეორე თავში განხილულია ერთ-ერთი ამოცანის მიზანი და კვლევის მეთოდიკა, კერძოდ, მილსადენში სითხის მოძრაობის არასტაციონარული პროცესი. ჩვენი მიზანია, პროცესის სრული დროის განმავლობაში და მილსადენის სიგრძის გასწვრივ, დავადგინოთ წინააღმდეგობის კოეფიციენტის ფუნქცია, ე.ი. $\hat{\lambda} = \hat{\lambda}(\mathbf{x}, t)$. პროცესის გასანგარიშებლად. გაანგარიშების მეთოდიკის შემდეგია: განიხილება სადაწნეო, არასტაციონარული სითხეების მოძრაობა მილში და მათი შესაბამისი დიფერენციალური განტოლებები, ხოლო $\lambda(\mathbf{x}, t)$ -ფუნქცია უცნობია. ამიტომ უნდა მოიძებნოს ზედაპირი $\lambda(\mathbf{x}, t)$, რის გამოც ხდება არსებული რეალიზაციების მიხედვით, წერტილების „გაბეგრებით“, უკვე „ახალი რეალიზაციებისათვის“. ამიტომ, შემუშავდა რიცხვითი ალგორითმი, კერძოდ ხდება $\lambda(\mathbf{x}, t)$ -ს ზედაპირის აგება. საბოლოოდ ხდება სიგრძეზე წინააღმდეგობის კოეფიციენტის ინტეგრალური მნიშვნელობის დადგენა.

საბოლოოდ ჰიდრავლიკური კოეფიციენტის მნიშვნელობის დადგენა ხდება ჩვენს მიერ მიღებული ფორმულით:

$$\hat{\lambda} = \frac{\lambda^2 V^2}{64 D g^2} \frac{\Delta x}{\Delta H}. \quad (1)$$

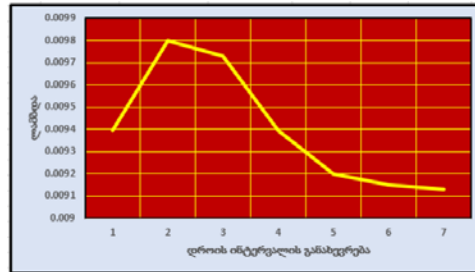
აქ მილსადენის უბანი, რომლის Δx სიგრძეა და D დიამეტრი. ჩავთვალოთ, რომ პროცესის დასაწყისამდე გვაქვს სტაციონარული პროცესი და V საშუალო სიჩქარეა, ხოლო λ წინააღმდეგობის კოეფიციენტი. ამრიგად გვაქვს Δx , D , V და λ სიდიდეები. განვიხილავთ დამყარებულ პროცესს, ΔH სიგრძეზე დაწნვის ვარდნილით. მაშინ, (1) ფორმულის მიხედვით დროის მცირე მონაკვეთებისათვის და მცირე უბნის სიგრძის Δx -თვის, შესაძლოა განვსაზღვროთ $\hat{\lambda}$ წინააღმდეგობის კოეფიციენტის შეფასება. იმისათვის, რომ მიღებული შედეგი იყოს ზუსტი Δx და ΔH სიდიდეები, უნდა იყოს მცირე და საჭიროა გარკვეული მწკრივის მნიშვნელობების „გაბევრება“. ამ შემთხვევაში საჭიროა გარკვეული ინტერპოლაციის მეთოდების გამოყენება, კერძოდ ვიყენებთ ლაგრანჟის მრავალწევრს, ან კუბური სპლაინ-ფუნქციებს.

მაგალითისათვის ნაშრომში განხილულია დამატებითი ტუმბოს გამორთვის პროცესის გაანგარიშება ნავთობსადენის „სართიჭალა-გაჩიანი“, რომელიც აღარ არსებობს, თუმცა ცნობილია გარკვეული ფაქტიური მონაცემები და შესაძლოა მისი დამუშავების ტესტის მიზნად. ნახ. 1-ზე მოყვანილია სიგრძეზე წინააღმდეგობის კოეფიციენტის $\hat{\lambda}(L, t)$ -ს ზედაპირები.



ნახ. 1. სიგრძეზე წინააღმდეგობის კოეფიციენტის $\hat{\lambda}(L, t)$ -ს ზედაპირები:
 ა. $\Delta t = 1$ წმ; ბ. $\Delta t = 0,1$ წმ; გ. $\Delta t = 0,01$ წმ.

გამოვიკვლიოთ ინტეგრალურ სიგრძეზე წინააღმდეგობის კოეფიციენტის დინამიკა (ნახ. 2). ამგვარად მოხდა Δt_i -ს გაგრძელება პროცესი დროის ბიჯის განახევრებით. ცხადია, რომ გვაქვს მარტივი იტერაცია და პროცესი თანდათანობით მილევს, რის შედეგად მიიღება λ -ს ინტეგრალურ მნიშვნელობას.



ნახ. 2. სიგრძეზე წინააღმდეგობის ინტეგრალური კოეფიციენტის დინამიკა, დროის განახევრებული ბიჯით

მესამე თავში განხილულია სატუმბო ცენტრიდანული ტუმბოების რეგულირების მქონე ამძრავის მუშაობის ენერგოდამზოგავი რეჟიმების თეორიული დასაბუთება. ნახ. 3-ზე ნაჩვენებია გადატუმბვის ენერჯის დანახარჯის ბლოკ-სქემა, რომელიც ასახავს სატუმბო სადგურის და მილსადენის სისტემის შესასვლელ და გამოსავალ პარამეტრებს.

ენერგეტიკულ დანახარჯზე მოქმედებს შემდეგი ფაქტორები:

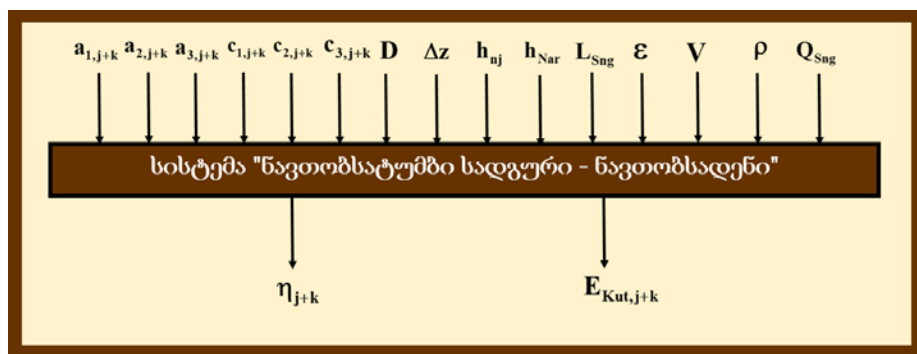
- სადგურში ცენტრიდანული ტუმბოების ჰიდრომექანიკური მახასიათებლების რეგრესიული მოდელების კონსტრუქციული ფაქტორები: $a_{0,j,j-k}, a_{1,j,j-k}, a_{2,j,j-k}$ - $H-Q$ სადაწნეო მახასიათებლის კოეფიციენტები გარკვეული ბრუნვის სიხშირისთვის (8), $i-k$ ცენტრიდანული ტუმბოს j -ური სადგური, რომლების სიდიდე დამოკიდებულია ტუმბოს ტიპზე (i - წარმოადგენს პარალელურად მიერთებული ცენტრიდანული ტუმბოების რაოდენობას, ხოლო k - მიმდევრობით); $c_{1,j,j-k}, c_{2,j,j-k}, c_{3,j,j-k}$ - კოეფიციენტები, რომლებიც ახასიათებს მქკ-ის მახასიათებელს, $i-k$ ცენტრიდანული ტუმბოს, j -ური სადგურის ნომერი.

- ტექნოლოგიური ფაქტორები, რომლებიც განპირობებულია მილსადენის ჰიდრავლიკური მახასიათებლით, ხარჯით და პროდუქტის რეოლოგიური თვისებებით: h_{nj} - შეტბორვა j -ური სადგურის წინ; Q_{Sng} - გარკვეული რეჟიმის საანგარიშო ხარჯი; L_{Sng} - ნავთობსადენის საანგარიშო სიგრძე; Δz - მილსადენის დასაწყისის და ბოლო ნიშნულების სხვაობა; h_{Nar} - ნარჩენი დაწნევა მილსადენის ბოლოში; ρ - ნავთობის სიმკვრივე; v - პროდუქტის კინემატიკური სიბლანტე; ϵ - მილსადენის შიგა კედლების ექვივალენტური აბსოლუტური ხორკლიანობა.

ცნობილია, რომ მაგისტრალური მილსადენი იყოფა საექსპლუატაციო უბნებად, რომელთა შორის არის ერთმანეთისგან ჰიდრავლიკურად დაკავშირებული სატუმბი სადგური. ამიტომ მაგისტრალური მილსადენის მათემატიკური მოდელის ასაგებად აუცილებელია დაწნევების ბალანსის განტოლების ანალიზი :

$$N_{Eqs} h_n + n H_{St} = 1,02 f Q^{2-m} L_{Sng} + \Delta z + N_{Eqs} h_{Nar}, \quad (2)$$

სადაც N_{Eqs} არის საექსპლუატაციო უბნების რაოდენობა; n - სადგურების რაოდენობა; H_{St} - ყველა მაგისტრალური ტუმბოებით მიერ განვითარებული დაწნევა; f - ჰიდრავლიკური ქანობი ერთეულოვან ხარჯზე ფორმულით $f = \beta v^m / D^{5-m}$, სადაც β, m არის ნავთობის რეჟიმზე დამოკიდებული კოეფიციენტები.



ნახ. 3. სისტემის „სატუმბო სადგურის - მილსადენის“ ენერგოდანახარჯების ჰიდრომექანიკური ფაქტორების გავლენის ბლოკ-სქემა

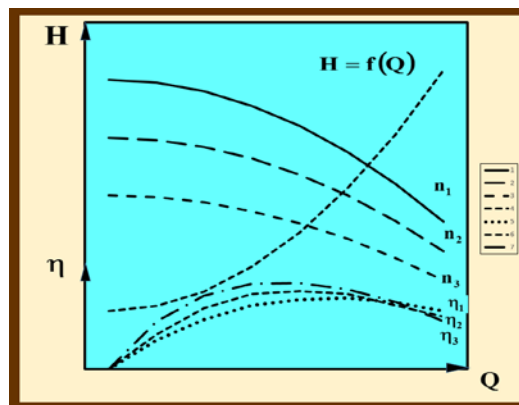
გამოსასვლელი პარამეტრების გამოყენების რეგულირების ეფექტურობის მეთოდის შეფასებად მიიღება მარგი ქმედების კოეფიციენტი η_{jmi-k} და პროდუქტის გადასატუმბი კუთრი დანახარჯები - $E_{Kut,j,i-k}$, $i-k$ მაგისტრალური გადასატუმბი აგრეგატის, j -ური სადგურისათვის. მაგისტრალური მილსადენის სისტემის სარეჟიმო პარამეტრების შერჩევის ძირითად მიზნად წარმოადგენს პროდუქტის ერთეული მოცულობის ტრანსპორტის ენერგოდანახარჯების შემცირების მინიზიმირება.

განვიხილოთ მაგისტრალური სატუმბი აგრეგატის მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის ცვლილების მართვის, მქკ-ის მაქსიმუმაციის დასაბუთებელი მეთოდი. სატუმბი სადგურის მუშაობის ოპტიმიზაციის პარამეტრად შევარჩიოთ მაგისტრალური სატუმბი აგრეგატის მქკ.

მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის ცვლილებისას, $H - Q$ ცენტრიდანული ტუმბოს მახასიათებელი, მსგავსების თეორიის გათვალისწინებით, განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$H = a_0 \left(\frac{n(\omega)}{n_0(\omega_0)} \right)^2 + a_1 \frac{n(\omega)}{n_0(\omega_0)} Q + a_2 Q^2, \quad (3)$$

სადაც $n_0(\omega_0)$ და $n(\omega)$ არის ცენტრიდანული ტუმბოს მუშა თვლის ბრუნვის ნომინალური და მუშა სიხშირე.



ნახ. 4. ცენტრიდანული ტუმბოს მახასიათებელი $\eta - Q$ -ს ცვლილება, მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის ცვლილებისას

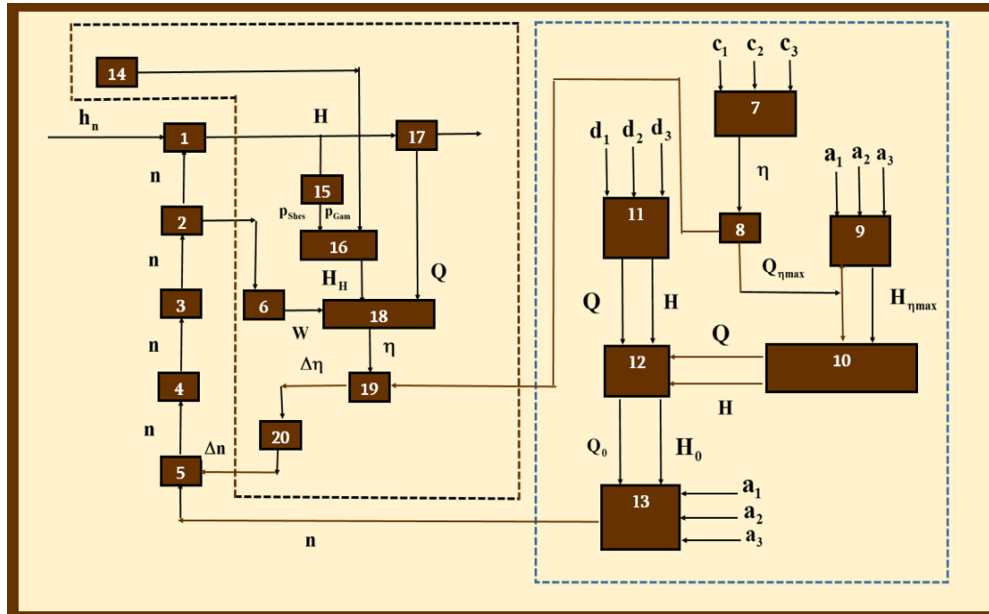
მაგისტრალური სატუმბო აგრეგატის მქც ცალკ-ცალკე შეიცავს ამპრავის, ცენტრიდანულ ტუმბოს და შემაერთებელი მუფტის მქც-ს. ცენტრიდანული ტუმბოს მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის ცვლილების მქც-ის აბსოლუტური სიდიდე არ იცვლება, ხოლო $\eta - Q$ მახასიათებელი (ნახ. 4) წინაცვლება, თუმცა იცვლება სადაწნეო მახასიათებელი.

ამასთან დაკავშირებით, განვიხილოთ მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის, მქც-ის დამოკიდებულება. მოცემული დამოკიდებულება განისაზღვრება ტუმბოს საპასპორტო მახასიათებლიდან (გრაფიკულად ან ანალიზურად), მისი შემდგომი მქც-ის აპროქსიმაციის წირით, შემდეგი პოლინომით $\eta = f(Q, n_0 / n)$, მსგავსების თეორიის გათვალისწინებით:

$$\eta = c_1 Q \frac{n_0(\omega_0)}{n(\omega)} + c_2 \left(Q \frac{n_0(\omega_0)}{n(\omega)} \right)^2 + c_3 \left(Q \frac{n_0(\omega_0)}{n(\omega)} \right)^3. \quad (4)$$

შემდგომში, განხილულია ცენტრიდანული ტუმბოს მქც-ის მაქსიმიზაციის გათვალისწინება. მუშაობის პრინციპი შემუშავებულია ცენტრიდანული ტუმბოს მაქსიმალური მქც-ის წირის გათვალისწინებით. პრინციპიალური ბლოკ-სქემა ნაჩვენებია ნახ. 5-ზე.

რეგულირება ხორციელდება ცენტრიდანული ტუმბოს მარგი ქმედების კოეფიციენტების ცვლილებების გათვალისწინებით. მუშაობის პრინციპი შემდეგია: ცენტრიდანული ტუმბოს მქც-ის მახასიათებლების კოეფიციენტები c_1, c_2, c_3 , მიეწოდება ოპერატორის მიერ აპროქსიმაციის ბლოკზე (7) და ფორმირდება მახასიათებლის სიგნალი, რომელიც მიეწოდება მაქსიმალურ მქც-ის მნიშვნელობას გამომთვლელში (8), რომელიც გამოითვლება მაქსიმალური მწარმოებლობა $Q_{\eta \max}$, გამომთვლელ (8)-ში ფორმირდება ტუმბოს მაქსიმალური მქც-ის სიგნალი და მიეწოდება ტუმბოს მახასიათებლის აპროქსიმაციის ბლოკზე (9), ხოლო შემდეგ ბლოკ (10)-ში განისაზღვრება ტუმბოს მაქსიმალური მქც-ის წირი. აპროქსიმაციის ბლოკი (8) გვაძლევს η_{\max} -ს.



ნახ. 5. ცენტრიდანული სატუმბო აგრეგატის მართვის პრინციპიალური ბლოკ-სქემა: 1 - ცენტრიდანული ტუმბო; 2 - ელექტრო ძრავა; 3 - გარდაქმნის სიხშირის სიგნალი; 4 - ავტომატური რეგულირების გარდაქმნელი; 5 - სიხშირეების შემდარებელი; 6 - სიმძლავრის ვატმეტრის სიგნალი; 7 - ტუმბოს მქკ-ის მახასიათებლების კოეფიციენტების აპროქსიმაციის ბლოკი; 8 - მაქსიმალურ მქკ-ის მნიშვნელობა; 9 - სადაწნეო მახასიათებლის აპროქსიმაციის ბლოკი; 10 - მაქსიმალური მქკ-ის წირის განსაზღვრის ბლოკი; 11 - მახასიათებლის სიგნალი; 12 - ამომხსნელი: მილსადენის და ცენტრიდანული ტუმბოს და მქკ-ის მაქსიმალური წირის მახასიათებლების ამოხსნა; 13 - სიგნალი, მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის გამოთვლის ბლოკი; 14, 15 - კორექციის ბლოკი, გადამწოდები; 16 - ცენტრიდანული ტუმბოს დაწნევის განსაზღვრის ბლოკი; 17 - გამზომი მოწყობილობა ; 18 - მქკ-ის განსაზღვრის ბლოკი; 19 - მაქსიმალურ მქკ-ის შემდარებელი; 20 - გარდაქმნელი, $\Delta\eta$ -ს სიგნალის მიწოდება.

ტუმბოს მაქსიმალური მქკ-ის შედარების ელემენტით (9), ხდება ტუმბოს მქკ-ის მნიშვნელობების განსაზღვრა. (9)-ში, ტუმბოს სადაწნეო მახასიათებლის აპროქსიმაციის ბლოკში, შეყავთ სადაწნეო მახასიათებლის a_1, a_2, a_3 კოეფიციენტების მნიშვნელობები, სადაც ფორმირდება ტუმბოს სადაწნეო მახასიათებლი და განისაზღვრება ტუმბოს მაქსიმალური მქკ-ის $H_{\eta_{max}}$. დაწნევის სიგნალი მიეწოდება ტუმბოს მაქსიმალური მქკ-ის წირს (10)-ში. აპროქსიმაციის ბლოკში (11)-ში შეყავთ მილსადენის მახასიათებლის კოეფიციენტების d_1, d_2, d_3 -ს მნიშვნელობები და ფორმირდება მილსადენის განტოლება. η_{max} -ს წირის სიგნალი (10)-დან და აპროქსიმაციის ბლოკი (11)-დან მილსადენის მახასიათებლის შესაბამისად

მიეწოდება ამომხსნელი (12), სადაც ხდება მილსადენის და ცენტრიდანული ტუმბოს და მქკ-ის მაქსიმალური წირის მახასიათებლების ამოხსნა. მიღებული მწარმოებლობა Q_0 და დაწნევა H_0 -ის შედეგებად ფორმირდება სიგნალი მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის გამოთვლის ბლოკზე (13). აქ განისაზღვრება მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირე, რომელიც შეესაბამება ცენტრიდანული ტუმბოს მქკ-ის შესაბამი მაქსიმალური მნიშვნელობას (15). გამოთვლილი მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის ბლოკი (13)-ს საშუალებით ფორმირდება ცენტრიდანული ტუმბოს სიხშირე და მიეწოდება შემდარებელს (5). აქვე, ამ ბლოკში მიეწოდება სადაწნეო მახასიათებლის კოეფიციენტები a_1, a_2, a_3 . ავტომატური კორექციის ბლოკი (14) მუშაობს შემდეგნაირად: გადამწოდებზე (14) და (15) მიეწოდება სიგნალები P_{shes} და P_{Gam} ცენტრიდანული ტუმბოს დაწნევის განსაზღვრის ბლოკს (16), სადაც მიიღება სიგნალი H_H და მიეწოდება ცენტრიდანული ტუმბოს მუშა მქკ-ის განსაზღვრის ბლოკში (18).

ხარჯის გამზომი მოწყობილობა (17) გვამლევს სიგნალს Q -ს, ცენტრიდანული ტუმბოს მქკ-ის განსაზღვრისათვის (18). იგივე ბლოკზე მიეწოდება ელექტროძრავის მოხმარებული სიმძლავრის ვატმეტრის სიგნალი (6). სიგნალები გამომთვლელში (8), η_{max} -ს სახით და ცენტრიდანული ტუმბოს მუშა მქკ-ის განსაზღვრის ბლოკი (18), მიეწოდება შემდარებელს (19)-ს მაქსიმალურ მქკ-ს, სადაც ფორმირდება სიგნალი $\Delta\eta$ და შემდეგ მიეწოდება სიგნალს გარდაქმნელს (20). ამავე ბლოკში ფორმირდება მუშა თვლის ბრუნვის კორექტირებული სიხშირე Δn და მიეწოდება სიხშირეების შემდარებლის (5)-ს, სიხშირეების სიდიდეების შესადარებლად. სიხშირეების შედარების ელემენტი (5) ფორმირებს მუშა თვლის ბრუნვის მუშა სიხშირეს სიგნალს, რომელიც მიეწოდება სიხშირის ავტომატური რეგულირების გარდაქმნელს (4), სადაც ფორმირდება გარდაქმნის სიხშირის სიგნალი (3). აღნიშნული სიგნალი მიეწოდება ელექტროძრავას (2), რომელიც მექანიკურად მიერთებულია ცენტრიდანულ ტუმბოსთან (1).

შემოთავაზებული ბლოკ-სქემის რეალიზაცია მდგომარეობს იმაში, რომ კორექტირება მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირე დამოკიდებულება ცენტრიდანული ტუმბოს მქკ-ის ცვლილებისას $\Delta n = f(\Delta \eta)$, $\eta \rightarrow \eta_{\max}$.

შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ $\Delta n = f(\Delta \eta)$ დამოკიდებულება შემდეგია $\Delta n = k \Delta \eta$, სადაც k არის პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება კონკრეტული ექსპლუატაციის პირობების შესაბამისად.

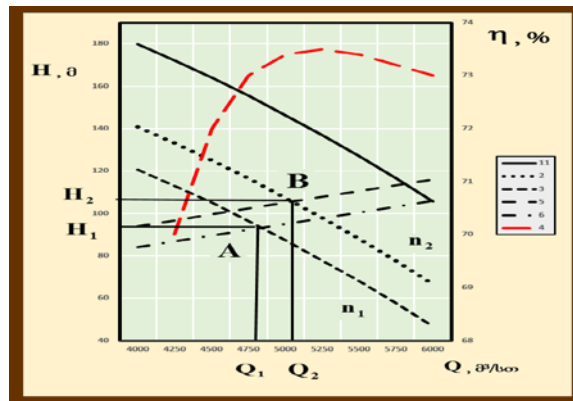
მაგალითისათვის, განხილულია კონკრეტული სატუმბი აგრეგატის მუშაობის საწყისი პირობების მქონე რეჟიმი. კერძოდ ხდება რეგულირება სადაწნეო მახასიათებლის და ბრუნვის სიხშირის გადაკვეთის ჰიდრავლიკურ უბნის მახასიათებელთან, აგრეგატის მაქსიმალური მქკ-თან (წერტილი A, ნახ. 6). ტუმბოს მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის კორექტირებული სიდიდე, რომელიც დამოკიდებულია ტუმბოს ფაქტიური მქკ-ის ცვლილებაზე. ცენტრიდანული ტუმბოს მუშა თვლის სიხშირის კორექტირებული სიდიდე გვაძლევს $\Delta n = 76$ ბრ/წთ, რაც შედარებით ოპტიმალური რეჟიმისათვის იქნება 2,95%. ნახ. 6-ზე წარმოდგენილია ცენტრიდანული ტუმბოს შესაბამისად სადაწნეო მილსადენის და მქკ-ის ერთობლივი მახასიათებლები.

ერთობლივი მახასიათებლების თანახმად, წერტილებში A და B-ში მიიღება მუშაობის რეჟიმს ცენტრიდანული ტუმბოს მაქსიმალური მქკ ტუმბოს მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირეებია $n_1 = 2578$ ბრ/წთ და $n_2 = 2654$ ბრ/წთ.

ანალოგიურად განხილულია შემდეგი ალგორითმები: ცენტრიდანული სატუმბი აგრეგატის მართვის სისტემა, მილსადენის მახასიათებლის სიმრუდის ცვლილებით, ცენტრიდანული სატუმბი აგრეგატის ოპტიმალური მართვის სისტემა, მილსადენში დაწნევის ცვლილებისას.

ცენტრიდანულ ტუმბოს მოწყობილობების განსხვავებული სპეციფიკური და ძირითადი მახასიათებლების გამოვლენის მართვის

ალგორითმის რეალიზაციისათვის, მკვ-ის მაქსიმიზაციისას, მოვიყვანოთ შედარებითი ანალიზი (ცხრილი 1).



ნახ. 6. სატუმბო აგრეგატის და მილსადენის უბნის ერთობლივი მახასიათებლები: 1. მილსადენის უბნის ჰიდრაულიკური მახასიათებელი; 2. ტუმბოს მარგი ქმედების მაქსიმალური კოეფიციენტის წირი; 3. სადაწნეო საწყისი მახასიათებელი HM 7000-210, როდესაც $n = 3000$ ბრ/წთ; 4. HM 7000-210 ტუმბოს სადაწნეო მახასიათებელი, როდესაც $n = 2578$ ბრ/წთ; 5. HM 7000-210 ტუმბოს სადაწნეო მახასიათებელი, როდესაც $n = 2654$ ბრ/წთ; 6. მილსადენის უბნის ჰიდრაულიკური მახასიათებლის პროდუქტის სიბლანტის ცვლილებისას

ამავე თავში, მოყვანილია მაგისტრალური მილსადენის სისტემაში სატუმბო სადგურის მუშაობის რეჟიმის მათემატიკური მოდელის აგება, ბრუნვის სიხშირის რეგულირების მეთოდის გათვალისწინებით.

ნახ. 7-ზე წარმოდგენილია j -ური სატუმბო საშუალო სადგურის განზოგადებული სქემა, მილსადენის ტრანსპორტის სისტემაში და ძირითადი ჰიდრომექანიკური პარამეტრების ჩვენებით. დაწნევის დანაკარგი მილების, გამწმენდის და დიაგნოსტიკის შესასვლელ მილყელში, პირველი მაგისტრალურ სატუმბო აგრეგატში განზოგადებული მახასიათებლით $h_{ses,j}$, რომელშიც შედის დანაკარგები აღნიშნულ უბანზე, ადგილობრივი წინააღმდეგები და დანაკარგები ფილტრში. დანაკარგი გამომსვლელი მილყელიდან აგრეგატამდე შედის $h_{Dac,j}$, რომელშიც შედის ზევით აღნიშნული დანაკარგები და დანაკარგი წნევის რეგულატორის ბლოკში.

ცხრილი 1. პროდუქტის გადატუმბვის ცენტრიდანული ტუმბოს მოწყობილობების კრებსითი მახასიათებლები

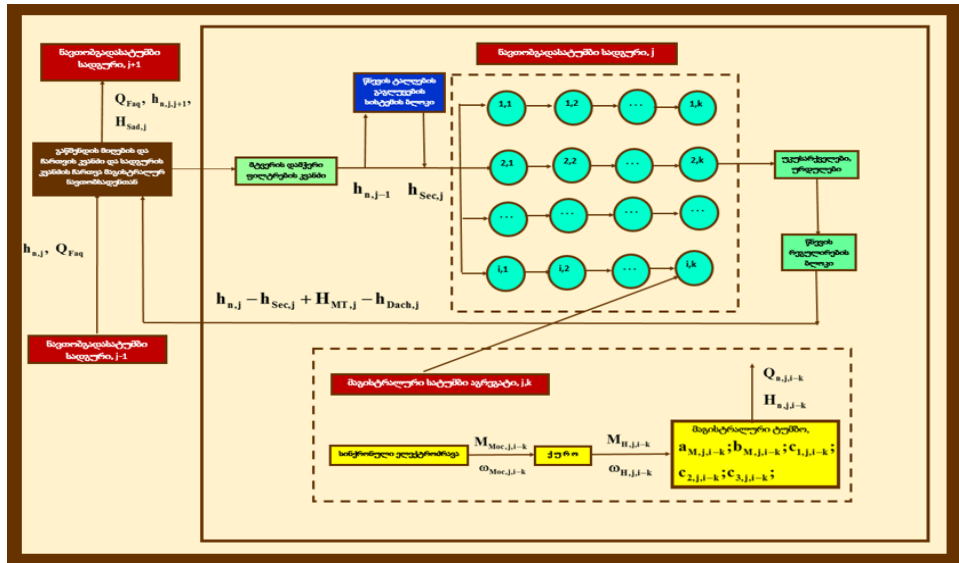
პარამეტრი	ცენტრიდანული სატუმბი აგრეგატის მართვის სისტემა	ცენტრიდანული სატუმბი აგრეგატის ავტომატური მართვის სისტემა	ცენტრიდანული სატუმბი აგრეგატის ოპტიმალური მართვის სისტემა
ცენტრიდანული ტუმბოს მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის რეგულირების განსაკუთრებული რეგულირება	ცენტრიდანული ტუმბოს მარგი ქმედების კოეფიციენტის ცვლილების რეგულირება	უზნის სადაწნეო ჰიდრავლიკური მახასიათებლის რეგულირება	სისტემის „ტუმბომილსადენის“ დაწნევის ცვლილების რეგულირება
მუდმივი პარამეტრების შეყვანა	ოპერატორი ხელით შეყავს კოეფიციენტები $a_0, a_1, a_2, d_0, d_1, d_2, c_1, c_2, c_3$	კოეფიციენტების $a_0, a_1, a_2, d_0, d_1, d_2, c_1, c_2, c_3$ ავტომატური განსაზღვრა საპასპორტო კატალოგის და საპროექტო მნიშვნელობები	ოპერატორი ხელით შეყავს კოეფიციენტები $a_0, a_1, a_2, c_1, c_2, c_3$ და სი-ხშირე n_{Moc}
რეგულირების პრინციპი	ბრუნვის სიხშირის კორექტირებული მნიშვნელობა განსხვავებას მაქსიმალური და ფაქტური მარგი ქმედების კოეფიციენტი	ბრუნვის სიხშირის კორექტირებული მნიშვნელობა d_2 კოეფიციენტი, მილსადენის უზნის ფაქტიური სადაწნეო მახასიათებლი	ბრუნვის სიხშირის კორექტირებული მნიშვნელობა დამოკიდებული განსხვავებას შორის საანგარიშო და ფაქტიური დაწნევისას
გარე კავშირი ცენტრიდანული ტუმბოს და ჰიდრავლიკურ სისტემას შორის	ცენტრიდანული ტუმბოს ფაქტიური მარგი ქმედების კოეფიციენტის, ოპტიმალური ბრუნვის სიხშირის გათვალისწინება	ბრუნვის სიხშირის საპროექტო მნიშვნელობა ფორმირდება მილსადენის უზნის სადაწნეო მახასიათებლით, ბრუნვის სიხშირის მნიშვნელობის განგარიშება ხდება უკუკავშირი სადაწნეო უბანთან კოეფიციენტით d_2	ბრუნვის სიხშირის ოპტიმალურ განგარიშებაში გათვალისწინებულია ჰიდრავლიკური სისტემის დაწნევის გავლენა

ვთქვათ ერთ-ერთი მაგისტრალური სატუმბი აგრეგატი შეიცავს სინქრონულ ელექტროძრავას და ცენტრიდანულ ტუმბოს. სისტემის

„სატუმბო საშუალო სადგური-მილსადენის“ სისტემის მუშაობის მათემატიკური მოდელი შედგება ფუნქციონალური დამოკიდებულების და განტოლებების მთელი რიგს: 1. სიხშირის გარდაქმნის განტოლება. სინქრონული ძრავის გაშვება შეიძლება ხორციელდეს შემდეგი ხერხით: ამჩქარებელი ძრავის საშუალებით; სიხშირითი გაშვება, როდესაც ხდება კვება წყაროდან მდოვრედ რეგულირებული სიხშირით; ასინქრონული გაშვება; 2. სინქრონული ძრავას დინამიკური მახასიათლის განტოლება ასინქრონული გაშვებისას, რომელიც ითვალისწინებს ელექტრომექანიკურ პროცესებს გრაგნილებში; 3. ტუმბოს მუშა თვლის როტორის ბრუნვის განტოლება; 4. ცენტრიდანული ტუმბოს სადაწნეო მახასიათებლის განტოლება, მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირეს ცვლილების გათვალისწინებით $\mathbf{H} = \mathbf{f}(\mathbf{Q}, \omega_{\mathbf{H}})$. აუცილებელია გადატუმბის ცენტრიდანული ტუმბოს ექსპლუატაციისას უნდა ვიცოდეთ, რომ რეალური მახასიათებელი დამოკიდებულია მილსადენში პროდუქტის მოძრაობის რეჟიმზე. 5. ცენტრიდანული ტუმბოს მქკ-ის მახასიათებლის განტოლება, მუშა თვლის როტორის ბრუნვის გათვალისწინებით $\eta = \mathbf{f}(\mathbf{Q}, \omega_{\mathbf{H}})$; 6. ცენტრიდანული ტუმბოს სიმძლავრის მახასიათებელი $\mathbf{N}_{\text{sr}} = \mathbf{f}(\mathbf{Q}, \omega_{\mathbf{H}})$, კონსრუქციული პარამეტრების გათვალისწინებით განისაზღვრება:
$$\mathbf{N}_{\text{sr}} = \mu \mathbf{g} \left(\mathbf{a} \left(\frac{\omega_{\mathbf{H}}}{\omega_{\mathbf{H0}}} \right)^2 - \mathbf{b} \mathbf{Q}^2 \right) / \left(\mathbf{c}_1 + \mathbf{c}_2 \mathbf{Q} \frac{\omega_{\mathbf{H0}}}{\omega_{\mathbf{H}}} + \mathbf{c}_3 \left(\mathbf{Q} \frac{\omega_{\mathbf{H0}}}{\omega_{\mathbf{H}}} \right)^2 \right);$$
 7. მილსადენის უბნისათვის, სადაც მუშაობს სატუმბო სადგური, უნდა შევიყვანოთ დაწნევის ბალანსის განტოლება; 8. შექმნილი წნევის ტალღებთან დაკავშირებული არასტაციონარული პროცესების გათვალისწინება, უნდა მოხდეს მოძრაობის და უწყვეტობის განტოლებებით.

ამგვარად, მიღებულია სრული ალგორითმი, რომლის საშუალებით შესაძლოა მაგისტრალური მილსადენის სისტემაში სატუმბო სადგურის მუშაობის რეჟიმის მათემატიკური მოდელის აგება, ბრუნვის სიხშირის რეგულირების მეთოდის გათვალისწინებით.

თავის ბოლოში, მოყვანილია მაგისტრალური მილსადენის მუშაობის რეჟიმების რეგულირების მეთოდების გამოყენების ეფექტურობის ანალიზი.



ნახ. 7. j -ური განზოგადებული სატუმბო სადგური, დადგმულს $i - k$ მაგისტრალური სატუმბო აგრეგატებით

მეოთხე თავში მოყვანილია მაგისტრალური მილსადენის ენერგოდაზოგვის ღონისძიებები.

სატუმბო სადგური, როგორც ობიექტი, შეიცავს მაგისტრალურ ტუმბოებს და ხასიათდება ტუმბოების $Q-H$ მახასიათებლების ფაქტორებით A_0, A_1, A_2 და η -მქ-ის მახასიათებლის ფორმის განმსაზღვრელი c_0, c_1, c_2 -კოეფიციენტით. სატუმბო სადგურის მუშაობის ოპტიმალური მართვის ალგორითმის პარამეტრად შეირჩევა მაგისტრალური სატუმბო დანადგარის მქ-ს, რომელიც განაპირობებს სადგურის მქ-ს.

სატუმბო სადგურის მუშაობის რეჟიმების ანალიზური გაანგარიშებისას, მილსადენის ნებისმიერი ჰიდრავლიკური ხახუნის ზონებში $Q-H$ დამოკიდებულებით, შეიძლება მივიღოთ მეორე რიგის პოლინომი $H = b_0 + b_1Q + b_2Q^2$, b_0, b_1, b_2 - მუდმივი კოეფიციენტებია. სდატუმბო სადგურის ტუმბოების საპასპორტო $Q-H$ მახასიათებელს აპროქსიმაცია ხდება მეორე რიგის პოლინომით $H = A_0 + A_1Q + A_2Q^2$, სადაც

არის ტუმბოების ტიპის, რაოდენობის და ჩართვის სქემის მუდმივი A_0, A_1, A_2 კოეფიციენტები.

ტუმბოს როტორის ბრუნვის სიხშირის ცვლილებისას, მაგისტრალური ტუმბოების სატუმბო სადგურის $Q-H$ მახასიათებლის განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$H_{Pasp} = A_0 \left(\frac{n}{n_{Pasp}} \right)^2 + A_1 \frac{n}{n_{Pasp}} Q_{Pasp} + A_2 Q_{Pasp}^2 \quad (5)$$

მაგისტრალური ტუმბოს მქვ შემდგომი აპროქსიმაციის შემდეგ, გვექნება მქვ-ის პოლინომი, c_0, c_1, c_2, c_3 - მუდმივი კოეფიციენტებით.

$$\eta = c_0 + c_1 Q + c_2 Q^2 + c_3 Q^3, \quad (6)$$

მაგისტრალური ტუმბოს მწარმოებლობა, დაწნევა და მაქსიმალური მქვ, განისაზღვრება განტოლებიდან და ხდება გამოკვლევა ექსტრემუმზე.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\eta}{dQ} = 0 \Rightarrow \eta \rightarrow \max; \\ Q_{\eta\max} = \frac{-c_2 - \sqrt{c_2^2 - c_2^2 - 3c_1c_3}}{3c_3}; \\ Q_{\eta\max} = \frac{-c_2 - \sqrt{c_2^2 - c_2^2 - 3c_1c_3}}{3c_3}. \end{array} \right. \quad (7)$$

თუ გამოვიყენებთ ტურბომანქანების მსგავსების კანონებს, შეიძლება ავაგოთ შერჩეული ტუმბოს მქვ-ის მაქსიმალური მნიშვნელობების წირი:

$$H = \frac{H_{\eta\max}}{Q_{\eta\max}^2} Q^2 \quad (8)$$

ერთობლივი ამოხსნა მახასიათებლებით, გვაძლევს სატუმბო დანადგარის მუშაობის მაქსიმალური მქვ-ის სარეჟიმო პარამეტრების დადგენას.

ექსპლუატაციის პროცესში, სატუმბო სადგურის მწარმოებლობა იცვლება, და შესაბამისად იცვლება კოეფიციენტები, ხოლო გრაფიკი მილსადენის მახასიათებელზე (ნახ. 8), გადავა ახალ მდგომარეობაში და მუშაობის ოპტიმალური რეჟიმი წანაიცვლება ახალ წერტილში. b_0, b_1, b_2 კოეფიციენტის მნიშვნელობები შეიძლება განვსაზღვროთ ექსპლუატაციის პროცესში და მიღებული შეცვლილი Q და H -ის მნიშვნელობების

დამუშავება რეგრესიული ანალიზით. სატუმბი სადგური მაქსიმალური მქკ-ის მუშაობის უზრუნველყოფა, ამ შემთხვევაში ბრუნვის ფარდობითი სიხშირის დამოკიდებულება ((2)-ის შესაბამისად) მოიცემა შემდეგნაირად:

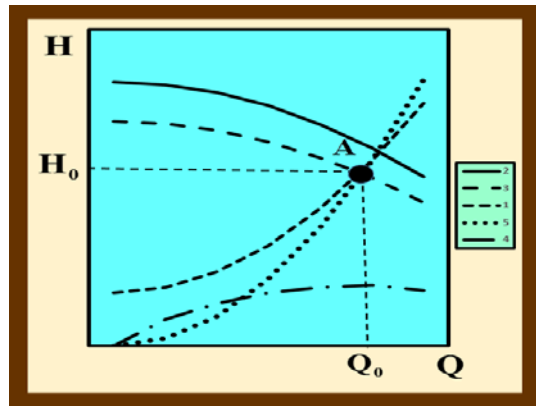
$$\frac{n}{n_{\text{Pasp}}} = \frac{-Q_0 A_1 + \sqrt{Q_0^2 (A_1^2 - 4A_0 A_1) + 4A_0 H_0}}{2A_0} . \quad (9)$$

ამგვარად, სისტემის „მილსადენი-სატუმბის სადგურის“ დაპროექტების და ექსპლუატაციის პროცესის ოპტიმალური მართვის ალგორითმი, შემდეგია (ნახ. 9): 1) განისაზღვრება სატუმბის სადგურის მაქსიმალური მარგი ქმედების კოეფიციენტი, საპასპორტო მახასიათებლის ან გამოცდის მონაცემების მიხედვით; 2) აიგება მაქსიმალური ტუმბოების მუშა რეჟიმების მქკ-ის წირი; 3) აიგება მილსადენის მახასიათებელი; 4) დგინდება მაქსიმალური მქკ-ის სატუმბი სადგურის მუშა რეჟიმი; 5) განისაზღვრება ტუმბოს ამ რეჟიმისათვის განისაზღვრება ლილვის ბრუნვის სიხშირე, ე.ი. ფორმირდება ავტომატური სისტემის ბრუნვის სიხშირის ცვლილების დავალება; 6) მუშაობის პროცესში, გაიზომება სატუმბის სადგურის დაწნევა და მწარმოებლობა, ხდება მილსადენის მახასიათებლის და ბრუნვის სიხშირის კორექტირების თვალთვალი.

ამგვარად, შემუშავებულია სატუმბი სადგურის მქკ-ის მქონე ალგორითმი, რომელიც უზრუნველყოფს გადასატუმბი პროდუქტის მწარმოებლობას. შემუშავებული მართვის ალგორითმის გამოყენება არა მხოლოდ ამცირებს ენერგოდანახარჯებს, არამედ აუმჯობესებს ტუმბოების დინამიკურ მახასიათებლებს.

ამავე თავში განიხილება მაგისტრალური მილსადენის ენერგოდაზოგვის ღონისძიებები. არსებობს ენერგოდანახარჯების შემცირების რამდენიმე გზა (ძირითადად მაგისტრალური დანადგარების ამძრავის ელექტროენერგია), რომლების შორის მთავარია: 1. მილსადენის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის შემცირება, პერიოდული გაწმენდის და/ან ტურბულენტური მიმართების წინააღმდეგობის შეყვანით; 2. გადატუმბვის რეჟიმების ოპტიმიზაცია სატუმბი დანადგარების მწარმოებლობის რეგულირებით, თანამედროვე მეთოდებით; 3. ექსპლუატირებული

მოწყობილობის და გამანაწილებელის ქსელების ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირება; 4. ელექტრომომარაგების გადასვლა თანამედროვე ენერგოდაზოგვის ტექნოლოგიებით.



ნახ. 8. მილსადენის და სატუმბი სადგურის ერთობლივი მახასიათებლები: 1. მილსადენის მახასიათებელი; 2. სატუმბი სადგურის მაგისტრალური ტუმბოების საპასპარტო მახასიათებელი; 3. სატუმბი სადგურის მაგისტრალური ტუმბოების მახასიათებელი, მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირეს ცვლილებისას; 4. სატუმბი სადგურის მაგისტრალური ტუმბოების $\eta - Q$ მახასიათებელი; 5. მაქსიმალური მარგი ქმედების კოეფიციენტის წირი; Q_0 და H_0 - დაწნევა და მწარმოელობა მაქსიმალური მარგი ქმედების კოეფიციენტისას.

განვიხილოთ შემდეგი ამოცანა: მილსადენის ჰიდრავლიკური მახასიათებელი აღიწერება შემდეგი დამოკიდებულებით $\Delta p = \beta Q^2 + \rho g \Delta z$. სიმარტივისათვის ვიღებთ განზომილებიან β სიდიდეს, განსხვავებისთ უგანზომილებო წინააღმდეგობის კოეფიციენტი λ -ს, რომლებიც დაკავშირებულია ერთმანეთთან: $\beta = \lambda \frac{8L\rho}{\pi^2 D}$.

ანალიზური ამონახსნის სიმარტივისათვის და გაანგარიშებების სიზუსტის გაზრდის მიზნით ჩავთვალოთ, რომ ცენტრიდანული ტუმბოს მახასიათებელი აღიწერება შემდეგი გამოსახულებით:

$$P = P_M \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_M} \right)^2 \right], \quad (10)$$

სადაც P_M, Q_M - წარმოადგენს $(Q - P)$ მახასიათებლის გადაკვეთის წერტილს კოორდინატების ღერძებთან.

ტუმბოს ნომინალური რეჟიმი განისაზღვრება ტუმბოს ჰიდრავლიკური სიმძლავრის მაქსიმუმის პირობიდან, ე.ი.

$$N = pQ = p_M \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_M} \right)^2 \right] Q \rightarrow \max. \quad (11)$$

ამიტომ, აუცილებელია დაწნევისა და ხარჯის სიდიდეების საპასპორტო მახასიათებლებზე გადასვლა. აქედან:

$$\begin{cases} Q = \frac{Q_M}{\sqrt{3}}; \\ p = p_M \left[1 - \frac{Q_M^2}{3Q_M^2} \right] = \frac{2}{3} p_M; \\ N = \frac{2}{3\sqrt{3}} p_M Q_M = 0,19245 p_M Q_M = 0,19245 N_M. \end{cases} \quad (12)$$

სადაც $N_M = p_M Q_M$

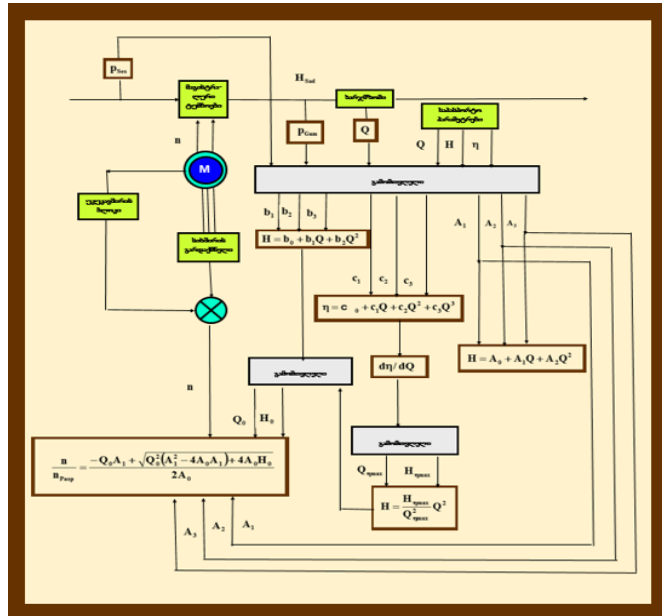
ოპტიმიზაციის ამოცანა იყოფა ორ ეტაპად. პირველ ეტაპზე განისაზღვრება წნევის ვარდნილი, რაც აუცილებელია მაგისტრალური მილსადენის მაქსიმალური მწარმოებლობა, რეზერვუარების საწყისი p_0 და ბოლო p_K დაწნევით. ამ დროს ვთვლით, რომ სატუმბო სადგური წარმოადგენს „ერთ აგრეგატს“, რომლის მახასიათებელი აღიწერება (9) დამოკიდებულებით:

$$\frac{p}{p_M} = \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_M} \right)^2 \right]. \quad (13)$$

მეორე ეტაპზე, მოცემული ვარდნილების მიხედვით უნდა ჩატარდეს ტუმბოების ჩართვის სქემებისა და დაწნევა-ხარჯის (დროსელირება ან მუშა ბორბლების ბრუნვის სიხშირის რეგულირებით) საშუალებით მახასიათებლებით სადგურზე.

$$\begin{cases} p_K - p_0 = \beta Q^2; \\ p = p_M \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_M} \right)^2 \right]. \end{cases} \quad (13)$$

სადაც გვაქვს შემოსაზღვრულობები $p_K < p_{Das}$, $p_0 > p_{Cav}$. აქ p_{Das} - მაქსიმალური დასაშვები წნევის, p_{Cav} - კავიტაციური მარაგი.



ნახ. 9. სატუმბო სადგურის ექსპლუატაციის რეჟიმების ოპტიმიზაციის სისტემის მუშაობის ფუნქციონალური სქემა. M - ელექტროძრავა

გადავიდეთ გაანგარიშების მეორე ეტაპზე. ენერგოდანახარჯების ამოცანის ოპტიმიზაცია გვამღევს ტუმბოების ისეთ კომბინაციას, რომ ერთობლივი მახასიათებლების მუშა წერტილი, იყოს მაქსიმალურად ახლოს, გაანგარიშებულს პირველ ეტაპზე. თუ ხდება დროსელირების რეგულირება, ან ნაკადის ცირკულაციით ტუმბოს ბაიპასის მიხედვით. ამ დროს სატუმბო აგრეგატის მახასიათებელი, კოეფიციენტის საშუალებით, შეიცვლება შემდეგნაირად:

$$\frac{P}{P_M} = \alpha \left[1 - \left(\frac{Q}{\gamma Q_M} \right)^2 \right]. \quad (14)$$

სადაც α და γ კოეფიციენტები, რომლებიც შესაბამეა დროსელირების და ცირკულაციის პროცესებს, $0 < \alpha, \gamma < 1$. η არის ტუმბოს მქვ მუშა ნომინალურ რეჟიმში.

ნახ. 10-ზე ნაჩვენებია HM 500-300 მახასიათებლები, ჩართვის და რეგულირების სხვადასხვა ვარიანტები. როგორც ჩანს გრაფიკებიდან, მოცემული, გაანგარიშებული მუშა წერტილი იმყოფება ოდნავ ქვევით, ვიდრე ორი მიმდევრობით ჩართული ტუმბოს მახასიათებელი. ამიტომ საჭიროა რეგულირების ერთერთი მეთოდის გამოყენება.

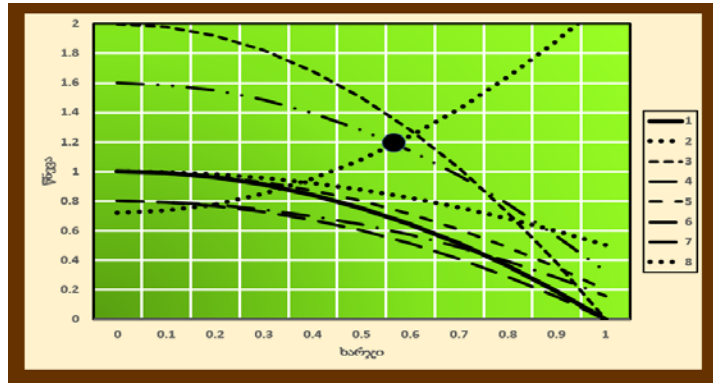
როდესაც დროსელირებისას $\alpha = 0,877$, მუშა წერტილი თანხვდება საანგარიშო მნიშვნელობასთან, თუმცა ტუმბოს მარგი ქმედების კოეფიციენტი მცირდება 12,7%-ით, ხოლო ენერგოდანახარჯები გაიზარდება ამავე სიდიდით. ამიტომ რეგულირება ოპტიმალური მეთოდით წარმოადგენს ტუმბოს ამპრავის ბრუნვის სიხშირით. განხილულ მაგალითში ბრუნვის სიხშირე უნდა გაიზარდოს 5,86%-ით, რაც მოგვცემს შემდეგ სიმძლავრის ეკონომიას $(1,0586)^2 = 1,186$, ანუ 18,6%-ით.

მეხუთე თავში განიხილება ცენტრიდანული ტუმბოების და სატუმბო სადგურების მაქსიმალური მქკ-ს დადგენის საინჟინრო მეთოდიკის შემუშავება და უზრუნველყოფა. მაგისტრალური მილსადენის ტუმბოების სატუმბო სადგურების მუშაობის რეჟიმის რეგულირება, მქკ-ის მაქსიმიზაციით, საჭიროა ვიცოდეთ გაანგარიშების საწყისი მონაცემები, რომლებიც შეადგენს: ტუმბოების სატუმბო აგრეგატების კონსრუქციული პარამეტრები, ტექნოლოგიური (ნავთობსადენის ჰიდრავლიკური მახასიათებლები) პარამეტრები, ხარჯი და ნავთობის რეოლოგიური თვისებებით.

განვიხილოთ მაქსიმალური მქკ-ის მქონე ტუმბოების ნავთობსადენის სარეჟიმო პარამეტრების დადგენა. ცენტრიდანული მანქანების მსგავსების კანონების თანახმად, შესაძლოა აიგოს ტუმბოების მუშა რეჟიმების მაქსიმალური მქკ-ის წირი. აქედან გამომდინარე, განისაზღვრება სატუმბო სადგურის მუშა რეჟიმის ცენტრიდანული ტუმბოს აგრეგატის მაქსიმალური მქკ.

სატუმბო სადგურის ტუმბოს მუშა თვლების ბრუნვის სიხშირე განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$n = n_0 \sqrt{\frac{H_p + BQ_p^2}{A}}. \quad (15)$$



ნახ. 10. ფარდობითი წნევა და ხარჯი ტუმბოს და ქსელის მახასიათებლები:
 1. ტუმბო HM 500-300-ს მახასიათებელი $\frac{p}{p_M} = \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_M}\right)^2\right]$; 2. ტუმბოების
 პარალელური მიერთება $\frac{p}{p_M} = \left[1 - \left(\frac{Q}{2Q_M}\right)^2\right]$; 3. ტუმბოების მიმდევრობითი მიერთება
 $\frac{p}{p_M} = 2 \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_M}\right)^2\right]$; 4. ტუმბოს ნაკადის დროსელირება $\frac{p}{p_M} = \alpha \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_M}\right)^2\right]$, $\alpha = 0,8$;
 5. ნაკადის ცირკულაცია შესასვლელზე $\frac{p}{p_M} = \left[1 - \left(\frac{Q}{\gamma Q_M}\right)^2\right]$, $\gamma = 0,8$; 6. ტუმბოების
 მიმდევრობითი კორექტირება $\frac{p}{p_M} = \alpha \left[1 - \left(\frac{Q}{\gamma Q_M}\right)^2\right]$, $\alpha = 0,8$, $\gamma = 0,8$; 7. ტუმბოების
 მიმდევრობითი კორექტირება; 8. ქსელის მახასიათებელი წინააღმდეგობით 388,8
 მკაწმ²/მ⁶

სარეჟიმო პარამეტრების გათვალისწინებით, ტუმბოს ლილვზე ბრუნვის სიხშირე ტოლია:

$$n = n_0 \sqrt{\frac{d_0(H_{\eta_{\max}} + BQ_{\eta_{\max}}^2)}{A(H_{\eta_{\max}} - d_2 Q_{\eta_{\max}}^2)}}. \quad (16)$$

ბრუნვის სიხშირის მნიშვნელობით (16), ფორმირდება ბრუნვის სიხშირის ცვლილების მართვის სისტემის სიგნალი. პროდუქტის გადასატუმბად, აუცილებელია გვქონდეს სადგურის მწარმოებლობა და დაწნევა, მილსადენის მახასიათებლის ცვლილება და ახალი ბრუნვის სიხშირეს კორექცია..

მეთოდი მისაღებია ცენტრიდანული ტუმბოს მქკ-ის აშკარა მაქსიმუმის შემთხვევაში, ან ხარჯის დიდი დიაპაზონის ცვლილებისას.

თავის ბოლოში, განიხილება მაგისტრალური ნავთობსადენის სატუმბო სადგურის მუშაობის რეჟიმის რაციონალური შერჩევა, კუთრი ენერგოდანახარჯების საფუძველზე.

მაგისტრალური ნავთობსადენის მუშაობის რეჟიმის რეგულირების მეთოდის შერჩევასა და ექსპლუატაციისა და ხარჯული ენერჯის სიდიდის რეალიზაციისათვის, შემუშავებულია აღნიშნული ალგორითმი.

ენერგოდანახარჯები პროდუქტის გადატუმბვაზე განისაზღვრება:

- საფეხურიანი რეგულირების მეთოდები:

$$E_{Kut} = \frac{E_{Kut1} T_1 Q_1 + E_{Kut2} T_2 Q_2}{T_{Sr} Q_{Sr}} = \frac{E_{Kut1} Q_1 (Q_2 - Q_{Sr}) + E_{Kut2} Q_2 (Q_{Sr} - Q_1)}{Q_{Sr} (Q_2 - Q_1)}. \quad (17)$$

- დროსელირების მეთოდი:

$$E_{Kut} = \frac{g(A - BQ_p^{2-m})}{m(c_1 Q_p + c_2 Q_p^2 + c_3 Q_p^3) \eta_E \eta_{mec}}. \quad (18)$$

- ბაიპასირების მეთოდი:

$$E_{Kut} = \frac{g(1,02fQ_p^{2-m}L_p + \Delta z + h_{Nar} - h_{ni})}{m_H \eta_E \eta_{Meq} Q_p} \times \left[c_1 + c_2 \sqrt{\frac{h_{ni} + A - \Delta z - h_{Nar} - 1,02fQ_p^{2-m}L_p}{B}} + c_3 \left(\sqrt{\frac{h_{ni} + A - \Delta z - h_{Nar} - 1,02fQ_p^{2-m}L_p}{B}} \right)^2 \right]^{-1}. \quad (19)$$

- ტურბულენტური საწინააღმდეგო მისართების გამოყენების მეთოდი:

$$E_{Kut} = \frac{g(1,02 \cdot 8\lambda_n / \pi^2 g D^5) Q_p^{2-m} L_p + \Delta z + h_{Nar} - h_{ni}}{m_n \eta}. \quad (20)$$

- მუშა თვლების ბრუნვის სიხშირის ცვლილების მეთოდი:

$$E_{Kut} = \frac{g \left[A \left(\frac{\omega_n}{\omega_{n0}} \right)^2 - B Q_p^2 \right]}{m_H \left[c_1 Q_p \frac{\omega_n}{\omega_{n0}} + c_2 \left(Q_p \frac{\omega_n}{\omega_{n0}} \right) + c_3 \left(Q_p \frac{\omega_n}{\omega_{n0}} \right)^3 \right]}. \quad (21)$$

ამგვარად, მაგისტრალური სატუმბი აგრეგატის მართვის მეთოდის შესაბამისად, შემუშავებულია სატუმბი სადგურის სატუმბი მოწყობილობის სარეჟიმო პარამეტრების საინჟინრო გაანგარიშების მეთოდი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ტუმბოების მქც-ის კოეფიციენტის მუშაობის სარეჟიმო პარამეტრების დადგენას.

დასკვნა

1. სატუმბი სადგურების მოწყობილობის სარეჟიმო პარამეტრების თეორიისა და პრაქტიკის თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზის საფუძველზე, გამოვლენილია ცენტრიდანული ტუმბოების მარგი ქმედების კოეფიციენტის მაქსიმიზაციის და მილსადენის მუშაობის რეგულირების მეთოდები, რომელიც ამ საკითხების შესამუშევრად - არა საკმარისია.

2. განსხვავებით არსებული მეთოდებისაგან, ჩატარებულია მაგისტრალური მილსადენების არასტაციონარული მოძრაობის რაოდენობრივი მახასიათებლების კვლევა, რომლის დროსაც დადგინდა წინააღმდეგობის კოეფიციენტის შეფასება და დინამიკური პროცესის აღწერა ახალი ანალიზურ-რიცხვითი მეთოდით. მეთოდი ეფუძნება პროცესის რეალიზაციების გამოყენებას კუბური სპლაინ-ფუნქციების და შექმნილი გაანგარიშების ანალიზური ალგორითმის საშუალებით. იტერაცია სწრაფია და პროცესი თანდათანობით მიღევადია. ჩვენს მიერ, განხორციელებული მეთოდოლოგია დაზუსტებულია, მარტივია და ექვემდებარება რიცხვითი ალგორითმის თვლას კომპიუტერზე და შესაძლოა მიღებული შედეგების გარდამავალი პროცესის მართვა. მიღებული მოდელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას, როგორც მეთოდოლოგიური საფუძველი, მაგისტრალური მილსადენის მართვის, ღონისძიებებისა და მონიტორინგის ჩასატარებლად.

3. შემუშავებულია სატუმბი აგრეგატების მართვის ახალი მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს ცენტრიდანული ტუმბოს აგრეგატის ენერგოდაზოგვის ექსპლუატაციის რეჟიმს და მეთოდის რეალიზაციის სამი ვარიანტს: მარგი ქმედების კოეფიციენტის მაქსიმიზაციას, ბრუნვის სიხშირის კორექტირებას და ჰიდრავლიკური მახასიათებლის რეგულირებას.

4. შემუშავებულია „სატუმბი მოწყობილობა-მაგისტრალური მილსადენის“ სისტემის მუშაობის მათემატიკური მოდელი, რომელიც

გვაძლევს საშუალებას გავიანგარიშოთ ცენტრიდანული ტუმბოს მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის ცვლილება.

5. შემუშავებულია სატუმბო სადგურის სატუმბო მოწყობილობის სარეჟიმო პარამეტრების საინჟინრო გაანგარიშების მეთოდი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს განისაზღვროს მუშაობის სარეჟიმო პარამეტრები, მუშა თვლის ბრუნვის სიხშირის ცვლილების რეგულირებით და ცენტრიდანული ტუმბოს მარგი ქმედების კოეფიციენტის მაქსიმიზაციით.

6. შემუშავებულია მაგისტრალური მილსადენის სატუმბო სადგურის მუშაობის რაციონალური რეჟიმის ალგორითმის შერჩევა, რომლის საშუალებით გათალისწინებულია სისტემის ექსპლუატაციის ენერგოდანახარჯების გავლენის დონის ფაქტორები, რომლებიც უნდა შედარდეს კუთრი ენერგოდანახარჯების სიდიდებთან რეგულირების თვითთელი მეთოდისათვის. მოყვანილია რეგულირების სხვადასხვა მეთოდები: ერთ ტონა პროდუქტზე კუთრი ენერგოდანახარჯების გაანგარიშების მაგალითი, რომელიც გვიჩვენებს სატუმბო სადგურის სატუმბო აგრეგატის მუშა თვლების ბრუნვის სიხშირის ცვლილების რეგულირების ეფექტურობის მეთოდს, მარგი ქმედების კოეფიციენტის მაქსიმალური სიდიდით და ეფექტი გვიჩვენებს $\approx 20\%$ -ს.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ნაშრომები:

1. მანდარია გ. სითხის მილსადენში დაუმყარებელი მოძრაობის აღმწერი განტოლებების ანალიზი. "ენერჯია". 2013, № 4, გვ. 38-41.
 2. ნამგალაძე დ., მანდარია გ. მაგისტრალურ მილსადენებში დაუმყარებელი მოძრაობის ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტის დადგენა. GEN. 2014, №4 (72), გვ. 59-61.
 3. მანდარია გ. მილსადენში არასტაციონარული პროცესის ჰიდრავლიკური კოეფიციენტის დადგენის რიცხვითი მეთოდის შემუშავება, პროცესის რეალიზაციების შესაბამისად. "ენერჯია". 2013, № 4, გვ. 59-62.
 4. ნამგალაძე დ., მანდარია გ. მილსადენში არასტაციონარული პროცესის ექსპერიმენტალური გამოკვლევები, ქ. ქუთაისის წყალმომარაგების სისტემის მილსადენის მაგალითზე. GEN. 2015, №4 (76), გვ. 57-61.
 5. ნამგალაძე დ., მანდარია გ. მაგისტრალური მილსადენის სისტემის ჰიდრომექანიკური ფაქტორების გამოვლენა და ენერგოდამზოგავი რეჟიმების დასაბუთება. "ენერჯია". 2017, № 4 (84), გვ. 76-82.
- ნაშრომის დებულებები მოხსენდა საერთაშორისო კონფერენციებზე:
6. მანდარია გ. Determination of experimental factor of unsteady motion hydraulic resistance in main pipelines. საერთაშორისო კონფერენციის - "მექანიკა 2014" - შრომების კრებული, #2(55). 19-21 ივნისი, 2014, თბილისი, საქართველო, გვ. 137-141.
 7. ნამგალაძე დ., მანდარია გ. მაგისტრალურ მილსადენში გარდამავალი პროცესის გაანგარიშება, ტუმბოს მყისი გათიშვისას. მესამე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის - „ენერგეტიკა; რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ - შრომების კრებული. 2015 წლის 23-25 ოქტომბერი. ქუთაისი, საქართველო., გვ. 244-247.

Summary

Energy efficiency issue is a very important issue worldwide. Increase of energy efficiency quality is one of the priorities for main pipeline operation. For the purpose of increasing energy efficiency of pipeline transport operation of centrifugal pumps of oil pumping stations and main pumping aggregates shall take place in such modes that it ensures optimal economy within specific conditions (through all possible regulatory methods).

For the efficient operation of oil pump stations of main pipelines it is necessary that the operation of main pumps takes place only in working zones, whereas the usage of other possible regulatory methods shall take place in the most economical way for the specific operational conditions. The thesis provides mathematical model of switching centrifugal pumping aggregate taking wheel rotation frequency into consideration; engineering method of defining oil pumping station mode parameters has been developed by ensuring maximum efficiency rate and on the basis of energy expenditures of oil pumping station of main pipeline. Based on natural and theoretical surveys preventive method for pipeline nonstationary processes has been developed, that gives possibility of economizing expenditures without penal sanctions, on account of reducing raw material losses and substituting pipes. Operation of main oil pipelines is characterized by certain operational mode that supposes unity of following technological parameters: productivity and pressure as usual is a time-based variable. This change is triggered by whole set of technological parameters related to system operational mode.

Technical-economic comparison of provided management method, specifically together with well-known methods (bypassing, drosseling, rotor changing), has been undertaken. On the basis of analyzing current regime parameters, theory and practice of pumping devices of the pumping stations it has been identified that efficiency rate maximization of centrifugal pump for the regulatory issues of the main pipelines is not sufficiently developed. Also, new method for managing new pumping aggregates which will ensure energy efficiency operational mode of centrifugal pump and 3 versions of algorithm of method realization shall be developed: efficiency rate maximization, adjustment of rotation frequency and regulation due to hydraulic characteristics. Mathematical model of operating system of the pumping device - main pipeline that enables calculation with the wheel rotation frequency changes. Also, engineering calculation method of pumping device of the pumping station mode parameters that enables definition of mode parameters together with wheel rotation frequency regulation, maximization of centrifugal pump efficient operation. Finally, algorithm selection of operation of main pipeline pumping station has been developed which envisages factors of energy expense effect levels of the system operation and comparison of specific energy expense volumes for each method. Algorithm selection has been developed for main pipeline pumping station that envisages energy expenditure influence level factors of system operation that shall be compared with energy expenditures for each regulatory method.

The results of the survey can be used for the development of thermal-energy sector plan, for the increase of energy efficiency quality of main oil and oil product transmission pipelines, main gas pipelines and other product pumping pipelines, that gives us possibility to ensure technically scientifically justified forecasts and relevant software.