

პაველე სამსონაშვილი

ჰიდროელექტროსადგურებში სადგურშიგა რეჟიმების
ოპტიმიზაციის საკითხები

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
იანვარი 2013 წელი

© საავტორო უფლება პაველე სამსონაშვილი, 2013 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით პავლე სამსონაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ჰიდროელექტროსადგურებში სადგურშიგა რეჟიმების ოპტიმიზაციის საკითხები“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: სრული პროფ. ჯ. კილასონია

რეცენზენტი: აკად. დოქტორი რ. პატარაია

რეცენზენტი: აკად. დოქტორი თ. არშვა

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2012 წელი

ავტორი: სამსონაშვილი პავლე
დასახელება: „ჰიდროელექტროსადგურებში სადგურშიგა
რეჟიმების ოპტიმიზაციის საკითხები”
ფაკულტეტი : ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის
ფაკულტეტი
აკადემიური ხარისხი: დოქტორი
სხდომა ჩატარდა: თარიღი

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.

მადლიერება

ავტორი მადლობას უხდის დისერტაციის სამეცნიერო ხელმძღვანელს

სრულ პროფესორს ჯემალ კილასონიას, ჰიდროენერგეტიკული დანადგარებისა და სამილსადენო სისტემების მიმართულების ხელმძღვანელს სრულ პროფესორს იური ლომიძეს და მიმართულების პროფესორ-მასწავლებლებს სამუშაოს შესრულების ყველა ეტაპზე გაწეული კონსულტაციებისათვის.

რეზიუმე

გაანალიზებულია ჰიდროელექტროსადგურების როგორც სადგურშია რეჟიმის, ასევე მოკლევადიანი და ხანგრძლივი რეჟიმების თავისებურებები და შეფასებულია თვითოეული მათგანის როლი ენერგოსისტემის ფუნქციონირებაში. ვრცლად არის განხილული სამივე რეჟიმის, განსაკუთრებით სადგურშია რეჟიმის ოპტიმიზაციის საკითხები. შეფასებულია ელექტროენერჯის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესის თავისებურებების გავლენა სადგურშია რეჟიმის ოპტიმიზაციის ეფექტურობაზე. აღნიშნულია გეგმიური ეკონომიკიდან საბაზროზე გადასვლასთან დაკავშირებით ტენდენცია დეცენტრალიზაციისკენ რეჟიმების მართვაში, რაც უფრო აქტუალურს ხდის ელექტროსადგურების, კერძოდ, ჰიდროელექტროსადგურების სადგურშია რეჟიმების ოპტიმიზაციის მეთოდების სრულყოფას თვითოეული ობიექტის სპეციფიკის გათვალისწინებით. მოყვანილია ტექნოლოგიური და სხვა სახის შეზღუდვების სისტემა და ოპტიმალურობის კრიტერიუმები. დასაბუთებულია დინამიკური პროგრამირების მეთოდის უპირატესობა ჰესის სადგურშია ოპტიმალური რეჟიმების გაანგარიშებაში. აღნიშნულია ცალკეული ჰესის სადგურშია რეჟიმის ოპტიმიზაციის კავშირი მთლიანად ენერგოსისტემის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანასთან და მისი როლი ამ უკანასკნელის გადაწყვეტაში. ამასთან ერთად აღნიშნულია, რომ ელექტროსადგურების არასაკმარისად შეთანხმებული ფუნქციონირებას ახალ საბაზრო პირობებში მიყვებართ წყლის უქმი გადაადგილების, წყალსაცავების ვადაზე ადრე დაცლისა და ცალკეული ჰიდროელექტროსადგურების არაოპტიმალური დატვირთვებისკენ. ამიტომ საბაზრო ეკონომიკის პირობებში აქტუალურად რჩება ენერგოსისტემების გრძელვადიანი ოპტიმალური რეჟიმების დაგეგმვა მათი შემდგომში ოპერატიული კორექტირების შესაძლებლობით. იმასთან დაკავშირებით, რომ ელექტროენერჯის ბაზარს გააჩნია თავისი კრიტერიუმები და იმისათვის, რომ თანხმობაში იყოს ტექნოლოგიური და საბაზრო ეფექტურობა, უყურადღებოდ არ დაგვრჩენია კრიტერიუმების იერარქიის დადგენის საკითხიც. წარმოდგენილი კრიტერიუმებს გააჩნია გამოყენების განსაზღვრული არე, ისინი დაკავშირებულია ერთმანეთთან და ურთიერთ-დამოკიდებულებია.

იმის გამო, რომ ელექტროენერჯის მოხმარების განუსაზღვრელობა ობიექტური რეალობაა, ხოლო პროგნოზების

აბსოლუტური სიზუსტის მოთხოვნა აბსურდული, სადისერტაციო ნაშრომში მნიშვნელოვანი ყურადღება აქვს დათმობილი ოპტიმიზაციის ამოცანების გადაწყვეტისას საწყისი ინფორმაციის შემთხვევითი ხასიათის გათვალისწინებას, ხოლო ისეთი შემთხვევებისთვის როცა ვერ ხერხდება საწყისი ინფორმაციის ალბათური აღწერაც, – მინიმალური კრიტერიუმებით სარგებლობას, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება თამაშების თეორიაში.

იმასთან დაკავშირებით, რომ ჰესების ჰიდროაგრეგატების ენერგეტიკული მახასიათებლები საწყისია ოპტიმიზაციური ამოცანების გადასაწყვეტად, სადისერტაციო ნაშრომში მოცემულია მახასიათებლების ანალიზი და ვრცლად არის განხილული მათი აპროქსიმაციის და კომპიუტერის მეხსიერებაში შენახვის საკითხები.

მოცემულია ჰიდროელექტროსადგურის სადგურშია რეჟიმის ოპტიმიზაციის ძირითადი ამოცანის მათემატიკური ფორმულირება, ჰესის ოპტიმალური ენერგეტიკული მახასიათებლის აგების ალგორითმი და ჰიდროაგრეგატების შემადგენლობისა და რეჟიმების მართვის ალგორითმი დინამიკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენებით. განხილულია აგრეთვე ცალკეულ შემთხვევებში სხვა მათემატიკური მეთოდების, კერძოდ, შტოებისა და საზღვრების და ვარიანტების მიმართული გადარჩევის მეთოდების გამოყენების საკითხები. რამდენადაც რეჟიმის ოპტიმიზაციის რთული ამოცანების რიცხვითი ამოხსნების გარდა, მიზანშეწონილია ამ ამოცანების გამარტივებული ვარიანტების ანალიზური ამოხსნების ქონა, რომლებიც შესაძლებლობას მოგვცემს ამოვიცნოთ ჰესების რეჟიმების ოპტიმალური მართვის ძირითადი კანონზომიერებები, რაც თავის მხრივ იძლევა რიცხვითი მეთოდების ამოხსნების კორექტირების კონტროლის საშუალებას, განხილულია, აგრეთვე გამარტივებულ შემთხვევებში ვარიაციული აღრიცხვის მეთოდების, პირველ რიგში ლაგრანჟის მამრავლის მეთოდის გამოყენების საკითხები. მოცემულია აღნიშნული ალგორითმების მიხედვით შედგენილი კომპიუტერული პროგრამის აღწერა, მისი გამოყენებით ჩატარებული გაანგარიშებებით მიღებული შედეგები და მათი ანალიზი.

Summary

Characteristic features of Hydro Power Stations as an intra-station regime, as well as short term and long term characteristics have been analyzed and their role in the functioning of energy system has been estimated. The matters related to optimization of all three regimes and especially intra-station regime, have been widely discussed. The influence of the peculiarities of the technological process related to energy production on the efficiency of the intra-station regime optimization has been assessed. The tendency related to changing scheduled economy by the market economy in the process of managing regimes towards decentralization has been also mentioned, which makes it more actual to complete the intra-station regime optimization methods of the power plants and particularly of the hydro power plants, considering the specifics of each project. The system of technological and other limitations are mentioned, with its optimality criteria. Priority of dynamical programming method for calculating intra-station optimal regimes has been substantiated. The link of the intra-station regime optimization of separate HPP-s to the energy system regime optimization task and its role in the solution of the latter has been mentioned. Besides, it is mentioned, that due to insufficient functioning of the HPP-s on the background of the new market leads us towards an idle diversion of river water, the discharge of reservoir water earlier than needed and towards non-optimal loading of separate HPP-s. Due to this, under the conditions of market economy it is optimal to plan a long term optimal regimes of the energy system with a possibility of their future correction. Due to the fact, that the energy market has its own criteria and due to the necessity of its being consistent with technological and market efficiency, the matter of determining hierarchy criteria has become the issue of discussion. The presented criteria have their own area of application, which are interconnected with each other and are interdependent.

Due to the fact that non-determination of power consumption requirements is an objective reality and a requirement for the absolute precision in this case is a real absurd, a great deal of attention is paid to the consideration of occasional character of the initial information in the dissertation work, but in such cases, when it is impossible to provide a probable description of the initial information - an attention is paid to the use of minimum and maximum criteria, which are widely used in the game theory.

Due to the fact that the energetic characteristics of the HPP aggregates are initial for solving the optimization tasks, the dissertation work describes analysis of characteristics, including discussion of approximation and the issues of keeping them in the computer memory.

Mathematical formulation of the main task of HPP regime optimization is also provided, including the algorithm of creating optimal energetic properties and the algorithms of HPP structures and regime management by using dynamical programming method. Also the issues related to the use of selection methods for the boundaries and variants of other mathematical methods for separate cases have been also discussed.

As long as it is recommended to have analytical solving of the simplified variants of the mentioned tasks, besides solving of the difficult tasks of regime optimization, which would give us a possibility to find main regulations of optimal management of HPP regimes, which in itself gives a possibility to control the solving correction process, it is also discussed in the work, including variation estimation methods in the simplified cases and first of all the issues of using the Lagrange multiplier factor method. Description of the computer program based on the mentioned algorithms and the calculations carried out by using them, their results and analysis have been also discussed.

შინაარსი

შესავალი - - - - -	XII
თავი I. საკითხი უმსწავლის თანამედროვე	
მდგომარეობის ანალიზი. - - - - -	15
1.1. ჰიდროელექტროსადგურების და ელექტროენერგეტიკული სისტემების რეჟიმების ოპტიმიზაციის	
თანამედროვე კონცეპციები - - - - -	15
1.2. ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების მოკლევადიანი რეჟიმების გაანგარიშების საკითხები - - - - -	20
1.3. ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების გრძელვადიანი რეჟიმების გაანგარიშების საკითხები. - - - - -	41
თავი II. ჰიდროელექტროსადგურების სადგურშიბა	
რეჟიმების კვლევის მეთოდების შემუშავება - - - - -	44
2.1. ამოცანების დასმა და მათემატიკური ფორმულირება - - -	44
2.2. გამოყენებული მათემატიკური აპარატი - - - - -	59
თავი III. ჰიდროელექტროსადგურების სადგურშიბა	
რეჟიმების ოპტიმიზაციის ალგორითმი და	
კომპიუტერული პროგრამა - - - - -	72
3.1. ჰიდროელექტროსადგურის ენერგეტიკული მახასიათებლების აგების ალგორითმი - - - - -	72
3.2. ჰიდროაგრეგატების შემადგენლობისა და რეჟიმების მართვის ალგორითმის შედგენა. - - - - -	77
3.3. ენერგეტიკული მახასიათებლების აპროქსიმაციის საკითხები - - - - -	89
დასკვნები - - - - -	95
ბამოყენებული ლიტერატურა - - - - -	100

ცხრილების ნუსხა

ცხრილები არ არის ნაპოვნი განახლებისთვის დააწეეთ F9 ღილაკს.

ნახაზების ნუსხა

- ნახ. 1.1. დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება ჰეს-სა და თეს შორის P_s და $\lambda_{ჰეს}$ მოცემული მნიშვნელობებისას. - - - - - 28
- ნახ.1.2 $\lambda_{ჰეს}$ -ის გავლენა ჰეს-ის მუშაობის რეჟიმზე დატვირთვის დღეღამურ გრაფიკში. - - - - - 30
- ნახ. 1.3 $B_s(\lambda_{ჰეს})$ -ის და $W_{ჰეს}(\lambda_{ჰეს})$ -ის დამოკიდებულებები. - - 31
- ნახ. 1.4. ჰეს-ის ჩამრთველი აგრეგატების ცვალებადი რიცხვის გავლენა ენერგოსისტემის მუშაობის რეჟიმზე - - - - - 34
- ნახ. 1.5. ჰეს-ის გასწორებული მახასიათებელი - - - - - 36
- ნახ. 3.1. სადგურშიგა ოპტიმიზაციის გამსხვილებული ბლოკ-სქემა დინამიკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენებით. - - - 85
- ნახ. 3.2. ხარჯვითი მუშა მახასიათებლის ნიმუში. - - - - - 92
- ნახ. 3.3. აგრეგატის ნატურული მუშა მახასიათებლის ნიმუში. - - -
- ნახ. 3.4. სიმძლავრითი მუშა მახასიათებლების ინტერპოლაციის ბიჯის განსაზღვრის დიაგრამა. - - - - - 94

შესავალი

საკითხების წრე, რომლებიც ეხება ჰიდროენერგეტიკული რესურსების ეფექტური გამოყენების პრობლემას ჰიდროელექტროსადგურების ექსპლუატაციის პერიოდში, ძირითადად მოიცავს ელექტროენერჯის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესის სრულყოფის ამოცანებს და, თუ წყალსაცავების წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენების ამოცანების გადაწყვეტაში მიღწეულია საკმაოდ შთამბეჭდავი შედეგები, სხვა სურათია ჰიდროაგრეგატების რეჟიმების ოპტიმიზაციის სფეროში. ჯერ კიდევ არასაკმარისად არის დამუშავებული და გაშუქებული ჰესის მომუშავე აგრეგატების შემადგენლობისა და მათ შორის დატვირთვის განაწილების მეთოდოლოგია. განსაკუთრებით მცირე ყურადღება აქვს დათმობილი ჰესის აგრეგატების შემადგენლობის არჩევას სადგურშია ოპტიმიზაციის პოზიციებიდან.

გეგმიური ეკონომიკიდან საბაზროზე გადასვლამ ისევე, როგორც სამეურნეო მოღვაწეობის სხვა დარგების, შეცვალა ელექტროენერგეტიკის განვითარებისა და ფუნქციონირების პირობები. კერძოდ, შეიმჩნევა ტენდენცია დეცენტრალიზაციისაკენ რეჟიმების მართვაში და ობიექტის ცალკეული მესაკუთრეების სწრაფვა ინდივიდუალური სარგებლობის მიღწევისკენ. ეს კიდევ უფრო აქტუალურს ხდის ელექტროსადგურების, კერძოდ, ჰიდროელექტროსადგურების სადგურშია რეჟიმების ოპტიმიზაციის მეთოდების სრულყოფას თვითოეული ობიექტის სპეციფიკის გათვალისწინებით.

ჰიდროელექტროსადგურის (ჰესის) სადგურშია რეჟიმის ოპტიმიზაცია, გარდა იმისა, რომ ხელს უწყობს ჰიდროენერგორესურსების მოცულობით შეზღუდული და დროით რეგლამენტირებული მარაგების რაციონალურ გამოყენებას, ზოგად შემთხვევაში არეგულირებს ენერგოსისტემის დატვირთვისა და სისშირეს, რაც დაკავშირებულია აგრეგატების მუდმივი ჩართვასა და გამორთვებთან, აგრეგატებს შორის დატვირთვების სისტემატურ განაწილებასთან.

ჰესი, როგორც სამრეწველო საწარმო, ცდილობს თავისთვის რაც შეიძლება რაციონალურად გამოიყენოს მოცულობით შეზღუდული და დროში რეგალმენტირებული ჰიდროენერგორესურსები. ამასთან ერთად იგი მონაწილეობს ენერგოსისტემის საერთო დატვირთვის დაფარვაში, რაც განსაზღვრავს მისი რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის ზოგადსისტემურ ხასიათს, რომელიც განუყრელად არის დაკავშირებული მთელი ელექტროენერგეტიკული წარმოების თავისებურებებთან.

ჰესის სადგურშიგა რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანას გააჩნია რამდენიმე ძირითადი ქვეამოცანა, მათ შორის დღეღამური რეჟიმის დაგეგმვა და მისი კორექცია ჰესის ენერგოსისტემაში მუშაობის პირობების ცვლილების გათვალისწინებით. მათემატიკური განსხვავება ამ ქვეამოცნებს შორის განისაზღვრება მხოლოდ საანგარიშო პერიოდით, რაც იძლევა ზოგადი ამოცანის დასმის შესაძლებლობას, რომელსაც დაემატება შემდგომ სხვადასხვა ჰესების თავისებურებების ანალიზი. ტექნოლოგიური პროცესის ყველა თავისებურებების კორექტული გათვალისწინებისაგან დიდად არის დამოკიდებული ჰიდროენერგორესურსების გამოყენების ეფექტურობა მთლიანობაში, რაც სადგურშიგა რეჟიმების ოპტიმიზაციის ამოცანას ანიჭებს განსაკუთრებულ მნიშვნელობას.

თუ ჰიდროკვანძებს მხოლოდ ენერგეტიკული დანიშნულება გააჩნია, მაშინ მათი მუშაობის რეჟიმი მთლიანად განისაზღვრება იმ ენერგოსისტემის მოთხოვნებით, რომლებშიც ისინი შედის. მნიშვნელოვნად უფრო რთულია კომპლექსური დანიშნულების ჰიდროკვანძის შემთხვევა, როცა მისი მომსახურების არეალს შეადგენს არა მხოლოდ ენერგეტიკა. ამ შემთხვევაში ჯერ ყალიბდება შეზღუდვების სისტემა, რომელიც ახდენს წყლის რესურსების განაწილების რეგალმენტირებას, ხოლო შემდეგ წყდება ჰესის ენერგეტიკული რეჟიმების გაანგარიშების ამოცანები, მაგრამ უკვე აღნიშნული შეზღუდვების გათვალისწინებით.

ელექტროენერგეტიკაში არსებული მართვის იერარქიის გათვალისწინებით ჰესის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანა პირობითად იყოფა რამდენიმე გაანგარიშების ეტაპად, დროსა და სივრცეში

ურთიერთდაკავშირებული ცვლადებით: ჰესის ოპტიმალური გრძელვადიანი რეჟიმის გაანგარიშება; ჰესის მოკლევადიანი რეჟიმის გაანგარიშება; ჰესის ძირითადი მოწყობილობის ოპტიმალური სადგურშიგა რეჟიმის გაანგარიშება. პირველი ორი ამოცანა ზოგადსისტემურია. მესამე ამოცანის გადაწყვეტა ხდება ჰიდროაგრეგატების მუშაობის დამყარებული ნორმალური პირობებისათვისა და გარდა იმისა, რომ აქვს თავისთავადი მნიშვნელობა, წარმოადგენს ინფორმაციულ ბაზას სხვა ამოცანებისათვის. რამდენადაც სამივე რეჟიმი მჭიდროდ არის დაკავშირებული ერთმანეთთან და გავლენას ახდენენ ერთმანეთზე, ნაშრომში ძირითად თემაზე – ჰესის ძირითადი მოწყობილობების სადგურშიგა რეჟიმის გაანგარიშების მეთოდებზე გადასვლამდე განხილულია ჰესის მოკლევადიანი და გრძელვადიანი რეჟიმების გაანგარიშების საკითხები.

მოცემულია ჰიდროელექტროსადგურის სადგურშიგა რეჟიმის ოპტიმიზაციის ძირითადი ამოცანის მათემატიკური ფორმულირება, ჰესის ოპტიმალური ენერგეტიკული მახასიათებლის აგების ალგორითმი და ჰიდროაგრეგატების შემადგენლობისა და რეჟიმების მართვის ალგორითმი დინამიკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენებით. განხილულია აგრეთვე ცალკეულ შემთხვევებში სხვა მათემატიკური მეთოდების გამოყენების და ენერგეტიკული მახასიათებლების აპროქსიმაციის საკითხები. მოცემულია აღნიშნული ალგორითმების მიხედვით შედგენილი კომპიუტერული პროგრამის აღწერა, მისი გამოყენებით ჩატარებული გაანგარიშებებით მიღებული შედეგები და მათი ანალიზი.

**თავი I. საპროექტი უსწავლის თანამედროვე
მდგომარეობის ანალიზი.**

**1.1. ჰიდროელექტროსადგურების და
ელექტროენერგეტიკული სისტემების რეჟიმების
ოპტიმიზაციის თანამედროვე კონცეფციები**

ეკონომიკის ელექტროენერგეტიკულ სექტორში მიმდინარე საბაზრო გარდაქმნების მიზანია ელექტროენერგეტიკის მუშაობის ეფექტურობის ამაღლება საბოლოო მომხმარებლისათვის: ელექტროენერგიაზე გადახდისუნარიანი მოთხოვნის დაკმაყოფილება და მისი ღირებულების შემცირება, მოწოდებული ენერჯის და მომსახურების ხარისხის გაზრდა, პროგრესული ტექნოლოგიების გამოყენება, ინვესტიციების მოზიდვა აუცილებელი მოცულობებით და ა.შ. ელექტროსადგურების არასაკმარისად შეთანხმებული ფუნქციონირებას ახალ საბაზრო პირობებში მიყვავართ წყლის უქმი გადაგდების, წყალსაცავების ვადაზე ადრე დაცლისა და ცალკეული ჰიდროელექტროსადგურების არაოპტიმალური დატვირთვისაკენ. ამიტომ საბაზრო ეკონომიკის პირობებში აქტუალურად რჩება ენერგოსისტემების გრძელვადიანი ოპტიმალური რეჟიმების დაგეგმვა მათი შემდგომში ოპერატიული კორექტირების შესაძლებლობით.

საბაზრო ურთიერთობები გულისხმობს, რომ თვითოეული მეწარმე დამოუკიდებლად იღებს გადაწყვეტილებას, თუ რამდენი ენერჯია და დროის რომელ მომენტში უნდა აწარმოოს. არსებობს მოსაზრება, [1], რომ ენერგეტიკული სისტემებისათვის, რომლებშიც ჰესების წილი მცირეა ელექტროენერჯის გამომუშავებაში, ასეთი მიდგომა გამართლებულია. ელექტროენერჯის წარმოების მოცულობა განისაზღვრება ბაზარზე მოთხოვნით, სათბობის მარაგით, ტექნიკური შეზღუდვებით და შეიძლება ჩაითვალოს დამოუკიდებლად დროის სხვადასხვა ინტერვალში. ყველა რეჟები, დაკავშირებული წყალსაცავში წყლის შემოდინების განუსაზღვრელობასთან, ჰესებზე

გამომუშაების მცირე წილის შემთხვევაში შეიძლება გასწორდეს თბოსადგურების რეზერვებით.

ენერგეტიკული სისტემებისათვის, რომლებშიაც ჰესების წილი დიდია ელექტროენერჯის წარმოებაში (საქართველოს გარდა ასეთი ქვეყნებია ბრაზილია, ახალი ზელანდია და სხვ.), ენერგოსისტემის მდინარის ჩამონადენის რეგულირებასთან მიბმულობის გამო, ამ მიდგომამ შეიძლება გამოიწვიოს შემდეგი ნეგატიური შედეგები:

- წყლის რესურსების არაოპტიმალური გამოყენება;
- თბოსადგურებზე სათბობის ეკონომიურად არაეფექტური გამოყენება;
- ელექტროენერჯის დროებითი დეფიციტის წარმოქმნა.

თუ მიმდინარე ინტერვალში ჰესი ზრდის ელექტროენერჯის გამომუშაებას (იყენებს წყლის დამატებით მოცულობებს), რომ დაზოგოს სათბობი თბოსადგურზე (ან მიიღოს დამატებითი მოგება), მაშინ მომდევნო პერიოდში, თუ ისინი იქნება წყალმცირე, შეიძლება მოხდეს თბოსადგურების არაეკონომიური დატვირთვა, ხოლო მათში სათბობის უკმარისობისას – ელექტროენერჯის დეფიციტი. თუ კი მიმდინარე პერიოდში ჰესი იმარაგებს წყალს მომავალში გამოსაყენებლად, მაშინ მომდევნო წყალუხვი პერიოდების შემთხვევაში არის ალბათობა, რომ საჭირო გახდება თბოსადგურის არაეკონომიური განტვირთვა ან წყლის უქმი გადაადგება.

მაშასადამე, იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილი იყოს ენერგოსისტემის, რომელშიც ჰიდროელექტროსადგურების წილი ელექტროენერჯის გამომუშაებაში მნიშვნელოვანია, ეკონომიურად ეფექტური მუშაობა, და ენერჯო რესურსების ოპტიმალური გამოყენება, აუცილებელია რეჟიმების ცენტრალიზებული დაგეგმვა ციკლში, რომელიც გაითვალისწინებს ჰესის რეჟიმების გაძღოლის თავისებურებებს. რეჟიმების დაგეგმვის მეთოდის უნდა შეიცავდეს აუცილებელ ცვლილებებს და დამატებებს, რომლებიც უზრუნველყოფს ელექტროენერგეტიკაში ურთიერთობების საბაზრო ხასიათს [2, 3, 4].

ჰიდროელექტროსადგურების და ელექტროენერგეტიკული სისტემების რეჟიმების ოპტიმიზაციის ამოცანების გადაწყვეტის ეფექტურობის ამაღლების უპირველესი გზაა ოპტიმიზაციის შესაბამისი მათემატიკური მეთოდების გამოყენება, რაც თხოულობს მათემატიკური მოდელების და ალგორითმების გამოყენებას. ზოგიერთი ამოცანის გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია [5] მონოგრაფიაში. თუ ჰესზე ავირჩევთ მომუშავე აგრეგატების ოპტიმალურ რიცხვს ოპტიმიზაციის შესაბამისი მეთოდების გამოყენებით, მაშინ სადგურის მ.კ.კ. ამაღლება 3–5%-ით (აქ რეკომენდირებულია ვარიანტების მიმართული გადარჩევის მეთოდი). თუ მოხდება წყალსაცავის წყლის რესურსების გამოყენების რეჟიმის ოპტიმიზაცია სხვადასხვა წყლიანობის წლებში – 5–10%-ით (რეკომენდირებული გრადიენტული მეთოდი და ლაგრანჟის მამრავლების მეთოდი). თუ სისტემაში ოპტიმალურად განაწილება დატვირთვა, მაშინ სათბობის გადამეტწვა შემცირდება – 2–5%-ით (რეკომენდირებულია არაწრფივი პროგრამირების მეთოდების კომპლექსი [6, 7, 8, 9]. ელექტროქსელების ოპტიმალური რეჟიმი – მიყვევართ ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირებამდე 1–5%-ით.

ოპტიმალურობა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, მაგრამ პირველ რიგში შესაძლო ვარიანტების რიცხვზე. მაგალითად თუ ელექტროენერჯის სიჭარბეს აქვს ადგილი, მაშინ შეიძლება იყოს ალტერნატივები.

ენერგეტიკაში წარმოიშვება პრინციპული შეკითხვა – როგორ წარიმართოს ოპტიმიზაციის პროცესი? საწარმოო შესაძლებლობებიდან გამომდინარე თუ საბაზრო შეხედულებებიდან. ინვესტიციების ეფექტურობას უზარმაზარი როლი გააჩნია ენერგეტიკის განვითარებაში. არც ერთი ინვესტორი არ ჩადებს სახსრებს წარმოების განვითარებაში, თუ მას შემდგომში იგი ვერ გამოიყენებს ეფექტურად. მაშასადამე, ბუნებრივი გზაა – „წარმოების ტექნიკური შესაძლებლობების ეფექტური გამოყენებიდან კომერციულ შედეგებამდე“. ამ პრინციპის გამოყენებისას ერთერთი ძირითადი კითხვაა – რომელი მაჩვენებელი ან მაჩვენებლები იქნას მიღებული შეფასების კრიტერიუმად? სახალხო მოხმარების საქონლისა და სამრეწველო საქონლის კომერციული საწარმოებისთვის – ეს არის მოგება. ენერგეტიკისათვის მოგება არ

შეიძლება იყოს კრიტიკული მაჩვენებელი. ენერგეტიკა არის საზოგადოების სიცოცხლის უზრუნველყოფის არე, მისი როლი განსაზღვრავს ეკონომიკის განვითარებას, სახელმწიფოს პოლიტიკურ მდგრადობას, მოსახლეობის სოციალურ მდგომარეობას. აქედან გამომდინარე კრიტიკიუმი შეიძლება იყოს მხოლოდ დანახარჯები ელექტროენერჯის და სიმძლავრის წარმოებაზე, ხოლო ბაზრის წესებს უნდა მიენიჭოს მხოლოდ დამხმარე, მაკორექტირებელი, და არა მთავარი როლი.

ელექტროენერჯის ბაზარს გააჩნია თავისი კრიტიკიუმები და იმისათვის, რომ თანხმობაში იყოს ტექნოლოგიური ეფექტურობა და საბაზრო, აუცილებელია კრიტიკიუმების იერარქიის დადგენა. ამასთან შეიძლება გამოყენებული იქნას ოპტიმიზაციის კრიტიკიუმების შემდეგი იერარქია [3, 4].

- უმაღლესი დონე – ენერგეტიკის საწარმოს შიგა დანახარჯების ოპტიმიზაცია – „ოპტიმიზაცია დანახარჯების მიხედვით“. ესაა მინიმიზაცია დანახარჯებისა წარმოებაზე სასაქონლო ასორტიმენტის (რეჟიმის პარამეტრების ელექტროენერჯისა და სიმძლავრის და მომსახურების მიხედვით) გათვალისწინებით, რაც სრულად ეხმიანება ბიზნესის, კონკურენციისა და მარკეტინგის ტიპურ სტრატეგიებს.

- შემდეგი დონეა – ენერგეტიკული საწარმოების ელექტროენერჯის და სიმძლავრის ოპტიმალური გამოყენება ელექტროენერგეტიკულ ბაზარზე („კომერციული ოპტიმიზაცია“) საქონლის გასაყიდი ფასის მინიმუმის კრიტიკიუმის მიხედვით და გასაყიდი ფასი ემყარება წარმოების ოპტიმალურ დანახარჯებს.

- და ბოლოს – ენერგეტიკული საწარმოების რეჟიმების ოპტიმიზაცია ბაზარზე საზოგადოებრივი ინტერესებისათვის („ოპტიმიზაცია საზოგადოებრივი ინტერესების წესების მიხედვით“) – ფასჩამოკლება / დანამატი, შედავათები, ჯარიმები.

წარმოდგენილ კრიტიკიუმებს გააჩნია განსაზღვრული არე და ისინი დაკავშირებულია ერთმანეთთან და ურთიერთდამოკიდებულია.

კავშირი გამოიხატება მათი იერარქიის სახით და თუ ამოვალთ პრინციპიდან „ტექნიკური წარმოების ეფექტური გამოყენებიდან კომერციული შედეგებისაკენ“, მაშინ იერარქიულ სქემას ექნება სახე: წარმოებაზე დანახარჯების მინიმიზაცია მთელ ტექნოლოგიურ ციკლზე, დანახარჯების მინიმიზაცია ტრანსპორტირებაზე, გასაყიდი ფასის მინიმიზაცია, გაყიდვის და შესყიდვის წესების დადგენა სასაქონლო – ფულადი ურთიერთობების დამუშავებისას.

საწყისი ინფორმაცია რეჟიმების ოპტიმიზაციის ამოცანების გადასაწყვეტად არის დატვირთვის და ელექტრომოსმარების გრაფიკების პროგნოზი, ობიექტების მახასიათებლები, რომლებიც აკავშირებენ კრიტერიუმებს და დამოუკიდებელ ცვლადებს, სისტემის სტრუქტურის თვისებებს, რომლებიც გავლენას ახდენს მათემატიკურ მოდელზე, შეზღუდვები (ტექნიკური, სამეურნეო, კომერციული). კომერციული პრინციპები დამყარებულია ელექტროენერჯის შესყიდვაზე განაცხადების სრულ განსაზღვრულობაზე, რადგანაც ელექტროენერჯის დასაწყობება არ შეიძლება. მაგრამ ელექტროენერჯის მოხმარების განუსაზღვრელობა ეს ობიექტური რეალობაა და პროგნოზების აბსოლუტური სიზუსტის მოთხოვნა აბსურდულია – ცდომილებები გარდუვალია.

ოპტიმიზაციისთვის არსებითი მნიშვნელობა აქვს დატვირთვის გრაფიკს და ენერგეტიკული ბალანსების პროგნოზების უტყუარობას. პროგნოზების ცდომილებები შეიძლება მივიღოთ მოდულების ცდომილებიდან და დამატებითი საექსპერტო შესწორებებიდან. ასეთი შეფასებები ძალიან პირობითია – ესაა გადაწყვეტილებების მიღება განუსაზღვრელობის პირობებში. შეიძლება მოცემულ იქნას პროგნოზული პარამეტრების ცვლილებების ზონა და შემდეგ მასში ნაპოვნი იქნას გადაწყვეტის ალტერნატიული ვარიანტები. დატვირთვის გრაფიკების ცვლილების პროცესის დროის მიხედვით მოდელირება ჯერჯერობით ვერ ხერხდება საკმარისად კარგად.

12. ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების მოკლევადიანი რეჟიმების გაანგარიშების საკითხები

ენერგოსისტემის დატვირთვის დღე-ღამური (კვირიანი) გრაფიკის ერთ-ერთ ძირითად თავისებურებას წარმოადგენს მისი არათანაბარზომიერება, რაც განსაზღვრავს ძირითად მოთხოვნებს ელექტროსადგურების მიმართ. ასე, მაგალითად, დატვირთვის მაქსიმუმის პერიოდებში ყველა ელექტროსადგური იტვირთება მთლიანად, სხვა დროს დღე-ღამის განმავლობაში სისტემის დატვირთვა ნაკლებია მაქსიმალურზე.

ამასთან დაკავშირებით იქმნება ელექტროსადგურის დატვირთვის ქვეშემყოფი დანადგარების რიცხვისა და შემადგენლობის ოპტიმიზაციის აუცილებლობა, ასევე აუცილებელია მისი განაწილების რაციონალური მეთოდი. ენერგოსისტემის მოკლევადიანი რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანა მსგავსია, მაგრამ გაცილებით რთულია ჰეს-ის სადგურშიგარეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანაზე დიდი ზომის, ელექტროსადგურთა ტიპების მრავალფეროვნების გამო, რომლებიც მონაწილეობენ ენერგოსისტემის დატვირთვის დაფარვაში, სხვადასხვა ელექტროსადგურების რეჟიმების ურთიერთგავლენის გათვალისწინების სირთულის, ელექტროსადგურების რეჟიმის ეფექტურობის განმსაზღვრელი ფაქტორების სიმრავლის, გამოყენებული დამოკიდებულებების არაწრფივობის, სხვადასხვა განტოლებების და ელექტროსადგურების უტოლობათა ტიპის შეზღუდვების დიდი სიმრავლის გამო და ა.შ. გარდა ამისა, საჭიროა რეჟიმის მიმართ იმ მოთხოვნების გათვალისწინება, რომელიც წაყენებულია წყალსამეურნეო სისტემის არაენერგეტიკული უბნის მიერ. დამატებითი სირთულებები შეაქვს ალბათური და განუსაზღვრელი ხასიათის საწყისი ინფორმაციის გათვალისწინებას [10, 11, 12, 13, 14].

აღნიშნულის გათვალისწინებით ენერგოსისტემის ნორმალური მოკლევადიანი რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანა უნდა მივაკუთვნოთ არაწრფივი (სტოქასტიკური) პროგრამირების მთელრიცხვა მრავალექსტემალურ ამოცანას [12, 13, 14].

ამოხსნის გასამართლებლად იყენებენ სხადასხვა მათემატიკურ ხერხებს. ასე, მაგალითად, ამოცანის განზომილების შესამცირებლად, ენერგეტიკაში ჩამოყალიბებული მართვის სტრუქტურის გათვალისწინებით, გამოიყენება აგრეგირების მეთოდი, რომელიც იმაში მდგომარეობს, რომ ენერგოსისტემის ძირითადი ელემენტების სახით გამოიყენება არა ცალკეული ენერგობლოკები, არამედ ელექტროსადგურები მთლიანობაში. ამ დროს ელექტროსადგურების რეჟიმების შიდასასადგურო ოპტიმიზაციის ამოცანა ითვლება ამოხსნილად.

ამ მიზნითვე გამოიყენება დეკომპოზიციის მეთოდი, რომლის დახმარებით შესაძლებელი ხდება რთული ამოცანის დაყოფა უფრო მარტივ ამოცანების რიგად. წყალსამეურნეო სისტემის და გარემოს დაცვის მოთხოვნათა გათვალისწინება გარდაქმნის მოკლევადიანი ოპტიმიზაციის ამოცანას არაფორმალურულში. ამ უკანასკნელის ამოხსნა შესაძლოა კვადრატული მეთოდების გამოყენებით.

უნდა აღინიშნოს, რომ გაანგარიშებებში მონაწილე მთელი საწყისი ინფორმაცია ხასიათდება გარკვეული ცდომილებით. ამის გამო ნებისმიერი შედეგი, მიღებული გაანგარიშებებში უნდა განიხილებოდეს როგორც რაღაცა ზომით საორიენტაციო.

ზემოხსენებული ეხებოდა ე.წ. ექსპლოატაციურ ამოცანას, ანუ ენერგოსისტემის დღე-ღამურ და ერთკვირიანი დაგეგმვის ამოცანას სადისპეტჩერო მართვის ავტომატიზირებული სისტემის ფუნქციონირების პირობებში. საპროექტო ამოცანისათვის ასეთი დეტალიზაცია, ელექტროსადგურების რეჟიმების განსაკუთრებულობის გათვალისწინების დროს, არ მოითხოვება, მისთვის საკმარისია გათვალისწინებული იყოს დატვირთების მიახლოებითი განაწილება ენერგოსისტემის ელექტროსადგურებს შორის, დატვირთვა შეიძლება ჩაითვალოს მოცემულად ერთ ექვივალენტურ კვანძში, ხოლო დატვირთვის დღე-ღამური გრაფიკი შეიძლება წარმოდგენილ იქნას ხანგრძლივობის მრუდის სახით და ა.შ.

როგორც საპროექტო, ასევე საექსპლოატაციო ამოცანას არა აქვთ ამონახსნები ზოგადი სახით. ის შეიძლება იყოს მიღებული მხოლოდ რიცხვითი მეთოდებით, რომელთა კორექტული გამოყენება

ბევრ შემთხვევაში განისაზღვრება ამოცანის დასმით. არანაკლებ მნიშვნელოვანია მისაღები შედეგების ფიზიკური აზრის ცოდნა უხეში შეცდომების თავიდან ასაცილებლად.

თანამედროვე ენერგოსისტემების ოპტიმალური სადღეღამისო რეჟიმის ოპტიმალური გაანგარიშება ზოგად შემთხვევაში საკმაოდ რთულია. ამასთან დაკავშირებით, განვაზოგადოთ მიღებული შედეგები და გავაანალიზოთ სხვადასხვა ფაქტორების გავლენა ჰიდროელექტროსადგურების მაჩვენებლებზე.

ერთეული ჰეს-ის მოკლევადიანი რეჟიმების ოპტიმიზაციის ამოცანა (უმარტივესი შემთხვევა) მათემატიკურად შეიძლება იყოს წარმოდგენილი შემდეგნაირად.

მოცემულია კონცენტრირებული ენერგოსისტემა ერთი კაშხალური ჰეს-ით და რამოდენიმე თეს-ით ანუ შემთხვევა როდესაც ელექტროგადამცემ ხაზებში და ქსელის გამანაწილებლებში შეიძლება ვუგულებელყოთ დანაკარგები. ცნობილა თეს-ის ჩართული დანადგარების მუდმივი შემადგენლობა ერთი დღე-ღამის განმავლობაში და მისი ენერგეტიკული მახასიათებლები. ჰეს-ისათვის მოცემულია ენერგეტიკული მახასიათებლები, რომლებიც აგებულია ხარჯის გამშვები დანაკარგების გათვალისწინების გარეშე და ჰიდროაგრეგატების უცვლელი დაწნევისას დღე-ღამის განმავლობაში. გარკვეულობისათვის მივიღოთ, რომ ყველა ჰიდროაგრეგატი ერთნაირია.

მოითხოვება ჰეს-ის და თეს-ის ისეთი რეჟიმების პოვნა ერთი დღე-ღამის განმავლობაში ანუ $N_{ჰეს}(t)$, $N_{თეს,j}(t)$, $j=1,2,\dots,m$, რომლებიც უზრუნველყოფენ პირობითი საწვავის მინიმალურ ხარჯვას სისტემაში:

$$B_b = \int_{t_0}^{t_k} \sum_{j=1}^m B_j(N_{თეს,j}(t)) dt \Rightarrow \min \quad (1.1)$$

აქტიური სიმძლავრეების ბალანსის პირობებში:

$$\varphi(t) = P_b(t) - N_{ჰეს}(t) - \sum_{j=1}^m N_{თეს,j}(t) = 0, \quad (1.2)$$

როცა მოცემულია ჩადინების მოცულობა ჰეს-ის გავლით ერთ დღე-ღამეში:

$$W_{ჰეს} - \int_{t_0}^{t_k} Q_{ჰეს}(t) dt = 0 \quad (1.3)$$

და ცნობილია ელექტროსადგურების რეჟიმები განსახილველი დღე-ღამეების t_0 დასაწყისზე და t_k ბოლოზე. აუცილებელია ასევე უზრუნველყოფილი იყოს ჰეს-ის და თეს-ის რეჟიმების მოცემული შეზღუდვების შესრულება სახით:

$$N_{ჰეს}^{min}(t) \leq N_{ჰეს}(t) \leq N_{ჰეს}^{max}(t); \quad (1.4)$$

$$N_{თეს}^{min}(t) \leq N_{თეს}(t) \leq N_{თეს}^{max}(t); \quad (1.5)$$

დავუშვათ, რომ ყველა დამოკიდებულებანი, რომლებიც გამოიყენება გაანგარიშებაში წყალსამეურნეო სისტემის არა ენერგეტიკული უბნის მიერ, უწყვეტია და ორჯერ დიფერენცირებადი. მაშინ დაყენებული ამოცანა შეიძლება მიეკუთვნოს სასაზღვრო ვარიაციულ ამოცანებს (1.3) სახის პირობებით, (1.2) სახის კავშირის განტოლებებისა და (1.4) და (1.5) უტოლობათა ტიპის შეზღუდვების არსებობისას.

ამ შემთხვევაში შეიძლება ჩაითვალოს, რომ (1.1) ექსტრემუმი მიიღწევა იმავე ექსტრემალეზზე, სადაც მიიღწევა შემდეგი გამოსახულების ექსტრემუმი:

$$\begin{aligned} \Phi &= \int_{t_0}^{t_k} \left[\sum_{j=1}^m \beta_j (N_{თეს,j}(t)) + \lambda(t) \varphi(t) + \lambda_{თეს} Q_{ჰეს}(t) + S_{ჰეს}(t) + \sum_{j=1}^m S_{თეს,j}(t) \right] dt = \\ &= \int_{t_0}^{t_k} F(y, \dot{y}, t) dt \Rightarrow \min, \end{aligned} \quad (1.6)$$

სადაც $\lambda(t)$, $\lambda_{\text{ოგბ}}$ – ლაგრანჟის განუსაზღვრელი არატრივიალური მამრაველი;

$S_{\text{ჰგბ}}^t(t)$, $S_{\text{ოგბj}}^t(t)$ – საჯარიმო ფუნქციები, შემოტანილი მიზნობრივ ფუნქციაში უტოლობის ტიპის შეზღუდვათა გასათვალისწინებლად.

ცნობილია, რომ (1.1) მინიმუმს აღვილი ექნება, თუ $N_{\text{ჰგბ}}(t)$ და $N_{\text{ოგბj}}(t)$ $i=1,2,\dots,m$ წარმოადგენენ ექსტრემალებს ანუ მათ გასწვრივ შესრუდება ეილერის ცნობილი განტოლება – ფუნქციონალის ექსტრემუმის აუცილებლობის პირობა (1.6):

$$F_{N_{\text{ოგბ}}} \cdot \frac{d}{dt} F_{\dot{N}_{\text{ჰგბ}}} = 0 \quad (1.7)$$

$$F_{N_{\text{ოგბj}}} - \frac{d}{dt} F_{\dot{N}_{\text{ოგბj}}} = 0, \quad j=1,2,\dots,m \quad (1.8)$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} F_{\text{ჰგბ}} &= \frac{dF}{dN_{\text{ჰგბ}}}; F_{\dot{N}_{\text{ჰგბ}}} = \frac{dF}{d\dot{N}_{\text{ჰგბ}}}; \dot{N}_{\text{ჰგბ}} = \frac{dN_{\text{ჰგბ}}}{dt}; \\ F_{N_{\text{ოგბj}}} &= \frac{dF}{dN_{\text{ოგბj}}}; F_{\dot{N}_{\text{ოგბj}}} = \frac{dF}{d\dot{N}_{\text{ოგბj}}}; \dot{N}_{\text{ოგბj}} = \frac{dN_{\text{ოგბj}}}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

გაგხსნათ (1.7) და (1.8) განტოლებები:

$$F_{N_{\text{ჰგბ}}} - \frac{d}{dt} F_{\dot{N}_{\text{ჰგბ}}} = \lambda_{\text{ჰგბ}} \frac{dQ_{\text{ჰგბ}}}{dN_{\text{ჰგბ}}} - \lambda(t) + \frac{dS_{\text{ჰგბ}}}{dN_{\text{ჰგბ}}} - \lambda_{\text{ჰგბ}} \frac{d}{dt} \frac{dQ_{\text{ჰგბ}}}{d\dot{N}_{\text{ჰგბ}}} = 0, \quad (1.10)$$

$$F_{N_{\text{ოგბj}}} - \frac{d}{dt} F_{\dot{N}_{\text{ოგბj}}} = \frac{d\beta_j}{dN_{\text{ოგბj}}} - \lambda(t) + \frac{dS_{\text{ოგბj}}}{dN_{\text{ოგბj}}} - \frac{d}{dt} \frac{d\beta_j}{d\dot{N}_{\text{ოგბj}}} = 0, \quad (1.11)$$

გაგაანალიზოთ (1.10) და (1.11) განტოლებების ამოხსნის მიღების საშუალება. უცნობთა რაოდენობა უდრის $3m+5$ -ს; $2m+2$ - ინტეგრირების მუდმივების რიცხვი; $m+1 = N_{\text{ჰეს}}$ და $N_{\text{ოეს}}$ გაანგარიშებათა უცნობების რიცხვი; $\lambda_{\text{ჰეს}}$ და $\lambda(t)$. გაანგარიშებათა რიცხვი ასევე უდრის $3m+5$ -ს; $m+1$ -ეილერის განტოლებათა რიცხვი; $2m+2$ - ზღვრული პირობებისა და კავშირის განტოლებების (1.2) და (1.3) რიცხვი.

სხვა სიტყვებით, თუ განსახილველი განტოლებები არაერთობლივია, ხოლო შეზღუდვები არ ეწინააღმდეგებიან ერთმანეთს, მაშინ ამოცანის ამოხსნა შეიძლება მოიძებნოს, თუკი ის არსებობს.

ენერგოსისტემების აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების აუცილებელი პირობები შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ანალიზური სახით შემდეგნაირად:

$$\dot{b}_{\text{ოეს}1}(t) = \dot{b}_{\text{ოეს}2}(t) = \dots = \dot{b}_{\text{ოეს}m}(t) = \lambda_{\text{ჰეს}} \dot{q}_{\text{ჰეს}} = \lambda(t), \quad (1.12)$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} \dot{b}_{\text{ოეს}j} &= b_{\text{ოეს}j} + b'_{\text{ჰეს}j} + b s_j; \\ \dot{q}_{\text{ჰეს}} &= q_{\text{ჰეს}} + q'_{\text{ჰეს}} + q s_{rx} \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

როცა

$$\left. \begin{aligned} b_{\text{ოეს}j} &= \frac{d\beta_j}{dN_{\text{ოეს}j}}; \quad b'_{\text{ოეს}j} = \frac{d}{dt} \frac{d\beta_j}{dN_{\text{ოეს}j}}; \quad b s_j = \frac{dS_{\text{ოეს}j}}{dN_{\text{ოეს}j}}; \\ q_{\text{ჰეს}} &= \frac{dQ_{\text{ჰეს}}}{dN_{\text{ჰეს}}}; \quad q'_{\text{ჰეს}} = -\frac{d}{dt} \frac{dQ_{\text{ჰეს}}}{dN_{\text{ჰეს}}}; \quad q s_{rx} = \frac{dS_{\text{ჰეს}}}{dN_{\text{ჰეს}}} \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

თუკი ყველა პროცესი ენერგოსისტემაში ჩაითვლება დამყარებულად, ხოლო აგრეგატების და ელექტროსადგურების

დიფერენციალურ მახასიათებლებს საჯარიმო ფუნქციების გათვალისწინებით განვიხილავთ, როცა $\mu_j \rightarrow \infty$ და $\gamma_j \rightarrow \infty$, მაშინ (1.12) მიიღებს სახეს:

$$\mathbf{b}_{\text{თეს}1}(t) = \mathbf{b}_{\text{თეს}2}(t) = \dots = \mathbf{b}_{\text{თეს}m}(t) = \lambda_{\text{თეს}} \mathbf{q}_{\text{თეს}}(t) = \lambda(t), \quad (1.15)$$

ზოგჯერ უფრო მოხერხებულია (3.15) ჩავწერთ შემდეგი სახით:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{b}_{\text{თეს}1}(t) - \mathbf{b}_{\text{თეს}j}(t) &= 0, \quad j = 1, 2, \dots, m; \\ \mathbf{b}_{\text{თეს}j}(t) - \lambda_{\text{ჰეს}} \mathbf{q}_{\text{ჰეს}}(t) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1.16)$$

სადაც $\mathbf{b}_{\text{თეს}1}$ – ენერგოსისტემაში არაგეგმიური დატვირთვის ცვლილების დასაფარავად გათვალისწინებული ელექტროსადგურის (ამ შემთხვევაში თეს-1-ის) ფარდობითი ნამატი.

(1.15)-ის გათვალისწინებით შეიძლება აიგოს ენერგოსისტემის ეკვივალენტური თეს-ის ენერგეტიკული მახასიათებელი და შემდგომ გამოყენებულ იქნას გაანგარიშებებში.

$$\mathbf{b}_{\text{თეს}1}(t) = \dots = \mathbf{b}_{\text{თეს}m}(t) = \mathbf{b}_{\text{მჰ}}(\mathbf{N}_{\text{მჰ}}(t)) = \lambda(t), \quad (1.17)$$

ზემოთქმულის საფუძველზე (1.17)-ის გათვალისწინებით წარმოვადგინოთ (1.15) შემდეგი სახით.

$$\mathbf{b}_{\text{მჰ}}(\mathbf{N}_{\text{მჰ}}(t)) = \lambda_{\text{ჰეს}} \mathbf{q}_{\text{ჰეს}}(\mathbf{N}_{\text{ჰეს}}(t)) = \lambda(t) \quad (1.18)$$

და განვიხილოთ ენერგოსისტემაში ჰეს-ის ოპტიმალური რეჟიმების განსაკუთრებულობანი.

დავუშვათ, რომ ჰეს-ის დატვირთვის ქვეშ ჩართული აგრეგატების რიცხვი დღე-ღამის განმავლობაში მუდმივია და $\lambda_{\text{ჰეს}}$ მოცემულია. მაშინ A ენერგოსისტემის ნებისმიერი დატვირთვისათვის პირობა (1.17) შეესაბამება გადაკვეთას $\mathbf{b}_{\text{მჰ}}(\mathbf{N}_{\text{მჰ}})$ და ჰეს-ის დიფერენციალური

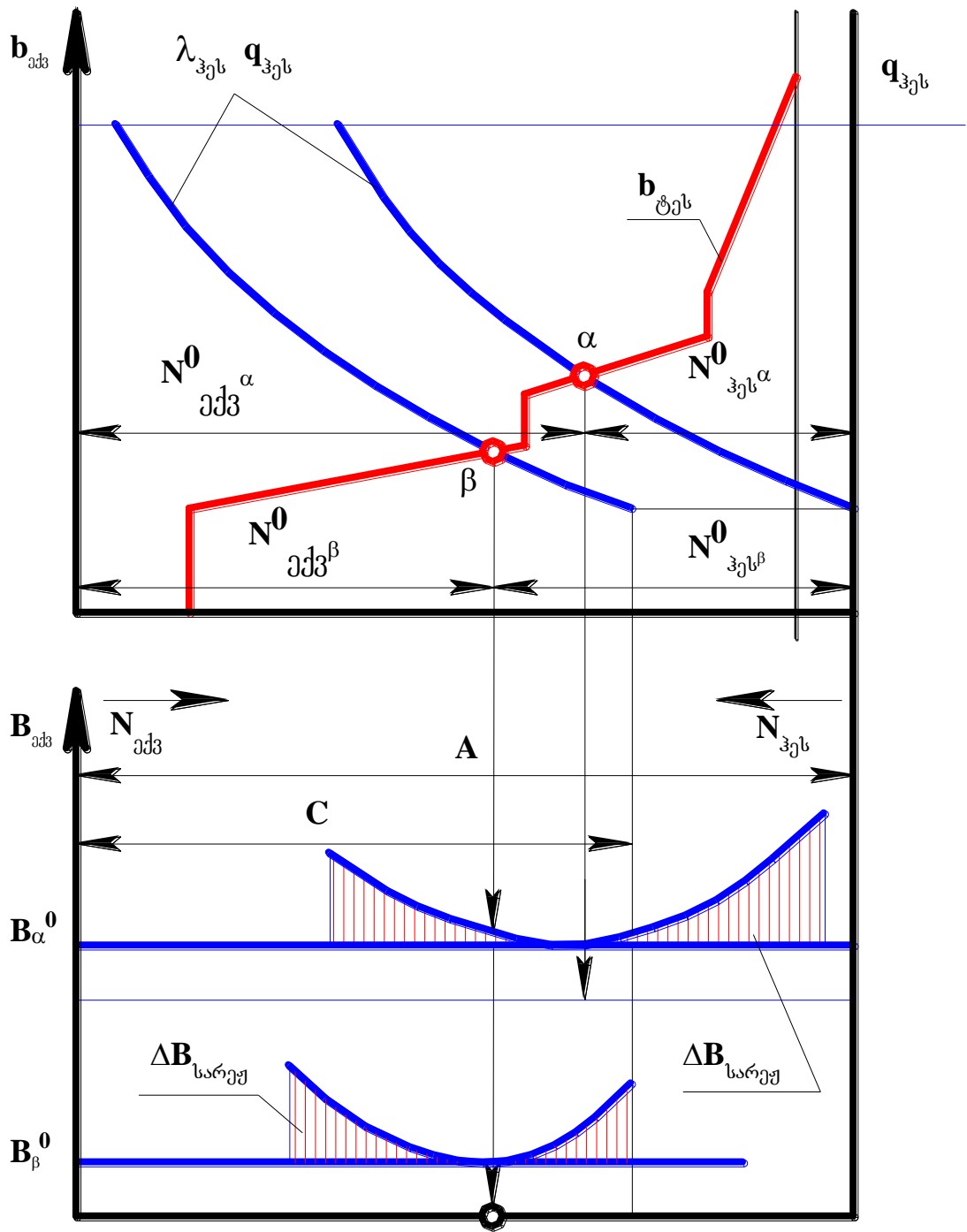
დახასიათებისა $q_{\text{ჰეს}}(N_{\text{ჰეს}})$, გამრავლებულს $\lambda_{\text{ჰეს}}$ -ზე (წერტილი α ნახ. 1.1-ზე). α წერტილში პირობითი სათბობის ხარჯი სისტემაში იქნება ყველაზე მინიმალური $B\alpha^0$. ნებისმიერ გადახრას $N_{\text{ჰეს}}$ და $N_{\text{ჰეს}}^0$ -სგან მიყვავართ სისტემაში რეჟიმული დანაკარგების გაჩენასთან $\Delta B_{\text{რეჟ}}$.

ენერგოსისტემის დატვირთვის ცვლილებისა $P_f = G$ -მდე $\lambda_{\text{ჰეს}} = \text{const}$ -ის დროს ჰეს-ის ენერგეტიკული მახასიათებელი ინაცვლებს თავისი თავის პარალელურად, $b_{\text{ჰეს}}(N_{\text{ჰეს}})$ -ის გადაკვეთით ახალ β წერტილში (ნახ. 1.1).

(1.17)-იდან $\lambda_{\text{ჰეს}}$ -ის ფიზიკური აზრი შეიძლება ინტერპრეტირებული იყოს როგორც ჰეს-ზე წყლის ხარჯის ყოველი ერთეულის სათბობი ეფექტურობა, ანუ $\lambda_{\text{ჰეს}}$ უჩვენებს, თუ რამდენჯერ შემცირდება თეს-ზე სათბობის ხარჯი, ჰეს-ზე წყლის ხარჯის გაზრდისას 1 მ³/დღე-ღამეში ენერგოსისტემის სიმძლავრეების ბალანსის დაცვისას. მართლაც (1.17)-ის საფუძველზე გვაქვს:

$$\lambda_{\text{ჰეს}} = \frac{b_{\text{ჰეს}}}{q_{\text{ჰეს}}} \approx \frac{dB_{\text{ჰეს}}}{dQ_{\text{ჰეს}}} \quad (1.19)$$

განგარიშებებში $\lambda_{\text{ჰეს}}$ -ის მნიშვნელობა ჩვეულებრივ განისაზღვრება იტერაციული გზით ისე, რომ უზრუნველყოფილი იყოს (1.3) პირობის შესრულება. რაც მეტია $W_{\text{ჰეს}}$ ერთი დღე-ღამის განმავლობაში, მით ნაკლებია $\lambda_{\text{ჰეს}}$ და პირიქით.



ნახ. 1.1. დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება ჰეს-სა და თეს შორის P_s და $\lambda_{ჰეს}$ მოცემული მნიშვნელობებისას.

ილუსტრაციის სახით ნახ. 1.2-ზე ნახვენებია ჰეს-ის მუშაობის გრაფიკები სხვადასხვა $\lambda_{ჰეს}$ -სთვის $\lambda_{ჰეს}^{მინ}$ -დან $\lambda_{ჰეს}^{მაქ}$ -მდე, რომლებიც გამოითვლება ფორმულით:

$$\lambda_{ჰეს}^{მაქ} = \frac{b_{ჰეს}^{მაქ}}{q_{ჰეს}^{მინ}} ; \quad (1.20)$$

$\lambda_{ჰეს}^{მაქ}$ -ის დროს დატვირთვის მაქსიმუმში ყველა თეს-ები მუშაობენ ზღვრული სიმძლავრით $N_{ჰეს}^{მაქ}$. თუ $N_{ჰეს}^{მაქ} \geq p_s^{მაქ}$, მაშინ $W_{ჰეს}(\lambda_{ჰეს}^{მაქ})=0$ და $N_{ჰეს}(t)=0$. თუკი $N_{ჰეს}^{მაქ} < p_s^{მაქ}$, მაშინ ჰესი მუშაობს დატვირთვის გრაფიკის პიკში იძულებითი რეჟიმით, რომელიც განისაზღვრება ენერგოსისტემაში სიმძლავრეთა ბალანსის პირობებით:

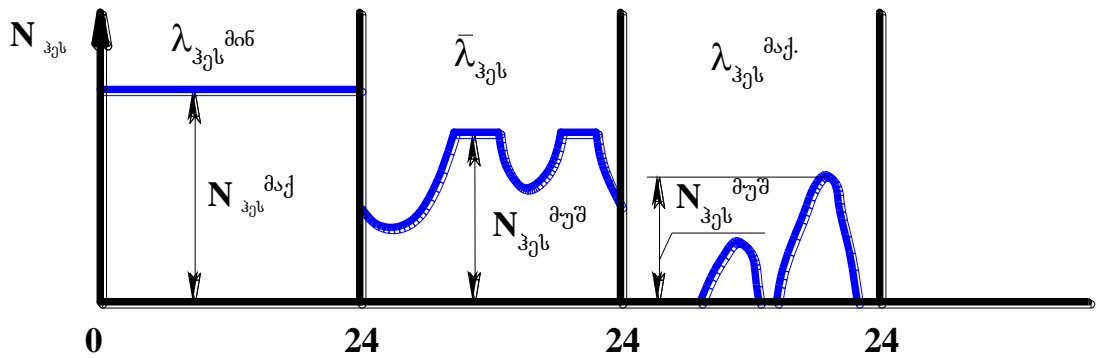
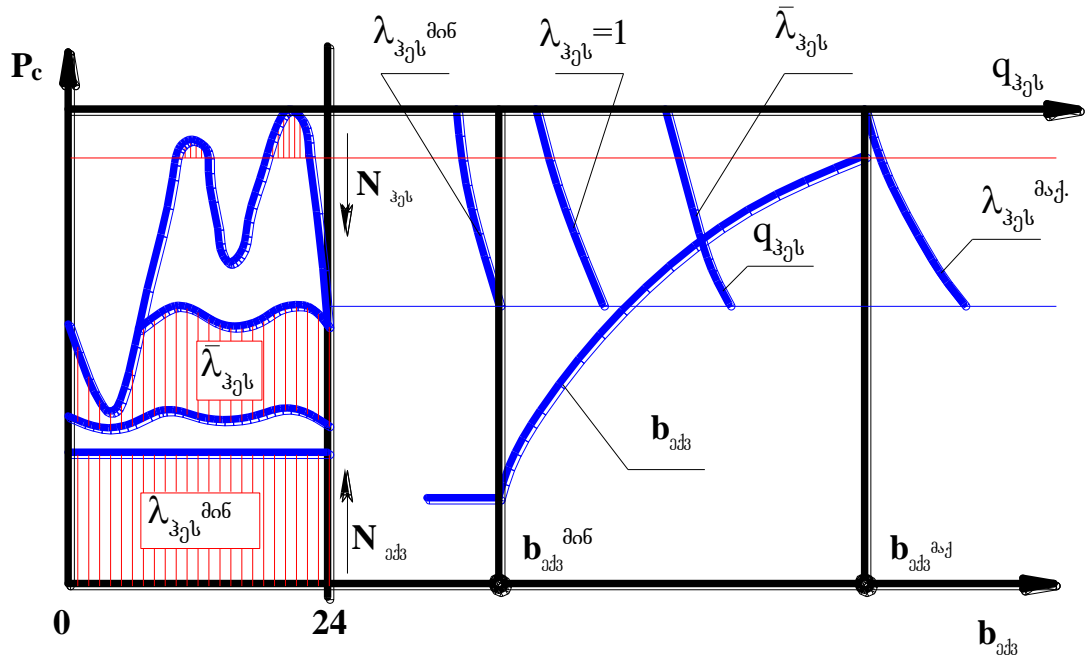
$$N_{ჰეს}(\lambda_{ჰეს}^{მაქ}, t) = P_s(t) - N_{ჰეს}^{მაქ}, \quad (1.21)$$

ჰეს-ის მაქსიმალური სამუშაო სიმძლავრე ამ დროს უდრის

$$N_{ჰეს}^{მუშ} = P_s^{მაქ} - N_{ჰეს}^{მაქ}, \quad (1.22)$$

$N_{ჰეს}^{მაქ}$ და $N_{ჰეს}^{მუშ}$ -ის შორის სხვაობა შეადგენს ენერგოსისტემის მბრუნავ რეზერვს.

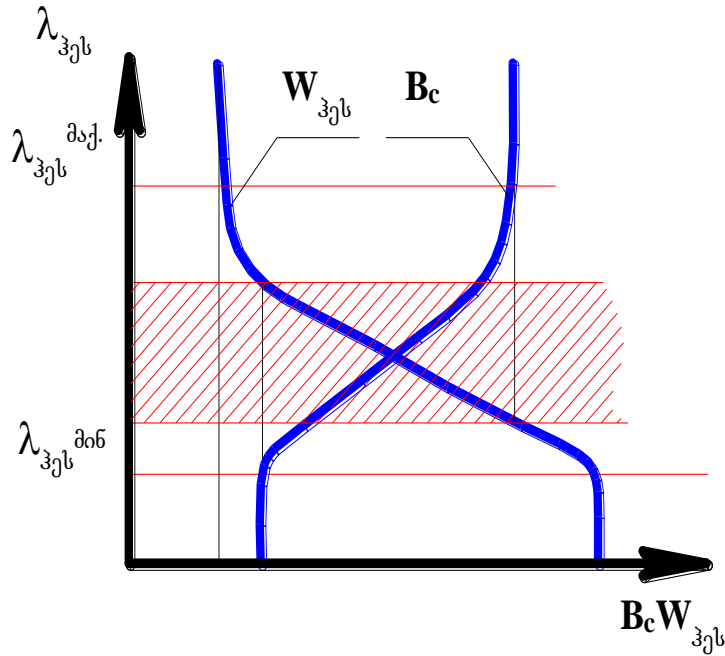
$\lambda_{ჰეს}^{მინ}$ -ის დროს ჰესი მუშაობს ენერგოსისტემაში მაქსიმალურად შესაძლებელი სიმძლავრით; ენერგოსისტემის რეზერვები გადადიან თეს-ზე (ნახ. 1.2 ა) $\lambda_{ჰეს}$ -ის ნებისმიერი ზრდა $\lambda_{ჰეს}^{მაქ}$ -ის ზევით ან შემცირება $\lambda_{ჰეს}^{მინ}$ -ის ქვევით არ ახდენს გავლენას ჰეს-ის რეჟიმებზე როცა $H_s = \text{const}$.



ნახ.1.2 $\lambda_{3ეს}$ -ის გაველენა $3ეს$ -ის მუშაობის რეჟიმზე დატვირთვის დღეღამურ გრაფიკში.

$\lambda_{3ეს}$ -ის ცვლილებას $\lambda_{3ეს}^{მაქ}$ -დან $\lambda_{3ეს}^{მინ}$ -მდე იზრდება $3ეს$ -ის მონაწილეობის ხარისხი ენერგოსისტემაში დატვირთვის ოპტიმალურ განაწილებაში; ასევე ერთდროულად იზრდება $N_{3ეს}^{მუშ}$ (ნახ. 1.2 ბ).

ოპტიმიზაციური გაანგარიშებების შედეგების მიხედვით სხვადასხვა $\lambda_{\text{ჰეს}}$ - სთვის შეიძლება აიგოს დამოკიდებულებები $B_v(\lambda_{\text{ჰეს}})$ და $W_{\text{ჰეს}}(\lambda_{\text{ჰეს}})$ შორის.



ნახ. 13 $B_v(\lambda_{\text{ჰეს}})$ -ის და $W_{\text{ჰეს}}(\lambda_{\text{ჰეს}})$ -ის დამოკიდებულებები.

ამ მრუდების განსაკუთრებულობა მდგომარეობს იმაში, რომ მათ აქვთ თითქმის წრფივი ხასიათი საშუალო $\lambda_{\text{ჰეს}}$ -ის ზონაში (დაშტრიხულია ნახ. 3.3-ზე). ამ ზონაში $W_{\text{ჰეს}}$ -ის ნებისმიერ ცვლილებას მიყვავართ B_v -ის პროპორციულ ცვლილებამდე.

სწორედ ამ ზონაში დიდი მნიშვნელობა აქვს ენერგოსისტემაში დატვირთვის განაწილების რაციონალური მეთოდის შერჩევას. $\lambda_{\text{ჰეს}}$ -ის მნიშვნელობებისათვის, რომლებიც ახლოა $\lambda_{\text{ჰეს}}^{\text{მინ}}$ ან $\lambda_{\text{ჰეს}}^{\text{მაქ}}$ -თან, ენერგოსისტემაში დატვირთვის განაწილების მეთოდის ეფექტურობა ბევრად ნაკლები იქნება, ხოლო $\lambda_{\text{ჰეს}} > \lambda_{\text{ჰეს}}^{\text{მაქ}}$ ან $\lambda_{\text{ჰეს}} < \lambda_{\text{ჰეს}}^{\text{მინ}}$ -სთვის – არ არის მასზე დამოკიდებული.

ზემოხსენებული მიეკუთვნება შემთხვევას, როცა ჰეს-ის ხვედრითი წონა ენერგოსისტემაში შეადგენს არანაკლებ 20–30% $P_{\text{ჰეს}}$. თუ ჰეს-ის ხვედრითი წონა უმნიშვნელოა, $W_{\text{ჰეს}}$ -ის დიდი ცვლილების დროსაც $B_{\text{ჰეს}}$ -ის ხარჯი მცირედ შეიცვლება. ეს ნიშნავს, რომ ენერგოსისტემაში დატვირთვის განაწილების მეთოდი ჰეს-სა და თეს-ს შორის მოახდენს მცირე გავლენას $B_{\text{ჰეს}}$ -ზე. $B_{\text{ჰეს}}$ -ის ხარჯი ძირითადად განისაზღვრება დატვირთვის განაწილების მეთოდით თეს-ებს შორის როგორც პირობითი, ასევე ნატურალური სათბობის მიხედვით.

$\lambda_{\text{ჰეს}}$ -ის მცირე და საშუალო მნიშვნელობების დროს, რომლებიც შეესაბამება მუშაობის საბაზო ან ნახევრადპიკურ რეჟიმს, ბევრი ჰეს-თვის (დაბალდაწნევიანი და საშუალოდაწნევისათვისაც კი) სამართლიანია დაშვება ჰიდროაგრეგატების დაწნევის მუდმივობაზე ერთი დღე-ღამის განმავლობაში. თუ ქვედა ბიეფის დონეთა რხევები მნიშვნელოვანია, მაშინ მათი გაანგარიშებისათვის შეიძლება დამყარებული რეჟიმის დამოკიდებულებათა მრუდებით სარგებლობა. შესაბამისი ცვლილებების შეტანა აუცილებელია დიფერენციალურ მახასიათებელში. წყლის რესურსების დეფიციტის პირობებში, რომლებიც გამოიყენება ენერგეტიკული მიზნებისათვის, ჰესი გაზაფხულ-ზამთრის პერიოდში მუშაობენ $\lambda_{\text{ჰეს}}$ -ის დიდი მნიშვნელობებით, რომლებიც შეესაბამებიან მკვეთრად ცვლად რეჟიმს $N_{\text{ჰეს}}(t)$ (ნახ. 1.2, ბ). ასეთ შემთხვევებში მცირე დაწნევის და საშუალო დაწნევის ჰეს-სთვის აუცილებელია ქვედა ბიეფში წყლის დაუმყარებელი მოძრაობის გათვალისწინება და შესაბამისი ცვლილებების შეტანა ჰეს-ის დიფერენციალურ მახასიათებელში.

ბიეფებში დიმაკური პროცესების გათვალისწინება მოითხოვს ჰეს-ის რეჟიმის რამდენამდე შეცვლას ერთი დღე-ღამის განმავლობაში: მეტად დაიტვირთოს ჰესი დატვირთვის ზრდის პერიოდებში და შემცირდეს დატვირთვის დაქვეითების პირობებში.

გრძელი წყალსატარის მქონე კაშხალური ჰეს-ებისთვის და ხანგრძლივი რეგულირების დერივაციული ჰეს-ებისთვის ოპტიმალური დღე-ღამური რეჟიმის გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს მუდმივი

$H_{\text{აგბლ}}$ – ს დროს ერთი დღე-ღამის განმავლობაში, ამის გათვალისწინებით ჰეს-ების დიფერენციალურ მახასიათებლებში.

მოკლევადიანი რეგულირების დაბალი დაწნევის ჰეს-ებისთვის დამატებით საჭირო გახდება ზედა ბიეფის დონეების ცვლის გათვალისწინება ერთი დღე-ღამის განმავლობაში ცვლადი $H_{\text{ჰეს}}$ -ს და $H_{\text{ს}}$ -სი.

თანამედროვე პირობებში თეს-ებისთვის დამახასიათებელია სათბობის შეზღუდული ხარჯვის არსებობა ერთი დღე-ღამის განმავლობაში. ეს არ იძლევა თეს-ების ექვივალენტური მახასიათებლების წინასწარ აგებას და ართულებს ამოცანის ამოხსნას.

მაგალითად, თუ თეს-ზე ნომრებით $m-r$ -დან m -მდე მოცემულია სათბობის დღე-ღამური ხარჯი

$$B_{\text{თეს}j} - \int_{t_0}^{t_k} B_j [N_{\text{თეს}j}(t)] dt = \Psi_j(t) = 0, \quad (1.23)$$

მაშინ ენერგოსისტემაში დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების აუცილებელ პირობას აქვს სახე:

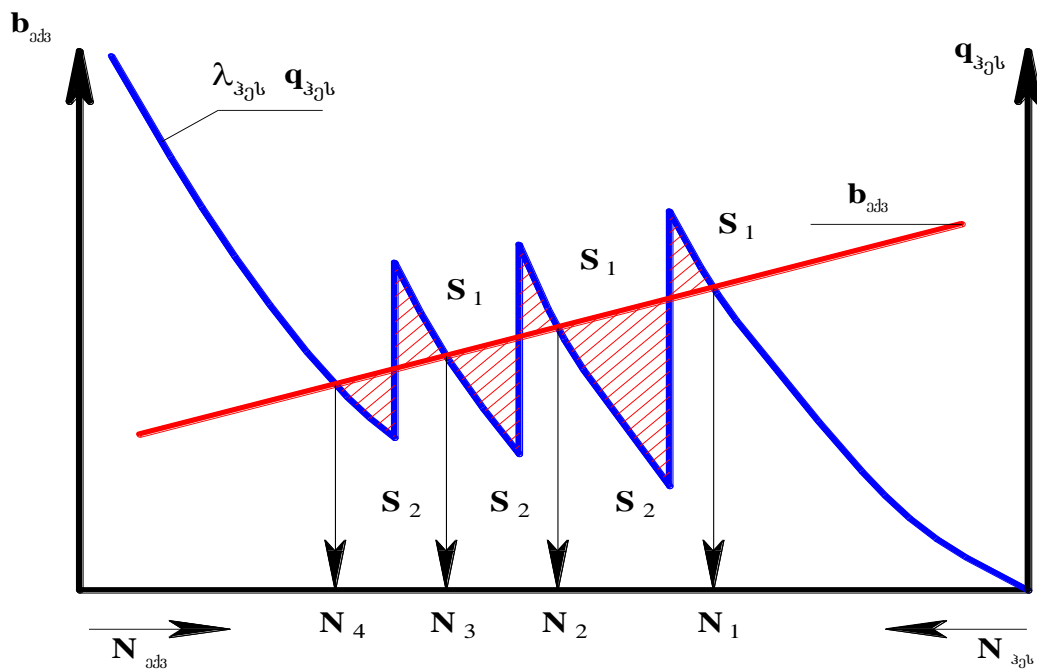
$$\begin{aligned} b_{\text{თეს}1}(t) = \dots = b_{\text{თეს}m-r-1}(t) = \lambda_{\text{თეს}m-r} b_{\text{თეს}m-r}(t) = \dots \ddot{E} \\ \dots = \lambda_{\text{თეს}m} b_{\text{თეს}m}(t) = \lambda_{\text{ჰეს}} q_{\text{ჰეს}}(t) = \lambda(t). \end{aligned} \quad (1.24)$$

ენერგოსისტემაში ელექტროსადგურების რეჟიმების ურთიერთკავშირების სირთულის გამო $\lambda_{\text{თეს}}$ და $\lambda_{\text{თეს}j}$ მნიშვნელობები, რომლებიც შეესაბამებიან (1.23) პირობის შესრულებას თეს-სთვის და (1.24)-სა ჰეს-სთვის, შეიძლება მოიძებნონ მხოლოდ ძიების იტერაციული მეთოდების გამოყენებით. უგანზომილებო მამრავლი $\lambda_{\text{თეს}j}$ შეესაბამება მოცემული j -ური თეს-ის შეფარდებით ეფექტურობას სხვა თეს-ებთან შედარებით. რაც უფრო მეტი $B_{\text{თეს}j}$ მოცულობაა მოცემული, მით

ნაკლებია $\lambda_{\text{თეს}_j}$ და მეტია j -ური თეს-ის დატვირთვა, და პირიქით. როცა $\lambda_{\text{თეს}_j}=1$, გვაქვს შემთხვევა სათბობის უსაზღვრო მარაგისა j -ური თეს-ზე.

განხილულ შემთხვევაში დაშვებული იყო ჰეს-ის ჩართული აგრეგატების შედგენილობისა და რიცხვის მუდმივობა. მაგრამ ჰიდროელექტროსადგურებისათვის ჩართული ჰიდროაგრეგატების მუდმივი რიცხვის შენარჩუნება ჰეს-ის დატვირთვის შეცვლისას არარაციონალურია, ვინაიდან გამოიწვევს სიმძლავრის დანაკარგს. ჰეს-ის დიფერენციალური მახასიათებელი, რომელიც ითვალისწინებს ჩართული აგრეგატების ცვლად რიცხვს, იქნება ხერხისმაგვარი სახის (იხ. ნახ. 1.4). ამის შედეგს წარმოადგენს ამოხსნათა სიმრავლე ენერგოსისტემაში დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების აუცილებელი პირობების განსაზღვრის დროს.

ცალსახა ამოხსნის მისაღებად ჩვეულებრივ გამოიყენება ჰეს-ის გასწორებული დიფერენციალური დახასიათება. ამისათვის ატარებენ ჰორიზონტალურ AB ხაზს (ნახ. 1.5) ისე, რომ S_1 და S_2 ფართობები იყოს ერთმანეთის ტოლი. ეს იმას ნიშნავს, რომ ჰეს-ის ხარჯვით მახასიათებელზე შესაბამისი AB უბანი ასევე იქნება სწორხაზოვანი.



ნახ. 1.4. ჰეს-ის ჩამრთველი აგრეგატების ცვლადი რიცხვის გაგლენა ენერგოსისტემის მუშაობის რეჟიმზე

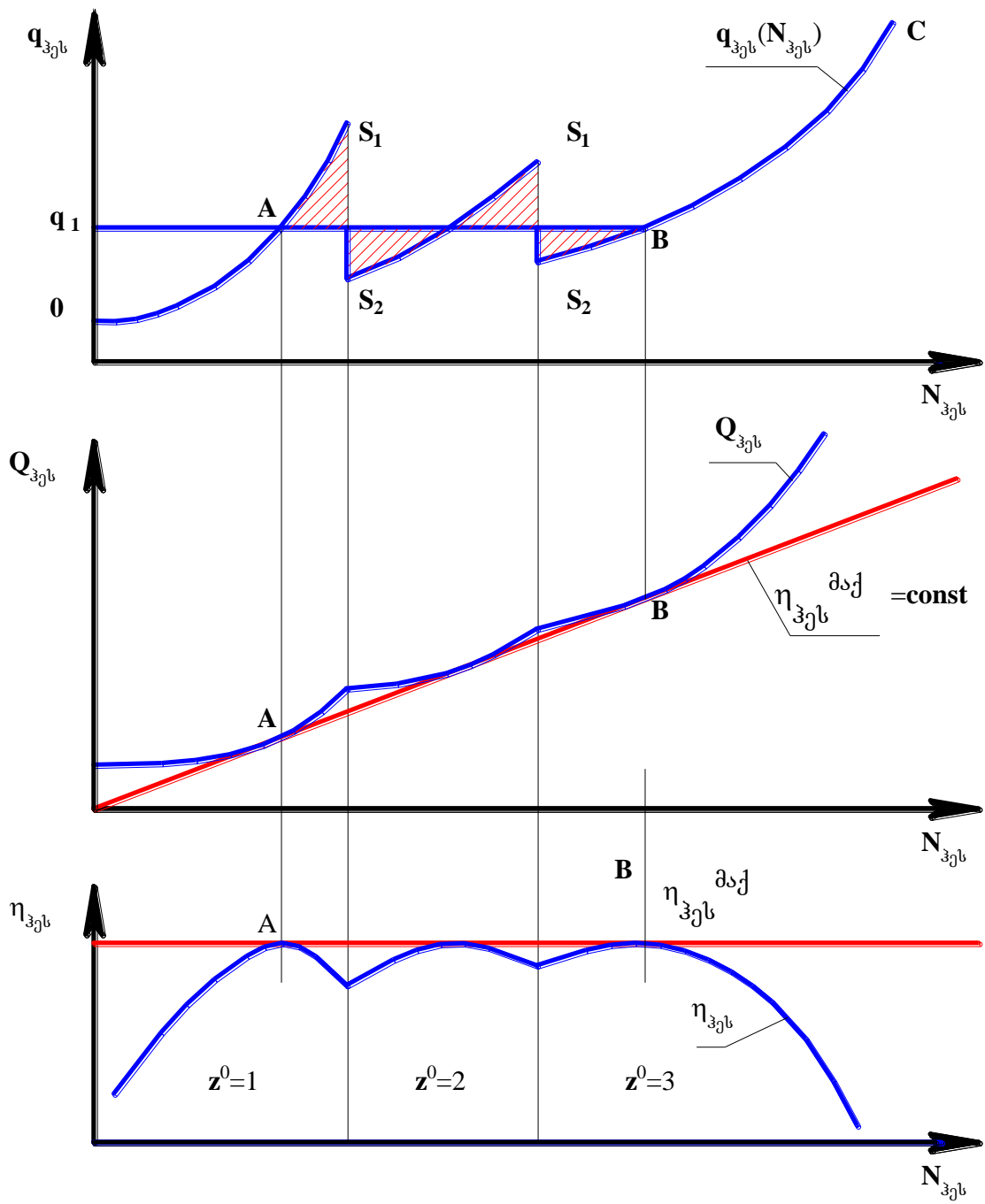
მიღებულ OABC მრუდს იყენებენ ოპტიმიზაციურ გაანგარიშებებში. $q_{3\text{კვ}}(N_{3\text{კვ}})$ -ის ჰორიზონტალობის გამო ABC ზონაში ენერგოსისტემაში დატვირთვის ყველა ცვლილება იქნება ძირითადად აღქმული ჰეს-ის მიერ $N_{3\text{კვ}}^{\text{ბაქ}}(H_{\text{ა}})$ -ს მნიშვნელობის მიღწევამდე.

ამონახსნის მრავალ მნიშვნელოვნობის (განუზღვრელობის) გამოსარიცხად კომპიუტერზე $q_{3\text{კვ}} = q_1$ -ის დროს AB მონაკვეთს გამოსახავენ დახრილი მრუდის სახით.

რა თქმა უნდა, გასწორებული $q_{3\text{კვ}}(N_{3\text{კვ}})$ მრუდის გამოყენებამ შეიძლება გამოიწვიოს სათბობის რაღაც გადახარჯვა ენერგოსისტემაში, მაგრამ მისი მნიშვნელობა ჩვეულებრივ ისეთი პატარაა, რომ უგულებელყოფენ. ჰეს-ის დიფერენციალური მახასიათებლის გასწორებისას აუცილებელია იმ განსაკუთრებულებების გათვალისწინება, რომლებიც განისაზღვრება ჰიდროაგრეგატების არაოპტიმალური ჩართვით.

ხარჯების დანაკარგები ჰეს-ის აგრეგატების გაშვება-გაჩერებაზე, ისევე, როგორც დანადგარების ტიპების სხვადასხვაობა, შედარებით ნაკლებ გავლენას ახდენს გასწორებული მახასიათებლის საერთო სახეზე.

შედარებით უფრო ძნელია თეს-ზე ჩართული დანადგარების ოპტიმალური რიცხვის და შემადგენლობის პოვნის ამოცანის ამოხსნა. აქ აუცილებელია გათვალისწინებული იყოს სათბობის დანაკარგები აგრეგატების გაშვებისას, თვით გაშვების ხანგრძლივობა და დატვირთვის აღებისა და სწრაფი მოხსნის შეზღუდული სიჩქარე. გარდა ამისა, საჭიროა ასევე გათვალისწინებული იყოს ქსელში სიმძლავრის დანაკარგების ცვლილება, გამოწვეული დატვირთვის გადანაწილებით ელექტროსადგურების მიერ აგრეგატების გაშვება-გაჩერების გამო. ამრიგად, ჰეს-ზე ჩართული აგრეგატების შემადგენლობის შერჩევის ამოცანა ჰეს-ზე, მითუმეტეს თეს-ზე, ხდება ზოგადსისტემური, რომელიც განისაზღვრება სისტემის ყველა ელექტროსადგურის ერთიანი მუშაობის ყველაზე ხელსაყრელი რეჟიმის გაანგარიშების საფუძველზე.



ნახ. 1.5. ჰეს-ის გასწორებული მახასიათებელი

ასეთი ამოცანის ზოგადი ამოხსნის მიღება შეიძლება მხოლოდ რიცხვითი მეთოდებით. ამოხსნასთან მიდგომის პრინციპი და მისი ფიზიკური არსი შეიძლება განვმარტოთ ისევე, როგორც ანალოგიურ ამოცანაში ჰეს-ის დონისათვის.

თეს-ის j -ური აგრეგატის გაჩერება, რომელიც მუშაობს $N_{აჯ} = N(b_{აჯ})$ -ით რაციონალურია სათბობის ეკონომიის თვალსაზრისით, თუ $b_j(N_j)$ მეტია $b_{აჯ}(N_{თეს} - N_j)$ -ზე. j -ური ტურბოაგრეგატის გასაშვებად უნდა შესრულდეს პირობა $b_{აჯ} > b_{აჯ}^{ბა}$.

$b_{აჯ}$ და $b_{აჯ}^{ბა}$ -ს თანაფარდობის ანალიზი საშუალებას იძლევა ნაპოვნი იქნას თეს-ის მოწყობილობის ოპტიმალური შემადგენლობა დროის ნებისმიერ მომენტში. გადაწყვეტილების პოვნის დასაჩქარებლად შეიძლება წინასწარ მოვახდინოთ თეს-ის აგრეგატების რანჟირება $b_{აჯ}^{ბა}$ -ს კლების მიხედვით.

როგორც აჩვენებს ენერგოსისტემების დღე-ღამური რეჟიმების გაანგარიშებების გამოცდილება, სწორედ თეს-ის მუშა დანადგარების ოპტიმალური შემადგენლობის შერჩევის ამოცანამ შეიძლება მოგვცეს მაქსიმალური ეკონომიკური ეფექტი შედარებით, მაგალითად, ენერგოსისტემაში დატვირთვის განაწილების ამოცანასთან. განხილული ამოცანის ამოხსნა მნიშვნელოვნად გართულდება, თუ გათვალისწინებული იქნება გათიშული აგრეგატის გაშვების აუცილებლობა დილის საათებში დატვირთვის გაზრდისას, ასევე ელექტრომომარაგებს საიმედოობის მოცემული დონის უზრუნველყოფა (რეზერვების არსებობა სისტემაში).

ჰესის მართვის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა აგრეგატების შემადგენლობის რაციონალური მართვა. აგრეგატების შემადგენლობა დიდ გავლენას ახდენს ჰესის ეკონომიურ მაჩვენებელზე. ცნობილია, რომ აგრეგატების არაოპტიმალური შემადგენლობით მუშაობას მიყვაროთ ჰესის მ.ქ.კ.-ს შემცირებისკენ 1–5%-ით.

ჰიდროსადგური სისტემაში ასრულებს სხვადასხვა ფუნქციებს: მონაწილეობს აქტიური სიმძლავრის ბალანსში და არეგულირებს სიმძლავრეს ფართო დიაპაზონში, არეგულირებს სიხშირეს და ძაბვას, უზრუნველყოფს სხვა სადგურებთან ერთად სისტემის ავარიულ და სარემონტო რეზერვებს. ამ ფუნქციების ნორმალური შესრულება ემყარება ჩართული აგრეგატების შემადგენლობის და მათი აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების სწორ არჩევანს!

აგრეგატების შემადგენლობის ოპტიმალური მართვა ძნელდება საწყისი ინფორმაციის განუსაზღვრელობით: ენერგოსისტემის დატვირთვები, სიხშირე, დაბვა, განკარგულებაში მყოფი ელექტროსადგურის სიმძლავრეები, გამოყენებისათვის შესაძლო ჰიდრორესურსები და სხვა მაჩვენებლები ჩვეულებრივად შემთხვევითი სიდიდეებია. ჰესების რეჟიმებს ამ შემთხვევაში ახასიათებთ რაღაც განუსაზღვრელობა.

ამრიგად, ჰესის აგრეგატების შემადგენლობის არჩევის ამოცანა არის უმნიშვნელოვანესი ზოგადსისტემური ამოცანა და მისი გადაწყვეტა აუცილებელია სისტემის სხვა რეჟიმულ ამოცანებთან ყველა ურთიერთკავშირის გათვალისწინებით. ეს მიიღწევა სისტემის რეჟიმების მარტვის იერარქიის პრინციპისა და დეკომპოზიციის გზით. იერარქიული მიდგომა იძლევა ცალკეული ამოცანების გადაწყვეტის პრიორიტეტული სქემის შექმნის, აზრობრივი და გამოთვლითი ალგორითმების გამარტივების, მოთხოვნილ დროში გადაწყვეტის მიღების შესაძლებლობას.

სადგურშია ოპტიმიზაცია მიმდინარეობს არა მარტო ოპერატიული დაგეგმვის დონეზე არამედ პროცესის ტემპშიც. სადგურშია ოპტიმიზაციის მეთოდებზე საუბარი იქნება II თავში. აქ განხილული იქნება მხოლოდ პროცესის ტემპში მართვის ამოცანების შინაარსი. ყველაზე უფრო ხშირად წყდება ათი ძირითადი ამოცანა.

მომუშავე აგრეგატების აქტიური სიმძლავრეების რეგულირება სისტემის სიხშირის ნორმირებული მნიშვნელობების შენარჩუნების პირობით.

აგრეგატების რეაქტიული სიმძლავრეების რეგულირება საკონტროლო კვანძებში დაბვის შენარჩუნების პირობით.

აგრეგატების ჩართვა სიხშირითი რეზერვის შესანარჩუნებლად კონტროლირდება f სიხშირე.

აგრეგატების ჩართვა ავარიული რეზერვის შესანარჩუნებლად – კონტროლირდება სადგურის მბრუნავი რეზერვი.

აგრეგატების სწრაფი ჩართვა ნორმირებული დაბვის შესანარჩუნებლად – კონტროლირდება დაბვა და დაბვის დროში ცვლილების სიჩქარე

$$a = \frac{du}{dt} \text{ თუ } a > a_{\text{დაშ}}$$

მაშინ აუცილებელია რაც შეიძლება ჩქარა გაიზარდოს რეაქტიული სიმძლავრის მბრუნავი რეზერვი.

აგრეგატების ჩართვა დასაშვები ძაბვების შესანარჩუნებლად.

$$u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$$

აგრეგატების შემადგენლობის და აქტიური სიმძლავრეების ოპტიმიზაცია აქტიური დატვირთვის მიმდინარე მნიშვნელობებისათვის.

აგრეგატების რეაქტიული სიმძლავრეების და შემადგენლობის ოპტიმიზაცია რეაქტიული დატვირთვის მიმდინარე მნიშვნელობებისათვის.

სადგურის სიმძლავრეების კორექცია და აგრეგატების შემადგენლობისა და აქტიური სიმძლავრეების არჩევა ხარჯების ნორმირებული მნიშვნელობების ან ქვედა ბიეფის დონეების შენარჩუნებით.

აგრეგატის შემადგენლობისა და რეჟიმის ოპერატიული დაგეგმვა, მაგალითად, დღეღამით წინასწარ.

თითოეული ჩამოთვლილი ამოცანა ოპტიმიზაციურია. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად საკმარისია გვექონდეს ოთხი ალგორითმი: აქტიური დატვირთვის ყველაზე ხელსაყრელი განაწილება აგრეგატებს შორის (1 ამოცანისათვის), რეაქტიული დატვირთვის ყველაზე ხელსაყრელი განაწილება აგრეგატებს შორის (2 ამოცანისათვის), აგრეგატების შემადგენლობის არჩევა განკარგულებაში არსებული სიმძლავრეების სიდიდის მიხედვით (3–5 ამოცანები), აგრეგატების შემადგენლობისა და რეჟიმების ოპტიმიზაცია (6–10 ამოცანები). სხვადასხვა ამოცანებს შორის არსებობს პირდაპირი და უკუკავშირები და ყველა ამოცანა დაკავშირებულია სადგურში ოპტიმიზაციის ერთიან კომპლექსთან.

დასახელებული ათი ამოცანა უზრუნველყოფს სადგურში ოპტიმიზაციის იერარქიულობას დროში. პირველ სტადიაზე დგება

ოპერატიული გეგმები პროგნოზული საწყისი მონაცემების მიხედვით (10 ამოცანა). ოპერატიული დაგეგმვის დროულად მომზადება გულისხმობს ერთ ან რამოდენიმე დღელამეს. მეორე სტადიაზე განხორციელდება დასახული გეგმის კორექტირება პროცესის ტემპში რეჟიმის პარამეტრების მიმდინარე მნიშვნელობების მიხედვით. (1–9 ამოცანები). კორექტირების აუცილებლობა ჩნდება მუშაობის პროგნოზული და რეალური პირობების დაუმთხვევლობის შემთხვევაში.

ჩვეულებრივად ორსტადიური სქემა გამოიყენება ენერგოსისტემის და სადგურების აქტიური სიმძლავრეების ბალანსების მართვისას. ენერგოსისტემის აქტიური სიმძლავრეების პროგნოზი გრაფიკების მიხედვით განისაზღვრება ცალკეული ელექტროსადგურების დატვირთვების გრაფიკები. დატვირთვის მოცემული გრაფიკის დასაფარავად აირჩევა აგრეგატების შემადგენლობა და მათ შორის ყველაზე უფრო ხელსაყრელი სახით განაწილდება სადგურის აქტიური დატვირთვა. შემდეგ პროცესის ტემპში კორექტირდება აგრეგატების გეგმიური შემადგენლობა და რეჟიმი.

რეაქტიული სიმძლავრეების ბალანსების მართვის განხორციელება ხდება, როგორც წესი, ტემპში კონტროლირებადი პარამეტრების მიმდინარე მნიშვნელობების მიხედვით. ოპერატიული დაგეგმვის სტადია აქ ჩვეულებრივად არ გამოიყენება (გარდა ცალკეული შემთხვევებისა), რაც აიხსნება ენერგოსისტემის რეაქტიული დატვირთვების გრაფიკების დაგეგმვასთან დაკავშირებული სიძნელებით. რეაქტიული სიმძლავრეების ბალანსები სრულდება აქტიური სიმძლავრეების ბალანსების დარღვევის გარეშე.

13. ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების გრძელვადიანი რეჟიმების გაანგარიშების საკითხები.

ენერგოსისტემაში ჰეს-ის მუშაობის ხანგრძლივი რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანა და, აქედან გამომდინარე, მთელი ენერგოსისტემისა მთლიანობაში, პრინციპულად ცოტათი განსხვავდება ამოცანისაგან, რომელიც განხილული იყო პირველ თავში. მართლაც ხანგრძლივი რეჟიმის ოპტიმიზაციის ნებისმიერი ამოცანა შეიძლება წარმოვადგინოთ ისევე, როგორც დღე-ღამისათვის, მხოლოდ გაზრდილი საანგარიშო T ინტერვალთ, მაგრამ ამ დროს მნიშვნელოვნად მატულობს ამოცანის განზომილება; მისი ამოხსნა შესაძლებელი ხდება მხოლოდ თანამედროვე კომპიუტერების გამოყენებით არა ნაკლებ მილიონი ოპერაციით წამში და მესხიერების პრაქტიკულად შეუზღუდავი მოცულობით. ასეთი ამოცანის რეალიზაცია ხორციელდება მხოლოდ გაანგარიშებებით, რომელთა მიზანია თეორიული პრობლემური საკითხების გადაწყვეტა.

ენერგოსისტემის ექსპლოატაციის პრაქტიკაში აისახება შექმნილი იერარქიული სტრუქტურა მათი რეჟიმების მართვისა, რომელიც ითვალისწინებს ასევე ამოცანის განსაკუთრებულობებს დროის დიდი T პერიოდისათვის.

მართლაც, ხანგრძლივი რეჟიმების ოპტიმიზაციას, მოკლევადიანი ოპტიმიზაციისაგან განსხვავებით, გააჩნია შემდეგი თავისებურებანი: საწყისი ინფორმაციის დიდი ცდომილება; დატვირთვის და საყოფაცხოვრებო მოდინების გრაფიკის სეზონური ცვლილებების გათვალისწინების აუცილებლობა; ქვედა ბიეფის მახასიათებლების ცვლილება ზამთარში ყინულოვანი პირობების ან ზაფხულში წყალდენის მცენარეებით გაბარდვის გამო; ელექტროსადგურებზე მოწყობილობის რიცხვისა და შედგენილობის ცვლილება რემონტის შედეგად; ჰიდროენერგოდანადგარების რეჟიმის მიმართ მნიშვნელოვანი მოთხოვნები წყალსამეურნეო სისტემის მონაწილეთა მხრიდან (შეზღუდვები ზედა და ქვედა ბიეფის ნიშნულებში ნაოსნობის, სოფლის მეურნეობის, სამრეწველო და კომუნალური წყალმომარაგების პირობებით და ა.შ.) სპეციფიკური მოთხოვნები არსებობს გარემოს

დაცვის მხრივ. განსაკუთრებული სირთულეები შემოაქვს გაანგარიშებებში დედამიწაზე მტკნარი წყლის შეზღუდული მარაგების კომპლექსური გამოყენების აუცილებლობას, მასში მოთხოვნილების უწყვეტი ზრდის პირობებში. არანაკლებ რთულია საწყისი ინფორმაციის ალბათური და განუსაზღვრელი ხასიათის გათვალისწინებაც [15, 16, 17].

ხანგრძლივი რეჟიმების გაანგარიშებებში, განსხვავებით მოკლევადიანი რეჟიმების გაანგარიშებებისაგან, აუცილებელია იმის გათვალისწინებაც, რომ ჰესი წყალსაცავებით გადანაწილებენ დროში მდინარეების საყოფაცხოვრებო ჩადინებას და შესაბამისად, მდინარის $\Xi_{\text{მდ}}(W_{\text{მოდ}})$ ენერგიას.

მნიშვნელოვანი გავლენა ენერგორესურსების ოპტიმალურ გამოყენებაზე ხანგრძლივ T პერიოდში შეუძლია მოახდინოს ჰედ-ის ჰიდრავლიკურმა კავშირმა კასკადში ($\tau_{\text{კაშ}}$ -ის და ქვემოთ განლაგებული ჰეს-ების შეტბორვის გათვალისწინებამ).

ჰეს-ის ხანგრძლივი რეჟიმების ეფექტურობაზე გავლენას ახდენენ ასევე დაწნევების მნიშვნელოვანი რხევები წყალსაცავების დაცლა-ავსების გამო. ამ პირობებში (თეს-ებისაგან განსხვავებით) ადგილი აქვს ამოცანას შედეგებით, კერძოდ, წყალსაცავის ნაადრევი ამუშავება შეამცირებს ჰეს-ის გამომუშავებას დაწნევის შემცირების გამო; ამუშავების დაგვიანებას დიდი წყალდიდობისას მოსდევს წყლის ფუჭი გადაგდება და ჩადგმული ენერგიის $\Xi_{\text{ჰეს}}^{\text{ჩად}}(W_{\text{მოდ}})$ დანაკარგები სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ჩნდება ენერგიის დამატებით დანაკარგები, რომლებიც განისაზღვრება არა მარტო მოწყობილობების, არამედ წყალსაცავების რეჟიმებითაც.

ამასთან დაკავშირებით გამოვლინდება ჰეს-ის ხანგრძლივი რეჟიმების მართვის ამოცანის ძირითადი არსი, რომელიც განსხვავდება მოკლევადიანი ამოცანების დანიშნულებისაგან, კერძოდ, ამოცანის ამოხსნა სისტემაში ენერგიის ბალანსისას და ჰეს-ზე ჩამონადენის გაანგარიშებების მიხედვით. ამასთანავე, ბუნებრივია, ამოხსნილად იგულისხმება მოკლევადიანი ოპტიმიზაციის ამოცანა, რომელიც ახდენს სიმძლავრის ბალანსის რეალიზაციას დროში [18, 19, 20, 21].

ზემოთქმული და ასევე სხვა მოსაზრებები განაპირობებენ წყალსაცავებიანი ჰეს-ების რეჟიმების მართვაში ავრეგირებისა და დეკომპოზიციის მეთოდების გამოყენების აუცილებლობას.

აბრეზირების მეთოდი მდგომარეობს იმაში, რომ ყველა ელექტრული სადგური წარმოიდგინება საშუალო ინტერვალური ან რეჟიმული მახასიათებლებით, რომლებიც აკავშირებენ ინტეგრალურ ენერგეტიკულ მაჩვენებლებს დროის განსაზღვრულ ინტერვალში, რომლებიც საერთოდ მიიღებიან ერთი დეკადისა ან ერთი თვის ტოლად. ეს მახასიათებლები შეიძლება განსხვავდებოდნენ ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების ტექნოლოგიური ან მყისი ენერგეტიკული მახასიათებლებისაგან. მათი გაანგარიშებისა და აგების დროს უნდა გათვალისწინებული იყოს ელექტროსადგურის რეჟიმის პარამეტრების განსაზღვრის ალგორითმი, ასევე მიღებული ფაზური კოორდინატები და ენერგოსისტემის მართვის სტრუქტურა.

დეკომპოზიციის მეთოდი მდგომარეობს ხანგრძლივი რეჟიმების ოპტიმიზაციის ამოცანის იტერაციულ ამოხსნაში, როცა პირველი რიგის ამოცანად გამოიყოფა ენერგოსისტემის აქტიური ენერჯის გამომუშავების ბალანსი.

მიღებული ამოხსნის ეფექტურობის შეფასება რთულია საწყისი ინფორმაციის ალბათური და განუსაზღვრელი ხასიათისა და წყლის რესურსების მრავალმიზნობრივი გამოყენების გამო. მაგრამ გაანგარიშებების მეთოდებისა და ამოცანის დასმის მიუხედავად სხვადასხვა ჰიდროენერგეტიკული დანადგარები მასში იქნება წარმოდგენილი გარკვეული ენერგეტიკული მახასიათებლებითა და მაჩვენებლებით. კანონზომიერი იქნება ასევე სხვადასხვა კრიტერიუმების ურთიერთკავშირიც.

ცნობილია, რომ ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების მაჩვენებლების შესაფასებლად გამოიყენება ზოგიერთი, წყლიანობის მიხედვით საშუალო, პირობები. წსს-ის სხვა მონაწილეების მოთხოვნები ჰეს-ის რეჟიმის მიმართ გათვალისწინებულია შეზღუდვების სახით. ხდება ამ შეზღუდვების გავლენის გაანალიზება ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების რეჟიმზე და მისი ცვლილებების შესაძლებლობაზე მრავალმიზნობრივი კრიტერიუმების შემოყვანის შემთხვევაში.

**თავი II. ჰიდროელექტროსადგურების სადგურშია
რეჟიმების ოპტიმიზაციის კვლევის მეთოდის
შემუშავება**

2.1. ამოცანების დასმა და მათემატიკური ფორულირება

სიტყვას „ოპტიმიზაცია“ შეიძლება ჰქონდეს ღრმა აზრი, მაგრამ შეიძლება არც ჰქონდეს რაიმე კონკრეტული აზრი, თუ მას გამოვიყენებთ, როგორც ეს ხშირად ხდება, მხოლად სიტვა „კარგის“ ექვივალენტურად. სიტყვა „ოპტიმალური“ უნდა ნიშნავდეს, რომ რაიმე ობიექტი (პროცესი) უკეთესად, ვიდრე სხვა ობიექტები (პროცესები), პასუხობს გარკვეულ მაჩვენებლებს – ოპტიმალურობის კრიტერიუმებს. ამრიგად, ოპტიმალურობის ცნება ფარდობითია.

პროცესების შედარება დადის ისეთ ამოცანებზე, რომელთა გადაწყვეტაც, როგორც წესი, უნდა აჩვენებდეს, რამდენად (ან რამდენჯერ) ერთი განსახილველი პროცესი უკეთესია მეორეზე, ან დანარჩენებზე, რომელთა შედარება შესაძლებელია ოპტიმალურობის კრიტერიუმების გამოყენებით. ზოგიერთ შემთხვევებში მხოლოდ ოპტიმალურობის რაოდენობრივი მაჩვენებლების შემოტანა რთულდება და ამიტომ იძულებული ვართ ვისარგებლოთ ზოგადი თვისობრივი მახასიათებლით. მაგალითისთვის შეიძლება მოვიყვანოთ ენერგეტიკული ნაგებობის ეკოლოგიური ზეგავლენის ოპტიმიზაციის შემთხვევა, როცა სისტემის დაპროექტებისას ან ექსპუატაციისას ხდება გადაწყვეტის ყველაზე ნაკლებ არასასურველი ზეგავლენის უზრუნველყოფა გარემოს სხვადასხვა ასპექტებზე.

პროცესები ენერგეტიკულ სისტემებში აისახება ჩვეულებრივი დიფერენციალური და ალგებრული განტოლების სისტემებით. ამ სისტემებში პროცესების განხილვისას აუცილებელია განხილული იქნას შემაშფოთებელი ზემოქმედებები შემოსული გარე არხებით (ნედლეულის შემადგენლობის ცვლილება, რესურსების გაზრდა ან შემცირება) და შიგა არხებით (მართვის წინა პერიოდებში დავალების რეალიზაციის უზუსტობები, მოწყობილობის მწყობრიდან გამოსვლა).

შეშფოთებების მოქმედება იწვევას ოპერატიული მართვის აუცილებლობას ენერგეტიკაში. ასეთი მართვის ამოცანაა საწარმოო პროგრამის შესრულების უზრუნველყოფა კონკრეტული სიტუაციების აღნიშნული თავისებურებების გათვალისწინებით, რომლებიც თავს იყრის ოპერატიული მართვისას. ამ ამოცანის გადაწყვეტა ხორციელდება ოპერატიული მართვის მოდელების დახმარებით. ოპერატიული მართვის დინამიკური მოდელი შედგება ორი ნაწილისაგან, რომლებიც განკუთვნილია შეთანხმებული ოპტიმალური გადაწყვეტილების ძიებისთვის: პირველი (თავად ოპერატიული მართვა) – დროის მიმდინარე მომენტისთვის (საათისთვის, ცვლისთვის), მეორე (დაგეგმვის მოდელი) – მთელს წინა პერიოდისთვის (დღე-ღამისთვის, კვირისთვის, კვარტლისათვის, წელიწადისათვის).

ოპერატიული მართვის გადაწყვეტის ეფექტურობა დაკავშირებულია სისტემის ფუნქციონირების პირობების პროგნოზირების შესაძლებლობასთან ოპერატიული მართვის ეტაპზე. ამასთან ძირითადი შემაშფოთებელი ზემოქმედებების პროგნოზირება საკმარისი სიზუსტით შეიძლება განხორციელდეს მხოლოდ დროის შეზღუდულ ინტერვალზე.

ოპერატიული მართვის ამოცანა შეზღუდვების გამო, რომლებიც ასახავენ წარმოების სპეციფიკას, წარმოადგენს არაწრფივი პროგრამირების მრავალ განზომილებიან ამოცანას, რომელიც გადასაწყვეტად საკმაოდ რთულია.

გეგმიური ეკონომიკიდან საბაზროზე გადასვლამ ისევე, როგორც სამეურნეო მოღვაწეობის სხვა დარგების, შეცვალა ელექტროენერგეტიკის განვითარებისა და ფუნქციონირების პირობები. კერძოდ, შეიმჩნევა ტენდენცია დეცენტრალიზაციისაკენ რეჟიმების მართვაში და ობიექტის ცალკეული მესაკუთრეების სწრაფვა ინდივიდუალური სარგებლობის მიღწევისკენ. ეს კიდევ უფრო აქტუალურს ხდის ელექტროსადგურების, კერძოდ, ჰიდროელექტროსადგურების სადგურშიგა რეჟიმების ოპტიმიზაციის მეთოდების სრულყოფას თვითოეული ობიექტის სპეციფიკის გათვალისწინებით.

ჰესის სადგურშიგა რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანას გააჩნია რამდენიმე ძირითადი ქვეამოცანა, მათ შორის დღეღამური რეჟიმის დაგეგმვა და მისი კორექცია ჰესის ენერგოსისტემაში მუშაობის პირობების ცვლილების გათვალისწინებით. მათემატიკური განსხვავება ამ ქვეამოცნებს შორის განისაზღვრება მხოლოდ საანგარიშო პერიოდით, რაც იძლევა ზოგადი ამოცანის დასმის შესაძლებლობას, რომელსაც დაემატება შემდგომ სხვადასხვა ჰესების თავისებურებების ანალიზი. ტექნოლოგიური პროცესის ყველა თავისებურებების კორექტული გათვალისწინებისაგან დიდად არის დამოკიდებული ჰიდროენერგორესურსების გამოყენების ეფექტურობა მთლიანობაში, რაც სადგურშიგა რეჟიმების ოპტიმიზაციის ამოცანას ანიჭებს განსაკუთრებულ მნიშვნელობას.

რადგანაც ჰესის ენერგეტიკული მახასიათებლები მიიღება სადგურშიგა რეჟიმების ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტისაგან, მისი დასმისა და გადაწყვეტის მეთოდებისაგან იქნება დამოკიდებული ამ მახასიათებლების ზოგადი სახე და ხასიათი.

ზოგად შემთხვევაში, როგორც ცნობილია ცალკეული ჰესის სადგურშიგა რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანა, როცა მის აგრეგატების გააჩნია სხვადასხვა ენერგეტიკული მახასიათებლები, ასე შეიძლება დაისვას: განსახილველი $T = t_b - t_0$ პერიოდისათვის მოიძებნოს დატვირთვის ქვეშ ჩართული ჰიდროაგრეგატების ისეთი $z_0(t)$ რიცხვი, მათი $S^0(t)$ შემადგენლობა და ჰესის მოცემული $N_{ჰეს}^{მოც}(t)$ აქტიური და $\Theta_{ჰეს}^{მოც}(t)$ რეაქტიული დატვირთვების გრაფიკების განაწილება რომელიც უპასუხებს მიღებულ ოპტიმალურობის კრიტერიუმის ექსტრემუმს აგრეგატების რეჟიმების ცნობილი შეზღუდვების პირობებში. მოცემულად იგულისხმება ჰესის მოწყობილობის რეჟიმების და ბიეფების მდგომარეობა T პერიოდის t_0 საწყის და t_b ბოლო მომენტებში, აგრეგატების ენერგეტიკული მახასიათებლები, ბიეფების მახასიათებლები, ჰიდროაგრეგატების ელექტრული შეერთებების სქემა და ჰესის ჰიდრაულიკური სქემა.

ჰესის ზოგადი კანონზომიერებების და ეფექტური სადგურშიგა რეჟიმის ორგანიზების თავისებურებების გათვალისწინების მიზნით

მიზანშეწონილია არა რამოდენიმე, არამედ ერთი ყველაზე უფრო საჩვენებელი სადგურისათვის ოპტიმალურობის კრიტერიუმი, რომელიც გამომდინარეობს ჰესის თავისებურებებიდან. ასეთი კრიტერიუმები შეიძლება იყოს, მაგალითად, ჰესზე ენერჯის დანაკარგის მინიმუმი, ან მ.ქ.კ-ს მაქსიმუმი. ტოლობების ტიპის შეზღუდვებად ჩვეულებრივად მიღებული უნდა იყოს ჰესის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების ბალანსი, ხოლო უტოლობის ტიპის შეზღუდვებად გათვალისწინებული უნდა იყოს შეზღუდვები ჰიდროაგრეგატის ან მთლიანად ჰესის აქტიურ სიმძლავრეზე.

აგრეგატების ზღვრული დატვირთვები განისაზღვრება როგორც მათი გამტარუნარიანობით, ასევე ეკონომიკური შეზღუდვებით მათი მცირე დატვირთვისას. მთლიანად ჰესზე შეიძლება დადებული იქნეს შეზღუდვები ელექტროგადამცემი ხაზების გამტარუნარიანობაზეც და ა.შ.

უტოლობის ტიპის შეზღუდვები რეაქტიული დატვირთვების მიხედვით ძირითადად განისაზღვრება ენერგოსისტემის რეჟიმის მდგრადობით და დამოკიდებულია მთლიანად ჰესზე და არა თვითეულ აგრეგატზე. დაშვებები აგრეგატის გაშვება-გაჩერების დასაშვები მაქსიმალური რიცხვის მიხედვით T პერიოდის განმავლობაში განისაზღვრება მოთხოვნებით ჰიდროაგრეგატების მუშაობის საიმედოების უზრუნველყოფაზე.

ოპტიმალურობის ძირითად ერთმიზნობრივ კრიტერიუმად შეიძლება გამოყენებული იქნას შემდეგი:

ჰესში ჩადგმული ენერჯის მინიმუმი T პერიოდის განმავლობაში

$$E_{ჰეს}^{ჩად} (T) = \int_{t_0}^{t_b} N_{ჰეს}^{ჩად} (t) dt = \int_{t_0}^{t_b} \sum_{i=0}^{z_0, s^0} N_{s_i}^{ჩად} (t) dt \Rightarrow \min, \quad (2.1)$$

სადაც $N_{s_i}^{ჩად} = 9.81 Q_{s_i} H_{s_i}$ – ჰესის აგრეგატის ჩადგმული სიმძლავრე;

მ.ქ.კ. მაქსიმალური ან ჰესზე ენერჯის დანაკარგის მინიმუმი T პერიოდის განმავლობაში

$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{ჰეს}}(T) &= \int_{t_0}^{t_b} \Delta N_{\text{ჰეს}}(t) dt = \int_{t_0}^{t_b} \sum_{i=0}^{z_0, s^0(t)} \Delta N_{s_i}(t) dt = \\ &= 9.81 \int_{t_0}^{t_b} \sum_{i=0}^{z_0, s^0(t)} Q_{s_i}(t) H_{s_i}(t) (1 - \eta_{s_i}(t)) dt \Rightarrow \min; \end{aligned} \quad (2.2)$$

ჰესი გავლით ჩადენის მინიმუმი $\Delta Q_{\text{სა}}$ ამუშავების დანაკარგების, $\Delta Q_{\text{უქს}}$ უქმ სვლაზე დანაკარგების და $\Delta Q_{\text{ს,კ}}$ სინქრონული კომპესატორის რეჟიმში მიმმართველი აპარატიდან წყლის გაუნვების გათვალისწინებით

$$W_{\text{ჰეს}}(t) = \int_{t_0}^{t_b} Q_{\text{ჰეს}}(t) dt = \int_{t_0}^{t_b} \left[\sum_{i=0}^{z_0, s^0(t)} (Q_{s_i}(t) + \Delta Q_{\text{სა } i}(t) + \Delta Q_{\text{უქს}}(t)) + \Delta Q_{\text{ს,კ}}(t) \right] dt \Rightarrow \min; \quad (2.3)$$

ოპტიმალურობის კრიტერიუმი შეიძლება მოცემული იქნას ვექტორული ფორმით, თუ ის მრავალმიზნობრივია.

ტოლობის ტიპის შეზღუდვებად ჩვეულებრივად დებულობენ ჰესის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების ბალანსს:

$$N_{\text{ჰეს}}^{\text{მოც}}(t) - \sum_{i=0}^{z_0, s^0(t)} N_{s_i}(t) = \varphi(t) = 0 \quad (2.4)$$

$$\Theta_{\text{ჰეს}}^{\text{მოც}}(t) - \sum_{i=0}^{z_0, s^0(t)} \Theta_{s_i}(t) = \Psi(t) = 0 \quad (2.5)$$

უტოლობის ტიპის შეზღუდვებად ითვალისწინებენ შეზღუდვებს ჰიდროაგრეგატის ან მთლიანად ჰესის აქტიურ სიმძლავრის მიმართ:

$$N_{s_i}^{\text{მოწ}}(t) \leq N_{s_i}(t) \leq N_{s_i}^{\text{მაქ}}(t), \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (2.6)$$

$$N_{\text{ჰეს}}^{\text{მოწ}}(t) = \sum_{i=0}^{z_0, s^0(t)} N_{s_i}^{\text{მოწ}} \geq N_{\text{ჰეს}}^{\text{წს}}(t) \quad (2.7)$$

ან ხარჯის მიმართ

$$Q_{\text{ჰეს}}^{\text{მოწ}}(t) = \sum_{i=0}^{z_0, s^0(t)} Q_{s_i}^{\text{მოწ}} \geq Q_{\text{ჰეს}}^{\text{წს}}(t) \quad (2.8)$$

აგრეგატების ზღვრული დატვირთვები განისაზღვრება როგორც მათი გამტარუნარიანობით, ასევე ეკონომიკური შეზღუდვებით მათი მცირე დატვირთვისას. მთლიანად ჰესზე შეიძლება დადებული იქნეს შეზღუდვები ელექტროგადამცემი ხაზების გამტარუნარიანობის მიხედვით წყალსამეურნეო სისტემის მოთხოვნების მიხედვით და ა.შ.

უტოლობის ტიპის შეზღუდვები რეაქტიული დატვირთვების მიხედვით ძირითადად განისაზღვრება ენერგოსისტემის რეჟიმის მდგრადობით და დამოკიდებულია მთლიანად ჰესზე და არა თვითეულ აგრეგატზე. დაშვებები აგრეგატის გაშვება-გაჩერების დასაშვები მაქსიმალური რიცხვის მიხედვით T პერიოდის განმავლობაში განისაზღვრება მოთხოვნებით ჰიდროაგრეგატების მუშაობის საიმედოობის უზრუნველყოფაზე.

ზემოთ დასმული ძირითადი ამოცანა სხვადასხვა ტიპის აგრეგატებით არაწრფივია ჰესის აგრეგატების მახასიათებლების არაწრფივობის გამო, არ გააჩნია ზოგადი ამოხსნა ანალიზური სახით და ყოველ კერძო შემთხვევაში შეიძლება გადაწყვეტილი იქნას მხოლოდ რიცხვითი გზით მათემატიკური პროგრამირების მეთოდების, კერძოდ, დინამიკურ პროგრამირების მეთოდის გამოყენებით. ქვემოთ მოგვყავს ამ გადაწყვეტის ალგორითმი.

მოცემული ალგორითმი ემყარება ჰიდროაგრეგატების ენერგეტიკული მახასიათებლების ბიბლიოთეკის და ძირითადად დინამიკური პროგრამირების (სხვანაირად „დინამიკური დაგეგმვის“) მათემატიკურ მეთოდის გამოყენებას. როგორც ცნობილია, აღნიშნული მახასიათებლები მიიღება მოდელური ან ნატურული გამოცდებით მიღებული შედეგების დამუშავების საფუძველზე და მასზე არ შეფერდებით. რაც შეეხება დინამიკური პროგრამირების მეთოდს, როგორც მისი გამოყენების გამოცდილება აჩვენებს, იგი იძლევა ყველაზე უფრო ზუსტ შედეგებს და შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც ეტალონური მეთოდი ალგორითმების შედარებისას. უნდა აღინიშნოს, რომ „პროგრამირებაში“ აქ იგულისხმება „გადაწყვეტილების მიღება“, „დაგეგმვა“, ხოლო სიტყვა „დინამიკური“ მიუთითებს დროის და ოპერაციების შესრულების რიგის მნიშვნელობას განხილვაში მყოფი პროცესებისათვის. დინამიკური პროგრამირების

მეთოდით ზოგადი ექსტრემალური ამოცანა დაიყვანება უფრო მარტივი ექსტრემალური ამოცანების მწკრივზე და იგი წარმატებით გამოიყენება როგორც დისკრეტულ, ასევე უწყვეტი პროცესების კვლევაში. საერთოდ, ამ მეთოდს არ გააჩნია რაიმე განსაკუთრებული მოთხოვნები აგრეგატის მახასიათებლებისა და ამოცანის განზომილების მიმართ [25, 26].

შემოთავაზებული ალგორითმი შედგება ორი ნაწილისაგან: პირველი – ჰიდროელექტროსადგურის ენერგეტიკული მახასიათებლების აგება, მეორე – ჰიდროაგრეგატების შემადგენლობისა და რეჟიმების მართვის გეგმის შედგენა შეზღუდვების გათვალისწინების მთელ განსახილველ პერიოდზე.

ზემოთ დასმული ძირითადი ამოცანა სხვადასხვა ტიპის აგრეგატებით არაწრფივია ჰესის აგრეგატების მახასიათებლების არაწრფივობის გამო, არ გააჩნია ზოგადი ამონახსნი ანალიზური სახით და ყოველ კერძო შემთხვევაში შეიძლება გადაწყვეტილი იქნას მხოლოდ რიცხვითი მეთოდების გზით, ძირითადად მათემატიკური პროგრამების მეთოდებით.

ქვემოთ მოცემულია ჰესის ჰიდროაგრეგატების ენერგეტიკული მახასიათებლების ანალიზი, რომლის ძირითადი ელემენტებია: ჰიდროტურბინა და გენერატორი. საწყის ინფორმაციად გამოიყენება სიმძლავრის დანაკარგების მახასიათებლები.

ჰიდროაგრეგატში ΔN_{δ} სიმძლავრის დანაკარგები ტოლია ΔN_{δ} და ΔN_{δ} ჯამისა, რომელთაგან თითოეული დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორისაგან და ამასთან უმეტეს შემთხვევებში ეს დამოკიდებულებები შეიძლება წარმოდგენილი იყოს მხოლოდ არაცხადი ფუნქციის სახით. ამიტომ ΔN_{δ} და ΔN_{δ} დამოკიდებულებების გამოკვლევისათვის დამყარებულ რეჟიმში საჭიროა ვისარგებლოთ ბალანსური მეთოდით.

ჩვეულებრივ, დამყარებულ რეჟიმებში განიხილება ტურბინის შემდეგი ძირითადი მაჩვენებლები და პარამეტრები: ΔN_{δ} – ჩადგმული სიმძლავრე გენერატორთან ($N_{\delta} = N_{\delta}^{აბ}$); $Q_{\delta} = Q_{\delta}$ – წყლის ხარჯი

აგრეგატში: $H_{\delta} = H_s -$ ტურბინის დაწნევა (აგრეგატის დაწნევა ანუ დაწნევა ნეტო); η_{δ} – ტურბინის მ.ქ.კ.; a_0 – მიმმართველი აპარატის გაღება; φ – ტურბინის მუშა თვალის ფრთების დაყენების კუთხე; D_1 – ტურბინის მუშა თვალის დიამეტრი; n – ბრუნთა სიხშირე; n_s – სწრაფმავლობის კოეფიციენტი.

გარდა მითითებული ძირითადი პარამეტრებისა და მაჩვენებლებისა, ჩვეულებრივად გამოიყენება აგრეთვე მათგან წარმოებულები, მათ შორის ΔN_{δ} – სიმძლავრის დანაკარგები ან ΔQ_{δ} – წყლის ხარჯის დანაკარგი, სხვადასხვა სახის $q_{\delta}^{ხ}$ და q_{δ} დიფერენციალური მახასიათებ, განსხვავებით ΔN_{δ} , ΔQ_{δ} , $q_{\delta}^{ხ}$, q_{δ} , η_{δ} სიდიდეების N_{δ} , H_{δ} , Q_{δ} სიდიდეებს უწოდებენ ტურბინის რეჟიმის აბსოლუტურ მაჩვენებლებს.

ტურბინის რეჟიმის ჩამოთვლილი მაჩვენებლები და პარამეტრები გამოიყენება აგრეგატების რეჟიმების სხვადასხვა გაანგარიშებებსა და გამოკვლევებში. ასე მაგალითად N_{δ} , და Q_{δ} , ΔN_{δ} , და ΔQ_{δ} გამოიყენება სიმძლავრის ბალანსისა და წყლის ხარჯის გაანგარიშებაში ჰესის გასწორში, H_{δ} განსაზღვრავს სითხის თითოეული მოცულობის ენერგეტეკვადობას. ამის გარდა, ΔN_{δ} და ΔQ_{δ} ისევე როგორც η_{δ} გამოიყენება ჰიდროაგრეგატის რეჟიმის ეფექტურობის შესაფასებლად N_{δ} , H_{δ} , Q_{δ} აბსოლუტური გამზომილ მაჩვენებლებთან ერთად.

ჩვენ ძირითად საწყის მაჩვენებლად ტურბინის რეჟიმისათვის ენერგეტიკულ გაანგარიშებებში ვღებულობთ ΔN_{δ} .

ჰიდროაგრეგატების ოპტიმალური რეჟიმების გაანგარიშებისა და ანალიზისას ფართოდ გამოიყენება ტურბინისა და მთლიანად აგრეგატის დიფერენციალური მაჩვენებლები და მახასიათებლები. ამ მახასიათებლების სახეზე და თავისებურებებზე დიდადაა დამოკიდებული ჰესის ოპტიმალური რეჟიმების ძიების ამა თუ იმ მეთოდის კორექტულობა და თვითონ რეჟიმის ეფექტურობა.

ზოგადი სახით ტურბინისათვის დამყარებული რეჟიმისას, რეჟიმის ძირითადი მაჩვენებლების და პარამეტრების დამოკიდებულება

შეიძლება გამოისახოს შემდეგი სახის F_{δ} არაცხადი ფუნქციის (ტურბინის ზოგადი მახასიათებლის) სახით:

$$F_{\delta} = F_{\delta}(N_{\delta}, Q_{\delta}, a_0, \varphi, D_1 n) = 0 \quad (2.9)$$

რადიალურ-ღერძული და ჩამჩიანი ტურბინების გაანგარიშებებში ფ გამოიტოვება. მბრუნავფრთიანი და დიაგონალური ტურბინებს აქვთ ხუთი საანგარიშო ცვლადი: a_0, φ, D_1, n და ერთ-ერთი $N_{\delta}, H_{\delta}, Q_{\delta}$ -დან. რადიალურ-ღერძულში ოთხი: a_0, D_1, n და ერთ-ერთი $N_{\delta}, H_{\delta}, Q_{\delta}$ -დან. ჩამოთვლილი საანგარიშო ცვლადებიდან შეიძლება განისაზღვროს, როგორც დარჩენილი ცვლადები, ასევე მათგან წარმოებულები. ეს მიუთითებს ცვლადების დაყოფის პირობითობას საანგარიშოდ და მათზე დამოკიდებულებად. მათი ამორჩევა განისაზღვრება ამოცანის კონკრეტულ პირობებით.

F_{δ} ფუნქცია (2.9) მრავალგანზომილებიანია და არ გააჩნია ანალიზური გამოსახულება, მისი ანალიზისათვის გამოიყენება F_{δ} ჰიპერზედაპირის სხვადასხვა კვეთები. თუ განვიხილავთ F_{δ} ფუნქციას, დამოკიდებულს მხოლოდ ერთი ცვლადისაგან დანარჩენების მუდმივობის პირობით, მაშინ ამის შედეგი იქნება ფაზური მახასიათებლები, კიბერნეტიკაში მიღებული ტერმინებით, ანუ წრფივი, როგორც ეს მიღებულია ჰიდრაულიკურ მანქანებში.

არსებობს რამოდენიმე მიდგომა დასახელებულ ფაზური (წრფივი) მახასიათებლის განსაზღვრისათვის:

პირველი – დამოუკიდებელი ცვლადის მიხედვით: დაწნევითი, შექცევადი, ხარჯვითი და სიმძლავრითი და ა.შ. მაგალითად, შექცევადი მახასიათებელი წარმოადგენს $N_{\delta}(n), Q_{\delta}(n)$ და ა.შ. $H_{\delta}, a_0, \varphi, D_1$ მუდმივობის შემთხვევაში.

მეორე – დამოკიდებელი ცვლადის მიხედვით: მუშა (მ.კ.კ მიხედვით), Q_{δ} (ხარჯვის მიხედვით) და ა.შ.

ფაზური მახასიათებლები არასრულად გამოსახავს F_{δ} მრავალ-განზომილებიანი ზედაპირის ყველა თავისებურებას. ამ თვალსაზრისით

უფრო წარმომადგენლობითია უნივერსალური მახასიათებლები, რომლებიც ასახავს ტურბინის რეჟიმის პარამეტრების მაჩვენებლების დამოკიდებულებას ორი ცვლადისაგან. ამჟამად ფართოდ არის გავრცელებული $\eta_\delta(N_\delta, H_\delta)$ დაწნევი-სიმძლავრითი ექსპლუატაციური (ზოგჯერ მას უწოდებენ ექსპლუატაციურს), $\eta_\delta(Q_\delta, H_\delta)$ – დაწნევი ხარჯვითი ექსპლუატაციური, უბრალოდ $\varphi(a_0, H_\delta)$ – კომბინატორული და ა.შ. თითოეული ჩამოთვლილი მახასიათებლებიდან გამოიყენება სხვადასხვა გაანგარიშებებში. მაგალითად: $\eta_\delta(N_\delta, H_\delta)$ დაწნევი – სიმძლავრითი მოსახერხებელია აგრეგატის მუშაობის ეფექტურობის შესაფასებლად N_δ და H_δ ცვლადების გაზომილი მნიშვნელობებისას; $\eta_\delta(Q_\delta, H_\delta)$ დაწნევი – ხარჯვითი მახასიათებელი წყლის ხარჯის გამოყენების ან აგრეგატთან ჩადგმული ენერჯის ანალიზისას. კომბინატორული მახასიათებელი აუცილებელია ნაკადის ენერჯის ოპტიმალური გამოყენებისათვის მბრუნავფრთიან და დიაგონალურ ტურბინებში.

ფაზური და უნივერსალური მახასიათებლები ფართოდ იქნება გამოყენებული შემდგომი მსჯელობებისას. აგრეგატის რეჟიმების ანალიზი დამყარებული იქნება სიმძლავრის დანაკარგების მახასიათებლის გამოყენებაზე, როგორც საფუძველზე ყველა დანარჩენი მახასიათებლის მისაღებად. ტურბინისა და გენერატორის რეჟიმული მაჩვენებლების ურთიერთდამოკიდებულება ხორციელდება სიმძლავრეთა ბალანსის სასფუძველზე აგრეგატთან ჩადგმული სიმძლავრის მოცემული მნიშვნელობებისას, რომელიც პროპორციულია $Q_\delta = Q_s$ და $H_\delta = H_s$. მცირე აგრეგატებისათვის აუცილებელია, აგრეთვე, გათვალისწინებული იქნას სიმძლავრის დანაკარგები რედუქტორში, რომელიც აკავშირებს ტურბინას გენერატორთან.

ტურბინის რეჟიმის სხვადასხვა მაჩვენებლების ურთიერთ დასაკავშირებლად და მათი ენერგეტიკული მახასიათებლის მისაღებად განვიხილოთ მისი სიმძლავრის ბალანსის მდგენელები.

ΔN_δ ტურბინაში სიმძლავრის სრული დანაკარგები შედგება სამი ძირითადი მდგენელისაგან:

$$\Delta N_{\delta} = \Delta N_{\delta}^Q + \Delta N_{\delta}^H + \Delta N_{\delta}^{მქ} \quad (2.10)$$

ΔN_{δ}^Q – მოცულობითი დანაკარგები დამოკიდებულია იმაზე, რომ ტურბინის ხარჯის ნაწილი მუშა თვალსა და მის კამერას შორის არსებული ღრეჩოების გავლისას არ მონაწილეობს მუშა პროცესში; ΔN_{δ}^H – დაწნევის ჰიდრავლიკური დანაკარგები, რომელიც ითვალისწინებს ჩადგმული სიმძლავრის დანაკარგებს ნაკადის დარტყმითი შესვლის გამო მუშა თვალზე, ადგილობრივი და საგზაო (სივრცეზე) დაწნევის დანაკარგები ჰიდროტურბინულ დანადგარში, სიმძლავრის დანაკარგები წყლის წარმავალი ნაკადისაგან და ა.შ.; $\Delta N_{\delta}^{მქ}$ – მექანიკური და სხვა სახის დანაკარგები, დაკავშირებული ხასუნის გადალახვასთან ტურბინის მბრუნავ ნაწილებში, ვენტლაციაზე და ა.შ.; ΔN_{δ}^Q და ΔN_{δ}^H – ჯამს ეწოდება ΔN_{δ} სიმძლავრის ჰიდრავლიკური დანაკარგები ტურბინაში.

ყველა ჩამოთვლილი დანაკარგები ერთმნიშვნილოვნად არის დამოკიდებული ტურბინის რეჟიმის ძირითად მაჩვენებლებზე დამყარებულ რეჟიმში. (2.10)-ის თითოეული მდგენელის ხვედრითი წილი დამოკიდებულია ტურბინების ტიპისაგან და უმეტესად განსაზღვრავს ჰიდროაგრეგატის ენერგეტიკული მახასიათებლების ზოგად სახეს მთლიანობაში.

$H_{\delta} = H_{\delta}$ და $Q_{\delta} = Q_{\delta}$ მნიშვნელობებისთვის, რომლებიც მიიღება ჰესის ოტიმალური სადგურშიგა რეჟიმების გაანგარიშებით აგრეგატთან (ე.ი. ტურბინასთან) მიტანილი სიმძლავრე კვტ-ში ტოლია:

$$\left. \begin{aligned} N_{\delta}^{ნად} = N_{\delta}^{ნად} = 9.81 Q_{\delta} H_{\delta} \\ N_{\delta}^{ნად} = N_{\delta}^{ნად} = \frac{Q_{\delta} H_{\delta}^{მქ}}{102} \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

ანუ მგვტებ-ში

ტურბინის სასარგებლო სიმძლავრე ანუ სიმძლავრე ჩადგმული გენერატორთან (მცირე ჰესებისათვის ეს სიმძლავრე ჩადგმული

რელექტორთან) $N_{\delta}^{ნაღ} = N_{\delta}$ იქნება ნაკლები ვიდრე $N_{\delta}^{ნაღ}$, $\Delta N_{\delta} = \Delta N_{\delta}(Q_{\delta}, H_{\delta})$ დანაკარგით, ე.ი.

$$N_{\delta} = N_{\delta}^{ნაღ} - \Delta N_{\delta} = \frac{Q_{\delta} H_{\delta}}{102} - \Delta N_{\delta}(Q_{\delta}, H_{\delta}) \quad (2.12)$$

შესაბამისად η_{δ} ტურბინის სრული მ.კ.კ. ტოლი იქნება:

$$\eta_{\delta} = \frac{N_{\delta}}{N_{\delta}^{ნაღ}} = \frac{N_{\delta}^{ნაღ} - \Delta N_{\delta}}{N_{\delta}^{ნაღ}} = 1 - \frac{\Delta N_{\delta}}{N_{\delta}^{ნაღ}} \quad (2.13)$$

(1.34)-ის ადგილას შეიძლება დაიწეროს

$$N_{\delta} = N_{\delta}^{ნაღ} \eta_{\delta} = 9.81 Q_{\delta} H_{\delta} \eta_{\delta} = 9.81 H_{\delta} (Q_{\delta}^0 - \Delta Q_{\delta}) \quad (2.14)$$

სადაც H_{δ}^0 – ტურბინის ხარჯი, როცა $\eta_{\delta} = 1$;

$$\Delta Q_{\delta} = \frac{\Delta N_{\delta}}{9.81 H_{\delta}} \quad (2.15)$$

მაშასადამე

$$\Delta N_{\delta} = N_{\delta}^{ნაღ} (1 - \eta_{\delta}) = N_{\delta} \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right) = 9.81 H_{\delta} \Delta Q_{\delta} \quad (2.16)$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში:

$$\Delta N_{\delta}^* = \frac{\Delta N_{\delta}}{N_{\delta}} = \frac{1 - \eta_{\delta}}{\eta_{\delta}} \quad (2.17)$$

(2.11) – (2.12) გამომდინარეობს, რომ რეჟიმის ყველა პარამეტრები შეიძლება ერთმნიშვნელოვნად იქნას გამოსახული N_{δ} -თი Q_{δ} და H_{δ} ცნობილი მნიშვნელობებისას, რაც არსებითად ამარტივებს გაანგარიშებას.

წყლის ხვედრითი ხარჯები სიმძლავრის მიხედვით ტოლი იქნება:

$$q_{\delta}^{b3} = \frac{N_{\delta}}{Q_{\delta}} = \frac{102N_{\delta}^{b3d}}{N_{\delta}} = \frac{102}{N} \left(1 - \frac{\Delta N_{\delta}}{N_{\delta}} \right) = \frac{102}{H_{\delta} \eta_{\delta}} \quad (2.18)$$

q_{δ}^{b3} სიდიდე შეესაბამება წყლის ხარჯს ერთეულ სიმძლავრეზე აბსოლუტური მნიშვნელობით q_{δ}^{b3} აღწევს რამდენიმე მ³/(წმ.მგვტ). დაბალწნევიანი ჰესისათვის არ აღემატება 1 მ³/(წმ.მგვტ). მაღალდაწნევიანი ჰესებისათვის. აქედან ჩანს უკანასკნელთა მაღალეფექტურობა.

q_{δ}^{b3} -ის შებრუნებული სიდიდე ახასიათებს წყლის ხარჯის თითოეული ერთეულის ენერგეტიკულ ტევადობას:

$$q_{\delta}^{b31} = \frac{1}{q_{\delta}^{b3}} = \frac{N_{\delta}}{Q_{\delta}} = \frac{N_{\delta}}{102} \left(1 + \frac{\Delta N_{\delta}}{N_{\delta}^{b3d}} \right) = \frac{H_{\delta} \eta_{\delta}}{102} \quad (2.19)$$

q_{δ}^{b31} მაქსიმალური, ე.ი. ყველაზე ეფექტური მნიშვნელობები დამახასიათებელია მაღალწნევიანი ჰესებისათვის.

პრაქტიკაში გამოიყენება სხვა ხვედრითი მაჩვენებლები: q_{δ}^{b3} მ³/(წმ.მგვტ სთ) და q_{δ}^{b31} (მგვტ.სთ/მ³), რომლებიც ახასიათებს W_{δ} ჩამონადენის გამოყენების ეფექტურობას:

$$q_{\delta}^{b3} = \frac{W_{\delta}}{J_{\delta}} = q_{\delta}^{b3} \cdot 3600 \quad (2.20)$$

ტურბინაში სიმძლავრის ბალანსის ზოგადი განტოლებები Q_{δ} და H_{δ} მოცემული მნიშვნელობებისას და $\Delta N_{\delta} = (Q_{\delta} H_{\delta})$ სიმძლავრის დანაკარგების მახასიათებლებისას შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$N_{\delta} = N_{\delta}^{\text{წად}} = N_{\delta}^{\text{წად}} - \Delta N_{\delta}^Q - \Delta N_{\delta}^{\text{მქ}} - \Delta N_{\delta}^H \quad (2.21)$$

ობტიმიზაციურ გაანგარიშებებში გამოიყენება ტურბინის დიფერენციალური მახვენებლები ჰესზე სიმძლავრის ბალანსის პირობიდან, როცა $H_{\delta} = \text{const.}$ მიღებული მახვენებლების სანდობისა და გაანგარიშებების მოხესხებულობის თვალსაზრისით. ყველაზე უფრო სწორია, თუ ჰიდროაგრეგატის რეჟიმის ანალიზისას გამოყენებული იქნება განზოგადებული დიფერენციალური მახვენებლები $N_{\delta}^{\text{წად}}$, q_{δ}^N ე.ი.

$$q_{\delta N^{\text{წად}}}^{\Delta} = \frac{d\Delta N_{\delta}}{dN_{\delta}^{\text{წად}}} = 1 \left(\eta_{\delta} + N_{\delta}^{\text{წად}} \frac{d\eta_{\delta}}{dN_{\delta}^{\text{წად}}} \right) \quad (2.22)$$

ან Q_{δ} -ს მიხედვით, ე.ი.

$$q_{\delta Q}^{\Delta} = \frac{d\Delta N_{\delta}}{dQ_{\delta}} = \frac{H_{\delta}}{102} \left[1 - \left(\eta_{\delta} + Q_{\delta} \frac{d\eta_{\delta}}{dQ_{\delta}} \right) \right] \quad (2.23)$$

როცა $H_{\delta} = \text{const.}$

ამ მახვენებლის დახმარებით შეიძლება განისაზღვროს ტურბინის დიფერენციალური მახვენებელიც საყოველთაოდ მიღებული ფორმულით, ე.ი.

$$q_{\delta Q}^{\Delta} = \frac{d\Delta N_{\delta}}{dQ_{\delta}} = \frac{d(N_{\delta}^{\text{წად}} - \Delta N_{\delta})}{dQ_{\delta}} = \frac{H_{\delta}}{10} - q_{\delta Q}^{\Delta N_{\delta}} \quad (2.24)$$

ამრიგად, ჰესის რეჟიმების გაანგარიშებისა და ანალიზის ბალანსური მეთოდი საშუალებას იძლევა შეიკვეცოს ტურბინის სხვადასხვა დიფერენციალური მანევრებლენებლების რიცხვი და დაყვანილი იყოს $q_{\delta Q}^N$ ერთ მანევრებელზე, რომელიც განისაზღვრება $\Delta N_{\delta}(Q_{\delta})$ -ის მიხედვით და მოწმდება $\eta_{\delta}(Q_{\delta})$ -ით.

ყველა სადგურშიცა რეჟიმების ოპტიმიზაციის ალგორითმო სტრუქტურულად შეიძლება დაიყოს სამ ნაწილად. პირველ ნაწილში წარმოებს გაანგარიშებები, რომლებიც დაკავშირებულია საწყისი ინფორმაციის მომზადებასთან, მაგალითად, აგრეგატების მახასიათებლების გაანგარიშებასთან, რადგანაც ზოგად შემთხვევაში აგრეგატების დაძველების, სადგურებისა და აგრეგატების რეჟიმების ცვალებადობის გამო მახასიათებლები იცვლება. მეორე ნაწილში ხდება აგრეგატების შემადგენლობისა და რეჟიმების ოპტიმიზაცია რომელიმე მათემატიკური მეთოდის გამოყენებით. ყველაზე უფრო გავრცელებულია: დინამიკური პროგრამების (დპ), შტოების და საზღვრების (შს), ვარიანტების მიმართული მეტნაკრების (ვმმ), მეთოდები. მესამე ნაწილში წინასწარი პროგრამა სწორდება, მასში შედის შესწორებები, დაკავშირებული შეზღუდვებთან, რომლებიც არ იყო გათვალისწინებული მისი დამუშავებისას. შეზღუდვების გათვალისწინების არამკაცრი მეთოდების გამოყენება ამცირებს ოპტიმიზაციის ეფექტს.

დასახელებული მეთოდებიდან დპ და შს იძლევა უფრო ზუსტი გადაწყვეტის მიღებას, ვიდრე ვმმ. ამასთან ერთად ორივე არ იძლევა გარკვეული შეზღუდვების გათვალისწინების შესაძლებლობას და ამიტომ ალგორითმის მესამე ნაწილში კომპრომისული გზებით ხდება დამატებითი შეზღუდვების გათვალისწინება. ვმმ მეთოდს ამ მხრივ გააჩნია უპირატესობა [7, 16].

სამივე მეთოდის შედარებითი შეფასება სხვადასხვა ჰესებისათვის აჩვენებს, რომ მეთოდების განსხვავდება ერთმანეთისგან საბოლოო შედეგებით. არსებითი განსხვავებაა მეთოდებს შორის ალგორითმების საექსპლოატაციო პარამეტრების დათვლის დროის, მეხსიერების მოცულობის, ალგორითმის საერთო შეფასების მიხედვითაც. მართალია

და მეტოდი 2-3-ჯერ მეტ მესხიერების მოცულობას მოითხოვს, ვიდრე შს მეტოდი და 3-5-ჯერ მეტს ვიდრე 3მმ მეტოდი, აგრეთვე მეტი დრო სჭირდება გამოთვლებისთვის, მაგრამ ის იძლევა ყველაზე უფრო ზუსტ შედეგებს. ამასთან ერთად მას, დანარჩენი ორი მეტოდისგან განსხვავებით, არ გააჩნია რაიმე განსაკუთრებული მოთხოვნები აგრეგატის მახასიათებლებისა და ამოცანის განზომილების მიმართ. თუ გავითვალისწინებთ თანამედროვე კომპიუტერული ტექნიკის განვითარების დონესაც, ჩვენ ვფიქრობთ და ალბათ ბევრი სხვაც, რომ უპირატესობა უნდა მიენიჭოს დინამიკური პროგრამირების მეტოდს და ძირითადად მასზე გავამახვილებთ ყურადღებას.

2.2. გამოყენებული მათემატიკური აპარატი

დინამიკური პროგრამირება(დინამიკური დაგეგმვა) არის გადაწყვეტილებების ოპტიმიზაციის განსაკუთრებული მეტოდი, რომელიც სპეციალურად მიმარჯვებულია მრავალბიჯიან ან მრავალეტაპიან ოპერაციებისადმი. პროცესი, რომელზეც მიმდინარეობს საუბარი, ითვლება მართვადად. მის თითოეულ ბიჯზე მიიღება რაიმე გადაწყვეტილება, რომელზედაც დამოკიდებულია ამ ბიჯის და მთლიანად ოპერაციის წარმატება. ოპერაციის მართვა ჯამდება ელემენტარული “ბიჯური” მართვის მწკრივისაგან.

დინამიკური პროგრამირების პრინციპი არ გულისხმობს, რომ თითოეული ბიჯის ოპტიმიზაცია ხდება განცალკავებულად, სხვებისაგან დამოუკიდებლად და ბიჯური მართვის არჩევით შეიძლება დავივიწყოთ ყველაფერი სხვა ბიჯების შესახებ, პირიქით, ბიჯური მართვა უნდა ავირჩიოთ ყველა მისი შედეგებით მომავალში. დაგეგმვა უნდა იყოს შორსმჭვრეტელო, პერსპექტივის გათვალისწინებით. რა ხეირია, თუ მოცემულ ბიჯზე ავირჩევთ მართვას, რომლისათვისაც ამ ბიჯის ეფექტურობა იქნება მაქსიმალური, თუ კი მომავალში ეს ხელს

შეგვიშლის მივიღოთ კარგი შედეგები სხვა ბიჯებზე. ვირჩევთ რა მართვას თითოეულ ბიჯზე, ეს უნდა გავაკეთოთ აუცილებლად მომავლის ხედვით, სხვანაირად შესაძლებელია სერიოზული შეცდომები [26, 27].

ამრიგად, ვგეგმავთ რა, მრავალბიჯიან ოპერაციას, აუცილებელია ავირჩიოთ მართვა ყოველ ბიჯზე მისი მომავალი გამოვლინებების გათვალისწინებით ჯერ კიდევ მომდევნო ბიჯებზე.

ამ წესში არის გამონაკლისი, ყველა ბიჯებს შორის არსებობს ერთი, რომელიც შეიძლება დაიგეგმოს მარტივად მომავალში მზერის გარეშე, ეს ბოლო ბიჯია. ეს ბიჯი ერთადერთია, რომელიც შეიძლება დაგეგმო ისე, რომ მოგვცეს მაქსიმალური სარგებელი. თუ ოპტიმალურად დაგეგმავ ბოლო ბიჯს შეიძლება მას შეუწყო ბოლოსწინა, ხოლო ბოლოსწინას წინა და ა.შ. ამის გამო დინამიკური პროგრამირების პროცესი მიმდინარეობს ბოლოდან დასაწყისამდე: ყველაზე ადრე იგეგმება ბოლო მ ბიჯი. მ შეიძლება იყოს ხელოვნური ან ბუნებრივი. როგორ დაგეგმეთ ბოლო ბიჯი თუ არ ვიცით თუ როგორ დასრულდა ბოლოსწინა? როგორც ჩანს, უნდა გავაკეთოდ სხვადასხვა ვარაუდები, როგორ დასრულდა (მ-1) ბიჯი და თითოეული მათგანისათვის ვიპოვოთ ისეთი მართვა, რომლისათვისაც მოგება (შემოსავალი) ბოლო ბიჯზე იყოს მაქსიმალური. ამ ამოცანის გადაწყვეტით ჩვენ ვიპოვით პირობით ოპტიმალურ მართვას, რომელიც უნდა მივიღოთ თუ (მ-1) ბიჯი დამთავრდა გარკვეული სახით.

ყოველ ბიჯზე იძებნება ისეთი მართვა, რომელიც უზრუნველყოფს პროცესის ოპტიმალურ გაგრძელებას მოცემულ მომენტში მიღწეული მდგომარეობის მიმართ. მართვის არჩევის ამ პრინციპს ოპტიმალურობის პრინციპი ეწოდება. თვითონ მართვა, რომელიც უზრუნველყოფს პროცესის ოპტიმალურ გაგრძელებას მოცემულ მდგომარეობის მიმართ ეწოდება პირობითი ოპტიმალური მართვა მოცემულ ბიჯზე.

აღგორითში, რომელიც ემყარება ჰიდროაგრეგატებს ენერგეტიკული მახასიათებლების ბიბლიოთეკის და დინამიკური პროგრამების (სხვანაირად „დინამიკური დაგეგმვის“) მათემატიკურ მეთოდის გამოყენებას. როგორც ცნობილია, აღნიშნული

მასხასიათებლები მიიღება მოდელური ან ნატურული გამოცდებით მიღებული შედეგების დამუშავების საფუძველზე და მასზე არ შეგნერდებით. რაც შეეხება დინამიკური პროგრამირების მეთოდს, როგორც მისი გამოყენების გამოცდილება აჩვენებს, იგი იძლევა ყველაზე უფრო ზუსტ შედეგებს და შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც ეტალონური მეთოდი ალგორითმების შედარებისას. უნდა აღინიშნოს, რომ „პროგრამირებაში“ აქ იგულისხმება „გადაწყვეტილების მიღება“, „დაგეგმვა“, ხოლო სიტყვა „დინამიკური“ მიუთითებს დროის და ოპერაციების შესრულების რიგის მნიშვნელობას განხილვაში მყოფი პროცესებისათვის. დინამიკური პროგრამირების მეთოდით ზოგადი ექსტრემალური ამოცანა დაიყვანება უფრო მარტივი ექსტრემალური ამოცანების მწკრივზე და იგი წარმატებით გამოიყენება როგორც დისკრეტულ, ასევე უწყვეტი პროცესების კვლევაში. საერთოდ, ამ მეთოდს არ გააჩნია რაიმე განსაკუთრებული მოთხოვნები აგრეგატის მასხასიათებლებისა და ამოცანის განზომილების მიმართ.

შტოების და საზღვრების მეთოდი იძლევა კომბინატორული ამოცანების, ე.ი. კომბინაციების სიმრავლეზე მოცემული რაიმე ფუნქციის მინიმუმის (მაქსიმუმის)განსაზღვრის ამოცანების გადაწყვეტის შესაძლებლობას. კომბინაციებად შეიძლება განხილულ იქნას რაიმე ელემენტების შეხამებები, მაგალითად, მომუშავე ჰიდროაგრეგატების შემადგენლობები [7].

შტოების და საზღვრების მეთოდის არსი ჩვენს შემთხვევაში მდგომარეობს იმაში, რომ აგრეგატების ყველა შესაძლო შეხამებათა სიმრავლე თანამიმდევრულად დაიყოფა ქვესიმრავლეებად. ქვესიმრავლეების შედარება ხდება რაიმე კრიტერიუმის ქვედა საზღვრის მიხედვით, ხოლო შემდგომ გაანგარიშებებში ხდება იმ ქვესიმრავლეების გადაგდება, რომლებიც წინასწარვე არ მოიცავს ოპტიმალურ გადაწყვეტას. ოპტიმიზაციური პროცესი განისაზღვრება საერთო სიმრავლის ქვესიმრავლეებად განშტოების (დაყოფის) ხერხით. განშტოების მიღებული სქემის გამოყენებით შეიძლება შეირჩეს შესაძარებლად შემადგენლობების ვარიანტები და თვითოეული ვარიანტებისთვის იწარმოოს დატვირთვის ყველაზე ხელსაყრელი განაწილება.

ამოცანის გადაწყვეტა ხდება შემდეგი ფორმით. მოცემულია $N_r = N_r(t)$ სადგურის დატვირთვის გრაფიკი, აგრეგატების $Q_i = Q_i(N_i, H_i)$ ხარჯითი მახასიათებლები, ფარდობითი ნამატის (ნაზრდის) მახასიათებლები და H_i დაწნეგები აგრეგატებზე, რომელიც არ იცვლება მთელი ოპტიმიზაციის პერიოდის განმავლობაში. ასამუშავებელი ხარჯების გათვალისწინება ხდება. აუცილებელია ჰესის სიმძლავრის თვითოეული დისკრეტული მნიშვნელობისათვის მინიმიზირება ფუნქციის

$$f(\bar{N}) = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i(N_i)$$

იმ პირობით, რომ დაცული იქნება სიმძლავრის ბალანსი

$$N_n = \sum_{i=1}^{i=n} N_i$$

და შესრულებული იქნება შეზღუდვა სიმძლავრის მიხედვით ჩართული აგრეგატისათვის

$$N_{i.min.} \leq N_i \leq N_{i.max.}$$

აგრეგატების მდგომარეობის მოცემა მოხდება $\bar{\pi} = (\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n)$ ვექტორით, რომლის თვითოეული კომპონენტია

$$\pi_i = \begin{cases} 0, & \text{თუ } i\text{-ური აგრეგატი გამორთულია} \\ 1, & \text{თუ } i\text{-ური აგრეგატი ჩართულია} \end{cases}$$

თუ შერჩეულია რომელიმე შემადგენლობა და განხორციელებულია დატვირთვების განაწილება აგრეგატებს შორის, რომელიც ხასიათდება $\bar{N} = (N_1, N_2, \dots, N_n)$ ვექტორით, მაშინ

$$f[\bar{N}(\bar{\pi})] = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i(N_i).$$

მაშასადამე, ამოცანა დაიყვანება ისეთი $\bar{\pi}_{\text{ოპტ.}} \in G$ ვექტორის პოვნამდე, რომლისთვისაც

$$f(\bar{\pi}_{\text{ოპტ.}}) = \min \sum_{i=1}^{i=n} Q_i(N_i). \quad (2.25)$$

აქ G – აგრეგატების დასაშვები კომბინაციების სიმრავლე.

ამ მეთოდის გამოყენებით ქვესიმბოლოების შეფასება ხდება (1.46) კრიტერიუმის ქვედა საზღვრის მიხედვით. ქვედა საზღვარში იგულისხმება რაიმე ფიქტიური სიდიდე, მიღებული იმ პირობით, რომ განსახილველი ქვესიმრავლის აგრეგატების ნაწილი მუშაობს მაქსიმალური მ.ქ.კ.-ით. ამასთან ითვლება, რომ მათი დატვირთვა შეიძლება იცვლებოდეს ნულიდან სიმრავლემდე, რომელიც შეესაბამება მ.ქ.კ.-ს მაქსიმუმს ხარჯით მახასიათებელზე. ამისათვის თვითეული აგრეგატის ხარჯით მახასიათებელი იცვლება უდიდესი ამოზნექილი ფუნქციით რომლისთვისაც

$$Q_i^o(N_i^o) = \begin{cases} \frac{Q_i^*}{N_i^*} N_i, & \text{როცა } 0 \leq N_i \leq N_i^* \\ \frac{N_i}{9.81H_i \eta_i}, & \text{როცა } N_i^o \leq N_i \leq N_{i \max}. \end{cases}$$

სადაც N_i^*, Q_i^* – იური აგრეგატის სიმძლავრე და ხარჯი მ.ქ.კ.-ს მაქსიმუმის წერტილში.

ამ აგრეგატების „შესწორებული“ მახასიათებლების მიხედვით ხდება ოპტიმიზაციის კრიტერიუმის ქვედა საზღვრის დამხმარე ამოცანის გადაწყვეტა.

$$f^{\circ}(\bar{N}) = \min \sum_{i=1}^{i=n} Q_i^{\circ}(N_i^{\circ}) \quad (2.26)$$

ამასთან

$$0 \leq N_i^{\circ} \leq N_{i \max}.$$

ვარიანტების ფორმირება ხდება აგრეგატების საწყისი შემადგენლობიდან ერთ-ერთის გამორთვით. გამორთვის კრიტერიუმად მიიღება თანაფარდობა წყლის ხვედრით ხარჯსა და აგრეგატების ფარდობით ნამატს შორის.

ვარიანტების მიმართული მეტნაკრების (გადარჩევის) მეთოდის გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია მისი დინამიკური პროგრამირების მეთოდთან შესამეხებით. დინამიკური პროგრამირების პრინციპზე აგებულ ალგორითმში, რომლითაც ხდება აგრეგატების შემადგენლობის და დატვირთვის ოპტიმიზაცია, შეიძლება შეტანილი იქნას ცვლილებები და ოპტიმიზაციის თვითოეულ ბიჯზე აგრეგატების შემადგენლობა არჩეული იქნას მიმართული ძეხნის მეთოდით. საუკეთესო აგრეგატის ძეხნა შეიძლება უკეთესად იქნას ორგანიზებული იმ შემთხვევაში, თუ ცნობილი იქნება მომუშავე აგრეგატების რიცხვი და მათი დატვირთვები [7].

პირველი ბიჯის ოპტიმიზაციის მახასიათებელი იგება $z=1$ მნიშვნელობისთვის. ითვლება, რომ სადგურზე დაყენებული ერთნაირი სიმძლავრის აგრეგატები, მაშინ ამოცანა დაიყვანება შემდეგი განტოლების ამოხსნამდე

$$Q_z^j = 1(N_{z-1}^j) = \min \{Q_i(N_i)\} \quad (2.27)$$

იგივე შეზღუდვებისას როგორც წინა ალგორითმში, სადაც Q_{z-1}^j – ექვივალენტური მახასიათებლის ხარჯი, როცა $z=1$.

ამოცანის გადაწყვეტა ხორციელდება ერთაგრეგატიანი სადგურის მუშაოების ყველა შესაძლო ვარიანტის მარტივი მეტნაკრებით, როცა სადგურის სიმძლავრე N_{z-1}^j .

მეორე ბიჯის ექვივალენტური მახასიათებლის ასაგებად აუცილებელია $Q_{z=1}^j = f(N_{z=1}^j)$ მახასიათებლით სარგებლობა და ამ მახასიათებლის საუკეთესო კომბინაციის პოვნა ნებისმიერი დარჩენილი აგრეგატის მახასიათებელთან. ამისათვის ჯერ წარმოებს დატვირთვის განაწილება ექვივალენტურ და უცნობ ჩართულ აგრეგატს შორის, ხოლო შემდეგ მოიძებნება ის აგრეგატი, რომლის ხარჯი უმცირესია (აგრეგატის სიმძლავრე, რომელიც ერთგვება, – ცნობილია). მაშასადამე, დატვირთვის განაწილების თვითოეული ვარიანტისათვის მოხდება მახასიათებლის გაანგარიშება ერთადერთი შეხამებისათვის, როცა $z = 2$.

$$Q_z^j = 2(N_{z=j}^j) = \min \{Q_i(N_i) + N_{z=1}^j(N_j - N_i)\}$$

$$\text{როცა } N_{i \max.} \geq N_j \geq N_{i \min.}$$

$$2N_{i \max.} \geq N_j \geq 2N_{i \min.}$$

დაგეგმვის პროცესს ყოველთვის გააჩნია პროგნოზის ხასიათი. ერთის მხრივ პროგნოზირდება განსახილველი დარგის ან მისი საწარმოების პროდუქციაზე მოთხოვნა, მეორეს მხრივ – საწარმოო შესაძლებლობები. პროგნოზირების მეთოდები სხვადასხვანაირია და ემყარება ექსტრაპოლაციას, ანუ შეფასებების მიღებას მომავლისთვის წარსულზე და აწმყოზე არსებული ინფორმაციის საფუძველზე. ბევრი ნაშრომი, შესრულებული ენერგეტიკული ამოცანებისათვის, გვიჩვენებს ალბათობის თეორიის და მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდების ფართოდ გამოყენების შესაძლებლობებს დაგეგმვის ამოცანებისთვის. დამუშავებულია პროგნოზირების ეკონომიკა-მათემატიკური მოდელები ელექტროენერჯის გამომუშავების, ელექტრომომხმარების, სითბური ენერჯის მოხმარების ქსელებში ენერჯის დანაკარგების, საკუთრად სადგურისთვის მოხმარების, სათბობის ხვედრითი ხარჯების ელექტრულ და სითბურ ენერჯიაზე, ელექტრული და თბური ენერჯის თვითღირებულების და სხვ.

ოპტიმიზაციური ამოცანების გადაწყვეტა ალბათური მიდგომით სულ უფრო და უფრო მეტ განვითარებას იძენს. სისტემების მართვისას საჭირო ხდება შემთხვევითი სიდიდეების, ფუნქციების და პროცესების გაანალიზება. ამასთან შეუძლებელია პარამეტრების განსაზღვრული მნიშვნელობების მიღება, შესაძლებელია მხოლოდ მათი მნიშვნელობების კანონზომიერებებზე მსჯელობა მასობრივ მოვლენებში. ასეთ შემთხვევაში ოპტიმიზაციური ამოცანების გადაწყვეტისას მინიმიზირდება ოპტიმალურობის კრიტერიუმის მათემატიკური მოლოდინი [7, 22, 23].

$$M(\phi) \rightarrow \min \quad (2.28)$$

(2.28) პირობის შესრულება ლაპარაკობს ოპტიმალურ გადაწყვეტაზე საშუალოდ $M(\phi)$ -ზე გავლენას ახდენს X^* საწყისი პარამეტრების შემთხვევითი რეალიზაციები. ამასთან ისინი ემორჩილებიან ცნობილ ალბათურ კანონზომიერებებს, შეიძლება ჩავწეროთ, რომ

$$X^* = X_{\text{საშ}} + \Delta X^* \quad (2.29)$$

სადაც $X_{\text{საშ}}$ – პარამეტრების საშუალო მნიშვნელობა; ΔX^* – შემთხვევითი გადახრები საშუალოდან. (2.29) ჩაწერისას წარმოიშობა საწყისი ინფორმაციის ცვალებადობის (ცდომილების) საბოლოო შედეგზე გავლენის შეფასების ამოცანა

საწყისი ინფორმაციის ცვალებადობის გავლენის გათვალისწინების ამოცანისთვის ფართოდ გამოიყენება სტატისტიკური მოდელირების მეთოდი. ინფორმაციის ცდომილებები ხშირად განისაზღვრება შემთხვევითი ფაქტორებით, რომლებისთვისაც ცნობილია ალბათობის განაწილების კანონები, მათი მათემატიკური მოლოდინები, დისპერსიები და სხვა მახასიათებლები. ამასთან ერთად ვერ ხერხდება იმ სიდიდის მათემატიკური მოლოდინის ანალიზური გამოსახულების მიღება, რომელზეც გავლენას ახდენს საწყისი

ინფორმაციის შემთხვევითი რეალიზაციები. მაშინ გამოიყენება სტატისტიკური მოდელირების მეთოდი, რომელიც იძლევა გარკვეული სიდიდეების საშუალო შეფასების (მათემატიკური მოლოდინის) საშუალებას.

სადგურის საწყისი ენერგეტიკული მახასიათებლების შემთხვევითი ხასიათის გათვალისწინებით დატვირთვის ყველაზე ხელსაყრელი განაწილების ეფექტურობის შეფასებისთვის გაანგარიშებები სრულდება შემდეგი სახით. აგრეგატების მახასიათებლები დასაწყისში ჩაითვლება ზუსტად და მათი მიხედვით ხდება რეჟიმების ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტა. შემდეგ ჩაითვლება, რომ მოცემულ ცდომილების ინტერვალში მახასიათებლები შეიძლება იცვლებოდეს შემთხვევითად. შემთხვევითი მახასიათებლების მიხედვით შეიძლება ჩატარდეს ოპტიმიზაციის ანალოგიური გაანგარიშებები და შედეგად გამოვლინდება პირობითი საწვავის გადახარჯვა ოპტიმალურთან შედარებით. მსგავსი გაანგარიშებების სერიის შესრულების შემდეგ შეიძლება განისაზღვროს საწვავის (წყლის) საშუალო გადახარჯვა:

$$\overline{\Delta B_0} = B_0 - \bar{B} \quad (2.30)$$

სადაც B_0 – საწვავის (წყლის) ხარჯი ოპტიმალურ რეჟიმში; \bar{B} – საწვავის ხარჯი შემთხვევითი მახასიათებლებისას.

მახასიათებლების ვარიაციებს დებულობენ შემთხვევითი რიცხვების ერთობლიობის დახმარებით, რომელთა გამომუშავებაც ხდება სპეციალური გენერატორებით კომპიუტერზე. ფსევდოშემთხვევითი რიცხვების გენერატორი რეალიზებას უკეთებს წინასწარ მოცემულ ალბათობების განაწილების კანონს და მის რიცხვით მახასიათებლებს. როცა დაპარაკობენ მახასიათებლების შემთხვევით ცვლილებებზე, ხშირად მიიჩნევენ რომ საწვავის (წყლის) ხარჯის ცვალებადობა ემორჩილება თანაბარი ალბათობების კანონს (პირველი მიახლოებით შეიძლება ჩავთვალოთ მრავალი ტექნიკური პარამეტრის ცვლილება თანაბარალბათურად), ხოლო აგრეგატის

სიმძლავრის ცვლილება – ნორმალურ კანონს. მაგალითად სწორი წარმოდგენა შემთხვევით სიდიდეებზე შეიძლება მივიღოთ მხოლოდ სადგურებისა და სისტემის ექსპლუატაციისას მიღებული სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებით.

ამ მეთოდის საკვანძო მომენტია საწყისი ინფორმაციის ალბათური მოდელი, მაგალითად მახასიათებლის ცვლილება. თუ ალბათური მეთოდი არ იქნება დასაბუთებული, მაშინ სტატისტიკური მოდელირების მეთოდი აგრეთვე ვერ მოგვცემს საიმედო პასუხს საშუალო შეფასებების მიღება კი დაკავშირებულია სტატისტიკური ინფორმაციის დამუშავების შრომატევად გაანგარიშებებთან.

განსახილველ ამოცანაში მახასიათებლების (ფარდობითი ნამატების და სიმძლავრეების) კოორდინატების იმიტაცია მიიღწევა სიბრტყეზე ორი არჩეული განაწილების კანონის კომბინაციით ცდომილების $\pm \Delta b_i$ და $\pm \Delta P_i$ ინტერვალებში, სადაც Δb_i – ფარდობითი ნამატების ცდომილებები, ხოლო ΔP_i – სიმძლავრეთა ცდომილებები. ფსევდოშემთხვევითი სიდიდეების გენერატორი გარსცემს რიცხვებს არჩეული განაწილების კანონით ნულის ტოლი მათემატიკური მოლოდინით და $\sigma = 1$ საშუალო კვადრატული გადახრით. გამოცდების დიდი რიცხვისას, რომლებშიც მახასიათებლების ზღვრული ცდომილება ერთნაირია, შეიძლება ნაპოვნი იქნას კავშირი საწვავის (წყლის) საშუალო კვადრატულ გადახარჯვასა და ცდომილებას შორის. თუ გამოიყენება ნორმალური კანონი, მაშინ $P = 0.9973$ ალბათობით შეიძლება ჩაითვალოს, რომ შემთხვევითი სიდიდის გადახრა თავისივე განაწილების ცენტრიდან აბსოლუტური მნიშვნელობით იქნება ნაკლები $\Delta = 3\sigma$, სადაც σ – საშუალო კვადრატული გადახრა. მაშინ ცნობილი ზღვრული Δ ცდომილებისას ადვილად განისაზღვრება $\sigma = \frac{1}{3} \Delta$. თანაბარზომიერი კანონისათვის $\Delta = \sigma$.

კომპიუტერის შემთხვევითი რიცხვების გენერატორი გასცემს Φ და γ რიცხვებს, შესაბამისებს მოდელის განსაზღვრულ ალბათობების, რომლებიც იძლევიან ახალი მახასიათებლების კოორდინატების

პონის შესაძლებლობას. ფარდობითი ნამატის შემთხვევითი სიდიდე როცა $P_i = \text{const}$.

$$b_i^* = b_i(1 + k_i \phi_i \Delta b_i) \quad (2.32)$$

ხოლო სიმძლავრის შემთხვევითი სიდიდე $b_i = \text{const}$

$$P_i^* = P_i(1 + m_i \gamma_i \Delta P_i) \quad (2.33)$$

სადაც b_i და P_i – მოცემული სიდიდეებია; b_i , ΔP_i – მათი ზღვრული გადახრების მნიშვნელობები; k_i , m_i – მუდმივები, დამოკიდებულებები არჩეულ ალბათობათა განაწილების კანონზე.

მოდელირებისას $b_i(P_i)$ ფარდობითი ნამატების მახასიათებლები უნდა შემოწმდეს მონოტონურობაზე. ეს პირობა ადებს შეზღუდვებს სტატისტიკური მოდელირებისას მოდელის პარამეტრებს. მართლაც, შეუძლებელია მახასიათებლის სხვადასხვა წერტილების დამოკიდებული მოდელირების განხორციელება. არსებობს სხვადასხვა წინადადებები, რომლებიც უზრუნველყოფს მონოტონურობის პირობების შესრულებას. ასე მაგალითად, არსებობს მოსაზრება, გაანგარიშებული იქნას მახასიათებელი ნაბიჯ ნაბიჯ ისე, რომ დატოვებული იქნას მისაღები შედეგები ან მოდელირებული იქნას მხოლოდ მახასიათებლის კიდური წერტილები, ხოლო დანარჩენი ნაწილებისათვის გამოყენებული იქნას დამაკმაყოფილებელი ანალიზური გამოსახულებები. ყველაზე უფრო ხშირად გამოიყენება დებულება მახასიათებლის ყველა წერტილის ფარდობითი ცვლილების ერთიანობაზე. ეს მიიღწევა მახასიათებლის მხოლოდ ერთი წერტილის შემთხვევითი მდგომარეობის განსაზღვრით, ხოლო ყველა დანარჩენის ცვლილებით k კოეფიციენტის პროპორციულად.

$$k = \frac{X_0}{X^*},$$

სადაც X_0 – პირველ საწყისი რიცხვი, ხოლო X^* – შემთხვევითი.

გაანგარიშებათა დიდი რიცხვის ჩატარება (ჩვეულებრივად საჭიროა რამოდენიმე ასეული გამოცდა) იძლევა საშუალო მნიშვნელობისა და მათი ალბათობების მიღების შესაძლებლობებს. მაგალითად, შეიძლება მიღებულ იქნას სათბობის (წყლის) გადახარჯვის სიდიდის საშუალო შეფასებები გარკვეული ცდომილებებისას.

სტატისტიკური გამოცდების დიდი რიცხვისას მოხერხებულია შეფასებებისათვის გამოყენებული იქნას სტატისტიკური მწკრივები, რომლებსაც გააჩნია ჰისტოგრამის სახე. როგორც ცნობილია, დიდი რიცხვისას ფაქტიურად გარდაიქმნა განაწილების სიმკვრივის მრუდად და მის მიხედვით შეიძლება აგებული იქნას გადახარჯვის ალბათობის განწილების სტატისტიკური ფუნქცია, რომლის მიხედვითაც შეიძლება განისაზღვროს ამა თუ იმ გადახარჯვის გაჩენის ალბათობა.

როგორც უკვე ვნახეთ, საწყისი ინფორმაციის შემთხვევითი ხასიათის გათვალისწინების მეთოდითაა მოითხოვს დიდი მოცულობის გაანგარიშებების ჩატარებას და ძალიან შრომატევადია. ბუნებრივია შრომატევადობა გაიზრდება, თუ გაიზრდება იმ პარამეტრების რიცხვი, რომლებსაც შემთხვევითი ხასიათი აქვს. ამის მაგალითია აგრეგატების შემადგენლობის ოპტიმიზაციის ამოცანა. ამ შემთხვევაში განისაზღვრება აგრეგატების ოპტიმალური შემადგენლობის არჩევის ალბათობა სიმძლავრის თითოეული მნიშვნელობისათვის და ხარჯვითი მასხაითებლების განსაზღვრული ცდომილებების. შემადგენლობის თითოეული ვარიანტისათვის ტარდება გაანგარიშებები. სიმძლავრის ერთი მნიშვნელობისათვის შეიძლება იყოს შესაძლებელი ასეული შესაძლო შემადგენლობა და თითოეული შემადგენლობისათვის – დატვირთვის განაწილების რამოდენიმე ასეული ვარიანტი, ანუ შრომატევადობა კიდევ უფრო იზრდება.

ხშირ შემთხვევაში ვერ ხერხდება საწყისი ინფორმაციის ალბათური აღწერაც, მაგალითად როცა არ არის საკმარისად საიმედო სტატისტიკური მასალა, ან სტატისტიკის დამუშავებისას არ გამოვლინდა ალბათური კანონზომიერებები და სხვ. ჩვეულებრივად

ასეთ შემთხვევებში ხერხდება მხოლოდ სიდიდეთა ზღვრული მნიშვნელობების (ცვლილების ზონის) განსაზღვრა. ყველაზე უფრო ხშირად იმ ამოცანების გადასაწყვეტად, რომლებსაც გააჩნია განუსაზღვრელი ინფორმაცია, გამოიყენება მინიმაქსური კრიტერიუმები. მინიმაქსური კრიტერიუმები ფართოდ გამოიყენება თამაშების თეორიაში, ისინი იძლევიან გარანტირებული (მინიმალური) ეფექტის მიღების საშუალებას მოწინააღმდეგის განუსაზღვრელი ყოფაქცევის პირობები [24, 25].

მსგავსი ტიპის რეჟიმული ამოცანები ნაკლებად არის დამუშავებული, ამიტომ აქ დაკმაყოფილებით ერთი კერძო ამოცანის მოკლე აღწერით – გადაწყვეტა ჰიდროსადგურის აგრეგატების რეჟიმების და შემადგენლობის მართვის სხვადასხვა ხერხების შეფასებისთვის. ხდება ავტოპერატორის (ავტომატური მოწყობილობის ჩასართველი და გამოსართველი აგრეგატების შემადგენლობის ასარჩევად) გამოყენებისა და ავტომატიზირებული სისტემის პირობებში მართვის (როცა შეიძლება ოპტიმიზირება სპეციალური კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით). მეორე ხერხს გააჩნია დიდი შესაძლებლობები და ამოცანა მდგომარეობს მისი ეფექტურობის შეფასებაში.

შედარება მოითხოვს ჰესის დატვირთვების პროგნოზს ხანგრძლივ პერიოდზე (ერთ წელზე მაინც); ჰესის კვეთთან მოდინებას, ჰესის დაწნევებს, აგრეგატების მახასიათებლებს და სხვა მონაცემებს. პროგნოზებს, შედგენილს წინ წასწრების ხანგრძლივ ინტერვალზე, გააჩნიათ დიდი ცდომილებები, ამასთან სტატისტიკა იძლევა მხოლოდ ცდომილებების ინტერვალების გამომჟღავნების შესაძლებლობას. ფაქტორების კომბინაციების მრავალფეროვნება და ნებისმიერობა, რომლებიც განსაზღვრავს ჰესის რეჟიმს, ამ ამოცანას აქცევს განუსაზღვრელად. მისი გადაწყვეტა შეიძლება მხოლოდ მინიმაქსის კრიტერიუმის გამოყენებით, ამასთან ჩვეულებრივად ხერხდება თანამიმდევრობით ორი ფაქტორის განუსაზღვრელობისას. მოცემულ შემთხვევაში, ყველაზე მეტი ცდომილება გააჩნია დატვირთვას და დაწნევას ჰესის გასწორთან შემოდინების განსაზღვრულ მნიშვნელობისას.

გაანგარიშებები სრულდება ოთხ ეტაპად ჰესის თითოეულ საანგარიშო ხარჯის ჰიდროგრაფიისათვის: პირველ ეტაპზე განისაზღვრება დატვირთვების და დაწნევების შესაძლო გრაფიკები დროის თითოეულ საანგარიშო ინტერვალისათვის, მეორეზე – დატვირთვებისა და დაწნევების გრაფიკების ყველა შესაძლო კომბინაციები, მესამეზე – თითოეული კომბინაციისათვის განისაზღვრება ელექტროენერჯის მოგების სიდიდე მართვის სხვადასხვა ხერხების გამოყენებისას, ხოლო მეოთხე ეტაპზე, მინიმალური კრიტერიუმების გამოყენებით განისაზღვრება მოგების გარანტირებული მნიშვნელობა.

თავი III. ჰიდროელექტროსადგურების სადგურშია რეჟიმების ოპტიმიზაციის ალგორითმი და კომპიუტერული პროგრამა

3.1. ჰიდროელექტროსადგურის ენერგეტიკული მახასიათებლების აგების ალგორითმი

ზოგად შემთხვევაში, ჰიდროაგრეგატების მახასიათებლებს, შეიძლება ჰქონდეს ნებისმიერი ფორმა, ცალკეულ ზონებში ჩავარდნები და თაროები. ასეთი მახასიათებლები არადიფერენცირებადია, არ იზრდება მონოტონურად, რაც გარკვეულად ართულებს მათ გამოყენებას [7,15].

ჰიდროელექტროსადგურის ენერგეტიკული მახასიათებლების აგების ამოცანა გულისხმობს ჰიდროაგრეგატების მდგომარეობის

ანალიზს, ხოლო სადგურშია რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის დასმა და გადაწყვეტის მეთოდები გავლენას ახდენს ამ მახასიათებლების საერთო სახეზე და კანონზომიერებებზე.

თავდაპირველად მოგვყავს ჰეს-ის მყისიერი ენერგეტიკული მახასიათებლების აგების ალგორითმი. ეს მახასიათებლები აიგება ჰიდროაგრეგატების ენერგეტიკული მახასიათებლების საფუძველზე, არ არის დამოკიდებული დროზე და გამოხატავს კავშირს ჩადგმულ და სასარგებლო ენერჯიებს ან მათ მიმართ პირდაპირ პროპორციულ მანკენებლებს შორის. აქ უნდა აღინიშნოს, რომ ენერგეტიკული სისტემის ხანმოკლე რეჟიმების გაანგარიშების დროსაც, რასაც ჩვეულებრივად თან ახლავს საწყისი ინფორმაციის გასაშუალება დროის დისკრეტულ საანგარიშო ინტერვალებზე რამდენიმე წუთიდან 1-3 საათამდე ფარგლებში, გაანგარიშებები მიმდინარეობს მყისიერი ენერგეტიკული მახასიათებლების მიხედვით.

ჰეს-ის ექვივალენტური ოპტიმალური $Q_3(N_3, H_3)$ ხარჯის მახასიათებლის (აქ N_3 –ჰესის ჩადგმული სიმძლავრე, H_3 –დაწნევა) ასაგებად ნებისმიერი რეჟიმისათვის N_3 სიმძლავრისა და H_3 დაწნევის მიხედვით აუცილებელია მუშაობისას გეკონდეს აგრეგატების ოპტიმალური შემადგენლობა და ამ აგრეგატების ოპტიმალური რეჟიმი. ოპტიმალურობის კრიტერიუმად აიღება სადგურის ხარჯის მინიმუმი.

ზოგად შემთხვევაში $Q_i(N_i, H_i)$ ჰიდროაგრეგატების ენერგეტიკული მახასიათებლების არაწრფივობის გამო დასმული ამოცანაც არაწრფივი იქნება და, რამდენადაც შესაძლებელია ჰიდროაგრეგატების შემადგენლობის არაერთი ვარიანტი, რომელიც უზრუნველყოფს ჰესის სიმძლავრის ბალანსს, ამოცანა იქნება მრავალექსტრემალურიც. ჰეს-ის თითოეული სიმძლავრისთვის იძებნება აგრეგატების ოპტიმალური შემადგენლობა და მათ შორის დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება.

თუ მივიღებთ $H = \text{const}$, მათემატიკური მოდელი გამარტივდება და წარმოდგენილი იქნება შემდეგი განტოლებით:

მიზნის

$$Q_j = \sum_i Q_i(N_i) \Rightarrow \min \quad (3.1)$$

სადაც j -ჰეს-ის N_j -სიმძლავრეების ნომერი, ხოლო i -ჰიდროაგრეგატის ნომერი;

კავშირის განტოლებები - აგრეგატების $Q_i(N_i)$ ხარჯითი მახასიათებლები.

შეზღუდვების განტოლებები:

სიმძლავრეების ბალანსი ჰეს-ზე

$$N_j = \sum_i N_i; \quad (3.2)$$

ჰეს-ის სიმძლავრის ცვლილების დასაშვები ზღვრები

$$N_{j,\min} \leq N_j \leq N_{j,\max}; \quad (3.3)$$

ჰიდროაგრეგატების სიმძლავრის ცვლილების დასაშვები ზღვრები

$$N_{i,\min} \leq N_i \leq N_{i,\max}. \quad (3.4)$$

ჰიდროაგრეგატები შემადგენლობისა და რეჟიმის ოპტიმიზაციის პროცესის i -ურ ბიჯზე დინამიკური პროგრამირების ფუნქციონალური განტოლება გამოისახება შემდეგი რეკურენტული თანაფარდობით

$$Q_i^j(N_i^j) = \min [Q_i(N_i) + Q_{i-1}(N_{i-1})], \quad (3.5)$$

სადაც Q_i^j - ექვივალენტური მახასიათებლის ხარჯი ოპტიმიზაციის i -ური ბიჯზე ჰეს-ის N_i სიმძლავრისთვის; N_{i-1} -იგივე $(i-1)$ ბიჯისთვის; Q_i და შესაბამისად ჩართული აგრეგატის ხარჯი და სიმძლავრე ოპტიმიზაციის i -ურ ბიჯზე.

სიმძლავრის ბალანსის განტოლების გამოყენებით ფუნქციონალური განტოლება დაიყვანება N_i ერთ ცვლადზე. რაკი ცნობილია N_i ჰესის დატვირთვა, ამიტომ $N_{j-1}^j = N_j - N_i$, მაშინ (3.5) მიიღებს სახეს:

$$Q_i^j(N_i^j) = \min[Q_i(N_i) + Q_{i-1}^j(N_j - N_i)]. \quad (3.6)$$

ამრიგად, მრავალი ცვლადის ფუნქციის ოპტიმიზაციის ამოცანა დადის N_i ერთი ცვლადის ფუნქციის ოპტიმიზაციის მრავალბიჯიან ამოცანაზე.

გაანგარიშების პროცდურა გულისხმობს ექვივალენტური მახასიათებლების თანმიმდევრულ აგებას ჰიდროაგრეგატების $i=1, 2, 3, \dots, n$ მოცემული რიგითობის მიხედვით. აგრეგატები შეიძლება განხილული იქნას ნებისმიერი რიგითობით.

დინამიკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენებით აგებული ენერგეტიკული მახასიათებლების საფუძველზე შეიძლება ზოგად შემთხვევაში განისაზღვროს ჰიდროაგრეგატების შემადგენლობა და სიმძლავრე ოპტიმიზაციის განსახილველი პერიოდის დროის ნებისმიერი ინტერვალისათვის.

ოპტიმიზაციის პირველი ბიჯის მახასიათებელი მოიცემა როგორც ერთერთი აგრეგატის, მაგალითად $i=1$ მახასიათებელი. შემდგომში ის გასწორდება ოპტიმალურით. მეორე ბიჯზე საჭიროა აიგოს ორი ერთობლივად მომუშავე აგრეგატის ექვივალენტური მახასიათებელი. ამისათვის განიხილება პირველი ბიჯის ცნობილი (მოცემული) მახასიათებლის და მოცემული რიგითობიდან მომდევნო აგრეგატის, ანუ $i=2$ მახასიათებლის შეუღლება.

ოპტიმიზაციის განტოლება იძლევა ამ ორი აგრეგატის ექვივალენტურ ხარჯსა და ექვივალენტურ სიმძლავრეს, ანუ

$$Q_{i=1,2}^j(N_i^j) = \min[Q_2(N_2) + Q_1(N_i - N_2)], \quad (3.7)$$

სადაც მარჯვენა ფრჩხილის პირველი შესაკრები – ჩართული $i=2$ აგრეგატის მახასიათებელი, ხოლო მეორე – ოპტიმიზაციის პირველი ბიჯის მახასიათებელი.

N_2 სიმძლავრის ვარირებით $N_j = \text{const}$ პირობებში შეიძლება მივიღოთ ისეთი განაწილება, რომლისთვისაც (2.7) ფუნქციას ექნება მინიმუმი. თუ ასეთ გაანგარიშებებს ჩავატარებთ სხვადასხვა N_j -ისთვის ორი აგრეგატის შესაძლებლობის დიაპაზონში, მივიღებთ $Q_{i=1,2}^j(N_i^j)$ ოპტიმიზაციის მეორე ბიჯის მახასიათებელს, რომელიც იქნება $i=1,2$ აგრეგატების მახასიათებელი. მახასიათებელზე იქნება წერტილები, რომლებშიც მუშაობს ერთ-ერთი აგრეგატი, და წერტილები, სადაც ისინი მუშაობენ ერთობლივად. ყველაფერს განსაზღვრავს წყლის ხარჯის მინიმუმი. ამის შემდეგ აიგება ექვივალენტური მახასიათებელი სამი $i=1,2,3$ აგრეგატისათვის შემდეგი განტოლების გამოყენებით.

$$Q_{i=1,2,3}^j(N_i^j) = \min[Q_3(N_3) + Q_{i=1,2}^j(N_i - N_3)]. \quad (3.8)$$

აქ ჩაირთვება მესამე $i=3$ აგრეგატი და განიხილება მისი ერთობლივი გამოყენება ჰიპოთეზურ აგრეგატთან ერთად, რომელსაც გააჩნია $Q_{i=1,2}^j(N_i^j)$ მახასიათებელი. N_3 სიმძლავრის ვარირებით შეიძლება ნაპოვნი იქნას ოპტიმალური გადაწყვეტილება რიგრიგობით ყველა N_j -ისთვის სამი აგრეგატის მუშაობის დიაპაზონში და აგებული იქნას $Q_{i=1,2,3}^j(N_i^j)$ ექვივალენტური მახასიათებელი. გაანგარიშებების შედეგად შეიძლება მიღებული იქნას მუშაობის რეჟიმები ან სამიდან ერთერთი აგრეგატის, ან მათგან ორ-ორის კომბინაციების, ან ყველა სამი აგრეგატის მუშაობისათვის. შემდეგ გაანგარიშებები მეორდება ყოველ ბიჯზე აგრეგატების რიცხვის ერთით გაზრდისას. ნათლად ჩანს, რომ ექვივალენტური მახასიათებლების ასაგებად საჭიროა დიდი რაოდენობის გაანგარიშებების ჩატარება. ზოგად შემთხვევაში გაანგარიშებების რიცხვი იქნება:

$$m = \sum_i (k_i + 1)k_i,$$

სადაც $k - \Delta N$ სიმძლავრის დისკრეტულობის ბიჯების რიცხვი, რომლის მიხედვითაც მიმდინარეობს გაანგარიშებები; i – ბიჯის ნომერი.

გაანგარიშებები მახასიათებლების ასაგებად მარტივი არითმეტიკული ოპერაციებია, თუმცა მრავალრიცხოვანი, რაც კომპიუტერისთვის არ არის რთული. მნიშვნელოვნად უფრო რთულია მათი აგება და დამახსოვრება. ოპტიმალური რეჟიმის პოვნა ხდება უკუსვლის პროცედურის გამოყენებისას, რაც შესაძლებლობას იძლევა მნიშვნელოვნად შეიკვეცოს კომპიუტერის მეხსიერების მოცულობა, რომელიც საჭიროა ექვივალენტური მახასიათებლის დასამახსოვრებლად. იმისათვის, რომ ნაპოვნი იქნას ოპტიმალური გადაწყვეტა, საკმარისია მეხსიერებაში სადგურის ყოველი N_j სიმძლავრისათვის დახსომებული იქნას იმ აგრეგატის ნომერი და დატვირთვა, რომელიც მიერთებულია ექვივალენტურთან ამ სიმძლავრისას და არა ყველა მომუშავე აგრეგატის ნომერი და დატვირთვა [28, 29, 30].

3.2. ჰიდროაგრეგატების შემადგენლობისა და რეჟიმების მართვის ალგორითმის შედგენა.

ჰესის რეჟიმის სადგურშიგა ოპტიმიზაციის დროს დეკომპოზიციის განხორციელება ხდება დროითი, სიტუაციური და ფუნქციონალური პრინციპით.

დროითი პრინციპის შესაბამისად ამოცანის გადაწყვეტა ხდება ორ სტადიად: ჯერ ოპერატიული დაგეგმვის სტადიაზე, ხოლო შემდეგ პროცესის ტემპში მართვის სტადიაზე. ოპერატიული დაგეგმვის სტადიაზე პროგნოზული ინფორმაციის საფუძველზე დგება

აგრეგატების გამოყენების გეგმა. შემდეგში პროცესის ტემპში გეგმა კორექტირდება მიმდინარე ინფორმაციის მიხედვით. ამ ორი სტადიის ალგორითმებს წაეყენება სხვადასხვა მოთხოვნები. პირველ შემთხვევაში არ არის სპეციალური შეზღუდვები ალგორითმის სირთულის მიმართ. მეორე შემთხვევაში ალგორითმი უნდა იყოს სწრაფად მოქმედი, რომ მინიმუმამდე იყოს დაყვანილი რეაქციის დაყოვნება მიმდინარე ინფორმაციაზე.

სიტუაციური თვალსაზრისით აგრეგატების მართვა შეიძლება ხდებოდეს სისტემის ნორმალურ, ავარიულ და ავარიის შემდგომ რეჟიმებში. ოპტიმიზაციის კრიტერიუმები აღნიშნულ სიტუაციებში სხვადასხვაა. თუ ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში კრიტერიუმია ენერგორესურსი, ავარიულ სიტუაციებში – ესაა საიმედოობის რომელიმე მაჩვენებელი. კრიტერიუმებს შორის განსხვავება აისახება სადგურშია ოპტიმიზაციის ალგორითმის სტრუქტურაზე.

ფუნქციონალური თვალსაზრისითაც შეიძლება ცალკე გამოიყოს რეზერვის კონტროლის, დატვირთვის განაწილების, აგრეგატების შემადგენლობის ცვლილების და სხვა ქვეამოცანები.

ამრიგად, სადგურშია ოპტიმიზაციის ამოცანა მრავალფეროვანია თავისი მიზნებით და გადაწყვეტის მეთოდებით. აქ ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ აგრეგატების შემადგენლობის და აქტიური სიმძლავრეების მართვის გეგმის შედგენის ამოცანას ოპერატიული დაგეგმვის სტადიაზე, რამდენადაც სხვა ამოცანები მჭიდროდ არის დაკავშირებული მთელი სისტემის ალგორითმულ სტრუქტურასთან.

სადგურშია ოპტიმიზაციისას ხდება არჩევა აგრეგატების შემადგენლობის, რომლებიც ზოგად შემთხვევაში შეიძლება მუშაობდნენ გენერატორის და სინქრონული კომპესატორის რეჟიმში და მათი აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების სადგურის ენერგეტიკული რესურსების ეკონომიური გამოყენების პირობით.

განვიხილოთ სადგურშია ოპტიმიზაციის ერთერთი ამოცანა, როცა სადგურისათვის მოიცემა აქტიური დატვირთვის გრაფიკი. ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ გაცემული იქნას მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე რესურსის მინიმალური დახარჯვით. ასეთი ამოცანის გადაწყვეტა ხდება სასადგურო და არა სისტემური

ეფექტურობის კრიტერიუმებით – ეს ან რესურსის ხარჯია, ან ტექნოლოგიური პროცესის მ.ქ.კ.

მოცემულია $N_j(t)$ ჰესის აქტიური დატვირთვის გრაფიკი. სამუშაოდ გამოსაყენებელი აგრეგატების შემადგენლობა, რომელთა ვექტორია $[k_j]$ ამასთან $[k_j] \in M$, M – აგრეგატების საერთო რიცხვი. თვითოეული აგრეგატი წარმოდგენილია ინდივიდუალური ენერგეტიკული მახასიათებლით $Q_i(N_i, H_i)$, სადაც $i=1,2,\dots, j$ – აგრეგატის ნომერი, Q_i – აგრეგატის ხარჯი, N_i – აგრეგატის სიმძლავრე, H_i – აგრეგატის დაწნევა. აგრეთვე მოცემულია: აგრეგატის ასამუშავებელი ხარჯები, ამასთან ასამუშავებელი ხარჯები არ არის დამოკიდებული აგრეგატის გაცდენის დროსგან; ყველა შეზღუდვა აგრეგატების შემადგენლობისა და გამოყენების რეჟიმის მიმართ.

საჭიროა განისაზღვროს დაგეგმვის მთელი პერიოდის თვითოეული დროით ინტერვალზე აგრეგატების შემადგენლობა და სიმძლავრე წყლის ჩამონადენის მინიმუმზე. ყველა შეზღუდვების გათვალისწინებით განსახილველი პერიოდის განმავლობაში.

ამოცანის მათემატიკური მოდელს გააჩნია მიზნის განტოლება – ჰესის ჩამონადენის მინიმუმი ოპტიმიზაციის პერიოდში. ჰესის ჩამონადენი ოპტიმალური გადაწყვეტისას

$$W = \sum_{i=1}^{i=j} \sum_{t=1}^{t=m} Q_{i,t}(N_{i,t}) \Delta \tau_t + \sum_{i=1}^{i=j} \sum_{t=1}^{t=m} Q_{\pi,i,t} c_{\pi,i,t} \Delta \tau_{\pi,i,t} \Rightarrow \min, \quad (3.9)$$

სადაც $t=1,\dots,m$ – საანგარიშო დროის ინტერვალის ნომერი $\Delta \tau_t$ ხანგრძლივობით; $i=1,\dots,j$ – აგრეგატი ნომერი $[k_j]$ შემადგენლობიდან; $Q_{\pi,i,t}$ – ასამუშავებელი ხარჯები; $\Delta \tau_{\pi,i,t}$ – აგრეგატის გაშვების ხანგრძლივობა; $c_{\pi,i,t}$ – გაშვების რიცხვი i -ური აგრეგატისათვის t ინტერვალში.

ამოცანის გადაწყვეტა ხდება აგრეგატების შემადგენლობისა და რეჟიმებისა და სადგურის მიმართ შეზღუდვებით. ეს შეზღუდვებია:

- 1). სადგურის აქტიური სიმძლავრის ბალანსის მიმართ

$$N_t = \sum_{i=1}^{i=j} N_{i,t}; \quad (3.10)$$

2). სადგურის აქტიური სიმძლავრის მიმართ

$$\sum_{i=1}^{i=j} N_{\text{ფლ.პ.ი.ტ}} - N_t \geq N_{\text{რეზ.ტ}} \quad (3.11)$$

სადაც $N_{\text{რეზ.ტ}}$ – მოცემული რეზერვი; $N_{\text{ფლ.პ.ი.ტ}}$ – აგრეგატის ფლობაში არსებული სიმძლავრე;

3). აგრეგატების დასაშვები სიმძლავრეების მიმართ. დასაშვები ზღვრები არ არის მუდმივი და განისაზღვრება გენერატორების, საქუსლეების, საკისრების ტემპერატურული რეჟიმით, კავიტაციური მოვლენებით ტურბინაში, აგრეგატების ვიბრაციით, და სხვ. მოკლევადიანი დაგეგმვისას შეზღუდვები ხშირად ითვლება უცვლელად და მაშინ

$$N_{i,\min} \leq N_i \leq N_{i,\max} \quad (3.12)$$

4). აგრეგატების შემადგენლობის მიმართ, როცა მაგალითად საკუთარი საჭიროებების სქემების საიმედოობა მოითხოვს გარკვეული აგრეგატების მუშაობას, ან სარელეო დაცვის სწორი მოქმედების პირობების მიხედვით უნდა მუშაობდეს აგრეგატების გარკვეული რიცხვი, ან დაუშვებელია აგრეგატების რომელიმე კომბინაციები კალაპოტის ან ქვედა ბიეფის ნაპირების წარეცხვის პირობებით.

5). აგრეგატების რიცხვის მიმართ. აგრეგატების რიცხვი მეტწილად განისაზღვრება სისტემის მუშაობით წინააღმართული და ავარიულ სიტუაციებში, მაგალითად სადგურის დაყოფაზე არასინქრონულ ნაწილებად. შეზღუდვებს მომუშავე აგრეგატების მინიმალური რიცხვის მიხედვით აქვს სახე:

$$Z_t \geq Z_{\text{გაბ.ტ.}}$$

სადაც Z_t – მომუშავე აგრეგატების რიცხვი; $Z_{\text{გაბ.ტ.}}$ – მომუშავე აგრეგატების დასაშვები რიცხვი.

6). აგრეგატებით სარგებლობის ხანგრძლივობის მიმართ. მათ შეიძლება მიეკუთვნოს შეზღუდვები აგრეგატების მოცდენის ხანგრძლივობის მიმართ ცივ რეზერვში გაშვების წინ ან მუშაობის ხანგრძლივობის მიმართ აგრეგატების გაჩერების წინ, მაგალითად, საქუსლის საიმედო მუშაობის პირობებიდან გამომდინარე.

7). გაშვების რიცხვის მიმართ – აგრეგატების გაჩერებები განსახილველი პერიოდის განმავლობაში.

8). გადაწყვეტილების რეალიზაციის მიმართ. ეს შეზღუდვები განპირობებულია ავტომატიკის სქემებით და მოწყობილობებით. ცნობილია, მაგალითად, რომ მოქმედ მოწყობილობებში ხშირად დატვირთვა აგრეგატებს შორის ნაწილდება ან სიმძლავრეების თანაბრობის მიხედვით, ან მიმმართველი აპარატის თანაბარი გაღებით.

შეიძლება სხვა შეზღუდვების მოცემაც. შეზღუდვების შედგენილობა განისაზღვრება კონკრეტული პირობებით.

ამოცანის გადაწყვეტა მიიღება აგრეგატების და მათი აქტიური სიმძლავრეების გამოყენების გეგმის სახით დაგეგმვის მთელი პერიოდის თვითოეულ ინტერვალზე.

სადგურშია რეჟიმების ოპტიმიზაციის ალგორითმი ზოგადად სტრუქტურულად შეიძლება დაიყოს სამ ნაწილად. პირველი ნაწილში სრულდება გაანგარიშებები, დაკავშირებული საწყისი ინფორმაციის მომზადებასთან, მაგალითად, აგრეგატების მახასიათებლების გაანგარიშებები, რადგანაც ზოგადად აგრეგატების დაძველების, სადგურისა და აგრეგატების რეჟიმების ცვალებადობის გამო მახასიათებლები იცვლება. მეორე ნაწილში წარმოებს აგრეგატების შემადგენლობისა და რეჟიმების ოპტიმიზაცია რომელიმე მათემატიკური მეთოდის გამოყენებით, მაგრამ ოპტიმიზაციისას ჩვეულებრივად ხერხდება მხოლოდ წინასწარი პროგრამის შედგენა. მესამე ნაწილში წინასწარი პროგრამა სწორდება, კერძოდ იმ შესწორებების შეტანით,

რომლებიც დაკავშირებულია შეზღუდვებთან, რომელთა გათვალისწინებაც არ მოხდება პროგრამის შედგენისას.

სადგურშია ოპტიმიზაციის ალგორითმის დინამიკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენებით დამყარებულია ჰიდროაგრეგატების მახასიათებლების ბიბლიოთეკის გამოყენებაზე და შედგება ორი ნაწილისაგან: პირველი ჰესის ენერგეტიკული მახასიათებლების აგება, რომლის აღწერაც ზემოთ იყო მოყვანილი, და მეორე – აგრეგატების შემადგენლობისა და რეჟიმების მართვის გეგმის შედგენა შეზღუდვების გათვალისწინებით მთელი განსახილველი პერიოდის განმავლობაში [31].

დინამიკური პროგრამირების მეთოდით აგებული ჰესის ენერგეტიკული მახასიათებლების საფუძველზე შეიძლება ზოგად შემთხვევაში განისაზღვროს აგრეგატების შემადგენლობა და სიმძლავრე ოპტიმიზაციის განსახილველი პერიოდის თვითოეული დროითი ინტერვალისთვის. ამასთან უმეტესად ვერ ხერხდება შეზღუდვების მთელი კომპლექსის გათვალისწინება, რის გამოც ალგორითმის მეორე ნაწილში ხდება პირველ ნაწილში მიღებული გადაწყვეტის შესწორება. გასწორება ჩვეულებრივად მიიღწევა კომპრომისული გზით. ასე მაგალითად, თუ მომუშავე აგრეგატების რიცხვი ნაკლებია მოცემულ რიცხვზე, წინასწარი გეგმის აგრეგატების რიცხვი იზრდება. თუ არ კმაყოფილდება შეზღუდვები სიმძლავრის რეზერვის მიმართ, მაშინ აგრეთვე ჩაირთვება დამატებითი აგრეგატები. ჩართვა გამორთვის ოპერაციების მინიმიზაციისთვის რომელიმე აგრეგატები რჩება სამუშაო პროცესში, ან ნაადრევად გამოირთვება, ვიდრე ამას თხოულობს პირველ ნაწილში ნაპოვნი გეგმა, ამასთან ხდება გასაშვები ხარჯების გათვალისწინება. ასეთ შემთხვევაში მომუშავე აგრეგატების შემადგენლობა აღარ იქნება ყველაზე ხელსაყრელი, მაგრამ ისეთ შემთხვევებში, როცა შეზღუდვები არ არის, ან მათ არ შეუძლიათ არსებითი ზეგავლენა მოახდინონ გადაწყვეტის ეკონომიურობაზე, ალგორითმი, დამყარებული დინამიკური პროგრამების მეთოდზე, შეიძლება წარმატებით იქნას გამოყენებული. ალგორითმი სქემა მოცემულია ნახ. 3.1-ზე.

პირველ ბლოკში განისაზღვრება ჰესის დასაშვები რეჟიმების არე და სადგურის მახიათებლების პარამეტრები, კერძოდ დაწნევაები.

მეორე ბლოკში წარმოებს ამოცანის პირველი ნაწილის გადაწყვეტა, ანუ წარმოებს ოპტიმალური მახასიათებლების აგება დინამიკური პროგრამების მეთოდის გამოყენებით. მესამე ბლოკში განისაზღვრება $H_{მოც}$ მოცემული დაწნევაების შესაბამისობა გაანგარიშებისათვის არსებულ $H_{სან}$ საანგარიშო მახასიათებლებთან. თუ ეს შესაბამისობა არ იქნება (მეოთხე ბლოკი), მაშინ აგრეგატების შემადგენლობა და რეჟიმი $H_{მოც}$ -ისთვის გაუტოლდება ერთერთ გადაწყვეტას საანგარიშო დაწნევებიდან. ინტერპოლაცია დაწნევის მიხედვით წარმოებს ხარჯის დანაკარგების მინიმუმის მიხედვით.

ანალოგიურად წარმოებს ინტერპოლაცია სიმძლავრეების მიხედვით (მეხუთე და მეექვსე ბლოკები), თუ $N_{სან}$ მახასიათებლების საანგარიშო წერტილები არ შეესაბამება $N_{მოც}$ სადგურის სიმძლავრეებს მათი მუშაობისას მოცემული გრაფიკის მიხედვით.

მეშვიდე ბლოკში დატვირთვის გეგმიური გრაფიკისათვის განისაზღვრება აგრეგატების შემადგენლობა და სიმძლავრეები. ამ პროგრამას ჰქვია წინასწარი იმიტომ, რომ მასში არ არის გათვალისწინებული ყველა შეზღუდვა. წინასწარი პროგრამა სწორდება მერვე ბლოკში, ხოლო მეცხრე ბლოკში მიიღება საბოლოო შედეგი.

რეჟიმის ოპტიმიზაციის რთული ამოცანების რიცხვითი ამოხსნების გარდა, მიზანშეწონილია ამ ამოცანების გამარტივებული ვარიანტების ანალიზური ამოხსნების ქონა, რომლებიც შესაძლებლობას მოგვცემს ამოვიცნოთ ჰესების რეჟიმების ოპტიმალური მართვის ძირითადი კანონზომიერებები, რაც თავის მხრივ იძლევა რიცხვითი მეთოდებით ამოხსნების კორექტირების კონტროლის საშუალებას. მარტივ შემთხვევებში, კერძოდ, შეზღუდვების ტოლობის ფორმით მოცემისას დასმული ოპტიმუმის ძიების ამოცანა შედარებით მარტივდება და მის გადასაწყვეტად შეიძლება გამოყენებული იქნას ვარიაციული აღრიცხვის მეთოდები, პირველ რიგში ლაგრანჟის მეთოდი. ეს მეთოდი იძლევა უწყვეტი ფუნქციის ექსტრემუმის მოძებნის

შესაძლებლობას, რომელიც იქნება მაქსიმუმი ან მინიმუმი დამატებითი პირობების შესრულებისას ტოლობების (კავშირის განტოლებების) ფორმით.

ლანგრანჟის მამრავლების მეთოდი შესაძლებლობას იძლევა ნაპოვნი იქნას განტოლებათა ისეთი სისტემა, რომელსაც დააკმაყოფილებს $f(x_1, \dots, x_k)$ ფუნქციის ექსტრემუმს N სიმრავლეზე რომელიც განისაზღვრება $g_i(x)$ განტოლებათა სისტემით $i=1, 2, \dots, m$.

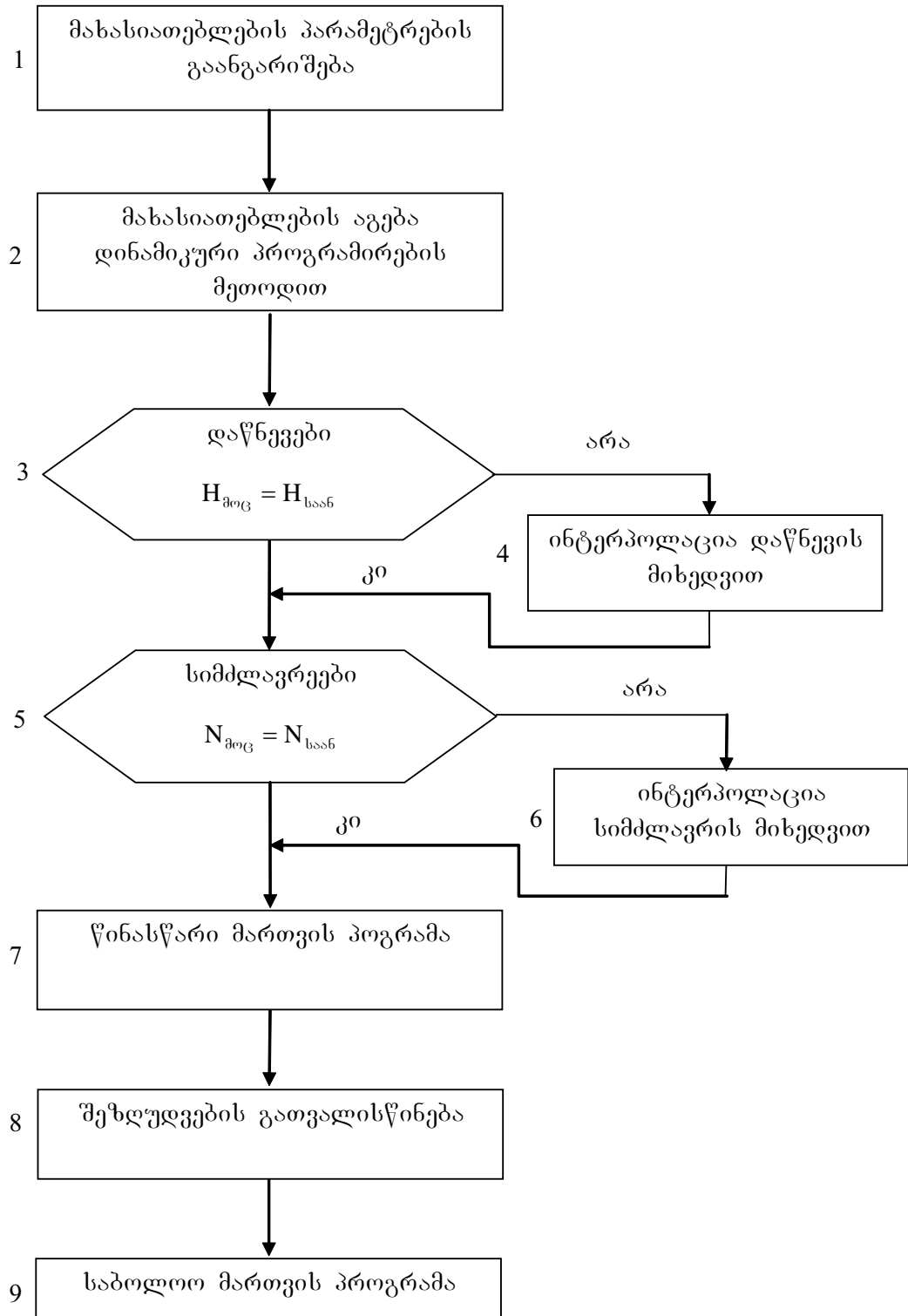
იმისათვის, რომ ნაპოვნი იქნას ექსტრემუმის წერტილი, აუცილებელია ნაპოვნი იქნას m რაოდენობის $\lambda_1, \dots, \lambda_m$, რიცხვი, რომლებიც X ვექტორთან ერთად დააკმაყოფილებენ შემდეგ $m+n$ განტოლებათა სისტემის $m+n$ უცნობებით:

$$\frac{\partial f(X)}{\partial X_j} + \sum_{i=1}^m \lambda_i \frac{\partial g_i(X)}{\partial X_j} = 0$$

$$j=1, \dots, n; \quad g_i(X) = 0; \quad i=1, 2, \dots, m.$$

ეს განტოლებები მიღებულია როგორც $L(X, \lambda) = f(X) + \sum \lambda_i g_i(X)$

ლანგრანჟის ფუნქციის ექსტრემუმის პირობები, სადაც $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ უწოდებენ ლანგრანჟის მამრავლს.



ნახ. 3.1. სადგურშიგა ოპტიმიზაციის გამსხვილებული ბლოკ-სქემა დინამიკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენებით.

F საჯარიმო ფუნქციების შემოტანისას შესაძლებელია უტოლობის ტიპი შეზღუდვების გათვალისწინება. საჯარიმო ფუნქციების შემოტანის არსი მდგომარეობს იმასი, რომ შეზღუდვები აიღება რაიმე წონითი კოეფიციენტი, რის შედეგადაც აკრძალულ ზონაში მოხვედრისას f ფუნქციის მნიშვნელობებიდან ხდება ჯარიმის გამოკლება და ხდება გადაადგილებების მიმართულებების ხელოვნური მიახლოება შეზღუდვების ზედაპირთან.

მაგალითად, აგრეგატების მოცემული რიცხვისა და შემადგენლობისას სადგურშიგა ოპტიმიზაციის კერძო ამოცანის გადაწყვეტისას, როცა $H_{si}(t) = H_{sj}(t) = \text{const}$ მოცემული $N_{ჰეს}(t)$ გრაფიკისა და (1.4), (1.6) სახის შეზღუდვების პირობებში შეიძლება გამოყენებული იყოს ლაგრანჟის მეთოდი საჯარიმო ფუნქციებთან ერთად.

მუდმივი დაწნევის პირობებში აგრეგატების რეჟიმები არ არის ერთმანეთზე დამოკიდებული. ეს იძლევა ოპტიმალურობის კრიტერიუმებად (2.1), (2.2), (2.3) კრიტერიუმების ქვემოთ მოყვანილი კეძო გამოსახულებების გამოყენების შესაძლებლობას:

$$\begin{aligned}
 N_{ჰეს}^{\text{ნად}}(t) &\Rightarrow \min; \\
 N_{ჰეს}(t) &\Rightarrow \min; \\
 \eta_{ჰეს}(t) &\Rightarrow \max; \\
 (\Delta Q_{ჰეს}(t) \vee Q_{ჰეს}(t)) &\Rightarrow \min.
 \end{aligned}
 \tag{3.13}$$

რაკი რეჟიმების მაჩვენებლები ამ კრიტერიუმებისათვის იქნება ერთნაირი (განსხვავება იქნება მხოლოდ მათ რიცხვით შეფასებაში), განვიხილოთ ერთერთი მათგანი, ყველაზე უფრო შთამბეჭდავი, $Q_{ჰეს}(t)$ ხარჯის მინიმუმი. მაშინ დასმული ამოცანა შეიძლება კლასიფიცირდეს როგორც ლაგრანჟის ამოცანა პირობით ექსტრემუმზე დიფერენციალურ აღრიცხვის. მის ამოსახსნელად აუცილებელია ისეთი Φ მიზნის

ფუნქციის ორგანიზება, რომელიც გაითვალისწინებდა (2.4) და (2.6) სახის შეზღუდვებს. გაითვალისწინოთ (2.4) შეზღუდვები $\lambda > 0$ ლაგრანჟის განუსაზღვრელი არატრივიალური მამრავლის შემოტანით, ხოლო (2.6) – F საჯარიმო ფუნქციის შემოტანით, ანუ

$$\Phi = Q_{\text{კვს}}(t) + \lambda(t) \left[N_{\text{კვს}}(t) - \sum_{i=0}^{z_0, s^0(t)} N_{si}(t) \right] + F \Rightarrow \min. \quad (3.14)$$

აქ

$$F = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=0}^{z_0, s^0(t)} \mu_i \left(N_{si}^{\min}(t) - N_{si}(t) \right)^2 \sin \text{gn} \left(N_{si}^{\min}(t) - N_{si}(t) \right) \right] + \left[\sum \gamma_i \left(N_{si}^{\min}(t) - N_{si}^{\max}(t) \right)^2 \sin \text{gn} \left(N_{si}(t) - N_{si}^{\max}(t) \right) \right] \quad (3.15)$$

სადაც μ_i და $\gamma_i (i=1,5,\dots,z_0)$ – მუდმივი მამრავლები (ემპირულები); $\sin \text{gn}(f^{\min}(x) - f^{\min}(x)) = \sin \text{gn}$ – ფუნქცია-სიგნატურა, რომელიც განისაზღვრება თანაფარდობით

$$\sin \text{gnu} = \begin{cases} 1 & \text{როცა } u \geq 0; \\ 0 & \text{როცა } u, < 0. \end{cases} \quad (3.16)$$

(2.6)-ის ექსტრემუმის აუცილებელი პირობა შეიძლება ნაპოვნი იქნას შემდეგი განტოლებებით

$$\frac{\partial \Phi}{\partial N_{si}} = 0 (i=1,2,\dots,z_0) \quad (3.17)$$

და (2.4) ბალანსური პირობის ამოხსნით. ამრიგად $[N_{si}$ და $\lambda(t)]$ ცვლადების $(z^0 + 1)$ -ე განტოლებისათვის გვაქვს $z^0 + 1$ განტოლებები შეუთავსებელია და გვაქვს საწყისი ამოცანის ამოხსნა, მაშინ ისინი შესაბამისი იქნებიან (3.14)-ის ამოხსნისა.

რამდენადაც როცა $H_{si} = H_{sj} = \text{const}$, აგრეგატების რეჟიმები დამოკიდებულია ერთმანეთისაგან, ამიტომ (3.17) პირობა დებულობს სახეს:

$$\frac{\partial Q_{si}}{\partial N_{si}} - \lambda(t) + \frac{\partial F}{\partial N_{si}} = 0 \quad (i=1,2,\dots,z^0), \quad (3.18)$$

ანუ

$$\frac{\partial Q_{s1}^*}{\partial N_{s1}} = \frac{\partial Q_{s2}^*}{\partial N_{s2}} = \dots = \frac{\partial Q_{sz^0}^*}{\partial N_{sz^0}} = \lambda(t), \quad (3.19)$$

სადაც

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_{s1}^*}{\partial N_{s1}} = \frac{\partial Q_{si}^*}{\partial N_{si}} - \mu_i (N_{si}^{\min} - N_{si}) \text{sign}(N_{si}^{\min} - N_{si}) + \\ + \gamma_i (N_{si} - N_{si}^{\max}) \text{sign}(N_{si} - N_{si}^{\max}) \end{aligned} \quad (3.20)$$

(3.19) განტოლება ასახავს ჰიდროაგრეგატის რეჟიმების დიფერენციალური მაჩვენებლების ტოლობას.

როცა $\mu_i \rightarrow \infty$ და $\gamma_i \rightarrow \infty$ (N_{si} -ის ფიქსაცია ზღვრულ მნიშვნელობებზე) ვღებულობთ $q_s(N_s)$ მახასიათებლების შემდეგ წარმოდგენის ფორმას (2.6)-ის გათვალისწინებით:

$$q_s(N_{si}) = \begin{cases} -\infty & \text{როცა } N_{si} \leq N_{si}^{\min} \\ q_{si}(N_{si}) & \text{როცა } N_{si}^{\min} < N_{si} \leq N_{si}^{\max} \\ +\infty & \text{როცა } N_{si} \geq N_{si}^{\max} \end{cases} \quad (3.21)$$

ამ შემთხვევაში $N_{\text{ჰეს}}(t)$ დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების აუცილებელი პირობას z მომუშავე აგრეგატებიდან მოცემული შემადგენლობისათვის (2.6) კრიტერიუმის შესაბამისად ექნება სახე:

$$q_{si}(N_{si}(t)) = \dots = q_{sz}(N_{sz}(t)) = q_{\text{ჰეს}}(N_{\text{ჰეს}}(t)) = \lambda(t) \quad (3.22)$$

3.3. ენერგეტიკული მახასიათებლების აპროქსიმაციის საკითხები.

ენერგეტიკული მახასიათებლები, რომლებიც გამოიყენება გაანგარიშებისათვის, კომპიუტერის მეხსიერებაში წარმოდგენილი ცხრილური ფორმის ან სხვადასხვა მააპროქსიმირებელი ფუნქციების სახით. უფრო მეტი სიზუსტე მიიღწევა მახასიათებლის ცხრილური სახით მოცემის შემთხვევაში.

რადგანაც აგრეგატების მახასიათებლები საწყისია ტექნიკური ამოცანების გადასაწყვეტად, მისი სიზუსტე განისაზღვრება არა გადახრით დასაწყისში მოცემული კოორდინატებიდან, არამედ დასახული ამოცანის გადაწყვეტაზე ზეგავლენით. ეს ორი შეფასება ერთმანეთს არ ემთხვევა, რადგანაც მიზნის ფუნქციას რეჟიმულ ამოცანებში არაწრფივი ხასიათი აქვს. აგრეგატების რეჟიმების და შემადგენლობის ოპტიმალური მართვის განსახილველ ამოცანებში მახასიათებლების სიზუსტე უნდა განისაზღვროს წყლის გადახარჯვით (წყლის გადახარჯვის მათემატიკური ლოდინით). ამასთან ერთად უნდა აღინიშნოს, რომ ცდომილებების მიზნის ფუნქციაზე გავლენის ზღვრული მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს ზუსტი და მოცემული მახასიათებლების კოორდინატების შედარებით. მახასიათებლების მოდელირების ცდომილებები ზოგად შემთხვევაში დამოკიდებულია კოორდინატების ჩაწერის სიზუსტისაგან საკვანძო წერტილებში, საკვანძო წერტილებს დაკვანტვის ბიჯისაგან, მახასიათებლების მოდელირების ხერხისაგან.

ჩვენ აქ შევჩერდებით მხოლოდ რამოდენიმე ჰიდროაგრეგატების მახასიათებლების აპროქსიმაციის მაგალითზე ამ საკითხის გადაწყვეტის გზების დემონსტრირებისათვის.

მახასიათებლების ცხრილური ფორმით მოცემისას გამოიყენება წრფივი და კვადრატული ინტერპოლაციის ხერხები მახასიათებლების კოორდინატების მოსაძებნად, რომლებიც არ ემთხვევა საკვანძო წერტილებს. $y = f(x)$ ფუნქციის წრფივი ინტერპოლაციისას

აპროქსიმაციისათვის გამოიყენება ნიუტონის ფორმულა [31], რომელიც იძლევა პოლონომს

$$P_1(x) = y_0 + q\Delta y_0, \quad (3.23)$$

სადაც y_0 – საკვანძო წერტილის კოორდინატი, $\Delta y(h)$ – გადახრა y_0 -დან; q – ბიჯების რაოდენობა, რომელიც აუცილებელია x_0 წერტილიდან x წერტილთან მისაღწევად; h – ინტერპოლაციის ბიჯი.

კვადრატული ინტერპოლაციისას გამოიყენება მეორე ხარისხის პოლონომი

$$P_2(x) = y_0 + q\Delta y_0 + \frac{q(q+1)}{2}\Delta y_0^2 \quad (3.24)$$

აპროქსიმაცია ხდება სტანდარტული პროგრამების დახმარებით. ინტერპოლაციის და ექსტრპოლაციის ხერხის არჩევა დამოკიდებულია მახასიათებლის სახისგან. ხარჯვითი მახასიათებლებს გააჩნია სუსტად გამოხატული არაწრფივობა, ამიტომ სავსებით მისაღებია წრფივი ინტერპოლაცია. მუშა მახასიათებლებს მ.ქ.კ.-ის ვარდნის მარცხენა და მარჯვენა საზებზე გააჩნიათ ფორმა, რომელიც ახლოა წრფივთან, ხოლო მაქსიმალური მ.ქ.კ.-ს ზონაში – ნათლად გამოხატული არაწრფივობა (ნახ. 3.2) ცხადია ისიც, რომ რაც უფრო მცირე იქნება ინტერპოლაციის ბიჯი, მით უფრო ზუსტად იქნება ასახული მახასიათებლები.

აპროქსიმაციის ფორმისა და h ინტერპოლაციის ბიჯის არჩევის ამოცანა ჩვეულებრივად წარმოებს ექსპერიმენტულად, რადგანაც პრაქტიკულად საინტერესოა აგრეგატების რეჟიმის ოპტიმიზაციის ეფექტი, რომელიც მ.ქ.კ.-ს პროცენტის მეათედ წილებს შეადგენს, მახასიათებლების სიზუსტე შეიძლება გატოლებული იქნას პროცენტის მეათედ წილათან, ე.ი. რიგით უფრო მაღალა ოპტიმიზაციის ეფექტზე. ასეთი სიზუსტის შემთხვევაში შეიძლება ჩაითვალოს, რომ მახასიათებლები კომპიუტერში შეტანილია ცდომილებების გარეშე.

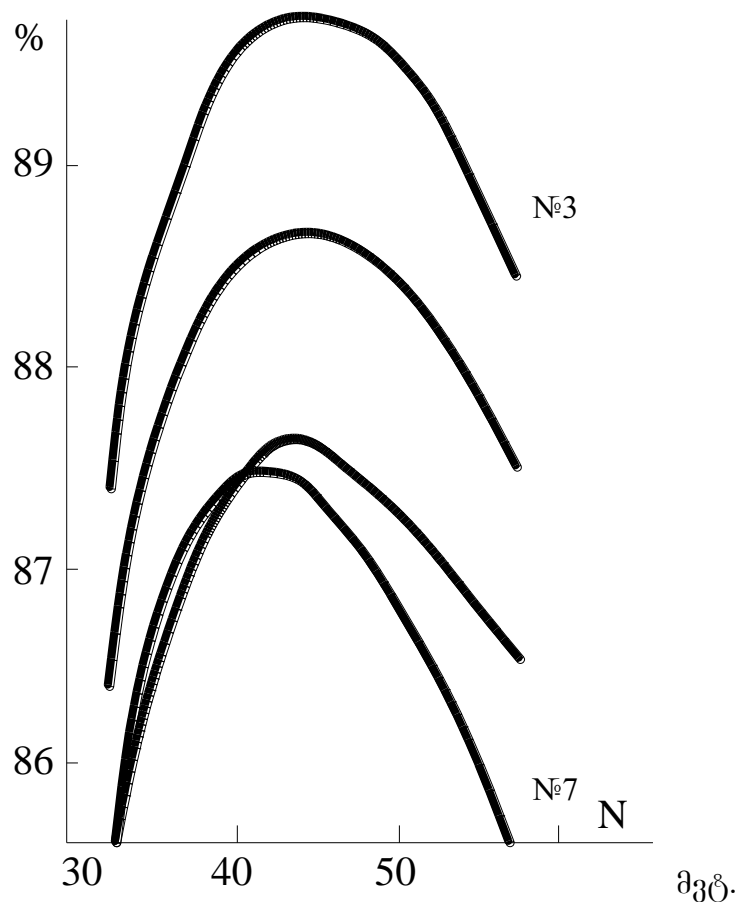
პროცენტის მეათასედი წილით ცვლილების მიღწევა ხარჯვით მახასიათებელზე ძალიან ძნელია, ამიტომ უფრო მისაღები ამ პოზიციიდან მუშა მახასიათებლებია, ანუ მახასიათებლები ფარდობით მაჩვენებლებში.

ყველაზე მეტი ცდომილებები შეიძლება აღმოჩნდეს იმ წერტილებში, სადაც ირდევია მახასიათებლების სიმდოვრე. ნატურული მახასიათებლებისათვის ისინი შეიძლება იყოს რამდენიმე. მაგალითად A,B,C, წერტილები ნახ. 3.3. ასეთი წერტილებს უწოდებენ მახასიათებელ წერტილებს. მახასიათებლების სიზუსტე მალდება იმ შემთხვევაში, თუ საკვანძო წერტილების რიცხვში შევა მახასიათებელი წერტილი.

მოგვეყვას ინტერპოლაციის ბიჯის ასარჩევად ჩატარებული ექსპერიმენტული გამოკვლევების ზოგიერთი შედეგები, რომლებსაც გააჩნია ზოგადი ხასიათი. გამოკვლევებისათვის აღებული იყო მოსაბრუნებელფრთიანი, რადიალურ-ღერძული და პროპელერული ტურბინების ტიპური მახასიათებლები. სიმძლავრე მუშა მახასიათებლების ინტერპოლაციის ბიჯის ჩადგმული სიმძლავრის ერთიდან 20%-მდე მარგი ქმედების კოეფიციენტში. ცდომილება კვადრატული ინტერპოლაციისას ნომინალური სიმძლავრეების 50-60% სამუშაო ზონაში შეადგენს 0.004-0.05%. წრფივი ინტერპოლაციისას ზღვრული ცდომილებები უფრო მაღალია და შეადგენს იგივე პირობებში 0.02-0.1%. ცდომილებები მახასიათებელზე უთანაბროდ ნაწილდება. კვადრატული ინტერპოლაციისას ცდომილებები მეტია მ.ქ.კ.-ს დაწვეისა და აწვეის შტოებზე, ხოლო წრფივი ინტერპოლაციისას – მაქსიმალური მ.ქ.კ.-ს ზონაში. ინტერპოლაციის ბიჯის დასაშვები სიდიდე მჭიდროდ არის დაკავშირებული მახასიათებლის სიმრუდესთან. მოსაბრუნებელფრთიანი ტურბინების დამრეცი მახასიათებლებისათვის h ბიჯი ზოგად შემთხვევაში შეიძლება აღებული იყოს უფრო დიდი, ვიდრე რადიალურ-ღერძული ტურბინების ციცაბო მახასიათებლებისათვის [7].

ჩატარებულმა გაანგარიშებების საფუძველზე აგებული იქნა სიმძლავრის მიხედვით ინტერპოლაციის ბიჯის ასარჩევი პლანშეტი (ნახ. 3.4), რის მიხედვითაც გაანგარიშებების პირველსაწყის სტადიაზე

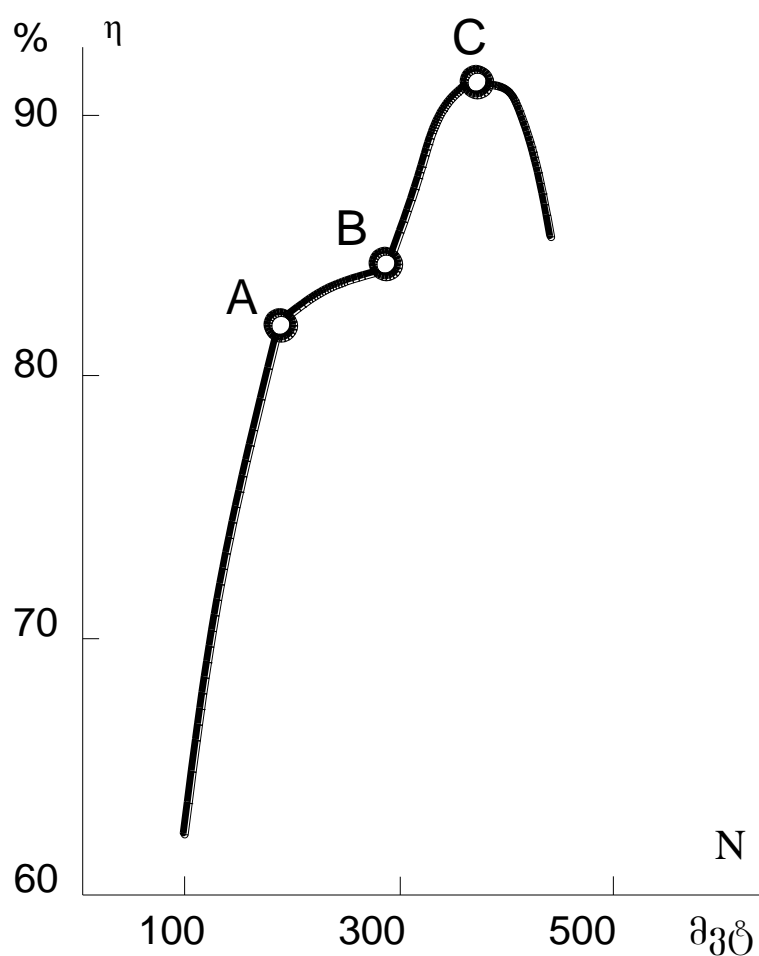
შეიძლება არჩეული იქნას ინტერპოლაციის ბიჯი. პლანშეტი სედგენილია სხვადასხვა ტურბინების ტიპური მუშა მახასიათებლებისათვის, რომლებსაც ერთი მახასიათებელი წერტილი აქვთ (მაქსიმალური მ.ჩ.კ.-ს წერტილი) და მუდმივი ბიჯი კვადრატული ინტერპოლაციისას. პრინციპულად შეიძლება ინტერპოლაციის ცვლადი ბიჯის არჩევაც, განსაკუთრებით იმ შემთხვევებში, თუ მახასიათებლებს გააჩნია რამოდენიმე დამახასიათებელი წერტილი პლანშეტი შეიცავს შემდეგ სიდიდეებს: მახასიათებლის α დახრილობის მაჩვენებელს, რომელიც განისაზღვრება როგორც ტანგენსი კუთხისა მხებთან მუშა მახასიათებლის იმ წერტილში, სადაც დახრილობა ყველაზე მეტია; $\Delta\eta_{\Sigma}$ - დასაშვებ აბსოლუტურ ცდომილებას; N_{β} - აგრეატების ჩადგმული სიმძლავრე. განიხილებოდა მოსაბრუნებელფრთიანი, რადიალურ-ღერძული, η პროპელერული და ჩამჩიანი ტურბინების მახასიათებლები [8].



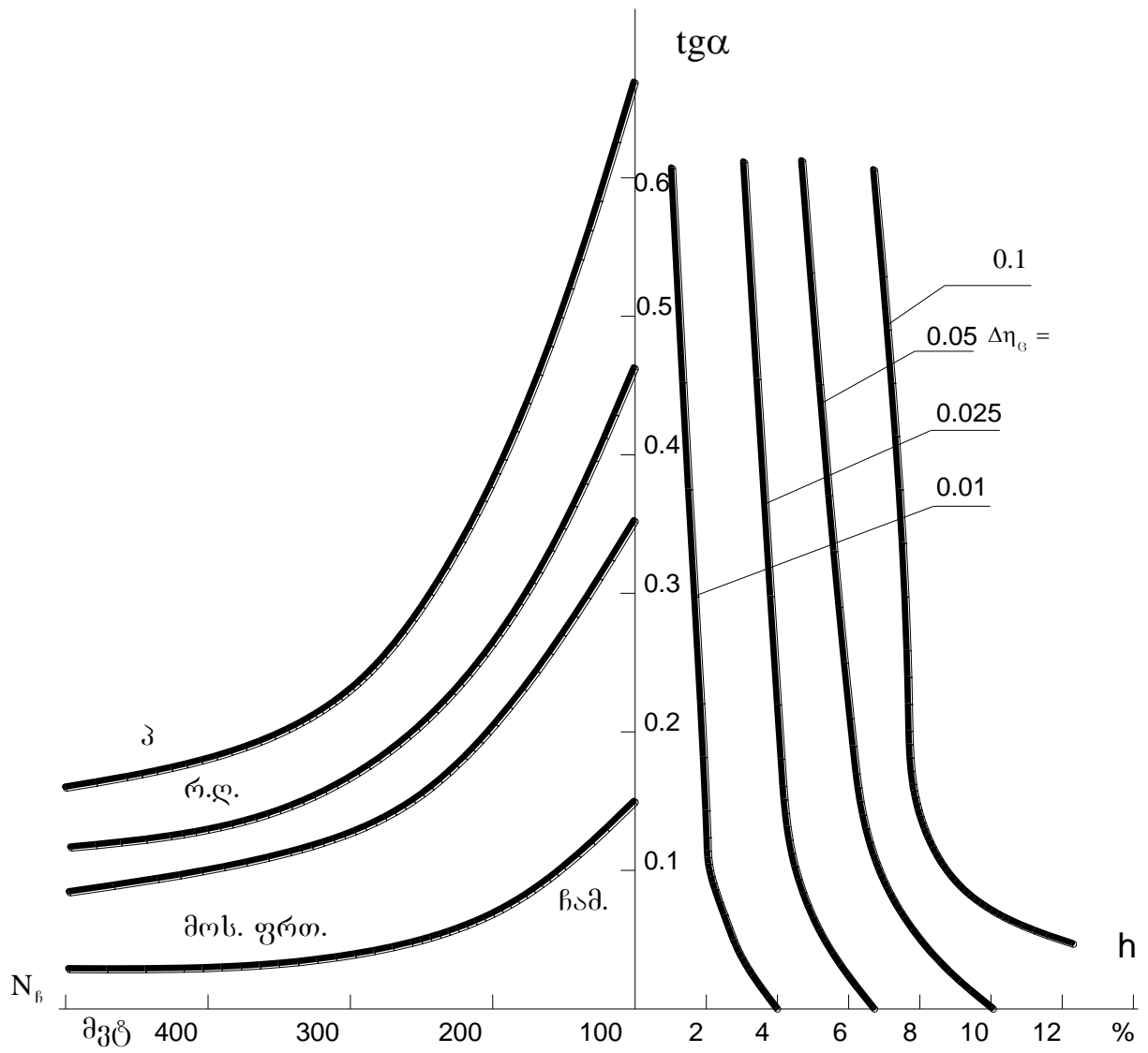
ნახ. 3.2. ხარჯვითი მუშა მახასიათებლის ნიმუში.

გაანგარიშებები უჩვენებს, რომ მუშა მახასიათებლები შეიძლება მოცემული იყოს ზოგად შემთხვევაში 10–30 ცხრილური წერტილით მ.ქ.კ.-ს მიხედვით 0.05% დასაშვები ზღვრული აბსოლუტური ცდომილებით.

მახასიათებლების ცხრილური და პოლიმერული ფორმით მოცემული შედარება აჩვენებს, რომ ცხრილური ფორმა უფრო ზუსტია და 1.5–2.0-ჯერ ნაკლები ცდომილება გააჩნია.



ნახ. 3.3. აგრეგატის ნატურული მუშა მახასიათებლის ნიმუში.



ნახ. 34. სიმპლავრითი მუშა მახასიათებლების ინტერპოლაციის ბიჯის განსაზღვრის დიაგრამა.

დასკვნები

1. ელექტროენერგეტიკაში არსებული მართვის იერარქიის გათვალისწინებით, ჰესის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანა პირობითად იყოფა რამდენიმე გაანგარიშების ეტაპად, დროსა და სივრცეში ურთიერთდაკავშირებული ცვლადებით: ჰესის ოპტიმალური გრძელვადიანი რეჟიმის გაანგარიშება; ჰესის მოკლევადიანი რეჟიმის გაანგარიშება; ჰესის ძირითადი მოწყობილობის ოპტიმალური სადგურშიგა რეჟიმის გაანგარიშება. პირველი ორი ამოცანა ზოგადსისტემურია. მესამე ამოცანის გადაწყვეტა ხდება ჰიდროაგრეგატების მუშაობის დამყარებული ნორმალური პირობებისათვისა და გარდა იმისა, რომ აქვს თავისთავადი მნიშვნელობა, წარმოადგენს ინფორმაციულ ბაზას სხვა ამოცანებისათვის;
2. ჰიდროელექტროსადგურის (ჰესის) სადგურშიგა რეჟიმის ოპტიმიზაცია, გარდა იმისა, რომ ხელს უწყობს ჰიდროენერგორესურსების შეზღუდული და დროით რეგლამენტირებული მარაგების რაციონალურ გამოყენებას, ზოგად შემთხვევაში არეგულირებს ენერგოსისტემის დატვირთვასა და სიხშირეს, რაც დაკავშირებულია აგრეგატების მუდმივი ჩართვასა და გამორთვებთან, აგრეგატებს შორის დატვირთვების სისტემატიურ გადანაწილებასთან;
3. გეგმიური ეკონომიკიდან საბაზროზე გადასვლამ ისევე, როგორც სამეურნეო მოღვაწეობის სხვა დარგების, შეცვალა ელექტროენერგეტიკის განვითარებისა და ფუნქციონირების პირობები. კერძოდ, შეიმჩნევა ტენდენცია დეცენტრალიზაციისაკენ რეჟიმების მართვაში და ობიექტის ცალკეული მესაკუთრეების სწრაფვა ინდივიდუალური სარგებლობის მიღწევისკენ. ეს კიდევ უფრო აქტუალურს ხდის ელექტროსადგურების, კერძოდ, ჰიდროელექტროსადგურების სადგურშიგა რეჟიმების ოპტიმიზაციის მეთოდების სრულყოფას თვითოეული ობიექტის სპეციფიკის გათვალისწინებით;

4. ელექტროენერჯის საერთო გამომუშავებაში ჰესებზე გამომუშავებული ელექტროენერჯის მნიშვნელოვანი წილის მქონე ენერგოსისტემების ეკონომიკურად ეფექტური მუშაობისა და ენერგორესურსების ოპტიმალური გამოყენების უზრუნველყოფისათვის, აუცილებელია რეჟიმების ციკლური დაგეგმვა მათი მართვის თავისებურებების გათვალისწინებით. რეჟიმების დაგეგმვის მეთოდოლოგია უნდა შეიცავდეს აუცილებელ კორექტივებს ელექტროენერგეტიკაში საბაზრო ურთიერთობების ხასიათის გათვალისწინებით;

5. ჰესის მუშაობის ოპტიმალური რეჟიმს მრავალი ფაქტორი განსაზღვრავს, რომელთაგან არსებითი მნიშვნელობა გააჩნია შესაძლო ვარიანტების რაოდენობას. ელექტროენერჯის დეფიციტის პირობებში შეუძლებელია ოპტიმალური რეჟიმით მუშაობა;

6. ჰესის მუშაობის ზოგადი კანონზომიერებების და ეფექტური სადგურშიგა რეჟიმის ორგანიზების თავისებურებების გათვალისწინებით მიზანშეწონილია არა რამოდენიმე, არამედ ერთი ყველაზე უფრო დამახასიათებელი სადგურისათვის ოპტიმალურობის კრიტერიუმის შერჩევა. აღნიშნული კრიტერიუმი შეიძლება იყოს, მაგალითად, ჰესზე ენერჯის დანაკარგების მინიმუმი, ან მ.ქ.კ.-ს მაქსიმუმი. ტოლობების ტიპის შეზღუდვებად ჩვეულებრივ მიღებული უნდა იყოს ჰესის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების ბალანსი, ხოლო უტოლობის ტიპის შეზღუდვებად – ჰიდროაგრეგატის ან მთლიანად ჰესის აქტიური სიმძლავრის შეზღუდვები;

7. ხანგრძლივი რეჟიმების ოპტიმიზაციას, მოკლევადიანი ოპტიმიზაციისაგან განსხვავებით, გააჩნია შემდეგი თავისებურებანი: საწყისი ინფორმაციის დიდი ცდომილება; დატვირთვის და საყოფაცხოვრებო მოდინების გრაფიკის სეზონური ცვლილებების გათვალისწინების აუცილებლობა; ქვედა ბიეფის მახასიათებლების ცვლილება ზამთარში ყინულოვანი პირობების ან ზაფხულში წყალდენის მცენარეებით გაბარდვის გამო; ელექტროსადგურებზე მოწყობილობის რიცხვისა

და შემაღენლობის ცვლილება რემონტის შედეგად; ჰიდროენერგოდანადგარების რეჟიმის მიმართ მნიშვნელოვანი მოთხოვნები წყალსამეურნეო სისტემის მონაწილეთა მხრიდან (შეზღუდვები ზედა და ქვედა ბიეფის ნიშნულებში ნაოსნობის, სოფლის მეურნეობის, სამრეწველო და კომუნალური წყალმომარაგების პირობებით და ა.შ.) სპეციფიური მოთხოვნები არსებობს გარემოს დაცვის მხრივ. განსაკუთრებული სირთულეები შემოაქვს გაანგარიშებებში დედამიწაზე მტკნარი წყლის შეზღუდული მარაგების კომპლექსური გამოყენების აუცილებლობას, მასში მოთხოვნილების უწყვეტი ზრდის პირობებში. არანაკლებ რთულია საწყისი ინფორმაციის ალბათური და განუსაზღვრელი ხასიათის გათვალისწინებაც;

8. ჰესის მუშაობის ზოგადი კანონზომიერებების და ეფექტური სადგურშიგა რეჟიმის ორგანიზების თავისებურებების გათვალისწინებით მიზანშეწონილია არა რამოდენიმე, არამედ ერთი ყველაზე უფრო დამახასიათებელი სადგურისათვის ოპტიმალურობის კრიტერიუმის შერჩევა. აღნიშნული კრიტერიუმი შეიძლება იყოს, მაგალითად, ჰესზე ენერჯის დანაკარგების მინიმუმი, ან მ.ქ.კ.-ს მაქსიმუმი. ტოლობების ტიპის შეზღუდვებად ჩვეულებრივ მიღებული უნდა იყოს ჰესის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების ბალანსი, ხოლო უტოლობის ტიპის შეზღუდვებად – ჰიდროაგრეგატის ან მთლიანად ჰესის აქტიური სიმძლავრის შეზღუდვები;

9. ჰესების ექსპლუატაციისათვის დამახასიათებელი სპეციფიკური ჰიდროენერგეტიკული პრობლემების არსებობის გამო შეუძლებელია ამ ეტაპზე ჰესების დაპროექტების სტადიაზე მიღებული გადაწყვეტის მეთოდების გამოყენება ყველა რეჟიმული ამოცანისათვის;

10. მოცემული ალგორითმები, ძირითადად ემყარება ჰიდროაგრეგატების ენერგეტიკული მახასიათებლების ბიბლიოთეკის და ძირითადად დინამიკური პროგრამირების („დინამიკური დაგეგმვის“) მათემატიკური მეთოდის გამოყენებას. როგორც ამ უკანასკნელის გამოყენების გამოცდილება აჩვენებს,

იგი იძლევა ყველაზე უფრო ზუსტ შედეგებს და შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც „ეტალონური“ მეთოდი ალგორითმების შედარებისას;

11. დინამიკური პროგრამირების მეთოდით აგებული ჰესის ენერგეტიკული მახასიათებლების საფუძველზე შეიძლება ზოგად შემთხვევაში განისაზღვროს აგრეგატების შემადგენლობა და სიმძლავრე ოპტიმიზაციის განსახილველი პერიოდის თითოეული დროითი ინტერვალისათვის. ამასთან, შეზღუდვების კომპლექსის სრულად გათვალისწინების შეუძლებლობის გამო ალგორითმის მეორე ნაწილში ხდება პირველ ნაწილში მიღებული გადაწყვეტის კომპრომისული გზით შესწორება;

12. სიტუაციური თვალსაზრისით აგრეგატების მართვა შეიძლება განხორციელდეს სისტემის ნორმალურ, ავარიულ და ავარიის შემდგომ რეჟიმებში. აღნიშნულ სიტუაციებში ოპტიმიზაციის კრიტერიუმი სხვადასხვაა. ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში კრიტერიუმია ენერგორესურსი, ავარიულ სიტუაციებში – საიმედოობის რომელიმე მაჩვენებელი. კრიტერიუმებს შორის განსხვავება აისახება სადგურშიაგა ოპტიმიზაციის ალგორითმის სტრუქტურაზე;

13. უტოლობის ტიპის შეზღუდვები რეაქტიული დატვირთვების მიხედვით ძირითადად განისაზღვრება ენერგოსისტემის რეჟიმის მდგრადობით და დამოკიდებულია მთლიანად ჰესზე და არა თითოეულ აგრეგატზე. დაშვებები აგრეგატის გაშვება-გაჩერების დასაშვები მაქსიმალური რიცხვის მიხედვით T პერიოდის განმავლობაში განისაზღვრება ჰიდროაგრეგატების მუშაობის საიმედოობის უზრუნველყოფის მოთხოვნებით;

14. ენერგეტიკული მახასიათებლების აგება და მათი დამახსოვრება მრავალრიცხოვანი არითმეტიკული ოპერაციების განხორციელებით კომპიუტერის მეხსიერებაში შესაძლებელია ცხრილური ფორმით ან სხვადასხვა მათემატიკური ფუნქციების სახით. ცხრილური ფორმა უფრო ზუსტია და მას

1.5–2.0-ჯერ ნაკლები ცდომილება გააჩნია პოლინომურ ფორმასთან შედარებით;

15. რეჟიმის ოპტიმიზაციის რთული ამოცანების რიცხვითი ამოხსნების გარდა, მიზანშეწონილია ამ ამოცანების გამარტივებული ვარიანტების ამოხსნების ქონა, რომლებიც შესაძლებლობას მოგვცემს დავადგინოთ ჰესების სადგუშიგა რეჟიმების ოპტიმალური მართვის ძირითადი კანონზომიერებები, რაც თავის მხრივ იძლევა რიცხვითი მეთოდებით ამოხსნების კორექტულობის კონტროლის საშუალებას.

ბამოყენებულო ლიტერატურა

1. Легалов Д. Н. Методика планирования долгосрочных оптимальных режимов электроэнергетических систем с ГЭС, основанная на методе динамического программирования. Автореф. дисс. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. Иркутск: Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентева, 2005, 18 с.
2. Воропай Н. И. особенности формирования оптового рынка электроэнергии и мощности в России с учетом специфики ее регион /Н. И. Воропай, С. И. Паламарчук, В. М. Соболевский// Электричество. – 2000. - №2. – С. 2-9.
3. Русина А. Г. Модели прогнозирования электропотребления и мощности нагрузки электроэнергетических систем с учетом особенностей их функционирования на электроэнергетическом рынке /Т. А. Филипова, Ю. В. Дронова, Р. В. Зимин, А. Г. Русина, М. Л. Тутундаев //Научный вестник НГТУ. - 2007. - №1(26). – С. 123-130.
4. Русина А. Г. Особенности расчетов режимов электрических сетей при перспективном развитии объединенной энергосистемы /А. Г. Русина, А. Ю. Останин, Т. А. Филипова // Электрические станции, Москва: НТФ <Энергопрогресс>. – 2009 - №10, с, 28-33.
5. Филипова Т. А. Оптимизация энергетических режимов гидроагрегатов гидроэлектростанций. – М.: Энергия, 1973, 207 с.
6. Автоматизация управления энергообъединениями. под ред. С. А. Совалова. – М.: Энергия, 1979. – 422 с.
7. Веников В. А. , Журавлев В. Г. , Филипова Т. А. Оптимизация Режимов электростанций и энергосистем. М.: Энергоиздат, 1981. 464 с.
8. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Наука, 1980. 207 с
9. Химмельблау Д. Прикладное программирование: Пер. с англ. М.: Мир. 1975. 534 с.

10. Александровский А. Ю., Солдаткин А. Ю., <Оценка дохода гидроэлектростанций в зависимости от дифференциации тарифа на продаваемую электроэнергию> Вестник МЭИ, №2, 2011. с.21-25.
11. Солдаткин А. Ю. Разработка методика расчета расчёта суточного режима работы гидроэлектростанций в современных условиях. Автореф. дисс. а соиск. ученой степени канд. техн. наук. Москва: Московский энергетический институт, 2011. 19 с.
12. Алябышева Т. М. Разработка методов оптимизации краткосрочных режимов работы каскадов ГЭС в объединенных энергосистемах с учетом неустановившегося движения воды в нижних бьефах. – Автореф. дисс. на соиск. ученой степени канд. техн. М.: ВНИИЭ, 1980. 17 с.
13. Александровский А. Ю., Солдаткин А. Ю., <Оценка влияния изменения условий эксплуатации на суточный режим работы ГЭС> Гидротехническое строительство №8, 2011 с. 15-19.
14. Малинин Н. К. Теоретические основы гидроэнергетики. Москва: Энергоатомиздат, 1985, 312 с.
15. Александровский А. Ю. Кнеллер М. И. и др. Гидроэнергетика. Москва: Энергоатомиздат, 1988, 512 с.
16. Цветков Е. В. и др. Оптимальные режимы гидроэлектростанций в энергетических системах. Москва: Энергоатомиздат, 1984, 304 с.
17. Мелентьев Л. А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. М.: Высшая школа, 1982. 319с.
18. Метод и алгоритм оптимального планирования долгосрочных режимов ГЭС по критерию минимума расхода топлива в энергосистемах. А. П. Кузмич, Л. Г. Парфенов, А. К. Руднев и др. – Электричества 1977, №3 с. 8-14.
19. Методы оптимизации режимов энергосистем /Под ред. В. М. Горнштейна. Москва: Энергоатомиздат, 1981, 336 с.

20. Волькенау И. М., Зейлигер А. Н., Хабачев Л. Д. Экономика формирования электроэнергетических систем. М.: Энергия, 1981. 320 с.
21. Воропаев Г. В. Задачи и организация научных исследований в связи с проблемой перераспределения водных ресурсов – Водные ресурсы, 1976, №3, с. 3-12.
22. Вуколов В. А. Планирование длительных режимов ГЭС в условиях неопределенности. – Автореф. дисс. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. М.: МЭИ, 1982. 20 с.
23. Валдма М. Х. Одноэтапные задачи оптимизации режима энергетической системы в условиях неполной информации. М.: АН СССР: Научный совет по комплексной проблеме <Кибернетика>, 1977. 60 с.
24. Мак-Кинси Дж. Введение в теорию игр. Москва: ФМ, 1960. 420 с.
25. Льюс Р. Д., Райфа Х. Игры и решения: Пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 642 с.
26. Беллман Р. Динамическое программирование. Москва: Изд-во иностр. лит., 1960. 400 с.
27. Беллман Р., Дрейфус. Прикладные задачи динамического программирования. Москва: Наука, 1965, 458 с.
28. ჯ. კილასონია, პ. სამსონაშვილი. ჰიდროელექტროსადგურების მოკლევადიანი რეჟიმების გაანგარიშების საკითხისათვის. ჟურნალი “ენერჯია” თბილისი 2(38), 2006 წ. გვ. 85-88.
29. ჯ. კილასონია, პ. სამსონაშვილი. ჰიდროელექტროსადგურის სადგურშიგა რეჟიმის ოპტიმიზაციის ალგორითმი. ჟურნალი “ენერჯია” თბილისი 3(39), 2006 წ. გვ. 73-75.
30. Киласония Дж. Н., Самсонашвили П. О. О некоторых принципах построения системы машинного конструирования. Журнал GEN, Тбилиси, №3, 2006, с. 193-195.
31. ჯ. კილასონია, პ. სამსონაშვილი. საქართველოს ენერგეტიკული უსაფრთხოების სტრატეგიის ხელშეწყობი

რეკომენდაციების შემუშავება პერსპექტივაში ენერგომოთხოვნილების ზრდის გათვალისწინებით. ენერგეტიკის სექტორის შესაძლებლობების გაუმჯობესების პროექტი. ქუთაისის აკ. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”. 21-22 მაისი, 2010 წ., ქუთაისი, საქართველო. მოსხენებების კრებული., გვ. 175-178.

32. Немнюгин С., Стесик О. Современный фортран. Санкт-петербург: <БХВ - Петербург>, 2005, 496 с.

33. Катцан Г. Язык ФОРТРАН 77. Москва: <Мир>, 1982, 208 с.

34. Грунд Ф. Программирование на языке ФОРТРАН IV. Москва: <Мир>, 1976, 183 с.

35. Демидович Б. Марон Н. Основы вычислительной математики. Москва: Наука, 1970, 664 с.