თინათინ მშვიდობაძე

ინფორმაციული ტექნოლოგიები ენერგოსისტემების შეფასებასა და პროგნოზირებაში

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
აპრილი, 2008 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკა და მართვის სისტემები

ჩვენ, ქვემორე ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით თინათინ მშვიდობაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ინფორმაციული ტექნოლოგიები ენერგოსისტემების შეფასებასა და პროგნოზირებაში“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქარველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: კონსტანტინე კამკამიძე

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2008

ავტორი:	თინათინ მშვიდობაძე
დასახელება:	ინფორმაციული ტექნოლოგიები ენერგოსისტემების შეფასებასა და პროგნოზირებაში
ფაკულტეტი :	ინფორმატიკა და მართვის სისტემები
აკადემიური ხარისხი:	დოქტორი
სხდომა ჩატარდა:	თარიღი

რეზიუმე

შესრულებულია საქართველოს ენერგოსისტემის განვითარების მათემატიკური მოდელების ანალიზი. აღწერილია წრფივი პროგრამირების, ორიენტირებული გრაფის, სტოხასტიკური აპროქსიმაციის და დინამიური პროგრამირების მეთოდების გამოყენების მიზნები სრულყოფილი მოდელის აგების პროცესში.

მოდელების ეფექტურობის ანალიზის შედეგად ენერგოსისტემის სტრუქტურის დადგენისათვის უპირატესობა მიენიჭა წრფივი პროგრამირების მოდელს, ორიენტირებული გრაფის მოდელთან ერთად, რომელიც იძლევა საშუალებას თბოსადგურების ეფექტურობის გათვალისწინების. ამის საფუძველზე დამუშავებულ იქნა ენერგოსისტემის განვითარების ალგორითმები და მისი შესაბამისი პროგრამული რეალიზაცია სისტემა "Matlab"-ის საშუალებით.

ენერგოსისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის დასადგენად გამოყენებული იქნა მათემატიკური მოდელი წრფივი პროგრამირების აპარატის გამოყენებით, ხოლო თბოსადგურების საუკეთესო შემადგენლობას არჩევისათვის ორიენტიერბული გრაფის გამოყენებით. ორიენტირებული გრაფის გამოყენება მიზანშეწონილია, რადგან ნათლად იძლევა სურათს არა მარტო ამოცანის გადაწყვეტის საბოლოო შედეგზე, არამედ გაანგარიშების მთლიანი პროცესის ცალკეულ ეტაპზე მიღებულ საშუალო შედეგებზეც.

რადგან მოდელზე ენერგოსისტემის განვითარებისათვის ოპტიმალური გადაწყვეტის მიღებისას აუცილებელია საწყისი ინფორმაციის შემთხვევითი ხასიათის გათვალისწინება, ამ მიზნისათვის გამოყენებულია სტოხასტიკური აპროქსიმაციის მეთოდი.

გადაწყვეტილია ელექტრო სიმძლავრეების მაქსიმიზაციის და ელექტროენერგიის მაქსიმიზაციის ამოცანები მოცემული ენერგოსისტემის ძირითადი პარამეტრებისათვის სათანადო შეზღუდვების გათვალისწინებით.

ელექტროენერგეტიკული სისტემის ახალი სიმძლავრეების ოპტიმალური სტრუქტურის დადგენის მათემატიკური მოდელის საფუძველზე გამოკვლეულია კონკრეტული ელექტროენერგეტიკული სისტემის განვითარება მომავალ ათწლეულზე.

ნაჩვენებია, რომ თვით განვითარების პროცესის მოდელირებისათვის მიზანშეწონილია, აგრეთვე წრფივი პროგნოზირების აპარატის გამოყენება, რომელიც გვაძლევს საშუალებას ანალიზის ჩატარებისა, როგორც ფუნქციონირებადი ობიექტების, ასევე მშენებარის მათი ეკონომიკური მაჩვენებლების გათვალისწინებით.

გამოყენებული მეთოდი შემთხვევითი პროტოტიპების გამოყენებით იძლევა ელექტრული სიმძლავრეების გამომუშავების მაქსიმალური მნიშვნელობების პროგნოზირებას.

სტატიკური სისტემებისათვის შესრულებულია ეფექტურობის კრიტერიუმების ანალიზი და დინამიური სისტემებისათვის კი გარკვეული წლების განვითარების პირობებში გაანალიზებულია ეფექტურობის კრიტერიუმები.

განხილულია ენერგოსისტემის მაგენერირებელი სიმძლავრეების განვითარების სტრუქტურების დეტერმინირებული წრფივი მოდელები.

გადაწყვეტილია კაპიტალური დაბანდებათა მინიმიზაციის და საექსპლუატაციო დანახარჯების მინიმიზაციის ამოცანები ენერგოსისტემის ძირითადი პარამეტრებისათვის სათანადო მატრიცის გამოყენებით.

ენერგოსისტემაში მაგენერირებელი სიმძლავრეების სტრუქტურის განვითარებისა და განლაგებისათვის ნაჩვენებია დინამიური პროგრამირების გამოყენების მოდელის მაგალითი, რომელიც საშუალებას იძლევა სხვადასხვა ვარიანტების შედარების საფუძველზე რეკომენდაციების გაკეთების, თუ რა სიმძლავრის სადგურები უნდა აშენდეს რეგიონში.

განხილულია თანამედროვე ტენდენციები მაგენერირებელი სიმძლავრეების განვითარების მოდელირებაში ბლოკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენების პერსპექტივა ენერგოსისტემის განვითარებისათვის ამოცანების გადასაწყვეტად.

პერსპექტივაში საწყის პირობებში უნდა იყოს შეტანილი მზის ენერგიაზე მომუშავე სადგურები, ატომური ელექტროსადგურები. ყურადღება უნდა მიექცეს თერმული წყლების გათბობისათვის გამოყენებას რაც მოგვცემს ელექტროენერგიის გამოზოგვის საშუალებას.

Summary

There is carried out the analysis of mathematical models of development of Georgian power system, there are described the purposes of using of linear programming, oriented graph, stochastic approximation and dynamic programming methods in the process of structure of complete model.

As a result of the analysis of models' effectiveness for determination of the power system's structure, the preference was given to the model of linear programming, with the model of oriented graph, which gives us an ability to provide the effectiveness of thermostations. On this basis there was processed the algorithms of optimal development of power system and its corresponding software implementation by the means of the system "Matlab".

For determination of optimal structure of power system there was used the mathematical model with the use of linear programming apparatus, and the best composition of thermostations we choose with the use of oriented graph. The using of this model is expedient because it gives us the clear picture not only about the final result of task solution, but also about average results, received at separate stages of the whole process of calculation.

Because at the time of optimal decision for development of power system on the model it is necessary to provide the accidental character of initial information, for this purpose there is used the method of stochastic approximation.

There are solved the problems of maximization of electric power and maximization of electrical energy for the basic parameters of the mentioned power system, providing the corresponding limitations.

On the basis of mathematical model of determination of optimal structure of new powers of electric system there is investigated the development of concrete electric system for the future four decades.

The used method, with the use of accidental prototypes, gives us the prediction of peak values of processing of electrical powers.

For static systems there is realized the effectiveness criteria analysis, and for dynamical systems there are analyzed effectiveness criteria in conditions of development of specific years.

There are examined the deterministic linear models of development structures of generative powers of supply system.

There are solved the problems of minimization of capital investment and minimization of exploitation costs, with the use of corresponding matrix for the basic parameters of given supply system.

For the location and development of generative powers in supply system there is shown an example of model of using of dynamic programming, which gives ability to make recommendations about what power stations should be built in regions on the basis of collation of different variants.

There are examined the modern tendencies in the modeling of development of generative powers, perspective of using of block programming for problems solving for development of supply system.

In the perspective in entry conditions should be included the stations, working on the sun energy, nuclear power plants. Attention should be paid to the use of thermo-waters for heating, which allows us to save the electrical energy.

შინაარსი

ცხრილების ნუსხა

ნახაზების ნუსხა

შესავალი

თემის აქტუალურობა: ენერგოსისტემა წარმოადგენს სახალხო მეურნეობის დიდ სისტემას. ასეთი დიდი და რთული სისტემის განვითარება უნდა ეყრდნობოდეს სათანადო მოდელის ანალიზს, მით უმეტეს, რომ ამის საშუალებას გვაძლევს კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენება.

ენერგოსისტემის განვითარების მათემატიკური მოდელის შექმნის მცდელობა იყო რამდენიმეჯერ. მაგრამ ახალი მოდელის შექმნა აუცილებელია, რადგან ადრე შექმნილ მოდელებში გამოყენებული იქნა მხოლოდ ერთ-ერთი პრინციპი - ერთი მოდელი აგებულ იქნა წრფივი პროგრამირების აპარატის გამოყენებით, მეორე კი ორიენტირებულ გრაფზე დაყრდნობით სხვადასხვა ტიპის ელექტროსადგურების განვითარე-ბისათვის.

ჩვენ შემთხვევაში გამოყენებულია კომპლექსური მიდგომა. ენერგოსისტემის ჯამური სიმძლავრის ზრდისათვის წრფივი პროგრამირების აპარატი, ხოლო მოდელის შიგნით თბოსადგურების სხვადასხვა ტიპის: ნახშირზე მომუშავე, მაზუთზე მომუშავე და ბუნებრივ აირზე მომუშავე ელექტროსადგურების წილის დასადგენად - ორიენტირებული გრაფის თეორია.

ახალი მოდელის აუცილებლობას განაპირობებს აგრეთვე ის, რომ დროის გარკვეული ინტერვალისათვის იცვლება სათბობის ფასები, ეკოლოგიური პირობები და სათანადო კოეფიციენტების მნიშვნელობები.

მოდელზე მიღებული შედეგები მით უფრო სამართლიანია, რაც უფრო რეალურია მიწოდებული საწყისი ინფორმაცია. ამიტომ აუცილებელია საწყისი პირობების სტოხასტიკური ხასიათის გათვალისწინება და ამისათვის სტოხასტიკური აპროქსიმაციის მეთოდის გამოყენება.

წრფივი პროგრამირების მოდელის გამოყენება თანამედროვე ეტაპზე არის სავსებით მისაღები, რადგანაც სიმძლავრეების შეყვანა ხორციელდება დისკრეტულად და მხოლოდ სათანადო სიმძლავრეების შეყვანის დროს მცირე პერიოდში არაწრფივობით გამოწვეული ხარჯები იმდენად უმნიშვნელოა, რომ ის საერთოდ შეიძლება არ იყოს მიღებული მხედველობაში. ამავე დროს წრფივი პროგრამირების უპირატესობა მდგომარეობს იმაშიც, რომ მოდელში შესაძლებელია წრფივ განტოლებათა შემადგენლობის და შეზღუდვების მოქნილი ცვლილება სიტუაციის შეცვლის შესაბამისად.

ორიენტირებული გრაფის გამოყენება კი თბოსადგურების სიმძლავრეების შეყვანის დროს მიზანშეწონილია, რადგან ის ნათლად იძლევა სურათს მრავალი სხვადასხვა პირობების დროს, როგორიც ახასიათებს თბოსადგურებს: საწვავის ნაირსახეობას, სხვადასხვა სიდიდეების გამონაბოლქვების გავლენას და ა.შ.

ენერგოსისტემის განვითარების ოპტიმიზაციის პრობლემა ენერგოსისტემის სტრუქტურის სირთულის პირობებში უნდა წყდებოდეს არა ერთი მოდელის გამოყენებით, არამედ მოდელების შეთანხმებული ოჯახით. ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ერთი მოდელის კონსტრუირება ხორციელდება მეორედან. წრფივი პროგრამირების მოდელი ენერგოსისტემების საერთო სტრუქტურის შექმნისათვის ბადებს მოდელს ამ სტრუქტურაში თბოელექტროსადგურების შემადგენლობის დადგე-ნისათვის, რომლებიც იყენებენ საწვავის სხვადასხვა სახეებს, ენერგოსისტემის განვითარება კი მიზანშეწონილია განხილული იქნას დინამიური პროგრამირების მეთოდის გამოყენებით.

აგრეთვე ჩნდება საჭიროება სიმძლავრეების მაქსიმუმების პროგნოზირების დადგენის სათანადო მოდელზე.

დისერტაციაში მოცემულია ყველა ჩამოთვლილი მოდელების აგების პრინციპები სათანადო მაგალითების ჩვენებით და ამ მაგალითების გადაწყვეტების პროგრამული უზრუნველყოფის რეალიზაციის შედეგები.

სამეცნიერო სიახლე: სადისერტაციო ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს იმაში, რომ შემუშავებული სხვადასხვა მოდელების ანალიზის და შედარების საფუძველზე დასაბუთებულია საუკეთესო მოდელირების გზა, სადაც გამოყენებულია მარტივი წრფივი პროგრამირების აპარატი ორიენტირებული გრაფის შესაძლებლობებთან ერთად კონკრეტული ენერგოსისტემისათვის მინიმალური დანახარჯებით, ელექტროენერგიის მაქსიმალური გამომუშავებისათვის სტრუქტურის დასადგენად.

მოდელი გვაძლევს საშუალებას მრავალი ვარიანტიდან ამოვირჩიოთ საუკეთესო.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება მდგომარეობს იმაში, რომ რეალური პირობების გათვალისწინებით სხვადასხვა პერიოდებისათვის ცვლადი პარამეტრებით შესაძლებელია სათანადო სტრუქტურის დადგენა, რომელიც თავის მხრივ გვაძლევს სათანადო ეკონომიკურ ეფექტს. გარდა ამისა, შემუშავებული მოდელის მეშვეობით შეიძლება მიღებულ იქნას, არა მარტო საბოლოო შედეგი, არამედ მთელი ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობის შუალედური შედეგებიც.

პირველ თავში განხილულია საქართველოს ენერგოსისტემების განვითარების ადრე შედგენილი მათემატიკური მოდელები. კერძოდ, აღწერილია წრფივი პროგრამირების, ორიენტირებული გრაფისა და სტოხასტიკური აპროქსიმაციის მოდელები.

მოდელების ეფექტურობის ანალიზის შედეგად, უპირატესობა მიენიჭა წრფივი პროგრამირების მოდელს ორიენტირებულ გრაფის მოდელთან ერთად, რის საფუძველზე დამუშავებულ იქნა ენერგოსისტემის

განვითარებისათვის სათანადო ალგორითმები და შესრულდა მისი შესაბამისი პროგრამული რეალიზაცია სისტემა ”Matlab”-ის საშუალებით.

წრფივი პროგრამირების აპარატის გამოყენება შედარებით მარტივად გვაძლევს შესაძლებლობას განვიხილოთ მრავალი ვარიანტები: ელექტროენერგიის მაქსიმიზაციის, საექსპლუატაციო დანახარჯების მინიმიზაციის, კაპიტალური დაბანდებების მინიმიზაციის, ელექტრო სიმძლავრეების მაქსიმიზაციის სათანადო შეზღუდვების გათვალისწინებით.

შემუშავებული მეთოდიკა და პროგრამული უზრუნველყოფა შეიძლება იყოს გამოყენებული საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის განვითარების გამოკვლევისათვის მომავალ ათწლეულში.

შედგენილ წრფივ მათემატიკურ მოდელს აქვს ბლოკური სტრუქტურა, რომელიც შეიცავს ბაზისურ და სამანევრო სიმძლავრეების ბალანსის, ორგანული სათბობის ბალანსის განტოლებებს. შეზღუდვებს ზღვრული სიმძლავრეების და ენერგიის ყოველი ელექტროსადგურის და ელექტრული გადამცემი ხაზებისათვის. საქართველოს ენერგოსისტემის დასავლეთ და აღმოსავლეთ ნაწილებს შორის კავშირი გათვალისწინებულია სპეციალურ ბლოკში. მოდელზე გადასაწყვეტი ამოცანის მიზნობრივი ფუნქცია წარმოადგენს კაპიტალდაბანდებათა მინიმუმს ან გამომუშავებულ ენერგიის მაქსიმუმს.

ბალანსის ტოლობები შედგენილია სიმძლავრის და ენერგიის გამომუშავებისათვის სამი სეზონის მიხედვით: წყალდიდობის, სეზონთაშორისი და წყალმცირობის პერიოდისათვის საქართველოს მდინარეებზე. გათვალისწინებულია ეკოლოგიური პრობლემების გადამწყვეტი სათანადო პირობები და კოეფიციენტები. თბოსადგურების საუკეთესო შემადგენლობას ვირჩევთ ორიენტირებული გრაფის გამოყენებით. ერთმანეთთან შედარებულია რამდენიმე ვარიანტი. შესადარებელ ვარიანტთა ტეაქნიკო-ეკონომიურ მაჩვენებელთა ანალიზის

შედეგად დადგინდა, რომ რესპუბლიკის გარედან შემოტანილი სათბობის პირობებში, თბილისის სრესზე მიზანშეწონილია მხოლოდ 500 მვტ სიმძლავრის ორი აირტურბინის შეყვანა. ადგილობრივი სათბობის პირობებში კი თბილისის სრესზე მე-12 და მე-13 ენერგობლოკის შეყვანის მაგივრად მიზანშეწონილია ნახშირის სუსპენზია - აირზე მომუშავე 600 მვტ სიმძლავრის ქუთაისის თესის მშენებლობა.

მოდელზე ენერგოსისტემის განვითარებისათვის ოპტიმალური გადაწყვეტის მიღებისას აუცილებელია საწყისი ინფორმაციის შემთხვევითი ხასიათის გათვალისწინება. ამისათვის მიზანშეწონილია სტოხასტიქური აპროქსიმაციის მეთოდის გამოყენება. ამ მეთოდის შემთხვევაში მოდელზე გამოყენებული პარამეტრები მიახლოებულია რეალურთან, რაც იძლევა საშუალებას მოდელზე მიღებული შედეგები ჩავთვალოთ სამართლიანად.

მეორე თავში აღწერილია შეთავაზებული ალგორითმების და პროგრამული უზრუნველყოფის კონკრეტული რეალიზაცია კონკრეტული ენერგომომარაგების მაგალითზე. განხილულია ენერგოსიეტემის მათემატიკური მოდელი და მის საფუძველზე ამოხსნილია ოპტიმიზაციური ამოცანა განვითარებისა და ფუნქციონირებისა უახლოეს ათწლეულზე.

ნაჩვენებია, რომ თვით განვითარების პროცესის მოდელირებისათვის მიზანშეწონილია, აგრეთვე, წრფივი პროგნოზირების აპარატის გამოყენება, რომელიც გვაძლევს საშუალებას ანალიზის ჩატარებისა, როგორც ფუნქციონირებადი ობიექტების, მშენებარის მათი ეკონომიური მაჩვენებლების გათვალისწინებით. გამოყენებული მეთოდი შემთხვევითი პროტოტიპების გამოყენებით იძლევა მოსალოდნელი ელექტროენერგიის გამომუშავების მაქსიმალური მნიშვნელობების პროგნოზირების საშუალებას.

მესამე თავში აღწერილია ენერგოსისტემის სტრუქტურის ოპტიმიზაციის განხორციელება კაპიტალდაბანდებების ეკონომიკური

ეფექტურობის უზრუნველყოფით. ცნობილია, რომ ჰიდროელექტრო-სადგურების აშენებისათვის უფრო მეტი ხარჯებია საჭირო, ვიდრე თბოსადგურების და აშენების დროც უფრო დიდია. სამაგიეროდ, თბოსადგურების უფრო მოკლე ვადაში შეყვანა გვაძლევს საშუალებას უფრო სწრაფად დავფაროთ მოთხოვნა ელექტროენერგიაში. ამიტომ, საჭიროა გამოინახოს ოპტიმალური ვარიანტი სხვადასხვა ტიპის სადგურების აშენებისათვი ეკონომიკური დანახარჯების თვალსაზრისით.

სტატიკური სისტემებისათვის შესრულებულია ეფექტურობის კრიტერიუმების ანალიზი და ნაჩვენებია, რომ ნებისმიერი ობიექტებისათვის ოპტიმალურს წარმოადგენს ვარიანტი, რომელსაც აქვს მოყვანილი ხარჯების უმცირესი მნიშვნელობა.

გაანალიზებულია ეფექტურობის კრიტერიუმები ნახევრად-დინამიური და დინამიური სისტემებისათვის განვითარების გარკვეული წლების პერიოდისათვის.

გადაწყვეტილია კაპიტალურ დაბანდებათა მინიმიზაციის და საექსპლუატაციო დანახარჯების მინიმიზაციის ამოცანები ენერგოსისტემის ძირითადი პარამეტრებისათვის სათანადო მატრიცის რეალიზაციით.

მეოთხე თავში გადმოცემულია ენერგოსისტემის განვითარებაში დროის ფაქტორის გათვალისწინების შესაძლებლობა დინამიური პროგრამირების გამოყენების მეშვეობით. დინამიური პროგრამირება იძლევა საშუალებას განვსაზღვროთ თუ რა ტიპის ელექტროსადგურები უნდა აშენდეს და რა დროში. გარდა ამისა, შესაძლებელი ხდება ახალი ელექტროსადგურის აშენების მიზანშეწონილი ადგილის დადგენა.

ნაჩვენებია ბლოკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენების შესაძლებლობანი. იდეა ბლოკური პროგრამირებისა არა მარტო ამარტივებს გამოთვლით პროცედურებს, რიგ შემთხვევებში აფართოებს წრფივი პროგრამირების გამოყენების არეს. განხილულია ბლოკური პროგრამირების დაყოფის მეთოდის არსი, რომელიც შეიძლება განვიხილოთ როგორც

ბლოკური ანალოგი თანმიმდევრული გეგმის გაუმჯობესების მეთოდისა ენერგოსისტემის განვითარებისათვის ამოცანების გადასაწყვეტად.

სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავის, დასკვნის, გამოყენებული ლიტერატურის სიისა და დანართისაგან. ნაშრომის საერთო მოცულობა შეადგენა ნაბეჭდი ტექსტის 122 გვერდს, 8 ნახაზს.

I თავი

მათემატიკური მოდელები ენერგოსისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის დადგენისათვის

1.1. მოდელების შექმნა წრფივი პროგრამირების აპარატის გამოყენებით

საქართველოს ელექტრო ენერგეტიკული სისტემის სწორი განვითარებისათვის შემუშავებულ იქნა დინამიკური მოდელი. მშენებარე და ასაშენებლად მომზადებულ ელექტროსადგურების და ელგადამცემი ხაზების მოდელიდან გამორიცხვის შემთხვევაში დამუშავებული მოდელი ტრანსფორმირდება სტატიკურში [1].

ენერგეტიკული სისტემა წარმოადგენს რთულ სისტემას და რთული სისტემების ანალიზისათვის მიზანშეწონილია კიბერნეტიკული მოდელის გამოყენება, სადაც კომპლექსურად შეიძლება იყოს დადგენილი სხვადასხვა ტიპის ელექტროსადგურების ოპტიმალური სტრუქტურის მიღწევა, სხვადასხვა ტიპის ელექტროსადგურების საჭირო ვადებში აშენება და არსებული სიმძლავრეების ეკონომიურად გამოყენება[2,3,68].

ამ მიზნისათვის აგებულ იქნა მათემატიკური მოდელი წრფივი პროგრამირების აპარატის გამოყენებით, რომელიც გვაძლევს საშუალებას გადავწყვიტოთ კონკრეტული პირობებისათვის სიმძლავრეების მაქსიმალური შესაძლებლობით გამოყენებისას, ელექტროენერგიის გამომუშავების მაქსიმიზაციის და კაპიტალდაბანდებების მინიმიზაციის ამოცანები. ოპტიმალური სტრუქტურის დადგენის შემდეგ, სადაც მივიღებთ თანაფარდობას სხვადასხვა ტიპის სადგურებს შორის, ოპერაციათა კვლევის ერთ-ერთი ეფექტური საშუალებით – ორგრაფების გამოყენებით [4,5,6], განხორციელებული იქნება თბოსადგურების შორის საუკეთესო შემადგენლობის დადგენა.

აგებული მათემატიკური მოდელი [7,8,9] შედგება საქართველოს აღმოსავლეთ და დასავლეთ განყოფილებებისაგან. ამასთან, თითოეული ეს ორი განყოფილება შეიცავს სიმძლავრისა და ენერგიის ბალანსის ტოლობას წლის სამი დამახასიათებელი პერიოდისათვის: წყალმცირობის (ნოემბერი, დეკემბერი, იანვარი, თებერვალი, მარტი), სეზონთაშორისო (აპრილი, აგვისტო, სექტემბერი, ოქტომბერი) და წყალდიდობის (მაისი, ივნისი, ივლისი) პერიოდი.

როგორც მიზნის ფუნქცია და სიმძლავრისა და ენერგიის ბალანსის ტოლობა, ისევე დანარჩენი ტოლობები მოდელის შესაბამისად უნდა იყვნენ წრფივი[10,11,12].

რამდენადაც, ელექტროსადგურები მუშაობენ ცვლადი დატვირთვის რეჟიმში და სადგურების ხვედრითი ხარჯი საწვავისა და დატვირთვის ცვლილებასთან იცვლება არაწრფივად, ამდენად ტოლობის დაყვანით წრფივ სახეზე მიღებულია შემდეგი მიდგომა:

მუშაობის სამი პერიოდიდან (წყალმცირობა, სეზონთაშორისი, წყალდიდობა), თითოეული i ელექტროსადგურისათვის საქართველოს ენერგოსისტემაში გათვალისწინებულია სადგურის სპეციფიკა (თბოსადგური, სეზონური ჰესი, მარეგულირებელი ჰესი)[13,14].

გამოყენებულია განსაზღვრული განაწილება სადგურის დადგენილი სიმძლავრის N^i -სათვის მისი შემადგენელ ნაწილებზე $(N_1^i, N_2^i, \ldots, N_j^i \ldots)$..

$$N^i = \sum_j N_j^i \qquad (1.1)$$

შემდგომ თითოეული i ელექტროსადგურისათვის მისი სპეციფიკის გათვალისწინებით გამოყენებულია მუშაობის საათების რიცხვი h_j^i, რომელიც მოდის N_j^i თითოეულ ნაწილზე[15].

ამასთან, თითოეული N_j^i-სათვის თავიდანვე მიიღებოდა წილი, რომელიც მოდიოდა ბაზისურ და მანერვულ ნაწილებზე. აღნიშნულის გათვალისწინებით, წყალდიდობის პერიოდისათვის იქნა შედგენილი ბაზისური და მანევრული სიმძლავრისა და ენერგიის ბალანსის ტოლობები საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის აღმოსავლეთ ნაწილისა:

$$\begin{cases} \sum_i\sum_j K_j^i N_j^i - \sum_i N_i^{\text{წ,აღ,ბ}} + \Pi\sum_i N_i^{\text{წ,დას,ბ}} \geq P_{\text{ბ}} \\ \sum_i\sum_j \left(1-K_j^i\right) N_j^i - \sum_i N_i^{\text{წ,აღ,მ}} + \Pi\sum_i N_i^{\text{წ,დას,მ}} \geq P_{\text{მ}} \\ \sum_i\sum_j K_j^i h_{\text{პერ}} N_j^i - \sum_i h^{\text{წ,აღ,ბ}} N_i^{\text{წ,აღ,ბ}} + \Pi\sum_i h^{\text{წ,დას,ბ}} N_i^{\text{წ,დას,მ}} \geq W_{\text{ბ}} \\ \sum_i\sum_j \left(h_j - K_j^i h_{\text{პერ}}\right) N_j^i - \sum_i h^{\text{წ,აღ,მ}} N_i^{\text{წ,აღ,მ}} + \Pi\sum_i h^{\text{წ,დას,მ}} N_i^{\text{წ,დას,მ}} \geq W_{\text{მ}} \end{cases} \tag{1.2}$$

სადაც $P_{\text{ბ}}$ - ბაზისური მოხმარების სიმძლავრეა.

$P_{\text{მ}}$ - მანევრული მოხმარების სიმძლავრეა.

$W_{\text{ბ}}$ - ბაზისური მოხმარების ენერგია.

$W_{\text{მ}}$ - მანევრული მოხმარების ენერგია.

$N_i^{\text{წ,აღ,ბ}}$ და $N_i^{\text{წ,დას,ბ}}$ შესაბამისად წარმოადგენენ ბაზისურ სიმძლავრეს, რომელიც გადაეცემა ენერგეტიკული სისტემის აღმოსავლეთ ნაწილიდან მის დასავლეთ ნაწილში და პირიქით ელგადამცემი ხაზის დახმარებით, რომლებიც აერთიანებენ რესპუბლიკის ამ რეგიონებს.

$N_i^{\text{წ,აღ,მ}}$ და $N_i^{\text{წ,დას,მ}}$ შესაბამისად წარმოადგენენ გადაცემის მანევრულ სიმძლავრეს.

$h_{\text{პერ}}$ - წყალდიდობის პერიოდის ხანგრძლივობაა.

$h_i^{\text{წ,აღ,ბ}}$ და $h_i^{\text{წ,დას,ბ}}$ შესაბამისად წარმაოადგენენ ბაზისური სიმძლავრის $N_i^{\text{წ,აღ,ბ}}$ და $N_i^{\text{წ,დას,ბ}}$ გადამცემის ხანგრძლივობას.

$h_i^{\text{წ,აღ,მ}}$ და $h_i^{\text{წ,დას,მ}}$ შესაბამისად წარმოადგენენ მანევრული სიმძლავრის $N_i^{\text{წ,აღ,მ}}$ და $N_i^{\text{წ,დას,მ}}$ გადაცემის ხანგრძლივობას.

Π-ელგადამცემში კარგვის კოეფიციენტია.

წყალდიდობის პერიოდის ტოლობების ანალოგიური ტოლობები იქნა შედგენილი დასავლეთ საქართველოსთვის. ასეთივე ტოლებები შედგენილია [16,17] სეზონთაშორისი და წყალმცირობის პერიოდისათვის.

შემდგომში თითოეული ორი რეგიონისათვის შედგენილია ბალანსის ტოლობა ორგანული საწვავის მოხმარებული რაოდენობისა [18].

ეს ტოლობები შედგენილია ცალკე ბუნებრივი აირის, მაზუთის და ქვანახშირის მოხმარებისათვის:

კერძოდ, ბუნებრივი აირის მოხმარებული რაოდენობის ბალანსის ტოლობას აქვს შემდეგი სახე:

$$\sum_i \sum_j b_j^{i,\text{ა}} h_j^i N_j^i + B^{\text{ა}} \geq B_{\partial}^{\text{ა}} \quad (1.3)$$

სადაც

$B^{\text{ა}}$ - ბუნებრივი აირის ჯამური ხარჯია.

$B_{\partial}^{\text{ა}}$ - რეგიონში ბუნებრივი აირის მარაგი.

b_j^i - ბუნებრივი აირის კუთრი ხარჯია i - ურ ელექტროსადგურზე j - ურ რეჟიმში მუშაობის დროს [19].

მათემატიკური მოდელი შეიცავს აგრეთვე, ენერგოსისტემის თითოეული სადგურის და ელექტროგადამცემი ხაზების სიმძლავრეებისათვის შემდეგი სახის შეზღუდვებს:

$$\begin{cases} N_1^i \qquad - N_{\text{ნ}}^i \qquad - N_{\text{ქ}}^i \le 0 \\ N_2^i \qquad - N_{\text{ნ}}^i \qquad - N_{\text{ქ}}^i \le 0 \\ N_3^i \qquad - N_{\text{ნ}}^i \qquad - N_{\text{ქ}}^i \le 0 \\ N_{\text{ნ}}^i \qquad \le N_{\text{საანგ.}}^i \\ N_{\text{ქ}}^i \le N_{\text{არსებ.}}^i \\ N_{\text{ნ}}^i \qquad - N_{\text{ქ}}^i + Z^i = 0 \end{cases} \tag{1.4}$$

სადაც N_1^i, N_2^i და N_3^i i-ური ელექტროსადგურის სიმძლავრეებია კვტ-ში შესაბამისად წყალდიდობის, სეზონთაშორისი და წყალნაკლებობის პერიოდისათვის.

$N_{\text{ნ}}^i$ - i-ური ელექტროსადგურის ეკონომიურად გამართლებული სიმძლავრეების ნაშთია კვტ-ში.

$N_{\text{ქ}}^i$ - i-ური ელექტროსადგურის დადგმული სიმძლავრეების ნაწილია კვტ-ში, რომლის გამოყენება ეკონომიურად გამართლებულია.

$N_{\text{საანგ}}$ - i-ური ელექტროსადგურის ზღვრული სიმძლავრეა კვტ-ში მისი გაფართოების შემდეგ.

$N_{\text{არსებ.}}^i$ - i-ური ელექტროსადგურის სიმძლავრეების ზღვრული დასაშვები ნაზრდია კვტ-ში.

Z^i - დადგენილი სიმძლავრეა ელექტროსადგურში გათვლითი პერიოდის ბოლოს.

სეზონური ჰესებისათვის ელექტროენერგიის გამომუშავების შეზღუდვები შესაბამისად წყალდიდობის, სეზონთაშორის და წყალმცირობის პერიოდებისათვის ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\begin{cases} W^i_{\text{წყ.}} \le W^i_{\text{წყ.მაქს}} \\ W_{\text{სეზ.}} \le W^i_{\text{სეზ.მაქს}} \\ W_{\text{ზამ.}} \le W_{\text{ზამ.მაქს}} \end{cases} \tag{1.5}$$

სადაც $W^i_{\text{წყ.}}$, $W^i_{\text{სეზ.}}$ და $W^i_{\text{ზამ.}}$ i-ური ჰესის ელექტროენერგიის გამომუშავებაა შესაბამისად წყალდიდობის, სეზონთაშორისი და წყალმცირობის პერიოდებში კვტ-ში.

$W_{\text{წყ.მაქს.}}$, $W_{\text{სეზ.მაქს}}$, $W_{\text{ზამ.მაქს}}$ - i-ური ჰესის გამომუშავებული ელექტროენერგიის მაქსიმალური რაოდენობაა კვტ.სთ-ში წლის სხვადასხვა (წყალდიდობის, სეზონთაშორისი, წყალმცირობის) პერიოდში.

რეგულირებად ჰესებზე გამომუშავებული ელექტროენერგიის შეზღუდვები წყალდიდობის, სეზონთაშორისი და წყალმცირობის პერიოდისათვის ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\begin{cases} W^i_{\text{წყ}} + W^i_{\text{სეზ.}} + W^i_{\text{ზამ.}} \le W^i_{\text{მაქს.}} \\ W^i_{\text{წყ}} \le W^i_{\text{წყ.მაქს.}} \\ W^i_{\text{სეზ.}} \le W^i_{\text{სეზ.მაქს.}} + W^i_{\text{საც.}} \\ W^i_{\text{ზამ.}} \le W^i_{\text{სეზ.მაქს.}} + W^i_{\text{საც.}} \\ W^i_{\text{სეზ.}} + W^i_{\text{ზამ.}} \le W^i_{\text{სეზ.მაქს.}} + W^i_{\text{ზამ.მაქს.}} + W^i_{\text{საც.}} \end{cases} \tag{1.6}$$

სადაც $W^i_{\text{მაქს.}}$ - ელექტროენერგიის რაოდენობა კვტ-სთში, რომელსაც გამოიმუშავებს i - ურ ელექტროსადგურზე წლიური წყლის ჩანადენით.

$W^{i}_{\text{საც.}}$ - ელექტროენერგიის რაოდენობაა, რომელსაც გამოიმუშავებს i -ური ჰესის წყალსაცავში დაგროვილი წყალი, იმ შემთხვევაში, როცა წყალსაცავი ბოლომდეა გავსებული.

საქართველოს აღმოსავლეთ და დასავლეთ რეგიონები, როგორც უკვე ვთქვით ერთმანეთთან დაკავშირებულია მაღალვოლტიანი ელექტროგადამცემი ხაზებით. საქართველოს ენერგოსისტემის მოდელი მოიცავს 38 ელექტროენერგიის გადადინების და გადასაცემი სიმძლავრეების მნიშვნელობებს. მათ შორის 18 უცნობი შეესაბამება ენერგიის გადადინების და გადაცემულ სიმძლავრეებს დასავლეთიდან აღმოსავლეთ რეგიონში. ორი უცნობი წარმოადგენს არსებული ელექტროგადამცემი ხაზების ოპტიმალურ დატვირთვას და ელექტროგადამცემი ხაზების დატვირთვას, რომლებიც აღებულ უნდა იქნას პერსპექტიულ პერიოდში.

ზემოთ ნახსენები უცნობების 18 მნიშვნელობები ელექტროენერგიის გადადინების და გადასაცემი სიმძლავრეების სიდიდეებია აღმოსავლეთის რეგიონიდან დასავლეთში. 9 უცნობი შეესაბამება ბაზისური ენერგიის გადადინების და გადასაცემ სიმძლავრეებს, ხოლო დანარჩენი 9 უცნობი მანევრული ენერგიის გადადინების და გადასაცემ მანევრულ სიმძლავრეებს.

თითოეული ჯგუფი შედგენილი მითითებული 9 უცნობისაგან შეიცავს 3-3 უცნობს წყალდიდობის, სეზონთაშორისი და წყალმცირობის პერიოდებთან დაკავშირებით.

იგივე მთლიანად შეიძლება ითქვას 18 უცნობზეც, რომელიც შეესაბამება ენერგიის გადადინებას და გადასაცემ სიმძლავრეებს დასავლეთ რეგიონოიდან აღმოსავლეთში.

ენერგიის ბალანსის განტოლებები შეიცავს სიმძლავრეების გადადინების საათების ხანგრძლივობას დასავლეთ რეგიონიდან აღმოსავლეთში და აღმოსავლეთის რეგიონიდან დასავლეთში.

ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნისას საათების მითითებული რიცხვით მიღებულია შემდეგი მნიშვნელობები.წყალდიდობის პერიოდში ბაზისური სიმძლავრეებისათვის 1000, 1500 და 2200 სთ, სეზონთაშორის პერიოდში 1100, 2100 და 2900 საათი, წყალმცირობის პერიოდში 1200, 2400 და 3600 საათი. შესაბამისად მანევრული სიმძლავრეებისათვის მიღებულია გადადინების ხანგრძლივობის საათების რიცხვი: წყალდიდობის პერიოდისათვის 200, 600, 1000 საათი, სეზონთაშორისი პერიოდისათვის 300, 700, 1200 საათი და წყალმცირობის პერიოდისათვის 400, 1000, 1500 საათი.

როგორც ზემოთ ითქვა აგებული მათემატიკური მოდელის საფუძველზე შეიძლება იყოს ამოხსნილი სხვადასხვა ოპტიმიზაციური ამოცანები [22,23,24,25]. მაგალითისათვის აღებულია რვა ტიპის ელექტროსადგურები:

1. მცირე ჰიდროელექტროსადგურები.
2. კალაპოტიანი ჰიდროელექტროსადგურები.
3. დერივაციული ჰიდროელექტროსადგურები.
4. წყალსაცავიანი ჰიდროელექტროსადგურები.
5. ქვანახშირზე მომუშავე თბოსადგურები.
6. მაზუთზე მომუშავე თბოსადგურები.
7. აირზე მომუშავე თბოსადგურები.
8. ქარის ელექტროსადგურები.

განვსაზღვროთ მოდელის შეზღუდვების ტოლობები [26].

1. კაპიტალდაბანდების შეზღუდვები:

$$\sum_{i=1}^{8} C_i^k P_i \le D_1$$

სადაც C_i^k ხვედრითი კაპიტალდაბანდებაა 1 კვტ დადგენილი სიმძლავრის i ტიპის ელექტროსადგურისათვის.

P_i - სიმძლავრეა i -ური ტიპის ელექტროსადგური

D_1 - ფონდია გამოყოფილი სახელმწიფო ბიუჯეტიდან სისტემის განვითარებისათვის გათვლილი პერიოდის მანძილზე.

2. საექსპლუატაციო ხარჯების შეზღუდვები:

$$\sum_{i=1}^{8} C_i^э P_i \le D_2$$

სადაც $C_i^э$ - ხვედრითი საექსპლუატაციო ხარჯებია 1 კვტ დადგენილი სიმძლავრის გამოყენებისას წლის განმავლობაში ჩამკეტი ხარჯების გათვალისწინებით ორგანულ საწვავზე i -ური ტიპის ელექტროსადგურებისათვის.

D_2 - ფონდია, გამოყოფილი სისტემის ფუნქციონირებისათვის.

3. შეზღუდვები სიმძლავრეზე:

$$\sum_{i=1}^{8} P_i \le N$$

სადაც N ჯამური სიმძლავრის სიდიდეა, რომელიც უნდა შევიყვანოთ სისტემაში გათვლილი პერიოდის ბოლომდე.

4. შეზღუდვები ენერგიაზე:

$$\sum_{i=1}^{8} h_i P_i \ge W$$

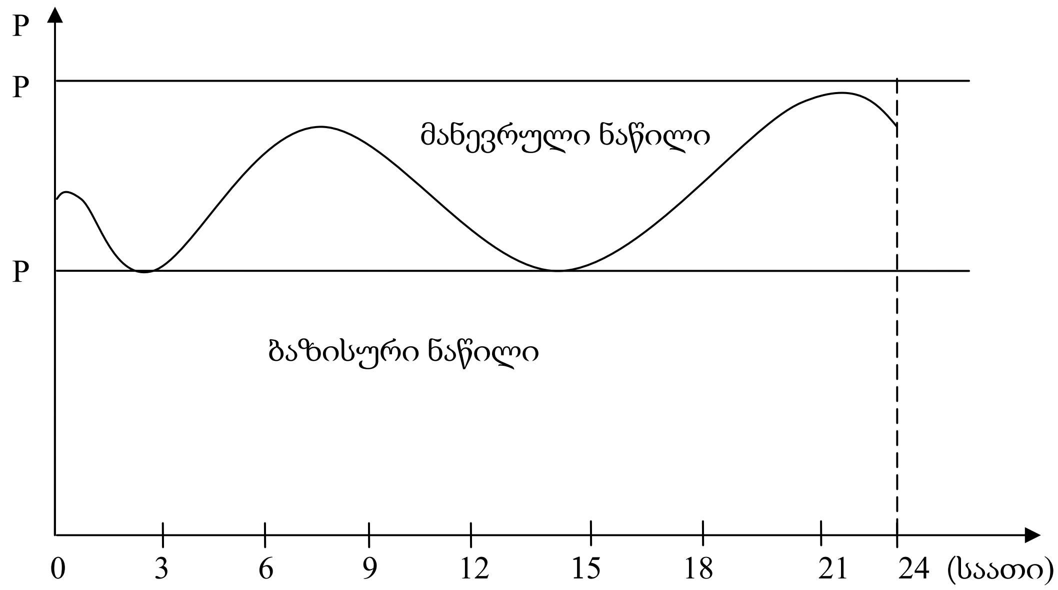
სადაც h_i -საათების საშუალო წლიური რაოდენობაა i -ური ტიპის ელექტროსადგურების სიმძლავრის გამოყენებისას. სიდიდე h_i - განისაღვრება ძირითადად ელექტროსადგურის ტიპზე დამოკიდე-ბულებით. ჰიდროელექტროსადგურებისათვის ის იმყოფება 3000 სთ-ის საზღვრებში. თბოელექტროსადგურებში 6000-დან 7000-მდე და ქარის ელექტროსადგურისათვის დამოკიდებულია ადგილი და მეტეო-

პირობების რელიეფზე. კონკრეტული მონაცემების გათვალისწინებით საქართველოში h_g -ად აღებულია საათების რიცხვი 2500 [27].

W -ენერგიის წლიური გამომუშავებაა, რომელიც უნდა იძლეოდეს გარანტიას საანგარიშო პერიოდის ბოლოს.

5. შეზღუდვები პიკურ სიმძლავრეზე

როგორც ცნობილია დატვირთვის დღეღამურ გრაფიკს აქვს ცვლადი ხასიათი. (ნახ.1.1.).



ნახ.1.1. დატვირთვის დღეღამური გრაფიკი

გრაფიკის მიხედვით, აშკარად გამოიყოფა ორი მაქსიმუმი დილისა და საღამოს პიკი და ორი მინიმუმი _ საღამოსა და შუადღისა. საღამოს პიკი მაღალია დილისაზე და ღამის ვარდნა დაბალია შუადღისაზე. დატვირთვების ნაწილი, ღამის დონეზე დაბალი - ბაზისური ნაწილი, ჩვეულებრივ იფარება ბაზისური ელექტროსადგურებით, მაღალი კი მანევრული ნაწილი _ მანევრული ელექტროსადგურებით. უფრო მაღალ ნაწილს დატვირთის მანევრული ნაწილისა ეწოდება პიკური.

დატვირთვის რომელ ნაწილში, ბაზისურ თუ მანევრულში, უნდა იყოს გამოყენებული რომელიმე კონკრეტული ელსადგური, განისაზღვრება მისი ტიპის შესაბამისად და დამოკიდებულია იმაზე, რამდენად ოპერატიულად და ზედმეტი ხარჯების გარეშე შეიძლება შევცვალოთ მისი მუშაობის რეჟიმი. ამის გათვალისწინებით ყველაზე მობილურად ითვლება ჰიდროელექტროსადგურები წყალსაცავებით. მუშაობის რეჟიმი შეიძლება შეიცვალოს აგრეთვე ჰიდროელექტროსადგურებში წყალსაცავის გარეშე, მაგრამ რადგან მათში არ არის შესაძლებლობა წყლის ჩამონადენის დაგროვებისა, გვიწევს გავუშვათ წყალი ელექტროენერგიის გამომუშავების გარეშე. თბოსადგურებში სიმძლავრის დაწევისას ჩერდება ტურბინები, გრილდება საქვაბე დანადგარები და სხვა. ნორმალურ რეჟიმში დასაბრუნებლად კი გვიწევს ტურბინების დაკარგული სისწრაფის აღდგენა, საქვაბე მოწყობილობების ტემპერატურის აღდგენა. ყველა ეს ღონისძიება იწვევს ორგანული სათბობის გადახარჯვას.

რაც შეეხება ქარის ელექტროსადგურებს, ისინი იძლევიან უგარანტიო ენერგიას, ამიტომ მათ მიერ გამომუშავებული ენერგია ძირითადად გამოიყენება ორგანული სათბობის შენახვის მიზნით და წყლები ჰიდროელექტროსადგურებზე წყალსაცავებით.

ამ მოსაზრებიდან გამომდინარე დატვირთვის პიკური და მანევრული ნაწილის დასაფარავად არჩეულია მეოთხე ტიპი ანუ წყალსაცავიანი ჰიდროელექტროსადგურები:

$$P_4 \geq N_{\Pi}$$

სადაც N_{Π} -პიკური სიმძლავრის სიდიდეა, რომლის დამატებით გარანტიას უნდა იძლეოდეს სისტემა საანგარიშო პერიოდის ბოლოს.

6. შეზღუდვები ეკოლოგიურ ზიანზე წყალსაცავიან ჰიდრო-ელექტროსადგურებში.

$$P_4 \geq N_{э}$$

სადაც $N_э = K * S$, K-საშუალო მნიშვნელობაა წყალსაცავის ზედაპირის ფართობის დამოკიდებულების საქართველოს ჰიდროელექტროსადგურის დადგენილ სიმძლავრესთან.

S-მაქსიმალური ჯამური მნიშვნელობაა წყალსაცავის ზედაპირის ფართობისა, ხარჯების გათვალისწინებით გადასახლებულების საცხოვრებელი პირობების უზრუნველყოფაზე და ზიანისა, მიყენებული სამეურნეო სავარგულების დატბორვისას.

ჩვენ შემთხვევაში $S = 10$ კმ² და $K = 9 * 10^6$ კვტ/კმ²მიიღება $N_э = 1.111 * 10^6$ კვტ=$1.111 * 10^3$ მგვტ.

7. ქარის ელექტროსადურებზე დადგენილი ჯამური სიმძლავრეების შეზღუდვები.

$$P_8 \le N_B$$

ასეთი სახის შეზღუდვა აიხსნება იმით, რომ ასეთი ტიპის ელექტროსადგურები იკავებენ დიდ სივრცეს და ჯერ კიდევ აქვთ მცირე სიმძლავრე. მოდელში მიღებულია $N_B = 0.3 * 10^6$ კვტ [28].

საბოლოოდ მიიღება მათემატიკური მოდელი:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{8} C_i^k P_i \le D_1 \\ \sum_{i=1}^{8} C_i^э P_i \le D_2 \\ \sum_{i=1}^{8} P_i \le N \\ \sum_{i=1}^{8} h_i P_i \ge W \\ \sum_{i=5}^{7} h_i P_i b_i^j \le M_i \\ N_П \le P_4 \le N_э \\ P_8 \le N_B \end{cases}$$

ამ მოდელის საფუძველზე შეიძლება ამოიხსნას შემდეგი სახის ამოცანები კომპიუტერული სისტემა ”MATLAB”-ის საშუალებით.

ელექტრული სიმძლავრეების მაქსიმიზაციის ამოცანა, ელექტრული ენერგიის მაქსიმიზაციის ამოცანა, კაპიტალდაბანდებების მინიმიზაციის ამოცანა, საექსპლუატაციო დანახარჯების მინიმიზაციის ამოცანები.

ელექტრული სიმძლავრის მაქსიმიზაციის ამოცანა. დასმული ამოცანის ამოხსნისას მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა განიხილება, როგორც ჯამი ელექტრონული სიმძლავრეების:

$$\max \to F(P) = \sum_{i=1}^{8} P_i$$

შეზღუდვები ჩაიწერება შემდეგი სახის უტოლობებით:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{8} C_i^k P_i \le D_1 \\ \sum_{i=1}^{8} C_i^э P_i \le D_2 \\ \sum_{i=1}^{8} h_i P_i \ge W \\ N_\Pi \le P_4 \le N_э \\ \sum_{i=5}^{7} h_i P_i b_i^j \le M_j \qquad\qquad j = \overline{1,4} \\ P_8 \le N_B \\ \mathrm{P}_i \ge 0, \;\; i = 1,2,3,5,6,7,8. \end{cases}$$

ამოცანა იძლევა ელექტროსადგურების სიმძლავრეების ჯამის მაქსიმუმს.

ოპტიმიზაციის ფუნქციის არგუმენტებს წარმოადგენს :

$f1$-სამინიმიზაციო ფუნქციონალის კოეფიციენტები.

$f1 = (-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1)$.

$b1 - [D_1, D_2]$ - რიცხვითი მონაცემების ვექტორი.

$$b_1=\begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ -W \\ M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \end{pmatrix}$$

$lb - P$ ვექტორის კომპონენტების შესაბამისი ქვედა საზღვრების ვექტორი

$$lb=\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ N_{П} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$ub - P$ ვექტორის კომპონენტების შესაბამისი ზედა საზღვრების ვექტორი

$$ub_1=\begin{pmatrix} \infty \\ \infty \\ \infty \\ N_{э} \\ \infty \\ \infty \\ \infty \\ N_{э} \end{pmatrix}$$

B - კვადრატული მატრიცა

$$B=\begin{pmatrix} b_5^1 & b_6^1 & b_7^1 & b_8^1 \\ b_5^2 & b_5^2 & b_5^2 & b_8^2 \\ b_5^3 & b_5^3 & b_5^3 & b_8^3 \\ b_5^4 & b_5^4 & b_5^4 & b_8^4 \end{pmatrix}$$

$A1$ - მთელი სისტემის მატრიცაა, შედგენილი მოცემული მონაცემებით, რომელიც შეესაბამება ელექტრული სიმძლავრეების მაქსიმიზაციის ამოცანას.

$$A1 = \begin{pmatrix} C_1^k & C_2^k & C_3^k & C_4^k & C_5^k & C_6^k & C_7^k & C_8^k \\ C_1^э & C_2^э & C_3^э & C_4^э & C_5^э & C_6^э & C_7^э & C_8^э \\ -h_1 & -h_2 & -h_3 & -h_4 & -h_5 & -h_6 & -h_7 & -h_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5 b_5^1 & h_6 b_6^1 & h_7 b_7^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5 b_5^2 & h_6 b_6^2 & h_7 b_7^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5 b_5^3 & h_6 b_6^3 & h_7 b_7^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5 b_5^4 & h_6 b_6^4 & h_7 b_7^4 & 0 \end{pmatrix}$$

P - სიმძლავრის განაწილების ვექტორი.

$$\mathrm{P} = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \\ P_8 \end{pmatrix}$$

F - ფუნქციის ექსტრემალური მნიშვნელობაა

მოცემულ აღნიშვნებში ელექტრული სიმძლავრის მაქსიმიზაციის ამოცანა ღებულობს სახეს:

$$\begin{aligned} &\min \to F(P) = \langle f1, P \rangle \\ &A1P \le b1, \\ &lb < P < ub \end{aligned}$$

ამოცანის პროგრამა და მიღებული შედეგები მოცემულია დანართში.

ელექტროენერგიის მაქსიმიზაციის ამოცანა. დასმული ამოცანის ამოხსნისას მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა განიხილება, როგორც ჯამი ელექტროენერგიის:

$$\max \to F(P) = \sum_{i=1}^{8} h_i P_i$$

შეზღუდვები ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{8} C_i^k P_i \le D_1 \\ \sum_{i=1}^{8} C_i^э P_i \le D_2 \\ \sum_{i=1}^{8} P_i \le N \\ N_{\Pi} \le P_4 \le N_э \\ \sum_{i=5}^{7} h_i P_i b_i^j \le M_i \qquad\qquad j = \overline{1,4} \\ P_8 \le N_B \\ P_1 \ge 0, \ i = 1,2,3,5,6,7,8 \end{cases}$$

ელექტრული ენერგიის მაქსიმიზაციის ამოცანა იძლევა თითოეული ელექტროსადგურის ოპტიმალური მუშაობის განრიგს.

ოპტიმიზაციის ფუნქციის არგუმენტებს წარმოადგენს:

$b2 - [D_1, D_2]$ - რიცხვითი მონაცემების ვექტორი.

$$b_2 = \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ N \\ M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \end{pmatrix}$$

$lb-P$ ვექტორის კომპონენტების შესაბამისი ქვედა საზღვრების ვექტორი

$$lb=\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ N_{\Pi} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$ub-P$ ვექტორის კომპონენტების შესაბამისი ზედა საზღვრების ვექტორი

$f2$ - სამინიმიზაციო ფუნქციონალის კოეფიციენტები.

$f2$ - $(-h_1-h_2-h_3-h_4-h_5-h_6-h_7-h_8)$

B - კვადრატული მატრიცა.

$$B=\begin{pmatrix} b_5^1 & b_6^1 & b_7^1 & b_8^1 \\ b_5^2 & b_5^2 & b_5^2 & b_8^2 \\ b_5^3 & b_5^3 & b_5^3 & b_8^3 \\ b_5^4 & b_5^4 & b_5^4 & b_8^4 \end{pmatrix}$$

$A2$ - მთელი სისტემის მატრიცაა შედგენილი მოცემული მონაცემებით, რომელიც შეესაბამება ელექტრული ენერგიის მაქსიმიზაციის ამოცანას.

$$A2=\begin{pmatrix} C_1^k & C_2^k & C_3^k & C_4^k & C_5^k & C_6^k & C_7^k & C_8^k \\ C_1^э & C_2^э & C_3^э & C_4^э & C_5^э & C_6^э & C_7^э & C_8^э \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5b_5^1 & h_6b_6^1 & h_7b_7^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5b_5^2 & h_6b_6^2 & h_7b_7^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5b_5^3 & h_6b_6^3 & h_7b_7^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5b_5^4 & h_6b_6^4 & h_7b_7^4 & 0 \end{pmatrix}$$

P - ენერგიის განაწილების ვექტორი.

მოცემულ აღნიშვნებში ელექტრენერგიის მაქსიმიზაციის ამოცანა ღებულობს სახეს:

$$\begin{aligned}&\min \to F(P)=\langle f2,P\rangle\\&A2P\le b2,\\&lb\le P\le ub\end{aligned}$$

ამოცანის პროგრამა და მიღებული შედეგები მოცემულია დანართში.

1.2. ორიენტირებული გრაფთა თეორიის გამოყენება

ცნობილია, რომ საქართველოს ენერგოსისტემაში ბაზისური სიმძლავრეები არ არის საკმარისი. საქართველოს არ გააჩნია ორგანული საწვავის რესურსები. თბილსრესი, რომელიც წარმოადგენს ძირითად ბაზისურ სადგურს მუშაობს სხვა რეგიონებიდან შემოტანილ საწვავზე და აირზე. ჰიდროელექტროსადგურების უმრავლესობა არის სეზონური და მათი სიმძლავრე წყალდიდობის პერიოდის შემდეგ მკვეთრად კლებულობს. ახალი ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობას კი სჭირდება ხანგრძლივი პერიოდი და დიდი კაპიტალდაბანდებები. ამიტომ, ბაზისური ენერგიის დაძლევის პრობლემა საქართველოსათვის არის ძალიან აქტუალური.

მათემატიკური მეთოდების გამოყენების გარეშე პრობლემის გადაწყვეტა შეუძლებელია. თუ რა პროპორციით უნდა იყოს გამოყენებული ან აშენებული სხვადასხვა ტიპის ელექტრო სადგურები - ძალიან ერუდირებული და გამოცდილი სპეციალისტიც ვერ მიიღებს ოპტიმალურ გადაწყვეტას.

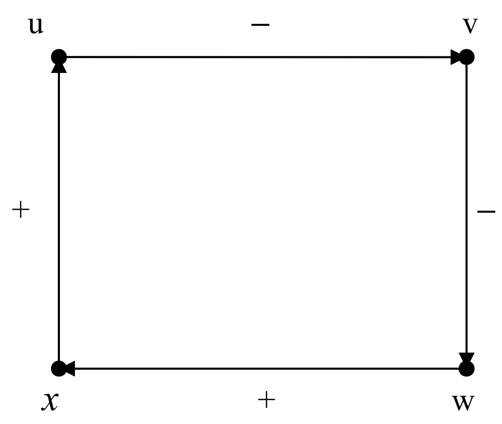
ამიტომ ენერგოსისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის დასადგენად ვიყენებთ მათემატიკურ მოდელს წრფივი პროგრამირების აპარატის

გამოყენებით და თბოსადგურების საუკეთესო შემადგენლობას კი ვირჩევთ ორიენტირებული გრაფების გამოყენებით.

რთული სისტემების კვლევისა და მოდელირების ერთ-ერთ გავრცელებულ ინსტრუმენტს წარმოადგენს გრაფთა თეორია.

გრაფის ქვეშ იგულისხმება ნებისმიერი სისტემა ან სტრუქტურა, რომელიც განიხილება როგორც წრეებისა და მათი შემაერთებელი ხაზების ერთობლიობა. წრეებს ვუწოდებთ გრაფის წვეროებს, ხოლო მიმართულ ხაზებს, რომლებიც წვეროებს აერთიანებენ, გრაფის გვერდებს. მიმართულგვერდებიან გრაფს უწოდებენ ორიენტირებულ გრაფს (ორგრაფს).

ორგრაფში წვეროები შეესაბამება ჯგუფის წევრებს, U-წვეროდან V-წვერომდე ტარდება რკალი, თუ არსებობს გარკვეული დამოკიდებულება U და V-ს შორის, თანაც (U,V) რკალს აქვს ნიშანი პლიუსი თუ U-ს სიმპატია V-ს მიმართ და ნიშანი მინუსი წინააღმდეგ შემთხვევაში. ნახ. 1-ზე მოყვანილია ნიშნიანი ორგრაფის ნიმუში.



ნახ.1.2. ორიენტირებული გრაფი

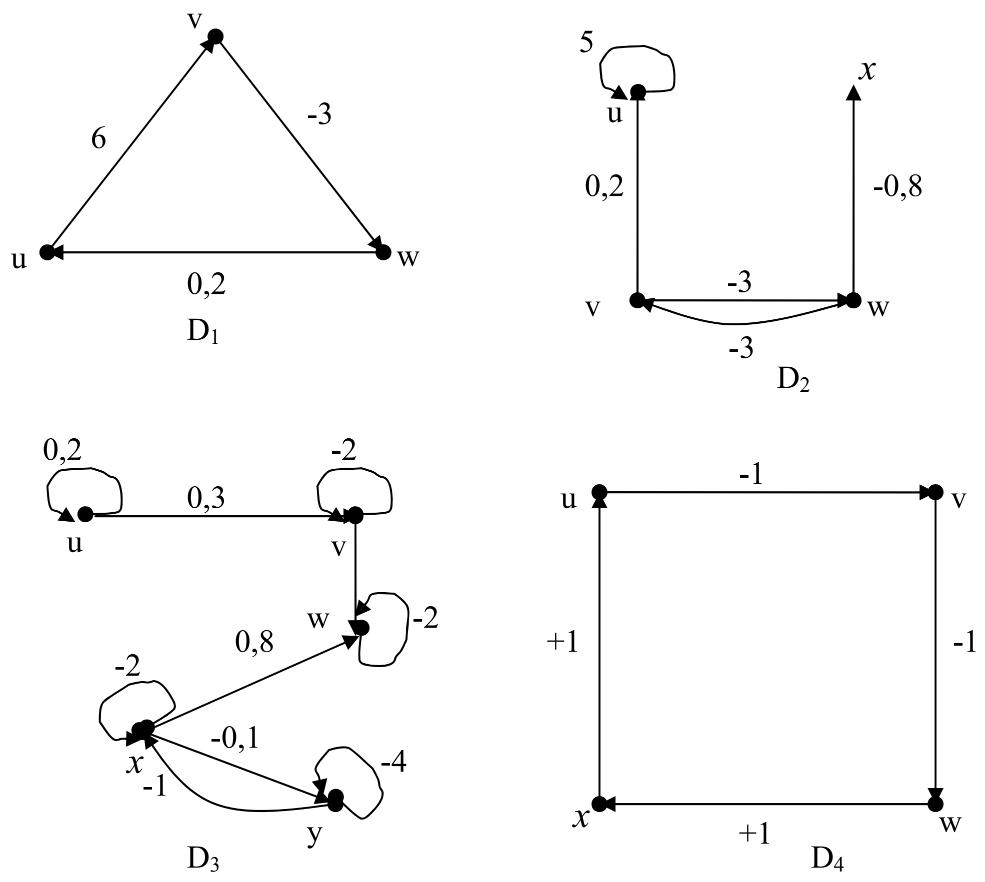
ნიშნიან ორგრაფებს აქვთ მრავალი გამოყენება: წვეროები, რკალები და ნიშნები განიხილება რამდენადმე განსხვავებულ ასპექტში, ვიდრე ეს ხდება ჩვეულებრივად.

ჩვენ ყურადღება გავამახვილოთ "ენერგეტიკული კრიზისის" პრობლემებზე და ვეცადოთ თვალყური ვადევნოთ ნიშნიანი ორგრაფების გამოყენებას ენერგიის მოთხოვნაში მკვეთრი ნახტომების გამოსავლენად, იმისათვის რომ პროგნოზი გაუკეთდეს ენერგიის მომავალ მოხმარებას, გარემოს გაჭუჭყიანების დონის განსაზღვრისათვის სხვადასხვა ენერგიის წყაროების გამოყენების შემთხვევაში და ა.შ. განხილული არის ნიშნიანი გრაფების გამოყენების შესაძლებლობები. ახალი ტექნოლოგიების გამოჩენის ან სოციალური ცვლილებების გავლენის პროგნოზისათვის ენერგიის მოხმარებაზე, ზოგადი პოლიტიკის და გავლენის სტრატეგიის განსაზღვრა ენერგიის გამოყენების ზრდაზე სხვადასხვა ეკოლოგიური შეზღუდვების გათვალისწინებით, რომლებიც დაკავშირებულია ენერგეტიკული რესურსების მზარდ მოთხოვნასთან.

მოდელირების აპარატად განვიხილოთ წონიანი ორგრაფი, ანუ ორგრაფი, რომლის თითოეულ (U,V)–რკალს მიეწერება ნამდვილი რიცხვი ან წონა. W(U,V)–წონა შეიძლება იყოს დადებითი, უარყოფითი ან ნულოვანი. ჩვეულებრივ, როდესაც გამოისახება აწონილი ორგრაფი, ვატარებთ მარტო რკალებს არანულოვანი წონით.

წონიან ორგრაფს, რომელშიც ყველა წონა W(U,V) ღებულობს მთელ მნიშვნელობას უწოდებენ მთელრიცხოვანს. აქედან გამომდინარე ნებისმიერი ორგრაფი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც მთელრიცხოვანი წონიანი ორგრაფი W(U,V)=1 წონებით, თუ (U,V)-ს აქვს ნიშანი პლიუსი და W(U,V)=-1 თუ (U,V)- ს აქვს მინუსი ნიშანი.

ნახ. 1.3-ზე მოყვანილია რამდენიმე წონიანი ორგრაფი.



ნახ. 1.3. აწონილი ორგრაფები

წონები მიწერილია რკალებთან. D_4–არის ნიშნიანი ორგრაფი, ვინაიდან ყველა მისი წონა უდრის 1, ან -1. ცნებების უმრავლესობა, რომლებიც შემოღებულია ორგრაფებისათვის გამოიყენება აგრეთვე ნიშნიანი ანუ წონიანი ორგრაფებისათვის. მაგ, ისეთი ცნებები, რომლებიც დაკავშირებულია მიღწევადობის და შეერთებადობის თვისებებთან, როგორიცაა გზა, მარტივი გზა, კონტური, ნახევარგზა, ნახევარკონტური განისაზღვრება ჩვეულებრივად. ასევე ძლიერი, ცალმხრივი და სუსტი კავშირების ცნება რჩება ისევე. როდესაც ვლაპარაკობთ წონიანი ორგრაფის ქვეგრაფის წონებზე მხედველობაში გვაქვს საწყისი წონიანი ორგრაფის წონები. ნიშნიანი ორგრაფის შემთხვევაში გამოვიყენებთ ახალი ტერმინოლოგიის ნაწილს: გზა, ჩაკეტილი გზა, კონტური და ა.შ. ნიშანი არის ნამრავლი მისი რკალებისა, თუ ნიშანი პლიუსი შეიცვლება +1 და

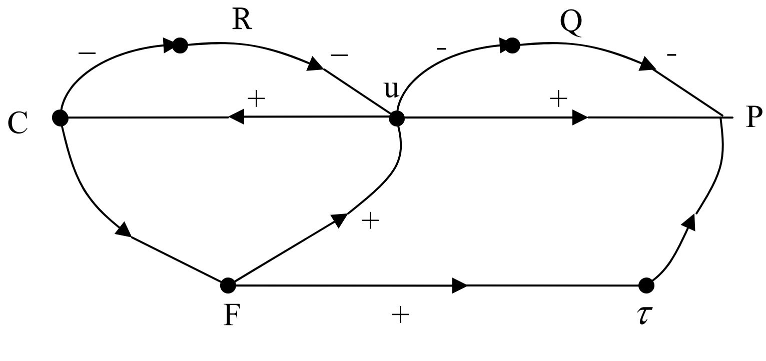
ნიშანი მინუსი შეიცვლება -1. ასეთნაირად გზა, ჩაკეტილი გზა, კონტური და ა.შ. დადებითია თუ ისინი შეიცავენ ან არ შეიცვავენ უარყოფით წიბოების ლუწ რაოდენობას და უარყოფითია წინააღმდეგ შემთხვევაში.

დასაშვებია მარყუჟები, ანუ წიბოები, რომლებიც მიდიან გამოსასვლელ წვეროში. მარყუჟი შეიძლება შედიოდეს გზაში, კონტურში, ნახევარგზაში და ა.შ. მარყუჟი შეიძლება განვიხილოთ კონტური ან ნახევარკონტური სიგრძით 1.

მარყუჟიანი ორგრაფი ძლიერ, ცალმხრივად ან სუსტად შეკრულია მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როდესაც ეს თვისება აქვს შესაბამის ორგრაფს მარყუჟის გარეშე. დასასრულს ავღნიშნავთ, რომ ქვეგრაფები არიან ორგრაფის ძლიერი კომპონენტები და ამიტომ შეიცავენ მარყუჟებს.

განვიხილოთ ნიშნიანი და აწონილი ორგრაფების გამოყენება ისეთი მნიშვნელოვანი პრობლემისათვის, როგორიცაა ენერგეტიკული კრიზისი.

ენერგიის გამო მოთხოვნის ამსახველი ნიშნიანი ორგრაფი მოყვანილია ნახ. 1.4-ზე.



ნახ.1.4. ნიშნიანი ორგრაფი

R -ელექტროენერგიის ღირებულება.

Q -გარემოს მდგომარეობა.

C -ენერგეტიკული სიმძლავრეები.

U -ენერგიის გამოყენება.

P -მოსახლეობა.

F -საწარმოების რაოდენობა.

τ -სამუშაო ადგილების რაოდენობა.

მასში მოყვანილია მხოლოდ მნიშვნელოვანი, უშუალო კავშირები. რკალს (U,Q) აქვს ნიშანი მინუსი იმიტომ, რომ ენერგიის გამოყენების ზრდა სხვა აუცილებელ პირობებში გამოიწვევს გარემოს მდგომარეობის გაუარესებას. რკალი (τ,P) დადებითია ვინაიდან სამუშაო ადგილების რაოდენობის მომატება იწვევს მოსახლეობის რაოდენობის ზრდას. რკალი (C,P) დადებითია, ვინაიდან ენერგეტიკული სიმძლავრეების მომატება იწვევს ამ რაიონში ახალი საწარმოების გამოშვებას. რკალი (U,R) უარყოფითია, ვინაიდან ფასების არსებული სტრუქტურით კილოვატ-საათის ღირებულება ეცემა ელექტროენერგიის გამოყენების ზრდასთან ერთად.

ავღნიშნოთ, რომ კონტური U,Q.P,U წინააღმდეგობას უწევს გადახრას. C,R,U,C და C,F,τ,P,U, C კონტურები აძლიერებენ გადახრას.

ამრიგად ნიშნიანი ორგრაფი საშუალებას იძლევა მოდელში დავაზუსტოთ ჰიპოთეზა ენერგეტიკულ პროცესებზე, რომლებიც გამოთქვეს გარემოს დაცვის სპეციალისტებმა. აქედან გამომდინარეობს, რომ ენერგეტიკული სიმძლავრის უზომო ზრდის შეფერხების ერთ-ერთი ხერხი არის უარყოფითი ”საწყისი უკუცემის’’ შემოღება ზოგიერთ კონტურში, რომლებიც შეიცავენ c -და აძლიერებენ გადახრას [29].

განვიხილოთ ამოცანა, რომელიც მატემატიკურ მოდელზე შესრულებულ ტექნიკო-ეკონომიკურ გაანგარიშების საფუძველზე შესადარებელ ვარიანტებს შორის საუკეთესოს გამოვლენას გულისხმობს. ერთმანეთთან შედარებულია რამდენიმე ვარიანტი:

ცხრილი 1.1

თბოსადგურების ვარიანტების ჩამონათვალი

ვარიანტის N	შესადარებელ ვარიანტთა ნუსხა
	I - რესპუბლიკის გარეთ ნაყიდ სათბობის პირობებში
1	კომბინირებულ სათბობზე მომუშავე თბილსრესის გაფართოება, 600 მვტ ჯამური სიმძლავრის მქონე მე-XII-XIII ენერგობლოკების შეყვანით.
2	კომბინირებულ სათბობზე მომუშავე თბილსრესის მოქმედი I-VIII ენერგობლოკები, ფაქტიურ 550 მვტ ჯამური სიმძლავრით
3	კომბინირებულ სათბობზე მომუშავე თბილსრესის რეკონსტრუირებული V –VIII ენერგობლოკები, ჯამური 455 მვტ სიმძლავრით.
4	კომბინირებულ სათბობზე მომუშავე 500 მვტ ჯამური სიმძლავრის მქონე ორი აირტურბინის მშენებლობა, თბილსრესზე სრული კაპიტალური დაბანდებით.
5	კომბინირებულ სათბობზე მომუშავე I-IV ენერგობლოკების ნაცვლად 500 მვტ ჯამური სიმძლავრის მქონე ორი აირტურბინის შეყვანა თბილსრესზე არასრული კაპიტალური დაბანდებით.
	II - რესპუბლიკის ადგილობრივ სათბობის პირობები
6	ტყიბულიდან სარკინიგზო ცისტერნებით გადატანილ ნახშირის სუსპენზიისაგან დამზადებულ აირზე მომუშავე თბილსრესის გაფართოება, 600 მვტ ჯამური სიმძლავრის მქონე XII-XIII ენერგობლოკების შეყვანით.
7	ტყიბულიდან სარკინიგზო ცისტერნებით გადატანილ ნახშირის სუსპენზიისაგან დამზადებულ აირზე მომუშავე 500 მვტ ჯამური სიმძლავრის მქონე ორი აირტურბინის მშენებლობა თბილსრესზე, სრული კაპიტალური დაბანდებით.
8	ლილოს ნავთობგადამამუშავებელი ქარხნიდან მილსადენით გადატანილ მაზუთზე მომუშავე თბილსრესის გაფართოება, 600 მვტ ჯამური სიმძლავრის მქონე XII-XIII ენერგობლოკების შეყვანით.
9	ტყიბულიდან თვითდინებით გადატანილ ნახშირის სუსპენზიისაგან დამზადებულ აირზე მომუშავე 600 მვტ სიმძლავრის მქონე ქუთაისის თესის მშენებლობა, სრული კაპიტალდაბანდებით.
10	ტყიბულიდან სარკინიგზო ცისტერნებით გადატანილ ნახშირის სუსპენზიისაგან დამზადებულ აირზე მომუშავე I- IV ენერგობლოკების ნაცვლად 500 მვტ სიმძ. მქონე ორი აირტურბინის შეყვანა თბილსრესზე არასრული კაპ. დაბანდებით.

ბაზისური ენერგიის მიღების საუკეთესო ვარიანტის დადგენა განხორციელდა შესადარებელ ვარიანტთა ტექნიკო-ეკონომიკურ იმ მაჩვენებელთა ანალიზის შედეგად, რომელიც მათემატიკურ მოდელზე გაანგარიშებით იქნენ მიღებულნი.

ასეთი ტიპის ენერგეტიკული ამოცანების გადაწყვეტა განხორციელდა მათემატიკურ მოდელზე. მოდელი წარმოადგენს მიმართულ, ორიენტირებულ გრაფთა ერთობლიობას, რომელთა წვეროები დაკავშირებულია ერთმანეთთან პირდაპირი და უკუკავშირებით. ალგორითმის მიხედვით გრაფის შედგენისას უნდა სწორად შეირჩეს მოდელში შესაყვანი ”იმპულსების” და გრაფის წვეროზე ”გადასვლის” k კოეფიციენტები.

”იმპულსების” სახით მოდელში უნდა იყოს შეყვანილი საჭირო ტექნიკო-ეკონომიკურ მაჩვენებელთა სიმძლავრე, ხვედრითი სიმძლავრის ღირებულება, ელექტროენერგიის ტარიფი-საბაზისო და საანგარიშო მონაცემები.

მოდელში ძირითადად ხორციელდება გრაფის წვეროსთან დაკავშირებული სიდიდეების ერთმანეთზე გამრავლების ოპერაცია. ცხადია, თუ k ერთზე მეტი სიდიდისაა, ოპერაციის შესრულების შედეგად გრაფის მომდევნო წვეროსთან დაკავშირებული სიდიდე გაიზრდება წინამდებარე წვეროსთან შედარებით. თუ k კოეფიციენტი ერთზე ნაკლები სიდიდისაა, იგივე ოპერაციის შედეგად მიიღება საწინააღმდეგო შედეგი. როდესაც k კოეფიციენტი ერთის ტოლია, ოპერაციის შედეგად არაფერი არ იცვლება. როდესაც საჭიროა გრაფის რომელიმე ორ წვეროსთან დაკავშირებული სიდიდეები შეჯამდეს საჭიროა შეკრების ოპ1 ოპერაცია შესრულდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში სრულდება გამოკლების ოპ2 ოპერაცია. ორ წვეროსთან დაკავშირებული სიდიდეების ერთმანეთზე გაყოფის შემთხვევაში ოპ4. სრულდება აგრეთვე ერთი სიდიდის მეორე სიდიდის შებრუნებულ სიდიდეზე გამრავლების ოპ3 ოპერაცია.

განვიხილოთ ”გადასვლის” თითოეული k კოეფიციენტი და დავასაბუთოდ მისი სიდიდის დადგენის საფუძვლიანობა შესადარებელ ვარიანტების მიხედვით.

k1-მაქსიმალური სიმძლავრის გამოყენების ხანგრძლივობის გამათვალისწინებელი წლის განმავლობაში ენერგიის წყაროს n სიმძლავრის k1–ზე გამრავლების შედეგად მიიღება გამომუშავებული წლიური Эგამ ელექტროენერგია. ბაზისური ენერგიის წყაროებისათვის საანგარიშო k1 სიდიდედ მიჩნეულია 6000 სთ, ოღონდ იგი აუცილებლად უნდა მოიცავდეს ენერგეტიკის თვალსაზრისით ყველაზე უფრო დაძაბულ გვიან შემოდგომა-ზამთრის პერიოდს. წლის დანარჩენი 2760 სთ ხანგრძლივობის დრო ემთხვევა ძირითად ზაფხულის პერიოდს და განკუთვნილია ენერგეტიკული აგრეგატის გეგმიური გაჩერებისათვის მიმდინარე, ან კაპიტალური რემონტის შესასრულებლად.

k2-კაპიტალურ დაბანდებაში ეკოლოგიური ზარალის გამათვალისწინებელი, ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე აირების მიერ მიყენებული ეკოლოგიური ზარალის დასაშვებ ნორმამდე შემამცირებელი დანადგარის ღირებულება ენერგობლოკის კაპიტალ დაბანდებასთან თანაფარდობაში, როდესაც სათბობად მაზუთია გამოყენებული 15% შეადგენს, ბუნებრივი აირის შემთხვევაში სამჯერ მცირდება, ხოლო კომბინირებული საწვავის ნარევის გამოყენებისა და ზემოთაღნიშნული პროპორციის დაცვის პირობებში ეკოლოგიური ზარალის ამსახველი ღირებულება კაპიტალ დაბანდებაში 8%-ით განისაზღვრება.

k3-მშენებლობის ხანგრძლივობის ვადის გამათვალისწინებელი. ენერგეტიკული ობიექტის ხანგრძლივობის ვადის საანგარიშომდე დაყვანის კოეფიციენტი განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\alpha_t = (1 + E)^t$$

სადაც:

t -მშენებლობის ხანგრძლივობაა.

E-დაყვანის ნორმაა, რომელიც 0,07 ტოლად არის მიჩნეული.

თუ საანგარიშოდ მიჩნეულ იქნა თსე-ის მოქმედ ენერგოაგრეგატს (t=0), ამორტიზებული ენერგობლოკის რეკონსტრუქციისთვის მიიღება t=0,75, გაფართოებისათვის =1,0; ხოლო ახალი თესის მშენებლობისათვის t=5,0. შესაბამისად k3=α_t კოეფიციენტის სიდიდის მნიშვნელობისათვის მიიღება: 1,0; 1,05; 1,07; 1,40. k3–ის გათვალისწინება ეკვივალენტურია კაპიტალდაბანდებების ერთგვარი ზრდის.

k4-კაპიტალურ დაბანდებაში სოციალური ფაქტორის გათვალისწი-ნებელი. მასში იგულისხმება ენერგიის წყაროს ამუშავების შედეგად მიმდებარე რეგიონის მოსახლეობის სოციალურ და კომუნალურ პირობების გაუმჯობესება. ენერგიის წყაროს მოქმედ და რეკონსტრუქციის შემთხვევაში სოციალური ფაქტორი არ გაითვალისწინება.

k5-კაპიტალურ დაბანდებიდან საექსპლუატაციო დანახარჯებში გადამყვანი. საქართველოს პირობებში, ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა საკვლევი სამეცნიერო ინსტიტუტის მონაცემებით, ეს კოეფიციენტი ჰიდროელექტროსადგურებისათვის საშუალოდ 3%-ის ტოლია. დეპარტამენტ ‘‘საქენერგოს’’ მონაცემებით რესპუბლიკის თესების საექსპლუატაციო დანახარჯები, სათბობის ღირებულებისა და სატრანსპორტო დანახარჯების გაუთვალისწინებლად, 2,5-ჯერ სჭარბობს ჰესებისას. ნახშირის სუსპენზიიდან აირის მიღებასთან დაკავშირებით ასეთი თესების საექსპლუატაციო დანახარჯები დამატებით კიდევ 0,5 პროცენტითაა გაზრდილი.

k6-საექსპლუატაციო დანახარჯებში სოციალური ფაქტორის გამათვალისწინებელი. მასში იგულისხმება ენერგიის წყაროს მიმდებარე რეგიონის მოსახლეობის უფასო ელექტროენერგიით მომარაგება, საბავშვო ბაგა-ბაღებში უფასო კვების ორგანიზაცია.

k7-საექსპლუტაციო დანახარჯებში ეკოლოგიური ზარალის გამათვალისწინებელი. მიჩნეულია, რომ თესის მიერ ატმოსფეროში

გამოფრქვეული მავნე აირებით მიყენებული ყოველწლიური ზარალი მაქსიმალურია საწვავად ნახშირის გამოყენებისას, ხოლო უმნიშვნელოა ბუნებრივი აირის გამოყენების შემთხვევაში. ამიტომ ამ უკანასკნელის საწვავად გამოყენებისას საექსპლუატაციო დანახარჯებში ეკოლოგიური ზარალი არ გაითვალისწინება. მაზუთის დაწვისას ყოველწლიური ეკოლოგიური ზარალი განვსაზღვრეთ 5%-ით, რაც შეეხება კომბინირებული სათბობის გამოყენების შემთხვევას, ეკოლოგიური ზარალი 3-ჯერ ნაკლები აღმოჩნდა მაზუთთან შედარებით.

k8-საკუთრივ მოხმარებული ელექტროენერგიის გამათვალისწი-ნებელი. იგი გამოყენებულ სამივე სახის საწვავის პირობებში 5%-ის ტოლად არის მიჩნეული.

k9-ელექტრო დანაკარგების გამათვალისწინებელი. საქართველოს ენერგოსისტემის ქსელის კონფიგურაციისა და სიგრძის გათვალისწინებით მასში ელექტრულმა კარგვებმა დასაშვებ 12%-ს არ უნდა გადააჭარბოს.

k10-სითბოს სატრანსპორტო დანახარჯების გამათვალისწინებელი. თურქმენეთის რესპუბლიკიდან საქართველოსათვის მიწოდებული ბუნებრივი აირის ფაქტორი სატრანსპორტო დანახარჯები შეადგენს სათბობის ღირებულების 50 პროცენტს. რაც შეეხება ადგილობრივ, შაორ-ტყიბულს ნახშირისაგან სუსპენზიის დამზადებას და მის ტრანსპორტირებას, ვეყრდნობით სარკინიგზო ტრანსპორტის დეპარტამენტისა და მეცნიერებათა აკადემიის საწარმოო ძალთა შემსწავლელი კომისიის მონაცემებს და მის დანახარჯებად შესაძლებელია მივიჩნიოთ 8დ/ტ, რაც ნახშირის ღირებულების 30%-ს შეადგენს [30].

1.3. სტოხასტიკური აპროქსიმაციის მეთოდის გამოყენება

ოპტიმიზაციის ამოცანების გადაწყვეტისას და განსაკუთრებით ელექტროსისტემების განვითარებისას უმთავრესია შემთხვევითი ხასიათის საწყისი ინფორმაციის აღრიცხვა. გამოვიყენოთ სტოხასტიკური აპროქსიმაციის მეთოდი ელექტროენერგეტიკული სისტემის განვითარების მოდელზე ამოცანების გადაწყვეტის დროს.

ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტისათვის ალბათობის თეორიის გამოყენება აუცილებელია, რადგან მოდელზე შედეგობის სამართლიანობას განაპირობებს საწყისი ინფორმაციის შესაბამისობა რეალურ მდგომარეობასთან.

საწყისი მონაცემების ოპტიმიზაციის ამოცანა შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით, განვსაზღვროთ:

$$\min N(Z,D) \tag{1.7}$$

შეზღვუდებისას ტოლობის სახით:

$$W(Z,D)=0 \tag{1.8}$$

და უტოლობით:

$$F(Z,D)\le 0 \tag{1.9}$$

სადაც $N(Z,D)$ – მიზნის ფუნქციაა.

Z - ცვლადების N განზომილებიანი ვექტორია.

D - საწყისი მონაცემების ვექტორი.

შემდგომში საწყისი მონაცემების ალბათურ-განმსაზღვრელი ვექტორი ავღნიშნოთ D_w^*, მიზნის ფუნქცია კი $N(Z,D_w)$.

ოპტიმიზაციის ამოცანების ალბათური დასმისას ამონახსნის ამორჩევისათვის გამოიყენება სპეციალური კრიტერიუმები. ხშირად ოპტიმალურ კრიტერიუმად მიიღება მიზნის ფუნქციის მათემატიკური ლოდინი.

ამ შემთხვევაში ოპტიმიზაციის ალბათური ამოცანა დაიყვანება მიზნის ფუნქციის მინიმიზაციამდე შემდეგი სახით:

$$Q(Z) = \underset{D_w}{M}\left[N(Z, D_w)\right] \tag{1.10}$$

სადაც M – მათემატიკური ლოდინის სიმბოლოა. მიზნის ფუნქცია (1.10) აშკარა ფორმით უცნობია. ცნობილია მხოლოდ მისი რეალიზაციები $N(Z, D_w)$, რომელიც დამოკიდებულია Z ვექტორზე და შემთხვევით ვექტორზე D_w.

სტოხასტიკური აპროქსიმაციის მეთოდის გამოყენება ოპტიმიზაციის ამოცანის გადასაწყვეტად შეზღუდვების გარეშე (1.10) ტოლობა დაიყვანება იტერაციულ პროცესამდე [31].

$$Z^{n+1} = Z^n - \delta^{n+1} \times grad_z N(Z^n, D_w^{n+1}) \tag{1.11}$$

სადაც $grad_z N(Z^n, D_w^{n+1})$ – გრადიენტია $(n+1)$ ბიჯზე. $\delta^{n+1} - (n+1)$ – ბიჯის სიდიდეა.

პროცესი (1.11) მისაღებია იმ შემთხვევაში, როდესაც $gradN(Z^n, D_w^{n+1})$ მოცემულია ანალიტიკურად. რეკომენდებულია შემთხვევით შევცვალოთ საწყისი მონაცემები, გრადიენტის ყოველი კომპონენტის გამოთვლისას, ანუ განვსაზღვროთ სტოხასტიკური გრადიენტი გამოსახულებით:

$$grad_z N(Z^n, D_w^{n+1}) = \sum_{j=1}^{N} \frac{N(Z^n + \rho^{n+1}\ell_j, D_w^{n+1}) - N(Z^n, D_w^{n+1})}{\rho^{n+1}} \times \ell_j \tag{1.12}$$

სადაც ρ^{n+1} –საცდელი ბიჯია Z–ზე სტოხასტიკური აპროქსიმაციის $(n+1)$ ბიჯზე.

სიზუსტე ასეთი გამოთვლებისას სტოხასტიკური გრადიენტისა არსებითად დამოკიდებულია შემთხვევითი საწყისი მონაცემების

ვექტორის მერყეობის ხასიათზე D_w^{n+1} მათემატიკური ლოდინის ფარდობითობით [32].

სტოხასტიკური აპროქსიმაციის მეთოდის გამოყენების დროს კრებადობა შეიძლება განისაზღვროს სხვადასხვანაირად. პროცესის კრებადობა საშუალო კვადრატულამდე, თუ თანმიმდევრობა (Z^n) აკმაყოფილებს პირობას:

$$\lim_{x\to\infty} M\left\{\left\|Z^n - \overset{*}{Z}\right\|^2\right\} = 0 \tag{1.13}$$

სადაც $\left\|Z^n - \overset{*}{Z}\right\| - Z^n - \overset{*}{Z}$ ვექტორის ნორმაა.

$\overset{*}{Z}$ - ცვლადების ვექტორების ოპტიმალური მნიშვნელობაა.

სტოხასტიკური აპროქსიმაციის პროცესი დაიყვანება ერთის ალბათობამდე, თუ

$$P\left\{\lim_{x\to\infty}\left\|Z^n - \overset{*}{Z}\right\| = 0\right\} = 1 \tag{1.14}$$

გამოიყენება სტოქასტიკური აპროქსიმაციის კრებადობა მიზნის ფუნქციაზე. მაგალითად სტოხასტიკური აპროქსიმაციის პროცესი დაიყვანება ერთეულ ალბათობაზე, თუ მიზნის ფუნქციის მნიშნელობები $Q(Z^n)$, რომლებიც განისაზღვრება $\left\{Z^n\right\}$ მიმდევრობით, აკმაყოფილებენ პირობას:

$$P\left\{\lim_{x\to\infty}\left[Q(Z^n) - Q(\overset{*}{Z})\right] = 0\right\} = 1 \tag{1.15}$$

სადაც $Q(\overset{*}{Z}) = \min\limits_{Z} Q(Z)$

სტოხასტიკური აპროქსიმაციის პროცესი ქვევით ამოზნექილი ფუნქციისათვის ანალიტიკური გამოსახულებისას $grad_z N(Z, D_w)$

დაიყვანება ერთეულ ალბათობაზე, თუ შესრულებულია შემდეგი პირობები:

$$\delta^n > 0\,,\ \sum_{n=1}^{\infty}\delta^n = \infty\,,\ \sum_{n=1}^{\infty}(\delta^n)^2 < \infty \tag{1.16}$$

$$\underset{D_w}{M}\left\{\left\|grad_z N(Z,D_w)\right\|^2 / Z^1,\ldots,Z^n\right\} \le B < \infty \tag{1.17}$$

(1.17) პირობები განსაზღვრავენ (1.11) ალგორითმის ისეთ არჩევანს, როდესაც Z იცვლება ფუნქციონალი (1.10)-ის შემცირების მიმართულებით. ელექტროქსელის პროექტირების დროს ელქსელს კონფიგურააციის ოპტიმიზაციისას ვარაუდობენ, რომ კაპიტალური დაბანდებებები ერთდროულია, საწარმოო ხარჯები კი მუდმივია დროში. დაპროექტებული ელექტროქსელი წარმოდგენილია მაკავშირებელ გრაფად, რომელიც შეიცავს $R+1$ წვეროებს (კვანძს). მითითებული გრაფი შეიცავს N განშტოებას (ხაზები ან ტრანსფორმატორული ქცესადგურები). ცნობილია აქტიური სიმძლავრეები ყველა ქსელის კვანძისა, ამასთან გენერატორულ სიმძლავრეებს დატვირთულ კვანძებში ენიჭება სხვადასხვა ნიშნები.

ელექტროქსელის ოპტიმალური კონფიგურაციების განსაზღვრის დეტერმინირებული ამოცანა დაიყვანება მინიმიზაციის ფუნქციამდე მოყვანილი ხარჯებისა [33]:

$$I(q,p) = \sum_{s=1}^{N} I(q_S, p) \tag{1.18}$$

შეზღუდვებისას

$$\Pi_i P = P^b \tag{1.19}$$

$$|P| \le P_{\max} \tag{1.20}$$

$$q_{\min} \le q \le q_{\max} \tag{1.21}$$

სადაც $q = [q_s],\ S = 1,\ldots N$ –შტოს მდგომარეობის ვექტორია.

$P = [P_s], \quad S = 1, \ldots, N$ - შტოებში აქტიური სიმძლავრის დინების ვექტორია.

$q_{\min} = [q_{s\min}], \ q_{\max} = [q_{s\max}]$ - შტოებზე ზღვრულად დაშვებული დინების ვექტორია.

$P^b = \left[P_r^b\right], \ r = 1, \ldots, R$ - ზედა და ქვედა ზღვრების შესაძლებელი მდგომარეობის ვექტორები თითოეული შტოს ქსელისათვის.

Π_I - გრაფის წვეროებისა და შტოების ინციდენციის მატრიცაა.

ქსელის კონფიგურაციის ოპტიმიზაციის ამოცანა საწყისი ინფორმაციისას ალბათურ-განმსაზღვრელ ხასიათზე მდგომარეობს შემდეგში. განვსაზღვროთ:

$$\min_{p,q} Q(p,q) = \min_{p,q} \underset{D_w}{M}\left[\sum_{s=1}^{N} N_s(p_s, q_s, D_w)\right] \tag{1.22}$$

$$\underset{D_W}{M}\left(\Pi_i P - P_W^b\right) = 0 \tag{1.23}$$

$$\underset{D_W}{M}\left(|P| - P_{\max}\right) \le 0 \tag{1.24}$$

$$q_{\min} \le q \le q_{\max} \tag{1.25}$$

შემთხვევით ხასიათს D_W–ში შეიძლება ჰქონდეს შემდეგი საწყისი მონაცემები: გენერატორული და სატვირთო კვანძების სიმძლავრეები, ელექტროენერგიის კარგვის ღირებულება, ელექტროენერგიის კარგვების დრო.

ოპტიმალური კონფიგურაციის განსაზღვრის ამოცანა საწყისი ინფორმაციით ალბათურ-განმსაზღვრელი ხასიათისას დაიყვანება ვექტორების პოვნასთან, რომლებიც საშუალოდ იძლევიან ქსელში კარგვის მინიმუმს.

(1.23) შეზღუდვის დეტერმინირებულ სახეზე დაყვანა ანალიტიკურად ძალიან რთულია, რადგან ნაკადის ვექტორი აქტიური სიმძლავრეებისა არა აშკარად დამოკიდებულია ვექტორზე. (1.24)

აღნიშნავს, რომ შესაძლებულია ამ შეზღუდვების დარღვევა ზოგიერთი საწყისი მონაცემების რეალიზაციისას.

ელექტროქსელის განვითარების სქემა, რომელიც მიღებულია (1.24) შეზღუდვის გათვალისწინებით, შეიძლება არ აკმაყოფილებდეს ტექნიკურ მოთხოვნებს გამტარიანობის უნარით უფრო ალბათურ-რეალიზაციებზე D_W საწყისი მონაცემებით, რომლებსაც აქვთ გამოვლინების დიდი შესაძლებლობა.

(1.23) – (1.25) ამოცანების დასმისას მოცემული ნაკლი შეიძლება მოვაცილოთ თუ მოვითხოვთ შეზღუდვების შესრულებას, წინასწარ მოცემული ალბათობით გამშვებ შესაძლებლობებზე ანუ (1.24)-ის ნაცვლად გამოვიყენოთ შეზღუდვები:

$$Q\left(|P| - P_{\max} \leq 0\right) \geq C \tag{1.26}$$

როცა შეზღუდვა $C_s = 1,\ S = 1, \ldots, N$ (1.26) ალბათობით გარდაიქმნება ხისტად ანუ ნებისმიერი შემთხვევითი D_W რეალიზაციისას უნდა დაკმაყოფილდეს შეზღუდვები გამტარიანურობით. (1.26) შეზღუდვა ადვილათ დაიყვანება ჩანაწერთან, რომელიც ანალოგიურია (1.23)-ისა.

გათვლითი ხარჯების ფუნქცია S –თან კავშირში უბან-უბან წრფივია და აქვს პირველი რიგის გახლეჩვები $P_S = 0$ –ისას, ამიტომ ელექტროქსელების კონფიგურაციის ოპტიმიზაციის ამოცანა ალბათურ-განმსაზღვრელი ხასიათისას საწყისი ინფორმაციით წარმოადგენს მრავალექსტრემალურ სტოხასტიკურ არაწრფივ ამოცანას.

სტოხასტიკურ არაწრფივი პროგრამირების ამოცანის გადასაწყვეტად შეიძლება ვისარგებლოთ სტოხასტიკური აპროქსიმაციის მეთოდით [34].

I თავის დასკვნა

1. განხილულია საქართველოს ენერგოსისტემების განვითარების მათემატიკური მოდელები. კერძოდ, აღწერილია წრფივი პროგრამირების, ორიენტირებული გრაფისა და სტოხასტიკური აპროქსიმაციის მოდელები.

მოდელების ეფექტურობის ანალიზის შედეგად უპირატესობა მიენიჭა წრფივი პროგრამირების მოდელს ორიენტირებული გრაფის მოდელთან ერთად, რის საფუძველზე დამუშავებული იქნა ენერგოსისტემის განვითარების ალგორითმები და მისი შესაბამისი პროგრამული რეალიზაცია სისტემა “MATLAB”-ის საშუალებით.

2. მოცემულია მრავალვარიანტული გათვლების შედეგები, რომლებიც მოყვანილია ენერგოსისტემების განვითარებისათვის. ელექტროსადგურების ოპტიმალური შემადგენლობის დადგენის დროს.

3. მოდელზე ენერგოსისტემის განვითარებისათვის ოპტიმალური გადაწყვეტის მიღებისას აუცილებელია საწყისი ინფორმაციის შემთხვევითი ხასიათის გათვალისწინება. ამ ამოცანისათვის ნაჩვენებია სტოხასტიკური აპროქსიმაციის მეთოდის გამოყენების მიზანშეწონილობა.

სტოხასტიკური აპროქსიმაციის მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში მოდელზე გამოყენებული პარამეტრები მიახლოებულია რეალურთან, რაც იძლევა საშუალებას მოდელზე მიღებული შედეგები ჩავთვალოთ სამართლიანად.

II თავი

ენერგოსისტემის სიმძლავრეების ზრდის პროცესის და პროგნოზირების მოდელირება

2.1. ენერგოსისტემის განვითარებისათვის სიმძლავრეების ზრდის პროცესის მოდელირება

არსებული ან გამოყოფილი თანხების ფარგლებში უნდა იყოს შეყვანილი მწყობრში რაც შეიძლება მეტი სიმძლავრეები და მივიღოთ რაც შეიძლება მეტი ენერგია კაპიტალდაბანდებების მინიმიზაციით.

თითოეული დიდი სისტემა შედგება სხვადასხვა ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების მქონე ობიექტებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია ტექნოლოგიური არხებით და ხასიათდებიან პროდუქტის სხვადასხვა შემადგენლობით, რომელთაგან თითოეული შეიძლება იყოს ნედლეული, საბოლოო პროდუქტი ან ორივე ერთად [35,36].

დაუშვათ, სისტემაში ფიგურირებს m სახის პროდუქტი და საანგარიშო პერიოდის ბოლოსათვის გარანტირებული უნდა იყოს i სახის პროდუქტის b_i რაოდენობა. დავუშვათ, სისტემა შედგება n ობიექტისაგან. აღვნიშნოთ P_i-ით $i=1,\dots,n$ i-ური ობიექტის საწარმოო სიმძლავრე. თითოეული i-ური ობიექტისათვის განვსაზღვროთ m განზომილების r_i ვექტორი, რომელიც პრაქტიკულად განსაზღვრავს ობიექტის ტიპს და შეიცავს ინფორმაციას იმის შესახებ, თუ რა კავშირშია თითოეული ობიექტი ამა თუ იმ სახის პროდუქტთან, კერძოდ, $r_{ik} (i=1,\dots n,\ \ k=1,\dots,m)$, არის k-ური პროდუქტის ის რაოდენობა, რომელიც მოიხმარება i-ურ ობიექტზე, მისი ერთეული საწარმოო სიმძლავრის შემთხვევაში. ამრიგად, k-ური ტიპის პროდუქტის ბალანსის უტოლობა ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\sum_{i=1}^{n} r_{ik} x_i \geq b_k \qquad (2.1)$$

სადაც x_i - i-ური ობიექტის ინტენსივობაა, $x_i \le p_i$.

ნებისმიერ მეტნაკლებად მსხვილ ობიექტს გააჩნია რთული სტრუქტურა, მასში მიმდინარეობს რთული ტექნოლოგიური პროცესები, შეიცავს სხვადასხვა აგრეგატებს და ამდენად შეუძლია მუშაობა სხვადასხვა დასაშვებ რეჟიმში. დაუშვათ, i-ურ ობიექტზე დასაშვები მუშაობის რეჟიმების რაოდენობაა I და ამ რეჟიმების არსი გამოისახება ვექტორებით:

$$\mathrm{r}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{s}}, \quad \mathrm{s} = 1, \ldots, \mathrm{I}$$

მაშინ (2.1) უტოლობა მიიღებს სახეს:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} \sum_{s=1}^{t_i} r_{ik}^s X_i^s \ge b_k, \ k = 1, \ldots, m \\ \sum_{s=1}^{t_i} X_i^s \le p_k, \ i = 1, \ldots, n \end{cases} \tag{2.2}$$

ოპტიმალურობის კრიტერიუმი შეიძლება იყოს სისტემის რომელიმე ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებელი, მაგალითად სისტემის რაიმე პროდუქტის ნამატი, დანახარჯები ტრანსპორტზე და სხვ. ხშირ შემთხვევებში ოპტიმალურობის კრიტერიუმად გამოიყენება სისტემის ფუნქციონირებისათვის საჭირო ჯამური საექსლპუატაციო ხარჯები [37].

თუ C_i^s-ით ავღნიშნავთ i-ურ ობიექტზე საექსპლუატაციო ხარჯებს, როდესაც ის მუშაობს S რეჟიმში, მაშინ ოპტიმალურობის კრიტერიუმი მიიღებს სახეს:

$$\min \to F = \sum_{i=1}^{n} \sum_{s=1}^{t_i} C_i^s X_i^s \tag{2.3}$$

თუ (2.2) და (2.3) გამოსახულებებს დავუმატებთ ბუნებრივ პირობას:

$$X_i^s \ge 0 \tag{2.4}$$

მივიღებთ წრფივი პროგრამების ამოცანას, რომლის ანალიზის და ამოხსნის მეთოდები საკმარისად საფუძვლიანად არის გამოკვლეული და არ წარმოადგენს დიდ სირთულეს [38,39,40]. აგებულ (2.3), (2.2), (2.4) მოდელში არ არის მხედველობაში მიღებული დიდი სისტემებისათვის

მახასიათებელის ისეთი თვისებები, როგორიცაა მაგალითად დინამიურობა, კავშირი სხვა სისტემებთან და შიგა კავშირები, სეზონურობა და სხვა. ამ მხრივ (2.3), (2.2), (2.4) მოდელი აღწერს არარეალურ სისტემას, რომელიც არ იღებს არავითარ ნედლეულს, მაგრამ უნდა იძლეოდეს პროდუქტს. ცხადია, რომ ამ პირობებში (2.3), (2.2), (2.4) ამოცანას არ ექნება ამოხსნა.

ვთქვათ, სისტემას შეუძლოია k-ური ტიპის პროდუქტის იმპორტირება C_k^u ფასად და ექსპორტირება V_k^u ფასად და ვთქვათ იმპორტის და ექსპორტის მაქსიმალური რაოდენობა შემოსაზღვრულია U_k და V_k სიდიდეებით შესაბამისად. დაუშვათ, არსებობს კავშირის არხების რაოდენობა, რომელთა საშუალებითაც ხორციელდება იმპორტი და ექსპორტი და მათი გამტარუნარიანობა შეზღუდულია W_q, $q=1,\ldots,Q$. სიდიდეებით შესაბამისად [37,38].

მაშინ (2.2), (2.3), (2.4) ამოცანა სისტემთაშორისი კავშირების გათვალისწინებით მიიღებს სახეს:

$$\min \to -F = \sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{t_i} C_i^s X_i^s - \sum_{k=1}^{m} C_k^u \sum_{q=1}^{Q} U_{kq} + \sum_{k=1}^{m} C_k^u \sum_{q=1}^{Q} V_{kq} \tag{2.5}$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{t_i} r_{ik}^s X_i^s + \sum_{q=1}^{Q} U_{kq} - \sum_{q=1}^{Q} V_{kq} \ge b_k & k=1,\ldots,m \\ \sum_{q=1}^{Q} U_{kq} \le U_k & k=1,\ldots,m \\ \sum_{q=1}^{Q} V_{kq} \le V_k & k=1,\ldots,m \\ \sum_{s=1}^{t_i} X_i^s \le P_k & k=1,\ldots,n \\ \sum_{k=1}^{m}\left(U_{kq}+V_{kq}\right) \le W_q & q=1,\ldots,Q \\ X_i^s,\ U_{kq},\ V_{kq} \ge 0 \end{cases} \tag{2.6}$$

სადაც U_{kq} და V_{kq} არის კავშირის q არხით მიღებული და გაცემული k-ური პროდუქტის რაოდენობა, ხოლო C_k^u და V_k^u საექსპლუატაციო

ხარჯების ერთეული რაოდენობა k-ური პროდუქტის იმპორტზე და ექსპორტზე შესაბამისად.

თუ სისტემაში შექმნილია ისეთი მდგომარეობა, რომ გარდა გარე კავშირებისა აუცილებლად უნდა განვიხილოთ შიგნითა კავშირებიც, მაშინ სისტემას ყოფენ ქვესისტემებად და ნებისმიერი ქვესისტემისათვის იგება მოდელი (2.5), (2.6)-ის შესაბამისად [39,40].

აღვნიშნოთ, X_i^{sn}-ით ინტენსიურობა i-ური ობიექტის n-ური ქვესისტემებისა s-ურ მუშაობის რეჟიმში. U_{kni}^{n}, V_{kni}^{n} - იმპორტისა და ექსპორტის სიდიდეა n და n_i ქვესისტემებს შორის U_k^n და V_k^n არიან იმპორტირებული და ექსპორტირებული პროდუქტის მაქსიმალური მნიშვნელობები, რომლებიც განისაზღვრება ეკონომიკური თვალსაზრისით სისტემაში მთლიანად და მახასიათებლებით ქვესისტემაში.

ზემოთქმულის შესაბამისად (2.5), (2.6) ამოცანები ჩაიწერება შემდეგი სახით:

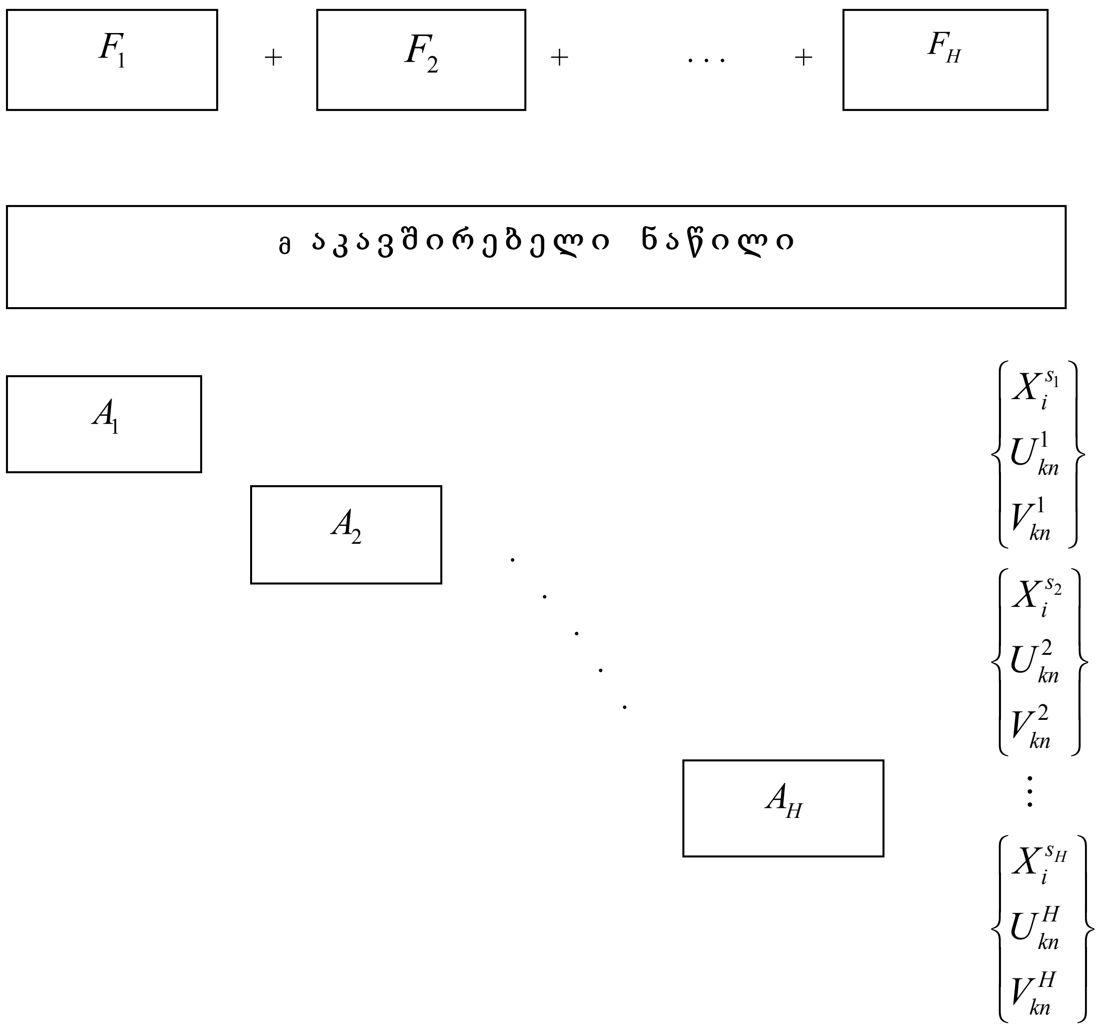
$$\min \to -F^{\bar n} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{t_i} C_i^{s\bar n} X_i^{s\bar n} - \sum_{k=1}^{m} \sum_{\substack{n=1\\ n\neq \bar n}}^{H} C_{\bar n n}^{k} U_{kn}^{\bar n} + \sum_{k=1}^{m} \sum_{\substack{n=1\\ n\neq \bar n}}^{H} C_{\bar n n}^{k} V_{kn}^{\bar n} \qquad (2.7)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{t_i} r_{ik}^{s\bar n} X_i^{s\bar n} + \sum_{\substack{n=1\\ n=\bar n}}^{H} U_{kn}^{\bar n} - \sum_{\substack{n=1\\ n=\bar n}}^{H} V_{kn}^{\bar n} \geq b_k^{\bar n} & k=1,\ldots,m \\ \sum_{\substack{n=1\\ n=\bar n}}^{H} U_{kn}^{\bar n} \leq U_{kn}^{\bar n} & k=1,\ldots,m \\ \sum_{\substack{n=1\\ n=\bar n}}^{H} V_{kn}^{\bar n} \leq V_{k}^{\bar n} & k=1,\ldots,m \\ \sum_{\substack{n=1\\ n=\bar n}}^{H} X_i^{s\bar n} \leq P_i^{\bar n} & i=1,\ldots,m \\ \sum_{k=1}^{m}\left(U_{kn}^{\bar n} + V_{kn}^{\bar n}\right) \leq W_{\bar n n} & n=0,\ldots,H \\ X_i^{s\bar n},\, U_{kn}^{\bar n},\, V_{kn}^{\bar n} \geq 0 & \end{cases} \qquad (2.8)$$

შევნიშნოთ, რომ (2.8) სისტემის პირველი უტოლობის მარცხენა ნაწილის მნიშვნელობა წარმოადგენს თავისთავად k პროდუქტის საბოლოო რაოდენობას. აღვნიშნოთ ეს $B_k^{\bar{n}} \geq b_k^{\bar{n}}$. თუ დავაჯამებთ ამ სიდიდეებს ქვესისტემებად:

$$B_k = \sum_{i=1}^{\bar{n}} B_k^{\bar{n}}$$

მივიღებთ k პროდუქტის რაოდენობას სისტემაში [41]. მიღებული მათემატიკური მოდელი სქემატურად ასე გამოისახება:



ნახ.2.1. სისტემის განვითარების სტრუქტურა

სადაც $A_1, A_2, \ldots, A_H$ ბლოკები შეესაბამება (2.8) უტოლობის სისტემებს ბოლო უტოლობის გარეშე და შედიან მაკავშირებელ ნაწილში [42].

მაკავშირებელ ნაწილში აუცილებლად უნდა არსებობდეს ტოლობა $U_{kn_2}^{n_1} = V_{kn_1}^{n_2}$ ტიპისა, ყველა მნიშვნელობისათვის k, n_1 და n_2-ის.

ახლა შევიყვანოთ დინამიკის ფაქტორი აგებული მათემატიკურ მოდელში [43,44,45]. სისტემის განვითარებაში გულისხმობენ, როგორც წესი, მისი სტრუქტურის შეცვლას, ე.ი. მასში ახალი ობიექტების შეყვანას, არსებული ობიექტების გამსხვილებას, ეკონომიურად არაგამართლებული ობიექტების ლიკვიდაციას და სხვა. ჩაწერის კომფაქტურობის მიზნით, განვიხილოთ ერთი ქვესისტემისაგან შემდგარი სისტემა.

ვთქვათ, საანგარიშო პერიოდი შედგება T დროითი ეტაპისაგან, თითოეული ეპატისათვის მოცემულია სიდიდეები b_k^t - k-ური ტიპის პროდუქტის მოთხოვნილება, საწარმოო სიმძლავრეები - P_i^0 თითოეული i-ური ობიექტისათვის საანგარიშო პერიოდის დასაწყისში, $C_i^{k_1}$-კუთრი კაპიტალდაბანდებები i-ურ ობიოექტზე ერთეული საწარმოო სიმძლავრის აღჭურვაზე და $C_i^{k_2}$-კუთრი კაპიტალდაბანდებები i-ური ობიექტზე ერთეული საწარმოო სიმძლავრის აღჭურვაზე და $C_i^{k_2}$-კუთრი კაპიტალდაბანდებები ერთეული გამტარიანობის მქონე i-ური კავშირის არხის აშენებაზე [47,48].

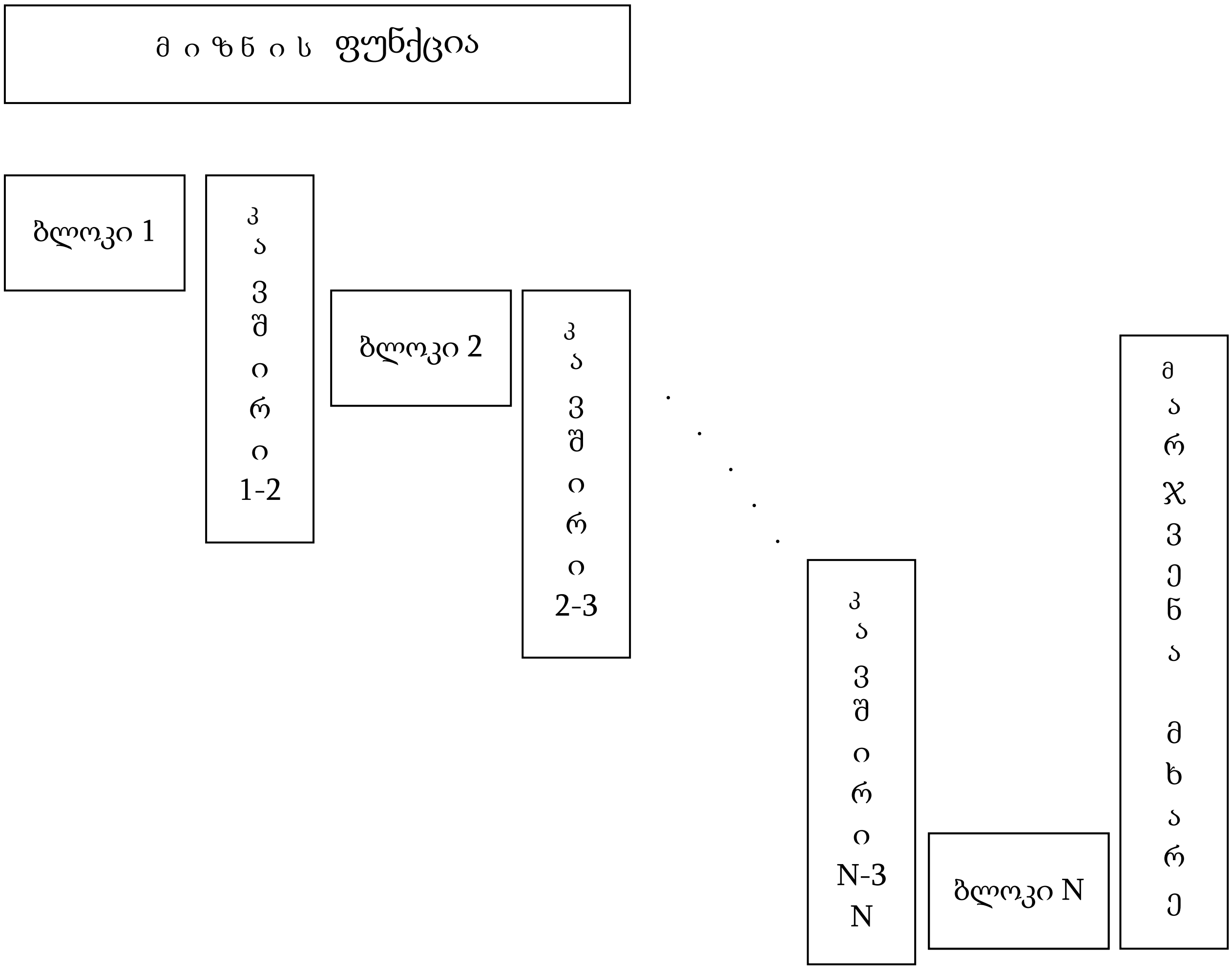
P_i^H და P_i^t-საწარმოო სიმძლავრეა t ეტაპის ბოლოსათვის. ამ აღნიშვნებში t-ური ეტაპის შესაბამის ქვემოდელს ექნება სახე:

$$\min \to -F^{\mathrm{i}} = \sum_{i=1}^{n}\left(C_i^{k_1} X_{in} + \sum_{s=1}^{t_i} C_i^s X_i^s\right) + \sum_{q=1}^{Q}\left(C_q^{k_2} Y_{qn} + \sum_{k=1}^{m}\left(C_k^v V_{kq} - C_k^u U_{kq}\right)\right. \qquad (2.9)$$

$$
\left\{
\begin{array}{lll}
\sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{t_i} r_{ik}^{s} X_i^{s} + \sum_{q=1}^{Q}\left(U_{kq} - V_{kq}\right) \ge b_k^t & k = 1,\dots,m & \\
\sum_{q=1}^{Q} U_{kq} \le U_k^t & k = 1,\dots,m & \\
\sum_{q=1}^{Q} V_{kq} \le V_k^t & k = 1,\dots,m & \\
\sum_{s=1}^{t_i} X_i^s - X_{ic} - X_{in} \le 0 & i = 1,\dots,n & \\
X_{ic} \le P_i^{t-1} & i = 1,\dots,n & q = 1,\dots,Q \\
X_{iH} \le P_i^0 + P_i^H - P^{t-1} & i = 1,\dots,n & \\
X_{iC} + X_{iH} = P_i^t & i = 1,\dots,n & \\
\sum_{q=1}^{Q}\left(U_{kq} + V_{kq}\right) - Y_{qc} - Y_{qH} \le 0 & q = 1,\dots,Q & \\
Y_{qC} \le W_q^{t-1} & q = 1,\dots,Q & \\
Y_{qn} \le W_q^0 + W_q^H - W_q^{t-1} & q = 1,\dots,Q & \\
Y_{qc} + Y_{qH} = W_q^t & q = 1,\dots,Q &
\end{array}
\right.
\tag{2.10}
$$

როგორც ვხედავთ t-ური ქვეამოცანის საწყისი მონაცემებია $b_k^t, U_k^t, V_k^t, P_i^{t-1}, W_i^{t-1}$ პასუხად მიიღება P_i^t და W_i^t სიდიდეები. ვინაიდან b_k^t, U_k^t, V_k^t მოცემულია თითოეული ეტაპისათვის, შეიძლება ამოიხსნას მთელი ამოცანა, როგორც ქვეამოცანათა ჯაჭვი. ამ შემთხვევაში თითოეული ქვეამოცანა რეალურად დაკავშირებულია მხოლოდ წინა და შემდგომ ქვეამოცანებთან, ამასთან თითოეული t-ური ქვეამოცანის შედეგები წარმოადგენენ $(t+1)$ ქვეამოცანის საწყის პირობას [49,50].

ზემოთ მოცემული ამოცანის გადასაწყვეტად არსებობს უნივერსალური პროგრამა სისტემის განვითარების, რომლის მათემატიკურ მოდელს აქვს შემდეგი სახე:



ნახ. 2.2. სისტემის განვითარების სტრუქტურის ბლოკები

მოდელში შეიძლება განიხილებოდეს ფუნქციონირება ახალი ობიექტებისა, ძველების ლიკვიდაცია. მოდელის კომპონენტებზე არანაირი შეზღუდვა არ ვრცელდება, გარდა ერთი ბუნებრივისა, რომ ყველა ქვეამოცანებს ფიქსირებული დამოკიდებული ცვლადებისას უნდა ჰქონდეს საბოლოო ოპტიმალური ამონახსნი.

ეკონომიური სისტემის განვითარების მოდელირებისას ჩვეულებრივ ქვეამოცანების მატრიცები მეტნაკლებად მსგავსია. ხელოვნური ცვლადების დამატების გზით მათ შეიძლება მივცეთ იდენტური სახე. ეს გარემოება აუცილებელი არაა, მაგრამ სასურველია, რადგან ამ შემთხვევაში ანგარიშის მანქანური დრო მცირდება 5-6-ჯერ [51,52].

2.2. ენერგოსისტემის განვითარების მათემატიკური მოდელისათვის მაგენერირებული სიმძლავრეების პროგნოზირება

ენერგოსისტემის განვითარების მოდელზე სხვადასხვა პერიოდებისათვის საჭიროა მოვახდინოთ ჯამური მაგენერირებული სიმძლავრეების პროგნოზირება.

სიმძლავრეების პროგნოზირების ამოცანა უნდა ხორციელდებოდეს წელიწადის დროის (წყალდიდობის, სეზონთაშორისი წყალმციროზისათვის) და კვირის დღის მიხედვით. გამოყენებულ იქნა მრავალი შემთხვევითი პროტოტიპების ხერხი [53].

პროტოტიპების სიახლოვის საზომად მიჩნეულ იქნა მიკუთვნება ერთ-ერთ ტემპერატურულ დიაპაზონს (წლის დროის ფაქტორის გათვალისწინება).

მთელი დროის რიგის დაყოფა ამ თვისებით გვაძლევს დაყოფას ქვესისტემებზე, რომლებსაც უწოდებთ P სიმრავლის დაყოფას P_t ქვესიმრავლეებად.

$$\bigcup_{t=1}^{m} P_t = P \tag{2.11}$$

მეორე ეტაპზე ხორციელდება თვითეული ქვესიმრავლის შიგნით დაყოფა მეორე პარამეტრით - ფაქტორით K (კვირის დღის მიხედვით). შედეგად მივიღებთ ქვესიმრავლეს P_{tk}. გაანგარიშების შედეგად ვიღებთ მატრიცას t,k.

ამოცანა მდგომარეობს ელექტრომომარაგების მაქსიმუმის დადგენაში, რომელსაც ვიყენებთ ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტის დროს.

დღეღამური ელექტრომომარაგების პროგნოზირების დროს ვიღებთ ოთხი წინა დღის მომარაგებას. გამოითვლება ელექტრომომარაგების მოყვანილი მნიშვნელობები.

$$P_i(t_i k_j) = \frac{P_{tk}}{t_i k_j}\left(i = \overline{1,\ldots,4},\ j = \overline{1,\ldots 7}\right) \tag{2.12}$$

რომელთა ჯამი უდრის:

$$P^* = \sum_{i=1}^{4} P_i(t_i k_j) W_i \tag{2.13}$$

სადაც P^*-ელექტრომომარაგების მოყვანილი მნიშვნელობებია, ხოლო $W_i - P^*$-ის წონა. საათების მიხედვით დაყოფა ხდება წინა იგივე ტიპის დღის მიხედვით. მეორე ეტაპზე ხორციელდება დღეღამური გრაფიკის კორექტირება ორი ფაქტორით: წლის დროის მიხედვით და კვირის დღის მიხედვით.

დღეღამური ციკლი დაიყოფა 48 ინტერვალზე ვინაიდან საბაზისო რეალიზაციები მოცემული არის 0,5 სთ-ის სიზუსტით, ვიღებთ Z ტაქტების რაოდენობას 48-ს.

ქვესიმრავლეებზე დაყოფა ფაქტორების მიხედვით გვაძლევს საშუალებას პროცესის ბუნებრივი შემედგენლობის მოსწორების, ხოლო შემთხვევითი შემადგენლობის მოსწორება ხდება ყოველი P_{tk} ქვესისტემის შიგნით შემთხვევითი პროტოტიპების მეთოდით.

ვთქვათ, რომ გვჭირდება პროცესის მაქსიმუმის დადგენა და ეს პროცესი ცნობილია თავის საწყის ნაწილში l საწყისი ტაქტების განმავლობაში, l-ცნობილი კომპონენტების რაოდენობაა.

$$0 < l < 48 \tag{2.14}$$

საანგარიშო დღეღამისათვის ელექტრომომარაგების შემთხვევითი რეალიზაციის ვექტორი შეიძლება იყოს წარმოდგენილი:

$$P^*(l) = (r_1, r_2, \ldots r_e, r_{e+1} \ldots r_{48}) \tag{2.15}$$

საჭიროა $r_{e+1}, r_{e+2}, \ldots r_{48}$ და მისი შესაბამისი პროტოტიპების P_{tk} ვექტორის პროგნოზირება. პროტოტიპების სახით უნდა იყოს

გამოყენებული მოცემული პროცესის კონკრეტული რეალიზაციები წარსულში. ვთქვათ, რომ

$$
\begin{aligned}
&R_1\left(P_1', P_2', \dots, P_i'\right) \\
&R_2\left(P'', P_2'', \dots, P_i''\right) \\
&\dots \\
&R_m\left(P_1^{(m)}, P_2^{(m)}, \dots, P_i^{(m)}\right)
\end{aligned}
\qquad (2.16)
$$

პროცესის ცნობილი რეალიზაციებია, რომლებიც პროგნოზირებული ელექტრომომარაგების პროტოტიპებია.

$P'_{\max}, P''_{\max}, \dots P^{m}_{\max}$ ცნობილი რეალიზაციების მაქსიმუმებია.

რეალიზაციების ცნობილი ქვესიმრავლიდან უნდა ამოვარჩიოთ საანგარიშო პროტოტიპიდან ყველაზე მიახლოებულები.

სიახლოვის შეფასებისათვის ვიყენებთ $\sum_m$ ვექტორ R_i-ს და ქვესიმრავლის P_{tk} ვექტორების სკალარულ ნამრავლს.

მაშინ:

$$
\begin{aligned}
&\sum\nolimits_1 = (R_1 \cdot R_i^*) \\
&\sum\nolimits_2 = (R_2 \cdot R_i^*) \\
&\dots \\
&\sum\nolimits_m = (R_m \cdot R_i^*)
\end{aligned}
\qquad (2.17)
$$

სადაც $\sum_m = (R_m \cdot R_i^*) = R_1^m r_1 + R_2 r_2^n + \dots + R_i^m r_i$

რადგანაც მხედველობაში არ უნდა იყოს მიღებული ნიშანი, ხოლო საჭიროა განსხვავების გათვალისწინება, თითოეულ ნამრავლს ვყოფთ უდიდეს ორდინატის კვადრატზე, რითიც ხორციელდება სკალარული ნამრავლის ფორმირება. თუ ამ დროს ორი ვექტორი ემთხვევა ერთმანეთს, ე.ი. $R_i^* = R_m$ მაშინ სკალარული ნამრავლი უდრის მაქსიმალურ მნიშვნელობას.

$$\sum_m = 1 \tag{2.18}$$

ყველა სკალარული ნამრავლიდან ვირჩევთ სიდიდით ყველაზე დიდებს. ამისათვის შეგვაქვს ზღვარი

$$Q_m (0 \le Q_m \le 1)$$

ასეთნაირად ვირჩევთ პროტოტიპებს, რომლებიც ყველაზე ახლოა პროგნოზირებად ვექტორთან. პროტოტიპების მონაწილეობის წონას განსაზღვრავენ წონითი კოეფიციენტები W_m, რომლებიც შეესაბამება სკალარულ ნამრავლებს, შესაბამისად ისეთს, რომლებიც აჭარბებენ Q_m ზღვარს.

$$\begin{aligned}
&W_1 = \frac{\sum_1}{\sum_1 + \sum_2 + \ldots + \sum_m} \\
&W_2 = \frac{\sum_2}{\sum_1 + \sum_2 + \ldots + \sum_m} \\
&\ldots \\
&W_m = \frac{\sum_m}{\sum_1 + \sum_2 + \ldots + \sum_m}
\end{aligned} \tag{2.19}$$

სკალარული ნამრავლებია, სადაც $\sum_m \le Q_m$ საჭიროა გაუტოლოთ ნულს.

თუ Q_m იმდენად დიდია, რომ არ აღმოჩნდება რეალიზაციები, რომლებიც ახლოა პროგნოზირებად ვექტორთან, მაშინ გათვალისწინებულია Q_m შემცირება ΔQ ბიჯით [54].

$r_{\max}$ პროგნოზირება ხორციელდება $W_1, W_2, \ldots, W_m$ წონითი კოეფიციენტების კრებულით:

$$r_{\max} = W_1 P'_{\max} + W_2 P''_{\max} + \ldots + W_m P^m_{\max}$$

სადაც, $P'_{\max}, P''_{\max} \ldots P^m_{\max}$ - ცნობილი რეალიზაციების მაქსიმუმებია.

2.3. ელექტროენერგეტიკული სისტემების განვითარებისათვის ამოცანების ანალიზი

განხილულია *ЭЭС* მაგენერირებული სიმძლავრების ოპტიმიზაციის სტრუქტურების დეტერმინირებულ წრფივი მოდელები.

ЭЭС განვითარების ოპტიმიზაციისათვის სრული დამუშავებით მიღებულ იქნა წრფივი მოდელები [55]. ქვემოთ განხილულია ერთ-ერთი შესაძლო *ЭЭС* სტრუქტურების ოპტიმალური განვითარების წრფივი მოდელი. აუცილებელი საწყისი მონაცემები შესაძლოა დავყოთ როგორც ტექნიკური და ეკონომიკური. პირველს მიეკუთვნება განზოგადებული კვანძების დატვირთვების განლაგების ადგილი $l = 1,2,\ldots,E$ და სიმძლავრეების P_{lh} მაქსიმალური დატვირთვის პერიოდში.

სიდიდეების მნიშვნელობები მიიღება განვითარების T დროის ყოველ ინტერვალზე $h = 1,2,\ldots,H$.

ხანგრძლივობისათვის ყოველი ინტერვალის t_h წლისათვის გვაქვს $\sum_{h=1}^{H} t_h = T$.

თითოეული მოხმარების პუნქტისათვის ითვლება ცნობილი წლიური მოხმარება $Э_{\mathrm{lh}}$ ენერგიის.

ყოველ ექვივალენტურ კვანძებში შეიძლება განლაგდეს სხვადასხვა ტიპის ელექტროსადგურები $j = 1,2,\ldots,\tau$ მათ მიეკუთვნება კონდენსაციური, ატომური, ჰიდროსადგურები და სხვა. ყოველი ტიპისათვის შესაძლოა განისაზღვროს ზღვრული დასვებული დადგმული სიმძლავრე $P_{eji_{\max}}$.

წრფივი მოდელი რეალიზირდება წრფივი პროგრამირების ერთ-ერთ ალგორითმის დახმარებით. წრფივი პროგრამირების ერთ-ერთ პირობას წარმოადგენს მოთხოვნა ცვლადების არაუარყოფითობის.

ოპტიმალურობის კრიტერიუმად მიღებულია დაყვანილი ხარჯების ფუნქციის მინიმუმი *ЭЭС* აგების და ექსპლუატაციისათვის [56].

საწყისი მონაცემებით დაშვებული მოყვანილი ხარჯები შეიძლება დავწეროთ როგორც ჯამი სამი შემადგენლობის:

$$\partial = \partial_{ЭС} + \partial_{T} + \partial_{Л} \tag{2.20}$$

სადაც

$\partial_{ЭС}$ - ელექტროსადგურების აგებისა და ექსპლუატაციისათვის მოყვანილი ხარჯებია.

∂_{T} - სათბობის მოპოვებისა და ტრანსპორტირებისათვის მოყვანილი ხარჯებია.

$\partial_{Л}$ - გაცვლითი ნაკადის ელექტროენერგიის შექმნისათვის მოყვანილი ხარჯებია.

(2.20)-ის შემადგენელი ფუნქციები განისაზღვრება შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned}\partial_{ЭС} = \sum_{\mathrm{h}=1}^{\mathrm{H}} \Bigg\{ & a_{kh} \sum_{c=1}^{E} \sum_{j=1}^{Г} \sum_{i=1}^{I} K_{eji} \left(P_{ejih} - P_{eji,h-1} \right) + \\ & + a_{ch} \sum_{c=1}^{E} \sum_{j=1}^{Г} \sum_{i=1}^{I} \left(a_{eji} K_{eji} P_{ejih} + C_{eji} P_{ejih} T_{jih} \right) \Bigg\}\end{aligned} \tag{2.21}$$

$$\begin{aligned}\partial_{T} = \sum_{h=1}^{H} \Bigg\{ & a_{kh} \sum_{i=1}^{I} \sum_{e=1}^{E} K_{Tei} \sum_{j=1}^{Г} b_{jih} \left(P_{ejih} - P_{eji,h-1} \right) T_{jih} \\ & + a_{ch} \sum_{i=1}^{I} \sum_{e=1}^{E} C_{Tei} \sum_{j=1}^{Г} b_{jih} P_{ejih} T_{jih} \Bigg\}\end{aligned} \tag{2.22}$$

$$\begin{aligned}\partial_{Л} = \sum_{h=1}^{H} \Big\{ & a_{kh} \sum_{ee'} K_{ee'} \left(P_{ee'h} - P_{ee',h-h} + P_{e'eh} - P_{e'e,h-1} \right) + \\ & + a_{ch} \sum_{ee'} a_{ee'} K_{ee'} \left(P_{ee'h} + P_{e'eh} \right)\end{aligned} \tag{2.23}$$

(2.23) ფუნქციაში $P_{ee'} + P_{e'e}$-ტიპის წევრების არსებობა უზრუნველყოფს გადაწყვეტილების ოპტიმალურ შედეგის მიღებას.

შესაბამისობა (2.21)-(2.23) უფლებას იძლევა გავითვალისწინოთ არსებული ნაწილი, თუ აღვნიშნავთ საწყის მდგომარეობას $h=0$ ინდექსით.

(2.20) ეკონომიკური ფუნქციონალის დახმარებით (2.21)-(2.23) ფორმულები წარმოდგენილია ფარდობითი ცვლადების წრფივ ფორმაში.

(2.20) მინიმიზაცია წარმოიშვება მიდამოში, რომელიც განსაზღვრულია შემდეგი პირობებით:

1. მოთხოვნილი სიმძლავრის პირობების უზრუნველყოფა ექვივალენტურ კვანძებში.

$$\sum_{j=1}^{\Gamma}\sum_{i=1}^{I} P_{ejih}\left(1-a_{CHji}\right)+\sum_{e'} P_{e'eh}-\sum_{e'} P_{ee'h}\le P_{eh} \qquad (2.24)$$
$$h=1,2,\ldots,H; \qquad e=1,2,\ldots,E$$

2. ენერგიის ბალანსის პირობა თითოეული კვანძისათვის:

$$\sum_{j=1}^{\Gamma}\sum_{i=1}^{I} P_{ejih}\left(1-a_{CHji}\right)T_{jih}+\sum_{e'} P_{e'eh}T_{ee'}-\sum_{e'} P_{ee'h}T_{ee'}\le Э_{eh} \qquad (2.25)$$
$$h=1,2,\ldots,H; \qquad e=1,2,\ldots,E$$

3. ელექტროსადგურების ზღვრული სიმძლავრის და ზღვრული ენერგიის პირობა:

$$\mathrm{P}_{ejiH}\le P_{eji_{\max}} \qquad (2.26)$$
$$e=1,2,\ldots; \qquad j=1,2,\ldots; \qquad i=1,2,\ldots;$$

$$P_{ejih}T_{ejih}\le Э_{ejih} \qquad (2.27)$$
$$e=1,2,\ldots; \quad j=1,2,\ldots; \quad i=1,2,\ldots; \quad h=1,2,\ldots,H.$$

4. დადგმული სიმძლავრის ნამატისას შეზღუდვები მოცემული ტიპის ელექტროსადგურებისათვის:

$$\sum_{i=1}^{I}\left(P_{ejih}-P_{eji,h-1}\right)\le \Delta P_{ejh_{ДОП}}Э_{eh} \qquad (2.28)$$
$$e=1,2,\ldots, \quad j=1,2,\ldots; \quad h=1,2,\ldots,H;$$

5. შეზღუდვები ზოგიერთი სახის სათბობის გამოყენებისათვის:

$$\sum_{e=1}^{E}\sum_{i=1}^{\Gamma} P_{ejih}T_{jih} + b_{jih} \le b_{ih_{ДОП}} \qquad (2.29)$$
$$i = 1, 2, \ldots; \quad h = 1, 2, \ldots, H;$$

6. მოთხოვნილი სიმძლავრის უზრუნველყოფის პირობა მაქსიმალური დატვირთვის პერიოდში:

$$\left(1 - a_{рез}\right)\sum_{e=1}^{E}\sum_{i=1}^{\Gamma}\sum_{i=1}^{I} P_{ejih}\left(1 - a_{CHji}\right) \ge P_h$$
$$h = 1, 2, \ldots, H; \;\; P_H = \left(1 + a_{ji}\right)\sum_{e=1}^{E} P_{eh} \qquad (2.30)$$

7. ანალოგიური პირობა შეიძლება დაიწეროს ენერგიისათვის:

$$\left(1 - a_{рез}\right)\sum_{e=1}^{E}\sum_{i=1}^{\Gamma}\sum_{i=1}^{I} P_{ejih}T_{jih}\left(1 - a_{CHji}\right) \ge Э_h$$
$$h = 1, 2, \ldots, H; \;\; Э_H = \left(1 + a_{ji}\right)\sum_{e=1}^{E} Э_{eh}$$

8. შესაძლებელია აღრიცხვა კაპდაბანდებების შეზღუდვებისა, რომლებიც გამოყოფილია ახალი ენერგოობიექტების შეყვანისათვის:

$$\sum_{e=1}^{E}\sum_{j=1}^{\Gamma}\sum_{i=1}^{I} K_{eji}\left(P_{ejih} - P_{eji,h-1}\right) + \sum_{ee'} K_{ee'}(P_{ee'h} - P_{ee',h-1}P_{ee'h} -$$
$$- P_{e'e,a-1}) \le K_{h_{\max}}, \;\; h = 1, 2, \ldots, H. \qquad (2.31)$$

და ბოლოს, აუცილებელია გავითვალისწინოთ არაუარყოფითობის პირობა ნამატისას სიმძლავრეებისათვის:

$$\left.\begin{array}{l} P_{ejih} - P_{eji,h-1} \ge 0 \\ P_{ee'h} - P_{ee',h-1} \ge 0 \end{array}\right\} \qquad (2.32)$$

(2.32) პირობების რაოდენობა რეალური ამოცანებისათვის ძალიან დიდია. ის შეპირისპირებულია დანარჩენი პირობების რიცხვებთან. (2.32)

პირობის ჩანაწერისაგან შეიძლება გათავისუფლება, თუ აბსოლუტური მნიშვნელობების P ენერგიის ადგილას ჩავსვავთ მათ ნამატს ΔP. მაშინ, ვითვალისწინებთ რა ცვლადების არაუარყოფითობას ავტომატურ მოთხოვნას, წრფივი პროგრამირების ამოცანებში შეგვიძლია არ ჩავწეროთ (2.32) პირობა. ცხადია, შეზღუდვებში აუცილებელია ყველა სიმძლავრის გამოსახვა მათი ნამატის საშუალებით [57].

სტრუქტურის ოპტიმიზაციის ამოცანისათვის არსებითი მნიშვნელობა აქვს *ЭЭС* მუშაობის რეჟიმის გათვალისწინებას. ამისათვის გამოიყენება ზონებად დაყოფის ოპტიმიზაციის მეთოდი. თითოეული ზონიდან უნდა იყოს შედგენილი მოცემული სიმძლავრის უზრუნველყოფის პირობები.

$$\left(1-a_{рез}\right)\sum_{jc\{je\}}\sum_{e=1}^{E}\sum_{i=1}^{I}P_{ejih}\left(1-a_{CHji}\right)\geq P_{eh} \qquad (2.33)$$
$$i=1,2,\ldots;\quad h=1,2,\ldots,H.$$

აქ $\{je\}$ - სიმრავლეა სადგურის ტიპების ინდექსირებისა.

ენერგიის ბალანსის პირობას წერენ, როგორც პირობას ენერგიის ბალანსის უზრუნველყოფისა ზონებისათვის.

$$\left(1-a_{резе}\right)\sum_{j\in\{je\}}\sum_{e=1}^{E}\sum_{i=1}^{I}P_{ejlih}T_{jeih}\left(1-a_{CHjli}\right)\geq Э_{eh}, \qquad (2.34)$$
$$i=1,2,\ldots;\quad h=1,2,\ldots,H.$$

ენერგორესურსებით ლიმიტირებული სადგურები, ასევე უნდა იქნენ შესული *ЭЭС* დატვირთვების სადღეღამისო გრაფიკში.

$$\sum_{l}P_{ej\ln}T_{ejh_{СУТ}}\leq Э_{ejh}^{СУТ}, \qquad (2.35)$$

2.21-2.35 მოდელი შეიცავს ყველა სახის კავშირებისა და შეზღუდვების პირობას და მას განიხილავენ როგორც წრფივი პროგრამირების საერთო ამოცანას. სქემატურად რაც ასე ჩაიწერება:

$$F = C_{TP} X \to \min; \qquad (2.36)$$

$$A_1 X = B_1; \qquad (2.37)$$

$$A_2 X = B_2; \qquad (2.38)$$

$$0 \le X \le X_{\max} \qquad (2.39)$$

აქ $C - F$ ფუნქციონალის მინიმიზირებული კოეფიციენტების ვექტორია.

X - ოპტომიზირებული პარამეტრების n - განზომილებიანი ვექტორი

A_1 და A_2 - მატრიცებია კოეფიციენტების კავშირისა და შეზღუდვების პირობებში.

B_1 და B_2 - შესაბამისად m და $(p-m)$ განზომილებიანი არაუარყოფითი ვექტორებია მარჯვენა ნაწილების კავშირისა და შეზღუდვების პირობების (2.37)-(2.38).

$X_{\max}$ - მაქსიმალური დაშვების პარამეტრების მნიშვნელობების ვექტორია.

განვიხილოთ მეთოდიკა საერთო წრფივი პროგრამირების ამოცანის გადწყვეტისა [58].

1. შევიყვანოთ დამატებითი არაუარყოფითი ცვლადები

$$x_{n+i}, \ i = 1, 2, \ldots, \ p - m, \ \ p - m + 1, \ldots, \ n + p - m,$$

დამატებითი ცვლადები არ შედიან გამოსახულებაში მინიმიზირებული ფუნქციონალისათვის, ამიტომ ამოცანის მიღებული სტანდარტული ფორმა მიიღებს სახეს:

$$F = C_{TP} X \to \min \qquad (2.40)$$

$$A X_H = B \qquad (2.41)$$

$$X_H \ge 0 \qquad (2.42)$$

აქ $X = \begin{vmatrix} X \\ X_D \end{vmatrix}$ ვექტორია, რომელიც შედგება საწყისი და დამატებითი ცვლადების ვექტორებისაგან.

$B = \begin{vmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_{\max} \end{vmatrix}$ - ყველა მარჯვენა მხარის კომპონენტების ვექტორია.

2. ვიპოვოთ წრფივი პროგრამირების სტანდარტული ამოცანის საწყისი საბაზისო ამონახსნი. (2.40)-(2.42). ამისათვის ვადგენთ წრფივი პროგრამირების ამოცანას დამხმარე არაუარყოფითი ცვლადების შეყვანის გზით $Z_j,\ j = 1, 2, \ldots, n + p$. მათი რაოდენობა ტოლია სტანდარტული ამოცანების (2.40)-(2.42) ტოლობის შეზღუდვების რიცხვისა.

დამხმარე ამოცანა ფორმულირდება, როგორც ფუნქციის მინიმუმის პოვნის ამოცანა:

$$\Phi = \sum_{j=1}^{n+p} Z_j \to \min \tag{2.43}$$

$$Z + AX_H = B \tag{2.44}$$

$$X \geq 0;\ X_H \geq 0 \tag{2.45}$$

დამხმარე ამოცანის საწყისი საბაზისო გადაწყვეტა შემდეგია:

$$Z = B; \quad X_H = 0$$

დამხმარე ამოცანის გადაწყვეტა შესაძლებელია შესრულდეს სიმპლექს-ალგორითმის საშუალებით.

II თავის დასკვნა

1. ნაჩვენებია, რომ თვით განვითარების პროცესის მოდელირებისათვის მიზანშეწონილია წრფივი პროგნოზირების აპარატის გამოყენება, რომელიც გვაძლევს საშუალებას ანალიზის ჩატარებისა, როგორც ფუნქციონირებადი ობიექტების, ასევე მშენებარის მათი ეკონომიური მაჩვენებლების გათვალისწინებით.

2. ენერგოსისტემის განვითარების მათემატიკური მოდელის მიახლოებისათვის რეალურ პირობებთან საჭიროა მოსალოდნელი ელექტროენერგიის გამომუშავების მაქსიმალური მნიშვნელობების პროგნოზირება, რის საშუალებასაც იძლევა გამოყენებული მეთოდი მრავალი შემთხვევითი პროტოტიპების გამოყენებით.

III თავი

ენერგოსისტემების განვითარების პროცესის ძირითადი კრიტერიუმების ეკონომიკური ეფექტურობის განსაზღვრა

3.1. კაპიტალდაბანდებების ეკონომიკური ეფექტურობის დადგენის ამოცანის გადაწყვეტა

სახალხო მეურნეობის განვითარება ხდება პროდუქციის წარმოების გაზრდისა და სრულყოფის ხარჯზე, როგორც მოქმედ საწარმოებზე მათი რეკონსტრუქციისა და გაფართოების ხარჯზე, ისე ახალი საწარმოების შექმნის გზით. სახალხო მეურნეობის ოპტიმალური განვითარების ეკონომიკური დაგეგმარება მდგომარეობს ისეთი რესურსების გამოყენებისა და პროდუქციის წარმოების გეგმის მოძებნაში, რომელიც საუკეთესოდ დააკმაყოფილებს ოპტიმალურ კრიტერიუმებს.

სახალხო მეურნეობის მთლიანად და ყველა მისი ქვესისტემების ეკონომიკური დაგეგმარების განვითარების თანამედროვე თეორიისა და პრაქტიკის გენერალურ მიმართულებას წარმოადგენს სხავადსხა ფუნქციონალური და ტერიტორიული დონეების იერარქიულად აგებულ და ერთმანეთთან დაკავშირებულ ეკონომიკურ-მათემატიკური მოდელების დამუშავება და გამოყენება.

მიუხედავად განსახილველი მოდელების სისტემების აშკარა ღირებულებებისა დაგეგმარების და პროექტირების პრაქტიკაში ყველგან ჩნდება ამოცანები, რომელთა გადასაწყვეტად ასეთი მოდელები არაა მიღებული. ეს ამოცანები დაკავშირებულია სისტემის სტრუქტურების გამოვლენასთან, მისი ობიექტების და მთი პარამეტრების და ხასიათის კონკრეტული განსაზღვრით და ადრე მიღებული ეფექტური იგივეობის პირობებზე (ე.ი.პ). მოცემული სისტემებისათვის. ეფექტური იგივეობის პირობების ქვეშ განიხილება ერთნაირად ყველა ვარიანტებისათვის წარმოებული პროდუქციის ძირითადი მაჩვენებლების განვითარება:

რაოდენობა, ხარისხი, დრო და ადგილი მისი წარმოებისა. სხვადასხვაგვარად რომ ვთქვათ ამ ამოცანებში მოცემულია ე.ი.პ-ის შედეგი და აქედან გამომდინარე საჭიროა მოიძებნოს რესურსების მინიმალური ხარჯები ე.ი.პ-ის უზრუნველსაყოფად.

სახალხო მეურნეობის დაგეგმარებისას ზოგიერთ $T\{1,2,\ldots t,\ldots,T\}$ გაანგარიშების პერიოდზე საქმე გვაქვს ჯამური კაპიტალდაბანდებების გამოყენებასთან მთელი სახალხო მეურნეობისათვის ყოველი წლისათვის. მათი მნიშვნელობა განისაზღვრება სახალხო მეურნეობის გლობალური მაჩვენებლების პროგნოზიდან და შეიძლება იყოს დაახლოებით მოცემული ფიქსირებული სიდიდის სახით, ყოველ წელზე. მრავალვარიანტულ განვითარებასთან დაკავშირებით კაპიტალდაბანდებები შეიძლება გავანაწილოთ სახალხო მეურნეობის ობიექტებს შორის ბევრი სხვადახვა მეთოდებით. კაპიტალდაბანდების განაწილების საუკეთესო არჩევანს მთლიანად სახალხო მეურნეობისათვის წარმოადგენს, აშკარად ამოცანის გამოყენების მაქსიმალური ეფექტის განსაზღვრაზე მოცემული მათი საერთო სიდიდე. გადავანაწილებთ რა მათ ლოკალურ სისტემებსა და მათ შიგნით სისტემებისა და ობიექტების შესაძლებელი ვარიანტების გამოყენების შესრულების შესაბამისად, შეიძლება მივიღოთ მეტი ან ნაკლები ეკონომიკური ეფექტი.

ხაზს გავუსმევთ, რომ ოპტიმალური კაპიტალდაბანდებების ამორჩევა მოცემული ლოკალური სისტემებისათვის შეიძლება შესრულდეს მთელი სახალხო მეურნეობის კაპიტალდაბანდებების ლიმიტის აუცილებელი აღრიცხვიტ. ეს აუცილებელი პირობა ლოკალური სისტემების განვითარების ოპტიმიზაციისა წარმოადგენს მნიშვნელოვან სიძნელეებს.

ე.ი.პ-ს პროგნოზისას მჟღავნდება ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო გარემოება. ერთი მხრივ, ყოველთვის სასურველია განვსაზღვროთ დიდი გათვლითი პერიოდი, რომ გავითვალისწინოთ სისტემების განვითარების შორეული შედეგები. მეორე მხრივ, რაც მეტია T, მით დაბალია პროგნოზის სიზუსტე უფრო შორეული T წლებისათვის, და ეს აუარესებს ამონახსნის

სიზუსტეს. ამიტომ თანამედროვე დაგეგმარება მიმდინარეობს ამ გარემოებების კომპრომისის გზაზე სრიალა და ადაპტირებული დაგეგმარების მეთოდის დახმარებით. მისი არსი დაიყვანება მრავალჯერად გამეორებაზე დაგეგმარების გათვლებისა ვადების მცირედ გადაწევით. ამასთან, გათვლები სრულდება საკმაოდ დიდი T ვადისათვის ამოხსნა კი ამა თუ იმ პარამეტრების ამორჩევით მიიღება მხოლოდ მისი შედარებით მოკლე საწყისი T_0 ნაწილის-საკმაოდ დამჯერებელი პროგნოზის ვადის, რამდენადაც მთელი T ვადისათვის გადაწყვეტის სიზუსტე აღმოჩნდება არასაკმარისი.

განასხვავებენ ამოცანების და მათი შესაბამისი ვადების ოთხ ძირითად ტიპს: პერსპექტიული დაგეგმარება $\left(T = 20,\ldots,30\text{წ}\right)$ გრძელვადიანი დაგეგმარება $\left(T = 10,\ldots,15\text{წ}\right)$, საშუალოვადიანი დაგეგმარება $\left(T = 5,\ldots,7\text{წ}\right)$, მოკლევადიანი დაგეგმარება და პროექტირება$\left(T = 1,\ldots,2\text{წ}\right)$.

ლოკალური სისტემის ეკონომიკური ოპტიმიზაციის ამოცანა უნდა აკმაყოფილებდეს მის მოთხოვნებს სახალხო მეურნეობის მხრიდან. ამასთან, ლოკალური სისტემების ეკონომიკური კრიტერიუმები დაქვემდე-ბარებულია სახალხო მეურნეობის გლობალურ ეკონომიურ კრიტერიუმებთან. ამიტომ, ისე უნდა ჩამოყალიბდეს გლობალური კრიტერიუმები, რომ შემდეგ შესაძლებელი იყოს მის საფუძველზე ვიპოვოთ ნებისმიერი ლოკალური სისტემის კრიტერიუმი. ასეთი კრიტერიუმიანი ფუნქციის ფორმულირების საკითხი ძალიან რთულია და ახლანდელ დროში ამ საკითხზე არ არსებობს ერთიანი აზრი და არსებობს ბევრი სხვადასხვა და ურთიერთსაწინააღმდეგო მოსაზრებები.

დროის ფაქტორის აღრიცხვა სრულდება შემდეგი სახით: ყველა რესურსი ან ხარჯი, რომელიც ექვემდებარება შეფასებას და შედარებას რთავენ კრიტერიალურ ფუნქციაში თავისი ღირებულებებით მათი ცნობილი მუდმივი ფასებით. შემდეგ ამ ღირებულებებს ამრავლებენ დროის ფაქტორის აღრიცხვის კოეფიციენტზე. ეს კოეფიციენტები მით მეტია, რაც უფრო ადრე გამოიყენება მოცემული რესურსი და რაც უფრო მეტია მისი

წარმოებაში გამოყენების ხანგრძლივობა. შედეგად ყველა რესურსი შეიძლება შევიპირისპიროთ მათი ფაქტიური სარგებლიანობის წარმოებისათვის აღრიცხვით.

ოპტიმიზაციური ამოცანებისათვის კაპიტალდაბანდებების შედარებით ეფექტურობაზე ე.ი. მეორე ტიპის ამოცანებზე ხარჯების მინიმუმის განსაზღვრაზე მოცემული შედეგისას, ჩვეულებრივ გამოიყენება დაყვანილი ხარჯების ფორმულა:

$$\partial = \left(E_i \mathrm{K} + \mathrm{C}\right) \to \min \tag{3.1}$$

სადაც K, C შესაბამისად კაპიტალდაბანდებები და წლიური თვითღირებულებაა პროდუქციის ამა თუ იმ ვარიანტის სტატიკური ობიექტისა [59,60].

თვლიან, რომ K რეალიზდება სრულიად ობიექტის მუშაობის დაწყებამდე, ობიექტი უშვებს მუდმივ მოცემულობას ერთი და იმავე პროდუქციისა მუდმივი წლიური თვითრირებულებით. E_i - ნორმატიული კოეფიციენტია კაპიტალდაბანდებების შედარებითი ეფექტურობისათვის, ერთნაირი ყველა ობიექტისათვის სახალხო მეურნეობის ყველა დარგში.

(3.1) ფორმულა ფუძნდება შემდეგი სახით: დაუშვათ, გვაქვს სტატიკური სისტემა, რომელიც შედგება ცალკეული ერთმანეთთან დაუკავშირებელი ობიექტებისაგან $i = 1, 2, \ldots n$, რომელთაგან თითოეული შეიძლება შევასრულოთ სხვადასხვა კაპიტალდაბანდებებით K_i რამდენიმე ვარიანტის დახმარებით და მათი შესაბამისი წლიური თვითღირებულებებით C_i. რადგან ობიექტები დამოუკიდებლები არიან, ამიტომ C_i თითოეული ობიექტისა დამოკიდებულია K_i-ზე მხოლოდ ამ ობიექტისა.

ამოხსნისას გამოიყენება პირობა, რომ ყველა ობიექტებისათვის

ერთდროულად მოცემულია აუცილებელი რეალიზაციისათვის კაპიტალდაბანდებების ლიმიტი $K_\Sigma = const$ უცვლელი ნებისმიერი ვარიანტებისათვის ობიექტების შესასრულებლად. საჭიროა ამოვირჩიოთ

ისეთი ვარიანტები, რომ ლიმიტი K_Σ იყოს გამოყენებული უფრო ეკონომიურად, რაც აღნიშნავს უმცირეს ჯამურ წლიურ თვითღირებულებას პროდუქციისა მთლიანად მთელი სისტემისათვის. ე.ი. საჭიროა ვიპოვოთ:

$$\sum_{i=1}^{n} C_i \to \min \tag{3.2}$$

კავშირის ტოლობისას

$$\sum_{i=1}^{n} K_i - K_\Sigma = 0, \qquad K_\Sigma = const \tag{3.3}$$

ამ ამოცანის ამოსახსნელად ჩავწეროთ ლაგრანჟის ფორმულა.

$$L = \sum_{i=1}^{n} C_i - \lambda \left(\sum_{i=1}^{n} K_i - K_\Sigma \right) \to \min \tag{3.4}$$

რადგან C_i დამოკიდებულია მხოლოდ K_i-ზე, მივიღებთ თითოეული i-სათვის ცალკე:

$$\frac{\partial L}{\partial K_i} = \frac{dC_i}{dK_i} + \lambda = 0, \quad \forall_i \tag{3.5}$$

აღვნიშნოთ

$$\lambda = E_i = -dC_i / dK_i \tag{3.6}$$

და ჩავსვათ (3.4)-ში და დავაჯგუფოთ შესაბამისი წევრები:

$$L = \sum_{i=1}^{n} \left(E_i K_i - C_i \right) - E_i K_\Sigma \to \min \tag{3.7}$$

გადავაგდოთ $E_i K_\Sigma$ როგორც მუდმივი, რომელიც არ ახდენს გავლენას არჩევანზე K_i და C_i და მაშინ თითოეული i ობიექტისათვის ცალკე მივიღებთ ფორმულას (3.1):

$$\partial = \left(E_i \mathrm{K} + \mathrm{C} \right) \to \min$$

ეს ფორმულა წარმოადგენს ეფექტურობის კრიტერიუმს: ნებისმიერი i ობიექტისათვის ოპტიმალურს წარმოადგენს ვარიანტი, რომელსაც აქვს უმცირესი მნიშვნელობა მოყვანილი ხარჯებისა.

განხილულ მეთოდს აქვს რამდენიმე სუსტი ადგილი. მათ შორის უმთავრესია:

1. ჩნდება კითხვა, რა წარმოადგენს კაპიტალდაბანდებების წლიურ ლიმიტს ფორმულაში K_{Σ} (3.3). თუ ეს ლიმიტი მოცემულია სტატიკური სისტემისა, მაშინ ამოცანის დასმაში არ არის დასაბუთება მისი შესაბამისი ლიმიტის კაპიტალდაბანდებებისა სახალხო მეურნეობაში მოცემულ სისტემასთან. ანუ ამოცანა ფორმულირებულია არაკორექტულად სისტემის ძირითადი მდგომარეობის მიდგომების დარღვევით.
2. როგორც ცნობილია სახალხო მეურნეობის კაპიტალდაბანდებების ფონდი წარმოიქმნება ნაციონალური შემოსავლების ანგარიშზე-დაგროვების ფონდი და რენოვაციული გადარიცხვები მოქმედი ძირითადი ფონდების ღირებულებიდან. ამიტომ, რენივაციული გადარიცხვების გამოყენება თვითღირებულებაში უკვე აღარ შეიძლება და C_i ნაცვლად საჭირო იქნებოდა აგვეღო N_i წარმოების წლიური ხარჯები, რომელიც ნაკლებია C_i რენოვაციული გადარიცხვის სიდიდეზე. თუმცა მცირე N_i მნიშვნელობებით, C_i გამოყენების ცდომილებები N_i-ის ნაცვლად ჩვეულებრივ ნაკლებად მნიშვნელოვანია.
3. ამოცანა (3.2)-(3.3) ჩამოყალიბებულია არა კორექტულად იმ მნიშვნელობით, რომ მასში მონაწილეობენ C_i მხოლოდ ერთი წლისა და ამიტომ არ არის C_i მუდმივობის პირობა გათვლითი პერიოდის ყველა წლებში. ამ პირობის გათვალისწინება შეიძლება (3.2)-ს შეცვლის გზით გამოსახულებით:

$$\sum_{i}\sum_{t} C_{it} b_t \to \min, \quad \forall_i,\ \forall t \qquad (3.8)$$

სადაც b_t-დაყვანის კოეფიციენტია, რომელიც გამოიყენება დროის ფაქტორის აღრიცხვით.

(3.1) ხარჯების დაყვანის ფორმულის გარდა მეთოდებში რეკომენდირებულია ანაზღაურების ვადის ფორმულა:

$$\partial' = \left(K + T_i C\right) \to \min \qquad (3.9)$$

სადაც T_i-კაპიტალდაბანდებების ანაზღაურების ნორმატიული ვადაა.

თვლიან, რომ $T_i = 1/E_i$ და ამიტომ (3.9) და (3.1) იძლევიან იგივეობის შედეგს. ისტორიულად (3.9) გაჩნდა (3.1)-ზე ადრე და ფუძნდება შემდეგი შეწყვილებული ვარიანტების შედარების მეთოდით. თუ გვაქვს ორი ვარიანტი კაპიტალდაბანდებებით $K_1 > K_2$ და წლიური თვითღირებულებებით $C_1 > C_2$. დამატებითი კაპიტალდაბანდებები $\Delta K = K_1 - K_2$ პირველ ვარიანტში შედარებით მეორესთან ნაზღაურდება ვადაში T_{ok} ყოველწლიური ეკონომიკის ხარჯზე ΔC თვითღირებულებით:

$$T_{ok} = \Delta K / \Delta C = \left(K_1 - K_2\right) / \left(C_2 - C_1\right) \qquad (3.10)$$

ან

$$T_{ok} \Delta C = \Delta K \qquad (3.11)$$

რაც ნაკლებია T_{ok} მით მეტი შანსი აქვს პირველ ვარიანტს აღმოჩნდეს ეკონომიურად სასარგებლო.

ამა თუ იმ ვარიანტის სარგებლიანობის კრიტერიუმს წარმოადგენს უტოლობა:

$$T_{ok} \geq T_i \qquad (3.12)$$

სადაც T_i - ანაზღაურების ნორმატიული ვადაა.

თუ $T_{ok} < T_i$ მაშინ უფრო უკეთესია პირველი, მაგრამ თუ $T_{ok} > T_i$, მაშინ მეორე ვარიანტი.

(3.10)-(3.12)-ის საფუძველზე ჩავწეროთ:

$$K_1 + T_i C_1 \geq K_2 + T_i C_2 \tag{3.13}$$

ამ ფორმულის გავრცელებისას ვარიანტების ნებისმიერ რიცხვზე მიიღება ეკონომიკური იპტიმალურობის კრიტერიუმი (3.9):

$$\partial' = \left(K + T_i C\right) \to \min$$

ანუ ეკონომიურ ოპტიმალურ ვარიანტს აქვს უმცირესი მნიშვნელობა ∂' [61].

ობიექტურად დასაბუთებული შეფასებები. საერთო შემთხვევაში ო.დ.შ. ეწოდება კოეფიციენტებს, რომლებიც პროპორციულია თეორიულად ოპტიმალური ფასებისა, გამოყენებული რესურსებისა და მიღებული პროდუქციისა ოპტიმალური გეგმისათვის, ანუ ისინი ობიექტურად დაფუძნებულია ამ გეგმებით. ამის შესაბამისად ვაყალიბებთ შემდეგ ამოცანას: ვიპოვოთ ისეთი რესურსები $Y_{i\tau}$ ყოველი i სახეობისა და ყოველი წლისათვის τ, რომ მათმა რეალიზაციამ უზრუნველყოს ოპტიმალური ნაციონალური შემოსავლების მიღება D_T ყველა t წლისათვის $T\{1,2,\ldots t,\ldots,T\}$ გათვლითი პერიოდისა. ამ ამოცანის მათემატიკური ჩანაწერი ასეთია: ვიპოვოთ რესურსების ფუნქციის მაქსიმუმი:

$$D(Y) \to \max \tag{3.14}$$

თითოეულ რესურსზე შეზღუდვებისას:

$$0 \leq Y_{i\tau} \leq a_{i\tau}, \qquad \forall i, \qquad \tau = 0,1,2,\ldots,T-1 \tag{3.15}$$

სადაც Y-რესურსების ვექტორია, $Y = \{Y_{i\tau}, \forall_i, \forall_\tau\}$ τ-რესურსების შექმნის წლებია, t-რესურსების გამოყენების წლები. $t \geq \tau + 1$, $t = 1,2,\ldots,T$.

t ყველა წლების D_T ნაციონალური შემოსავლების ოპტიმალურობაზე მოსაზრებების შესაბამისად შეიძლება მივიღოთ, რომ

ოპტიმალურობაში მიზნობრივი ფუნქციის $D(Y)$ პირობით მაქსიმუმი ტოლია ნაციონალური შემოსავლების ოპტიმალური ჯამისა მთელი T ვადისათვის:

$$\max D(Y) = \sum_{t=1}^{T} D_T \tag{3.16}$$

(3.14)-(3.16) მოდელებში, ისევე როგორც ყველა დანარჩენ მომდევნო მოდელებში, გამოყენებულია ფართოდ გავრცელებული დაახლოებული უბან-უბან წრფივი აპროქსიმაცია წარმოების პროცესისა ხარჯვების $Y_{i\tau}$ და შედეგის D_T წლიური ინტერვალების მიმდევრობით.

$D(Y)$ ფუნქციის პირობითი მაქსიმუმის განსასაზღვრავად (3.15) შეზღუდვებისას ვიღებთ $D(Y)$ გლუვს და ამოზნექილს, რაც უფლებას გვაძლევს ჩავწეროთ ლაგრანჟის ფუნქცია შემდეგი სახით:

$$L = D(Y) - \sum_{\tau} \sum_{i} \lambda_{i\tau} Y_{i\tau} \tag{3.17}$$

აბსოლუტურ L მაქსიმუმს და ფარდობით $D(Y)$ მაქსიმუმს აქვს შემდეგი სახე:

$$\frac{\partial L}{\partial Y_{i\tau}} = \frac{\partial D(Y)}{\partial DY_{i\tau}} - \lambda_{i\tau} = 0, \quad \forall_i, \quad \forall \tau \tag{3.18}$$

$L_{\max}$-ის დროს გვაქვს $D(Y) = \sum_{t=1} D_T$, ამიტომ (3.18)-ის ნაცვლად ჩაიწერება:

$$\lambda_{i\tau} = \partial \sum_{t=1}^{T} D_T / \partial Y_{i\tau} \tag{3.19}$$

რადგან $Y_{i\tau}$ რეალიზირდება τ და $\tau+1$ წელიწადზე, ამიტომ ის მოქმედებს $D_T^{O\Pi}$-ზე დაწყებული $t = \tau + 1$ წლიდან და ამიტომ

$$\lambda_{i\tau} = \partial \sum_{t=\tau+1}^{T} D_T^{O\Pi} / \partial Y_{i\tau} \tag{3.20}$$

(3.20)-დან ჩანს, რომ $\lambda_{i\tau}$-ს აქვს სხვადასხვა წლების ოპტიმალური ნაციონალური შემოსავლების ნაზარდების ჯამი უდიდესი $Y_{i\tau}$ ერთეულის ზემოქმედების ქვეშ, ამ რესურსების ოპტიმალური რაოდენობით. ამიტომ $\lambda_{i\tau}$ ახასიათებს სარგებლიანობას ან ღირებულებას მოცემული რესურსისა ოპტიმალურობაში. ამიტომ რესურსის ფასი უნდა იყოს პროპორციული $\lambda_{i\tau}$-ს და შესაბამისად $\lambda_{i\tau}$ არის ო.დ.შ. რესურსის შეფასება.

დინამიური სისტემების ეკონომიკური კრიტერიუმი ნორმატიული კოეფიციენტების საფუძველზე. დინამიური სისტემების ეკონომიური განვითარება და ფუნქციონირება გათვლითი ვადის შიგნით $T\{1,2,\ldots t,\ldots,T\}$ უზრუნველყოფილია ცვლადებით დროში წლიური კაპიტალდაბანდებებით K_τ და წარმოების წლიური რესურსების ხარჯებით $I_\Theta, \tau, \Theta = 0,1,2,\ldots,T-1$

E_i ნორმატივის დახმარებით დროის ფაქტორის აღრიცხვის ორი ხერხია ცნობილი: ო.დ.შ. თეორიის გამოყენების მცდელობის საფუძველზე და ეკონომიკური ეფექტურობის პირდაპირი დათვლის საფუძველზე.

პირველ ხერხში გამოიყენება შემდეგი პირობები:

1. ო.დ.შ.-ს დაცემის ტემპი წლიური კაპდაბანდებებისათვის K_t და C_t თვითღირებულებებისათვის ერთნაირია.
2. ო.დ.შ.-ს დაცემის ტემპი ხასიათდება E_i კოეფიციენტით:

$$E_i = \partial D_{t+1} / \partial K_k \tag{3.21}$$

რომელიც ტოლია ოპტიმალური გეგმის წლიური ნაციონალური შემოსავლების მაქსიმალური ნაზრდისა.

E_i სიდიდე დაახლოებით ითვლება მუდმივად ყველა წლებისათვის T ვადაში. ამის შესაბამისად დროის ფაქტორის კოეფიციენტის აღრიცხვა ტოლია $(1+E_i)^{-1}$ და ამიტომ t წლის ხარჯების დასაყვანად $t=0$ წელთან b_t კოეფიციენტის დაყვანას განსაზღვრავენ რთული პროცენტების ფორმულით:

$$b_t = \left(1+E_i\right)^{-t} \tag{3.22}$$

E_i კოეფიციენტი არა მხოლოდ ახასიათებს ობიექტურად დასაბუთებული შეფასებების დაცემის ტემპს, არამედ უზრუნველყოფს მთელი სახალხო მეურნეობის კაპიტალდაბანდებების შეზღუდვების აღრიცხვას. მაშინ მოყვანილი ხარჯები:

$$\partial = \sum_{t=0}^{T}\left(K_t + C_t\right)\left(1+E_i\right)^{-t} \tag{3.23}$$

სადაც ყველა K_t და C_t მოყვანილია $t=0$ წელთან.

მეორე მეთოდი მდგომარეობს შემდეგში:

დაუშვათ, ძირითადი ფონდები, რომლებიც შექმნილია K_0 კაპიტალდაბანდებების ხარჯზე $t=0$ წლისა ფუნქციონირებს $t=1,2,\ldots,T$ წლებში. მაშინ (3.21)-ის შესაბამისად თითოეულმა ერთეულმა მათი ღირებულებისა უნდა მოიტანოს შემოსავალი არა ნაკლებ E_I. საერთო ეფექტი $t=1$ წლისათვის K_0-დან იქნება არა ნაკლებ $\Delta D = E_I K_0$. თვლიან, რომ ΔD_1 იქნება მთლიანად გამოყენებული ახალი კაპიტალდაბანდებების სახით. მაშინ სამართლიანია მტკიცებულება, რომ სახალხო მეურნეობისათვის K_0, $t=0$ წლისათვის ეკვივალენტურია K_1 კაპიტალდაბანდებებისა $t=1$ წლისათვის ზომით:

$$K_1 = \left(1+E_i\right)\mathrm{K}_0 \tag{3.24}$$

$t=2$-სათვის შემოსავალი K_0 ისევ იქნება $\Delta D_2 = \mathcal{E}_i \mathrm{K}_0$. მას ემატება $\Delta D_1 = \mathcal{E}_I \mathrm{K}_0$ ეს დამატებითი "შემოსავალი შემოსავლიდან" $\Delta\Delta D_2 = \mathcal{E}_i^2 \mathrm{K}_0$, მაშინ $t=1,2$ წლებში საერთო შემოსავალი შეადგენს $\left(2E_i + E_i^2\right)K_0$. ამას დავუმატოთ K_0 და მივიღებთ $t=2$ წლის ეკვივალენტურ კაპიტალდბანდებებს:

$$K_2^{\partial}\left(1+E_i\right)^2 K_0$$

ვაგრძელებთ რა ამ სქემას ნებისმიერი t წლისათვის მივიღებთ:

$$K_t \ \left(1+E_i\right)^t K_0$$

K_t - ”მოყვანილი” t წლისათვის K_0 კაპიტალდაბანდებებია $t=0$ წლისა.

შესაბამისად ”მოყვანილი” $t=0$ წლისათვის კაპიტალდაბანდებები K_t.

$$K_t \ = K_t(1+E_i)^{-t} \tag{3.25}$$

შემდგომში დაუმტკიცებლად იღებენ, რომ ეს კოეფიციენტი მიყვანისა საჭიროა გამოვიყენოთ თვითღირებულებისათვისაც.

შესაბამისობის დასამტკიცებლად იყენებენ გადასვლას და უსასრულო დიდ საანგარიშო პერიოდში. ანუ ფორმულაში მიიღებენ $T=\infty,\ K_t=K_0,\ C_t=C=idem,\ \forall t$

მაშინ

$$\partial = K_0 + C\sum_{t=0}^{T=\infty}(1+E_i)^{-t} = K_0 + C/E_i \tag{3.26}$$

დროის ფაქტორის აღრიცხვა დაყვანის ნორმატიული E_h კოეფიციენტის დახმარებით.

რამდენადაც კაპდაბანდებების ეფექტი $\Delta D_1 = E_h K_0$ არის ნაციონალური შემოსავლების ნაწილი, ის საჭიროა წარმოვადგინოთ ისევე როგორც მთელი ნაციონალური შემოსავლები, რომლებიც შედგებიან ორი ნაწილისაგან: დაგროვების $\gamma\Delta D_1$ და მოხმარების $(1-\gamma)\Delta D_1$.

ნაციონალური შემოსავლების ნებისმიერ $[1,t]$ მონაკვეთზე K_0-ის ხარჯზე $\Delta D_{1,t}$ ნაზრდის შედეგად

$$\Delta D_{1,t} = K_0\frac{1}{\gamma}\left[\left(1+\gamma E_i\right)^t - 1)\right] \tag{3.27}$$

დავუმატოთ $\Delta D_{1,t}$ თვითონ კაპდაბანდებებს K_0 და მივიღებთ მათ მნიშვნელობას, რომელიც დაყვანილია t წელთან.

$$K_t = K_0 \frac{1}{\gamma}\left[\left(1+\gamma E_i\right)^t - 1 + \gamma\right] \tag{3.28}$$

საიდანაც დაყვანის კოეფიციენტი t წელთან:

$$B_t' = \frac{1}{\gamma}\left[\left(1+\gamma E_i\right)^t - 1 + \gamma\right] \tag{3.29}$$

დინამიური სისტემებისათვის "მეთოდიკა" თვლის K და C მუდმივების ნაცვლად (3.1)-ში შევიტანოთ K_t და C_t ჯამი სხვადასხვა წლებისათვის, რომელიც დაყვანილია (3.33)-ის საშუალებით რომელიმე ერთი წლისათვის. "მეთოდიკაში" არ არის ფორმულა დინამიური სისტემისათვის, გამომდინარე ამ რეკომენდაციებიდან, მაგრამ ამ შემთხვევაში მას უნდა ჰქონდეს შემდეგი სახე:

$$\partial = \sum_{t=0}^{T}\left(E_i \mathrm{K}_t + C_t\right)\left(1+E_h\right)^{-t} \tag{3.34}$$

შევნიშნოთ, რომ თუ (3.23)-დან ან როცა $T=\infty$ შეიძლებოდა მიგვეღო (3.1), მაშინ (3.34)-დან ეს შეუძლებელია ნებისმიერი T -სათვის.

ენერგეტიკისათვის "ინსტრუქცია" გვთავაზობს სხვა ფორმულას. მასში თვითღირებულებების ნაცვლად გამოიყენება წლიური ხარჯების ნაზრდები $\delta I = I_{\mathrm{t}} - I_{\mathrm{t-1}}$ წარმოებისა. თავისი ზემოქმედებით δI_t საწარმოზე გავს K_t-ს, რადგან თითოეული ასეთი ნაზრდი მოქმედებს საწარმოში მთელი (t,T) მონაკვეთის მანძილზე.

საბოლოოდ გამოყენება ერთნაირი კოეფიციენტისა K_t და ΔI_t დაყვანისათვის აღმოჩნდება მთლიანად გამართლებული. შემოთავაზებული ფორმულა ფორმირდება აგრეთვე (3.1)-ის საფუძველზე და იღებს შემდეგ სახეს:

$$\partial = \sum_{t=0}^{r}\left(E_i \mathrm{K}_t + \delta I_t\right)\left(1+E_h\right)^{-t} \tag{3.36}$$

ამ ფორმულის დანიშნულებაა ე.წ. ნახევრადდინამიური სისტემების ანალიზი, რომლების განვითარებაც შემოიფარგლება r წლით. ანუ ყველა $t = r, r+1, \ldots T$ -სათვის კაპიტალდაბანდებები არ არსებობს და წლიური ხარჯები I_t საწარმოსი ერთნაირია $I_t = idem,\ t \geq r^*$. ამასთან, თვლიან $T = \infty$, რომ ფაქტიურად r (15-20) დიდ ვადებში ჩვეულებრივ იძლევა შეცდომას დაშვებული ცდომილების ფარგლებში. ამიტომ (3.36) ვარგისია დინამიური სისტემებისათვის [62].

3.2. კაპიტალურ დაბანდებათა მინიმიზაციის და საექსპლუატაციო დანახარჯების მინიმიზაციის ამოცანები

კაპიტალურ დაბანდებათა მინიმიზაციის ამოცანა.

ასაშენებელი სადგურებისათვის მოცემული სიმძლავრეების მისაღწევად ამოცანა გვაძლევს საშუალებას დავადგინოთ კაპიტალდაბანდებათა მინიმუმი. მოცემულია მიზნის ფუნქცია და შეზღუდვები:

$$\min \to F(P) = \sum_{i=1}^{8} C_i^k \mathrm{P}_i$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{8} C_i^k P_i \leq D_2 \\ \sum_{i=1}^{8} P_i \leq N \\ \sum_{i=1}^{8} h_i P_i \geq W \\ N_{\Pi} \leq P_4 \leq N_э \\ \sum_{i=5}^{7} h_i P_i b_i^j \leq M_i, \qquad i = 1, 2, 3, 4 \\ P_8 \leq N_э \\ P_i \geq 0, \quad 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 \end{cases}$$

ამოცანის პროგრამა და გადაწყვეტის შედეგები მოცემულია დანართში.

ოპტიმიზაციის ფუნქციის არგუმენტებს წარმოადგენს: b3 - $[\mathrm{D}_1, N-\mathrm{W}\ \ \mathrm{M}_1\ \ \mathrm{M}_2\ \ \mathrm{M}_3\ \ \mathrm{M}_4]$ რიცხვითი მონაცემების ვექტორი

$$\mathrm{b}_3=\begin{pmatrix} \mathrm{D}_1 \\ \mathrm{N} \\ \text{-W} \\ \mathrm{M}_1 \\ \mathrm{M}_2 \\ \mathrm{M}_3 \\ \mathrm{M}_4 \end{pmatrix}$$

$lb-P$ ვექტორის კომპონენტების შესაბამისი ქვედა საზღვრების ვექტორი.

$ub-P$ ვექტორის კომპონენტების შესაბამისი ზედა საზღვრების ვექტორი.

B - კვადრატული მატრიცა.

$$\mathrm{B}=\begin{pmatrix} b_5^1 & b_6^1 & b_7^1 & b_8^1 \\ b_5^2 & b_5^2 & b_5^2 & b_8^2 \\ b_5^3 & b_5^3 & b_5^3 & b_8^3 \\ b_5^4 & b_5^4 & b_5^4 & b_8^4 \end{pmatrix}$$

$f3$ - სამინიმიზაციო ფუნქციონალის კოეფიციენტები

$$f3=\left(C_1^Э C_2^Э C_3^Э C_4^Э C_5^Э C_6^Э C_7^Э C_8^Э\right);$$

$A3$ - მოცემული ამოცანის ძირითადი მატრიცა, რომელიც შეესაბამება კაპიტალდაბანდებას მინიმიზაციას

$$A3=\begin{pmatrix} C_1^k & C_2^k & C_3^k & C_4^k & C_5^k & C_6^k & C_7^k & C_8^k \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -h_1 & -h_2 & -h_3 & -h_4 & -h_5 & -h_6 & -h_7 & -h_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5b_5^1 & h_6b_6^1 & h_7b_7^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5b_5^2 & h_6b_6^2 & h_7b_7^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5b_5^3 & h_6b_6^3 & h_7b_7^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5b_5^4 & h_6b_6^4 & h_7b_7^4 & 0 \end{pmatrix}$$

P - იძლევა კაპიტალდაბანდებათა განაწილების მინიმიზაციას

F - ფუნქციის ექსტრემალური მნიშვნელობა

მოცემულ აღნიშვნებში კაპიტალურ დაბანდებათა მინიმიზაციის ამოცანა ღებულობს სახეს:

$$\begin{aligned} &\min \to F(P) = \langle f3, P\rangle \\ &A3P \le b3, \\ &lb < P < ub \end{aligned}$$

საექსპლუატაციო დანახარჯების მინიმიზაციის ამოცანა.

ამოცანა იძლევა საექსპლუატაციო დანახარჯების განაწილებას, რათა მივიღოთ საექსპლუატაციო ხარჯების მინიმუმი.

მოცემულია მიზნის ფუნქცია და შეზღუდვები

$$\min \to F(P) = \sum_{i=1}^{8} C_i^э \mathrm{P}_i$$

$$\begin{cases} \sum\limits_{i=1}^{8} C_i^э P_i \le D_1 \\ \sum\limits_{i=1}^{8} P_i \le N \\ \sum\limits_{i=1}^{8} h_i P_i \ge W \\ N_\Pi \le P_4 \le N_э \\ \sum\limits_{i=5}^{7} h_i P_i b_i^j \le M_i, \qquad i = 1,2,3,4 \\ P_8 \le N_э \\ P_i \ge 0, \quad 1,2,3,5,6,7,8 \end{cases}$$

ამოცანის პროგრამა და გადაწყვეტის შედეგები მოცემულია დანართში.

ოპტიმიზაციის ფუნქციის არგუმენტებს წარმოადგენს:

$$\text{b4 - } [\mathrm{D}_2 I - \mathrm{W}\ \ \mathrm{M}_1\ \ \mathrm{M}_2\ \ \mathrm{M}_3\ \ \mathrm{M}_4, N_e - N_P]$$

რიცხვითი მონაცემების ვექტორი

$$\mathrm{b}_4 = \begin{pmatrix} \mathrm{D}_2 \\ \mathrm{N} \\ \text{-W} \\ \mathrm{M}_1 \\ \mathrm{M}_2 \\ \mathrm{M}_3 \\ \mathrm{M}_4 \end{pmatrix}$$

$lb - P$ ვექტორის კომპონენტების შესაბამისი ქვედა საზღვრების ვექტორი

$ub - P$ ვექტორის კომპონენტების შესაბამისი ზედა საზღვრების ვექტორი

B კვადრატული მატრიცა

$$\mathrm{B} = \begin{pmatrix} b_5^1 & b_6^1 & b_7^1 & b_8^1 \\ b_5^2 & b_5^2 & b_5^2 & b_8^2 \\ b_5^3 & b_5^3 & b_5^3 & b_8^3 \\ b_5^4 & b_5^4 & b_5^4 & b_8^4 \end{pmatrix}$$

$f4$ - სამინიმიზაციო ფუნქციონალის კოეფიციენტები

$A4$ - მოცემული ამოცანის ძირითადი მატრიცა, რომელიც შეესაბამება საექსპლუატაციო დანახარჯების მინიმიზაციის ამოცანას.

$$A4=\begin{pmatrix} C_1^э & C_2^э & C_3^э & C_4^э & C_5^э & C_6^э & C_7^э & C_8^э \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -h_1 & -h_2 & -h_3 & -h_4 & -h_5 & -h_6 & -h_7 & -h_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5b_5^1 & h_6b_6^1 & h_7b_7^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5b_5^2 & h_6b_6^2 & h_7b_7^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5b_5^3 & h_6b_6^3 & h_7b_7^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5b_5^4 & h_6b_6^4 & h_7b_7^4 & 0 \end{pmatrix}$$

P -იძლევა გაწეული საექსპლუატაციო ხარჯების მინიმიზაციას.

F -ფუნქციის ექსტრემალური მნიშვნელობაა.

მოცემულ აღნიშვნებში საექსპლუატაციო დანახარჯების მინიმიზაციის ამოცანა ღებულობს სახეს:

$$\begin{aligned} &\min \to F(P) = \langle f4, P \rangle \\ &A4P \le b4, \\ &lb < P < ub \end{aligned}$$

პროგრამა და მისი გადაწყვეტის შედეგები მოცემულია დანართში.

III თავის დასკვნა

1. სტატიკური სისტემებისათვის შესრულებულია ეფექტურობის კრიტერიუმებით ანალიზი და ნაჩვენებია, რომ ნებისმიერი ობიექტისათვის ოპტიმალურს წარმოადგენს ვარიანტი, რომელსაც აქვს უმცირესი მნიშვნელობა მოყვანილი ხარჯებისა.
2. ანაზღაურების ვადის საფუძველზე ნაჩვენებია ეკონომიკური ოპტიმალურობის კრიტერიუმის მიღების გზა.
3. ნახევრადდინამიური და დინამიური სისტემებისათვის გარკვეული წლების განვითარების პირობებში გაანალიზებულია ეფექტურობის კრიტერიუმები.

4. ენერგოსისტემისათვის შემუშავდა პროგრამა, რომელიც იძლევა სათანადო ობიექტების აშენებისათვის კაპიტალურ დაბანდებათა ოპტიმალურ განაწილებას.

5. გადაწყვეტილია საექსპლუატაციო დანახარჯების მინიმიზაციის ამოცანა მოცემული ენერგოსისტემის ძირითადი პარამეტრე-ბისათვის სათანადო მატრიცის რეალიზაციით.

IV თავი

მაგენერირებელი სიმძლავრეების სტრუქტურის განვითარება და თანამედროვე მოდელები ელექტრონული სადგურების აშენებისა და განვითარებისთვის

4.1. დინამიური პროგრამების მოდელი ელექტროსადგურების სიმძლავრის გაძლიერების და მათი განვითარებისათვის

ენერგოსისტემის სტრუქტურის ოპტიმიზაციის შემდეგ დგება ამოცანა ელექტროსადგურების ოპტიმალური განვითარებისა, სადაც განისაზღვრება დადგენილი სიმძლავრე, რიგითობა და ვადები ძირითადი მაგენერირებელი მოწყობილობის შეყვანისა. მოცემული ამოცანა არის დინამიური, მრავალპარამეტრული, საჭიროებს ელექტროსადგურების და ელექტროკავშირების აღრიცხვას. ამიტომ მისი გადაჭრისას შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დეკომპოზიციის მეთოდი, რომელიც მდგომარეობს რთული ამოცანის დაყოფაში, მთელ რიგ შედარებით დამოუკიდებელ ამოცანებად. დეკომპოზიციის მეთოდის გამოყენება უფლებას გვაძლევს ამოვხსნათ მაგენერირებელი სიმძლავრეების განვითარების ოპტიმიზაციის ამოცანები. ეს გამოიხატება ელექტროსადგურების სიმძლავრეების შეყვანის ვადების დადგენით.

წრფივი მოდელების გამოყენებას დასმული ამოცანის გადასაჭრელად აქვს არსებითი ნაკლი, რომელმაც შეიძლება მიგვიყვანოს არასწორ ამოხსნამდე. მათ შორის მთავარს წარმოადგენს პრაქტიკული შეუძლებლობა წრფივი მოდელების ჩარჩოებში არაწრფივობის და დისკრეტულობის გათვალისწინების ძირითადი დახასიათებისათვის _ ხარჯებისა ელექტროსადგურის აშენებისათვის.

უფრო ზუსტია დინამიური პროგრამების მოდელი [63]. ეს მოდელი ეყრდნობა ოპტიმალურობის პრინციპს, რომელიც ასე ფორმულირებს: ოპტიმალურ სტრატეგიას იმ მიმდევრობასთან, რომელიც წარმოიქმნა საწყისი ამონახსნის შედეგად.

დინამიური პროგრამირების მეთოდი წარმატებით გამოიყენება ადიტიური ფუნქციების ოპტიმიზაციისათვის, რომელიც წარმოდგენილია ოპტიმიზირებული პარამეტრების ფუნქციების ჯამის სახით. მაგალითად, საჭიროა განვსაზღვროთ ოპტიმალური სტრატეგია მაგენერირებელი სიმძლავრეების P_i შესაყვანად j სისტემის ელექტროსადგურებზე $(j = 1, 2, ..., J)$ ვთქვათ, ოპტიმალურობის კრიტერიუმს წარმოადგენს მოყვანილი ხარჯების მინიმუმი მოცემული დადგენილი სიმძლავრის ჯამური შეყვანისა ყველა სადგურში. მაშინ მათემატიკური ამოცანა ფორმულირდება ასე, ვიპოვოთ ფუნქციის მინიმუმი:

$$\min \partial(P_1, P_2, ...P_j, ..., P_\tau) \qquad (4.1).$$

კავშირის პირობის შესრულებისას.

$$\sum_{j=1}^{J} P_j = P_{\Sigma\max} \qquad (4.2).$$

ოპტიმალურობის თვალსაზრისით ზოგიერთი მნიშვნელობა შეიძლება აღმოჩნდეს ნულის ტოლი, რაც ნიშნავს ელსადგურის მშენებლობის არამიზნობრიობას შესაბამის პუნქტებში (4.1) ფუნქციის ადიტიურობა ნიშნავს მისი ჩანაწერის შემდეგი სახით შესაძლებლობას:

$$\partial(P_1, P_2, ...P_\tau) = \sum_{j=1}^{\tau} g_j(P_j). \qquad (4.3).$$

აქ $g_j(P_i)$ - მოყვანილი ხარჯებია ელსადგურების აღმართვასა და ექსპლუატაციაზე ელექტროსადგურებში.

ერთ-ერთი უმთავრესი იდეა დინამიკური პროგრამირების არის ერთჯერადი ოპტიმიზაციის ფუნქციის შეცვლა მრავალი ცვლადების

მრავალჯერადი ოპტიმიზაციის ერთი ცვლადის ფუნქციით. მოცემულ მაგალითში ეს ნიშნავს, ერთჯერადი ფუნქციის (4.1) ოპტიმიზაციის შეცვლას მრავალჯერადი $g_j(P_i)$ ფუნქციის ოპტიმიზაციისა ერთი ცვლადით. ამ იდეის განხორციელებისათვის გვჭირდება ადიტურობა (4.1) ფუნქციისა.

ოპტიმიზაციის პროცესი იშლება ნაბიჯებად, შესაბამისი მნიშვნელობებით დამოუკიდებლად j პარამეტრებისა. ჩვენ შემთხვევაში ეს პარამეტრი იღებს დისკრეტულ მთელრიცხვიან მნიშვნელობებს $j=1,2,...,J$. მოცემულ ამოცანაში დადგენილმა სიმძლავრეებმა ელსადგურების, აგრეთვე შეიძლება მიიღონ მხოლოდ დისკრეტული P_j მნიშვნელობა.

დინამიური პროგრამირების მეთოდის გასაადვილებლად განვიხილოთ გამარტივებული რიცხვული მაგალითები ელსადგურების განვითარების და მისი სიმძლავრეების განსაზღვრისათვის.

ვთქვათ, აუცილებელია განვსაზღვროთ სასარგებლო სიმძლავრე ახალ ელექტროსადგურებში, რომლებიც შეიძლება აღიმართონ ოთხ პუნქტში $j=1,2,3,4$ და დავაყენოთ ჯამური მაგენერირებელი სიმძლავრე $P_{\Sigma\max}=\sum_{j=1}^{4}P_j=4_{Sed.erT.}$ ამასთან თითოეული ელსადგურის სიმძლავრე შეზღუდულია ზემოდან:

$$P_j \le 4, \qquad j=1,...,4.$$

ოპტიმალურობის კრიტერიუმად ავირჩიოთ მოყვანილი ხარჯების მინიმუმი ელსადგურების აღმართვისა და ექსპლუატაციისას:

$$\min \partial = \min \sum_{j=1}^{4} g_j(P_j)$$

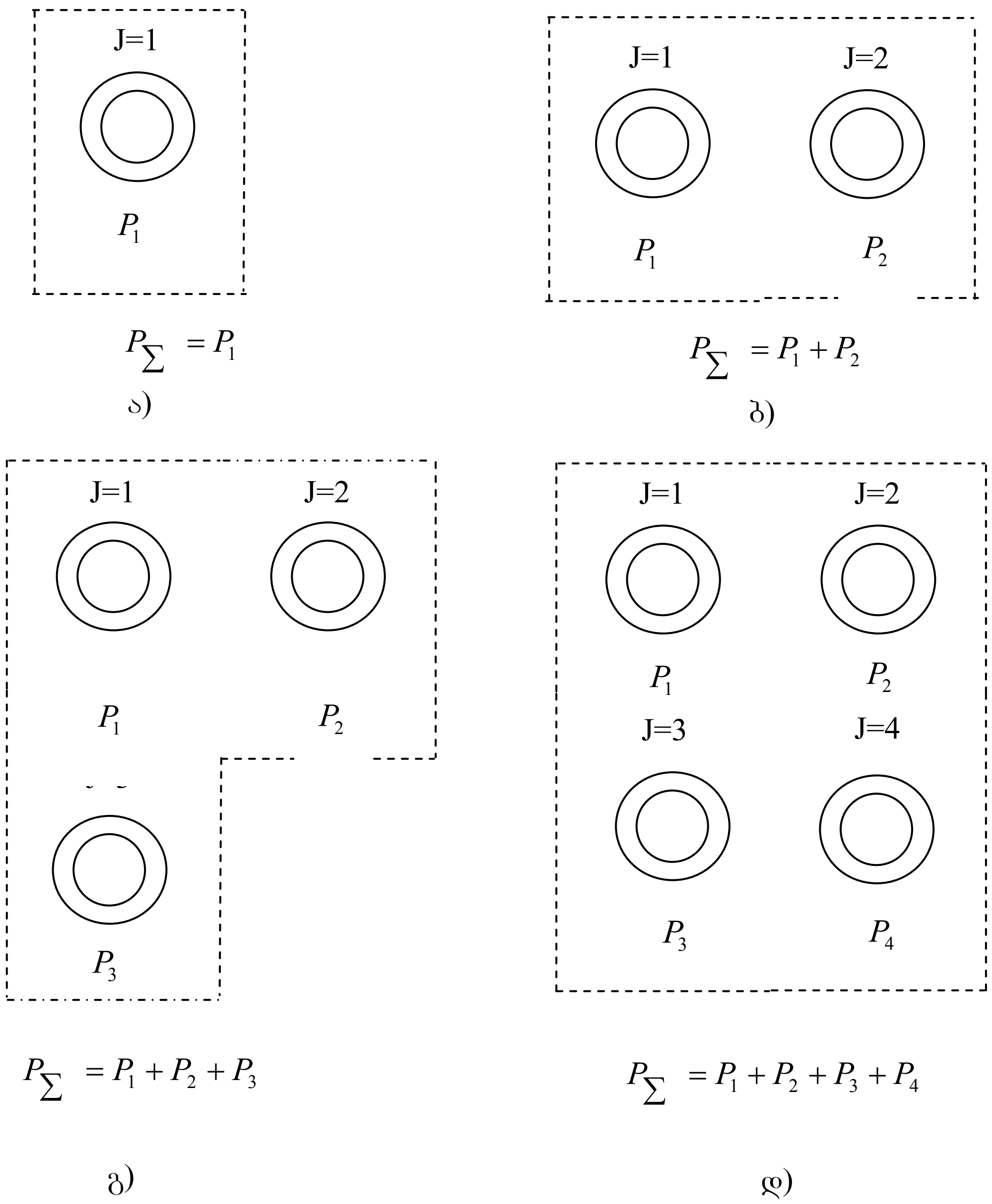
სადაც $g_j(P_i)$, $j=1,...,4$ - ცნობილი ფუნქციებია მოყვანილი ხარჯების ყოველ ელსადგურზე. ვთქვათ, ასეთი ელსადგურები იცვლებიან დისკრეტულად 1 ნაბიჯით. საწყისი ეკონომიკური დახასიათებები - ხარჯები $g_j(P_i)$ მოყვანილია ცხრილში (4.1).

ცხრილი 4.1

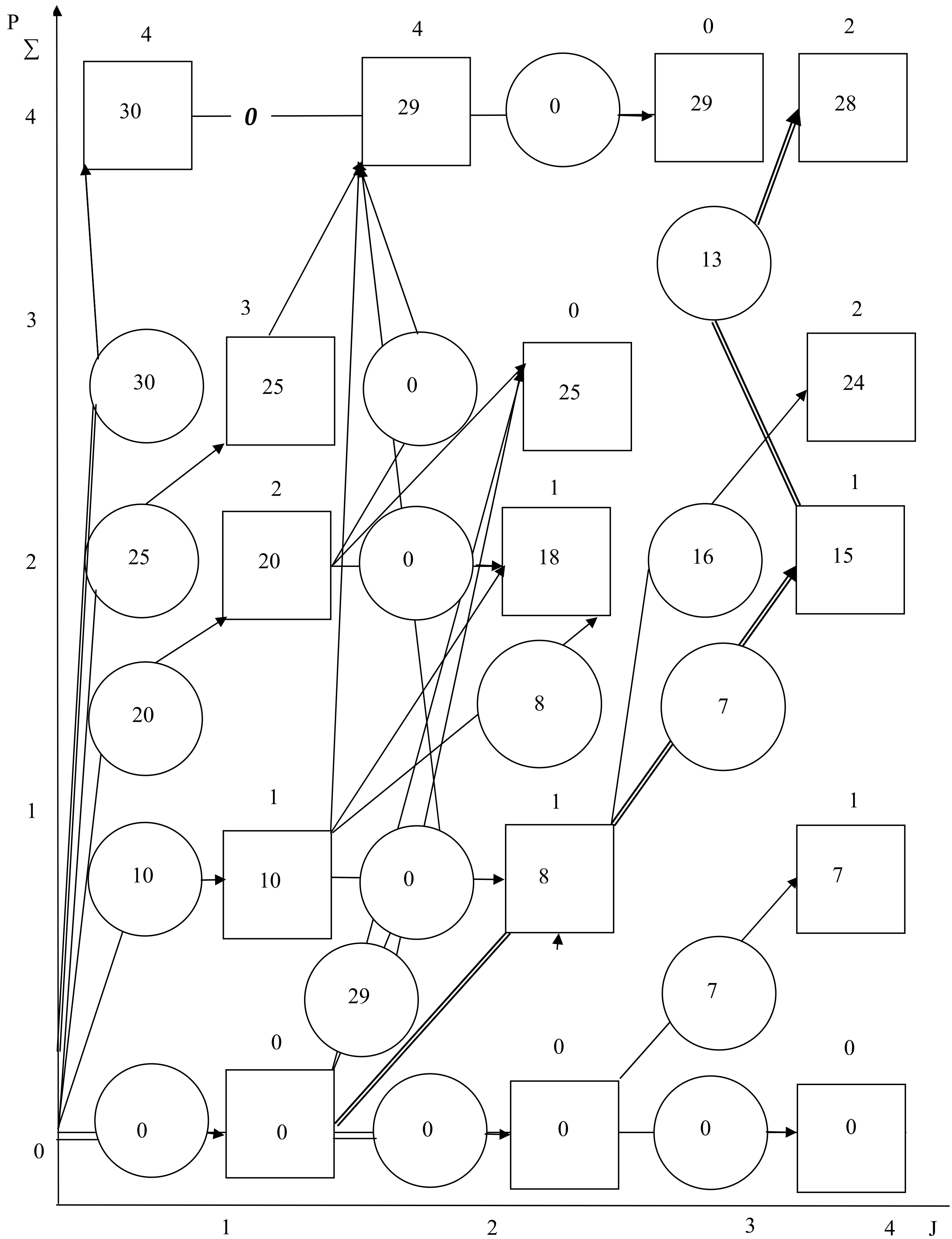
დინამიური პროგრამირების გამოყენებით ოპტიმიზაციის შედეგები პირველი ნაბიჯისათვის

j	P_j მნიშვნელობები				
	0	1	2	3	4
1	0	10	20	25	30
2	0	8	22	26	29
3	0	7	16	29	34
4	0	6	13	24	31

ოპტიმიზაციის პროცესი იშლება ნაბიჯებად, რომლებიც შეესაბამება ზრდად რიცხვებს განხილულ ელექტროსადგურებზე. გეომეტრიული ილუსტრაცია მეთოდის გამოყენებისა ნაჩვენებია (ნახ.4.1). პირველ ნაბიჯზე განიხილება სისტემის ნაწილი, რომელიც შედგება ერთი პუნქტისაგან შესაძლო ელსადგურის შენებისა. (ნახ. 4.2).



ნახ. 4.1. დინამიური პროგრამირების გამოყენების პროცესის ილუსტრაცია



ნახ. 4.2. ოპტიმალური სტრატეგიების დადგენის მაგალითი დინამიური პროგრამირების გამოყენების დროს

განვიხილოთ ყოველი შესაძლო განვითარების სტრატეგიები ასეთი „სისტემისა“ P_{Σ} სიმძლავრით, თან ვცვალოთ სიმძლავრის მნიშვნელობა პირველ P_1 პუნქტზე. ყველა შესაძლო დიაპაზონზე შესაბამისი მნიშვნელობები ხარჯებისა ავღნიშნოთ f_1–ით. რადგან სისტემა შედგება მხოლოდ ერთი სადგურისაგან მაშინ შეიძლება ჩავწეროთ.

$$\begin{gathered} f_1(P_{\Sigma}) = g_1 P_1 \\ P_{\Sigma} = P_1; \quad 0 \le P_{\Sigma} \le P_{\Sigma\max}. \end{gathered} \tag{4.4}$$

აქ f_1- პირობითად ოპტიმალური მნიშვნელობაა პირველი ნაბიჯების ხარჯებისა. P_{Σ}– სისტემის მდგომარეობის პარამეტრია. P_1 – ცვლადის მნიშვნელობაა პირველ ნაბიჯზე.

როგორც ჩანს პირველ ნაბიჯზე არ არის ოპტიმიზაცია: მიუხედავად ამისა მოცემული შედეგები საჭიროა შემდგომი ნაბიჯებისათვის. რომ მოვახდინოთ ჩანაწერის უნიფიცირება შუალედური შედეგებისა პირველი ნაბიჯისათვის შევადგინოთ ცხრილი 4.2.

ცხრილი 4.2

ოპტიმიზაციის შედეგები მეორე ნაბიჯისათვის

P_{Σ}	0	1	2	3	4
$f_1 P_{\Sigma}$ $P_1^{y\cdot 0}$	0 0	10 1	20 2	25 3	30 4

გადავიდეთ მეორე ნაბიჯზე. განვიხილოთ სისტემა, რომელიც ელსადგურების შენების ორი პუნქტისაგან შედგება. $j = 1,2.$ (ნახ. 3 ბ). ისევ დავსვათ ამოცანა მინიმალური ხარჯების განსაზღვრისა სისტემაში P_2 სიმძლავრით ყველა შესაძლებელი მნიშვნელობისათვის ამ პარამეტრის მდგომარეობის, აშკარაა

$$f_2(P_{\Sigma}) = \min_{P_1 P_2}[g_1(P_1) + g_2(P_2)].$$

როგორც ვხედავთ მინიმიზაცია აუცილებელია შევასრულოთ ორი ცვლადით P_1 და P_2. მაგრამ, გამოვიყენებთ, რა პირველი ნაბიჯის გათვლის შედეგებს, დავიყვანოთ ამოცანა ფუნქციის მინიმიზაციამდე ერთი ცვლადიდან.

რადგან $P_1 = P_\Sigma - P$ და $g_1(P_1) = f_1(P_1) = f_1(P_\Sigma - P_2)$

მაშინ $$f_2(P_\Sigma) = \min[g_2(P_2) + f_1(P_\Sigma - P_2)] \tag{4.5}$$

ამასთან $$0 \le P_2 \le P_\Sigma; \qquad 0 \le P_\Sigma \le P_{\Sigma\max}. \tag{4.6}$$

ოპტიმიზაციის შედეგები ჩავწეროთ ცხრილში 4.3.

ცხრილი 4.3

ოპტიმიზაციის შედეგები მესამე ნაბიჯისათვის

P_Σ	0	1	2	3	4
$f_2 P_\Sigma$	0	8	18	25	29
$P_2^{y \cdot 0}$	0	1	1	0	4

ნახ-ზე 4.2 სწორკუთხედში მოცემულია პირობითად ოპტიმალური ხარჯები ოპტიმიზაციის თითოეულ ბიჯზე. ციფრები სწორკუთხედების თავზე გვიჩვენებს პირობით ოპტიმალურ სიმძლავრეებს შესაბამის პუნქტებში. ისრები გვიჩვენებენ სიმძლავრის ნაზრდს წინა ნაბიჯებთან შედარებით. რიცხვები რგოლებში - ხარჯებს პირობითად ოპტიმალური გეგმისა.

განვიხილოთ, ოპტიმიზაცია $P_\Sigma = 2$–სათვის მეორე ნაბიჯზე $j = 2$. (4.5) და (4.6) თანაფარდობასთან შესაბამისად.

$$f_2(P_\Sigma = 2) = \min \begin{cases} g_2(P_2 = 0) + f_1(P_\Sigma - P_2 = 2 - 0 = 2) = 0 + 20 = 20 \\ g_2(P_2 = 1) + f_1(P_\Sigma - P_2 = 2 - 1 = 1) = 8 + 10 = 18 \\ g_2(P_2 = 2) + f_1(P_\Sigma - P_2 = 2 - 2 = 0) = 22 + 0 = 22 \end{cases}$$

აშკარად არ არის საჭირო დავამახსოვროთ წარუმატებელი სტრატეგიები $P_2 = 0$ და $P_2 = 2$ იმავე დროს საჭიროა დავიმახსოვროთ

პირობითად ოპტიმალური სტრატეგია სიმძლავრის შეყვანისა $P_2 = 1$. განვიხილოთ როგორ გამოიყენება ბელმანის ოპტიმალურობის პრინციპი პირობითოპტიმალური ტრაექტორიის არჩევისას მესამე და სემდგომ ეტაპზე. თუ სისტემას, რომელიც შედგება ორი პუნქტისაგან $j = 1, 2$ აქვს სიმძლავრე $P_\Sigma = 2$, მაშინ როგორც არ უნდა იყოს სიმძლავრე პუნქტებში $j = 3, ...,$ სიმძლავრეები $j = 2$ და $j = 1$ პუმქტებში უნდა იყვეს ოპტიმალური. ოპტიმალურობის პრინციპის გამოყენება ყოველ შემდგომ ნაბიჯზე უფლებას გვაძლევს მაქსიმალურად გავამარტივოთ ოპტიმიზაციის პროცესი. ოპტიმიზირებულ შეფასებას იწერენ ერთნაირად თითოეული ოპტიმიზაციის ნაბიჯისათვის, დაწყებული მეორედან.

$$f_j(P_\Sigma) = \min[g_j(P_j) + f_{j-1}(P_\Sigma - P_j)] \tag{4.7}$$

$$0 \le P_2 \le P_\Sigma; \qquad 0 \le P_\Sigma \le P_{\Sigma\max}. \tag{4.8}$$

უკანასკნელი ნაბიჯისათვის საჭიროა გავითვალისწინოთ, რომ $P_\Sigma = P_{\Sigma\max}$ მესამე ნაბიჯის ოპტიმიზაციის შედეგების მიხედვით. შევადგინოთ ცხრილი 4.4.

ცხრილი 4.4

ოპტიმიზაციის შედეგები მეოთხე ნაბიჯისათვის

P_Σ	0	1	2	3	4
$f_3 P_\Sigma$	0	7	15	24	29
$P_3^{y \cdot 0}$	0	1	1	2	0

უკანასკნელ ნაბიჯზე გვაქვს $f_4(4) = 28 = \min 3,$ $P_4^0 = 2$ (P_4^0 - ოპტიმალური სიმძლავრეა ელსადგურისა $j = 4$)

ოპტიმალურ ამოხსნას ვიღებთ ე.წ. უკანა სვლით. ცხრილი 4.4. შეიცავს პირობითად - ოპტიმალურ გეგმას სისტემებისათვის, რომლებიც შედგება $j=1,2,3$ პუნქტებისაგან. რადგან ჯამური დადგენილი სიმძლავრე ოპტიმალურობის ვარიანტში ტოლია $P_{\sum j=1,2,3}=P_{\sum}-P_4^0=2,$ მაშინ 4.4 ცხრილიდან გვაქვს, რომ $P_3^0=1$. ანალოგიურად 4.3 ცხრილიდან $P_{\sum j=1,2}=P_{\sum j=1,2,3}-P_3^0=1$-თვის გვაქვს $P_2^0=1$. მაშასადამე, პირველი სადგურის სიმძლავრე ტოლია ნულისა.

გამარტივებისათვის 4.3 ნახაზზე $j=3,4$ ნაბიჯისათვის ნაჩვენებია მხოლოდ პირობითად - ოპტიმალური სტრატეგიები. ოპტიმალური სტრატეგია, რომელიც შეესაბამება აბსოლუტურ მინიმუმს ნაჩვენებია სქელი ისრებით.

გათვლების რაოდენობის შემცირება დინამიკური პროგრამირების მეთოდში შედარებით უფრო მარტივ გადასინჯვასთან შეიძლება იყოს ძალიან არსებითი. განვმარტოთ ეს მაგალითზე. ვთქვათ, დინამიკური პროგრამირების ამოცანაში სრულდება n–ნაბიჯური ოპტიმიზაცია, ამასთან ყოველ ნაბიჯზე განიხილება მიმდევრობა ცვლადისა. მაშინ ელემენტარული გათვლების რიცხვი შეადგენს m^2n -ს, რადგან ყოველ ნაბიჯზე თითოეული m მდგომარეობიდან აუცილებლად უნდა გავაანალიზოთ m მდგომარეობა წინა ნაბიჯისა. თუ გამოვიყენებთ ვარიანტების მარტივ გადასინჯვას, მაშინ მათი რიცხვი შეადგენს m^2 –ს. ამრიგად, მრავალნაბიჯიანი ოპტიმიზაციის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ ელემენტარული გათვლების რიცხვი დამოკიდებულია წრფივად ნაბიჯების რაოდენობის, და არ მდებარეობს არსებით ხარისხიან კავშირში, როგორც მარტივ გადასინჯვაში.

4.2 თანამედროვე ტენდენციები მაგენერირებელი სიმძლავრეების განვითარების მოდელირებაში

ოპტიმიზაციის პერიოდების დაყოფას რიგ ინტერვალებად, ანუ განვითარების დინამიკის აღრიცხვას, მივყავართ მკვეთრ მატებასთან ოპტიმიზაციის გამოთვლითი პროცესისა. იმავე დროს, დინამიკის აღრიცხვის უარყოფა ამოცანების უმრავლესობაში იძლევა არსებით ცდომილებებს ამოხსნაში. მიახლოებული შეფასება დინამიკის ზეგავლენისა მიღებული ამონახსნების ხარისხზე შეიძლება მივიღოთ დავუპირისპირებთ რა დამთხვეული ობიექტების წილს სტატიკური და დინამიური გათვლებისას. ასეთი დაპირისპირების შესრულების გამოცდილება ОЭС–ის განვითარების ამოცანებისათვის გვიჩვენებს, რომ ობიექტების შემადგენლობაში განსხვავება აღწევს 30%-40%-ს [65,66]. დინამიკის ანალიზისას უნდა გავითვალისწინოთ ზემოქმედება როგორც პირდაპირი, ისე შებრუნებული დროებითი კავშირებისა.

პირდაპირი დროებითი კავშირების აღრიცხვა ნიშნავს განვითარების წინა ეტაპების ზემოქმედების აღრიცხვას შემდგომზე, შებრუნებულისა და უფრო გვიანი ეტაპებისა კი წინაზე. უფრო ძნელ ამოცანას წარმოადგენს შედეგების კავშირის აღრიცხვა. განვიხილოთ მიღებული მიდგომები დინამიკის აღრიცხვასთან.

ობიექტების ოპტიმიზირებული პარამეტრების ჩანაწერებისას ნამატის გზით ყოველი n ეტაპისათვის გვაქვს

$$X_{ih} = X_{i,h-1} + \Delta X_{ih}.$$

პარამეტრების ჩანაწერის უნიფიკაციისათვის, რომლებიც ეკუთვნიან განვითარების ერთ პერიოდს, აღვნიშნოთ D ინდექსით მოქმედი მწარმოებლურობა n ეტაპის საწყისისათვის $X_{i,h-1} = X_{ih}^{D}$, H ინდექსით კი $\Delta X_{ih} = X_{ih}^{H}$ – ობიექტის ახალი ნაწილის მწარმოებლურობა.

შევიტანოთ ვექტორის ცნება მოქმედი პარამეტრებისა და ახალი ნაწილის ობიექტებისა h ეტაპზე.

მაშინ ტოლობის ერთობლიობა, რომლებსაც ახასიათებს ტექნოლოგიური და ტერიტორიალური კავშირი წარმოების ბალანსის, განაწილება და მოხმარება ნედლეულის და პროდუქციის ყოველი ეტაპისათვის შეიძლება ჩაიწეროს მატრიცული სახით:

$$A_h X_h = B_h. \tag{4.9}$$

ეს პირობები უნდა იქნეს შევსებული კავშირის პირობებით ცვლად მოსაზღვრე ეტაპებს შორის. პირველი ეტაპისათვის ყოველ ობიექტზე გვაქვს ცნობილი მწარმოებლურობა ოპტიმიზაციის პერიოდის საწყისისათვის

$$X_{i1}^{D} = R_{io}, \tag{4.10}$$

შემდგომი ეტაპისათვის - თანაფარდობა ტიპისა

$$X_{ih}^{D} = X_{i,h-1}^{D} + X_{i,h-1}^{H} \tag{4.11}$$

აღვნიშნოთ ოპტიმალურობის წრფივი კრიტერიუმების ნაწილი, რომელიც ეკუთვნის h ეტაპს, როგორც $C_{hTP} X_h$.

განსახილველი ჩანაწერის მეთოდი კავშირის პირობებისა არის საკმაოდ დიდი. მოდელი შედგება ბლოკებისაგან, რომლებიც მიეკუთვნება განსაზღვრულ ეტაპებს და ბლოკისაგან, რომელიც აკავშირებს ერთმანეთთან ცალკეულ ეტაპებს.

დინამიური ბლოკის არსებობა გვაიძულებს ამოვხსნათ ამოცანა მთლიანად, რაც მეტად უხერხულია მისი ზომის გამო.

მოდელის ჩანაწერის ანალიზის შემლება შევნიშნოთ, რომ უშუალო კავშირი ცალკეულ დროებით ბლოკებს შორის არსებობს მხოლოდ

შუალედური დროის ეტაპებისათვის. შევიყვანოთ შუალედური ცვლადები $Z_{j,h-1}$, რომლებიც აღნიშნავენ ობიექტების მწარმოებულობას ეტაპის საწყისზე, შეიძლება წარმოვიდგინოთ კავშირის პირობები შუალედური ეტაპებისა შემდეგი სახით:

$$X_{i,h-1}^{D}+X_{i,h-1}^{H}-Z_{i,h-1}=0. \quad (4.12)$$

მიღებული წრფივი მოდელის ამოხსნისთვის მისაღებია ბლოკური პროგრამირების მეთოდები. განვიხილოთ ერთი შესაძლო მიდგომებიდან ამოხსნისთვის, რომელიც ფორმულირებულია ზემოთ განხილულ ამოცანაში.

ასრულებენ იტერაციულ ამოხსნას დინამიური ამოცანისა როგორც სტატიკური რიგისა. ყოველი იტერაცია შედგება ორი ეტაპისაგან მიმდევრობითი ამოხსნის სტატიკური ამოცანების პირველ ეტაპზე ასრულებენ პირდაპირ კავშირს, რომელიც ითვალისწინებს ამოხსნის გავლენას, რომელიც გამოიყენება წინა ეტაპზე, სისტემების შემდგომი ფუნქციონირებისას. ამით უზრუნველვყოფთ სისტემის ბალანსირებულ განვითარებას მთელი ოპტიმიზაციის პერიოდისათვის. სტატისტიკური ამოცანის ამოხსნა პირველ ეტაპზე უფლებას გვაძლევს განვსაზღვროთ პირობითად - ოპტიმალური შეფასება მწარმოებლურობისა Z_{ih}^{y0} ობიექტებისა. უკანასკნელი H ეტაპისათვის განისაზღვრება ეფექტურობა l_{iN} თითოეული ობიექტისა როგორც ჩამკეტი შეფასება. ანალოგიური შეფასების მისაღებად შუალედურ ეტაპებზე ასრულებენ ოპტიმიზაციას "უკან სვლა". შედეგად გამოვლინდება უკუ კავშირი სისტემებისა, რომლებიც ზეგავლენას ახდენენ შემდგომ პირობებით ადრე მიღებული გადაწყვეტილებების შეფასების ხარისხზე. ამით უზრუნველყოფენ მიღებული ამონახსნის ოპტიმალურობას.

უკუ დინამიური კავშირების აღრიცხვა უფლებას გვაძლევს მივიღოთ პირობით - ოპტიმალური ეკონომიკური შეფასება

l_{ih}, $h = H-1,...,2,1$ ეფექტურობა ობიექტების ამორჩეული ვარიანტებისა. აქ პრინციპულად საჭიროა, რომ ეკონომიკური შედეგები ახალი ობიექტების შეყვანისა შეიძლება იყოს შეფასებული მხოლოდ მათი გამოყენების პირობებში შემდგომ ეტაპებზე ოპტიმიზაციის პერიოდში ახალი ობიექტების გამოჩენის შესაბამისად.

ერთ იტერაციაზე მიღებულ პირობით - ოპტიმალურ ამოხსნას აფასებენ ეკონომიკური შედეგები ობიექტების შეყვანისა ყოველ ეტაპზე. უფრო ზუსტათ მიღებული ეკონომიკური შეფასებები l_{ih} მართებულია მხოლოდ მწარმოებლურობის ვარირების დიაპაზონებში .

$$\underline{Z}_{ih} \le Z_{ih} \le \overline{Z}_{ih}\,. \tag{4.13}$$

ამიტომ, რიგი პარამეტრების დიაპაზონის საზღვრებს გარეთ გამოსვლისას საჭიროა შემდგომი იტერაციისშესრულება, რომელზეც საწყისი ინფორმაციის რანგში გამოიყენებენ ობიექტის განვითარების გათვლილ ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

დეტერმინირებული მოდელები ЭЭС–ის განვითარების ოპტიმიზაციის ისტორიულად არიან პირველი ოპტიმიზაციული მოდელები და მიაღწიეს უფრო დეტალურ დამუშავებას. იმავე დროს მათ ახასიათებთ შემდგომი ნაკლოვანებები: _ დეტერმინირებული მიდგომა ამახინჯებს რეალური განვითარების პროცესების გაგებას, განსაზღვრავენ რა მათ როგორც მკაცრად ერთმნიშვნელოვანს. იგივე ითქმის საწყისი ინფორმაციის წარმოდგენის თვისებებზე, რომელიც რეალურ ამოცანაში ხშირად ატარებს გამოხატულ ალბათობასა და განუსაზღვრელ ხასიათს.

– გაძნელებულია ამოხსნის გამოვლენა, რომელიც ახლოა ფორმალურ-ოპტიმალურთან.
– გადაწყვეტილება მიიღება ერთი ოპტიმალურობის კრიტერიუმით. შედეგად ისინი აღმოჩნდებიან ცუდად შეგუებული განვითარების პირობების ცვლილებასთან.

– დეტერმინირებული გათვლების სიზუსტე ერთნაირია ახლო და შორი პერიოდებისათვის, რაც არ შეესაბამება განუსაზღვრელი განვითარების პირობების აღმავალი დროის ხარისხს.

დეტერმინირებული მოდელები არ ითვალისწინებენ ბუნებრივი მოვლენების ალბათურ ხასიათს, რამაც შეიძლება მიგვიყვანოს გათვლებში შეცდომასთან.

ამიტომ ბოლო დროს მნიშვნელოვანი ძალები გამოიყენება მოდელების დასამუშავებლად, რომლებიც ითვალისწინებენ ალბათურ და განუსაზღვრელ პირობებს მათი განვითარებისა.

ЭЭС-ს მაგენერირებელი სიმძლავრის სტრუქტურების ოპტიმიზაციის ამოცანისათვის მნიშვნელოვან მიღწევად იქნა შექმნა პროგრამულ-ინფორმაციული კომპლექსისა. ძირითადი თვისებები მიდგომებისა, რომელიც შემოგვთავაზეს ავტორებმა, შემდეგია:

_ გარეპირობების განვითარების განუსაზღვრელობის აღრიცხვა სრულდება წარმოდგენილი შეთანხმების საწყისი პირობების y_s, $s = 1,\ldots,S$, გამოყოფის საფუძველზე, როგორც ”გამჭოლი სტრატეგიის” განვითარებისა.

- ისმევა ამოცანა სიმძლავრეების X_j რაციონალური დიაპაზონების განსაზღვრისა თითოეული მოწყობილობების ჯგუფისათვის $j : X_{jpay}^{\min}\ldots X_{jpay}^{\max}$.

ეკონომიკურ ფუნქციონალში შეიყვანება Z_k ღონისძიების ღირებულება BA გამშვები თვისებების მომატებისა, ახალი მაგენერირებელი მოწყობილობის დემონტაჟისა და დაყენებისა და ა.შ.

მაგენერირებელი სიმძლავრეების სტრუქტურების ოპტიმიზაცია სრულდება მაშინვე მთელი პირობების განვითარების სიმრავლეზე განუსაზღვრელობის სფეროდან.

მინიმიზირებულ ფუნქციონალს აქვს შემდეგი სახე:

$$\min_{X_j, Z_k} \sum_t \overline{\partial_{st}}(X_{j,t-1}, X_{jt}, Z_{st}, Z_{kt}).$$

ოპტიმალური ამონახსნის მიღების მეთოდი ახლოა ორეტაპიან სტოხასტიკურ დანციგ-მადანსკის წრფივი პროგრამირების ამოცანის ამოხსნის დასმასთან იმ განსხვავებით, რომ განვითარების პირველი ეტაპისათვის კი არ იღებენ ერთმნიშვნელოვან გადაწყვეტილებებს, არამედ ირჩევენ ძირითადი ცვლადების მნიშვნელობების დიაპაზონებს.

მიუხედავად ამოცანის მნიშვნელოვანი განზომილებისა ხერხდება არსებითად შევამციროთ გამოთვლების დრო ტრადიციული სიმპლექს-მეთოდის გამოყენების უარის ხარჯზე წრფივი პროგრამირების ამოცანის ამოხსნისათვის.

შემდგომ იერარქიულ დონეზე-მაგნერირებელი წყაროების სიმძლავრეების ოპტიმიზაცია-აღრიცხვა. საწყისი ინფორმაციის განუსაზღვრელობისა ხდება კიდევ უფრო აქტუალური. ეს განაპირობებს კვლევის სტატიკური მეთოდების გამოყენების აუცილებლობას. დიდ გავრცელებას პოულობს აგრეთვე ბლოკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენება [64].

ბლოკური პროგრამირების დაყოფის მეთოდი მრავალი შეზღუდვების შემთხვევაში. ზოგადი სახით განვსაზღვროთ მაქსიმუმი წრფივ ფორმაში.

$$L = (C, X) \tag{4.14}$$

პირობებით

$$AX = B, \tag{4.15}$$

$$X \geq 0 \tag{4.16}$$

სადაც $C = (C_1, C_2, ..., C_n) - n$ - განზომილებიანი სტრიქონის ვექტორია.

$B = (b_1, b_2, ..., b_{m+m1})^T - (m + m_1)$ განზომილებიანი სვეტის ვექტორი.

$A = \left\| a_{ij} \right\|$ - პირობითი მატრიცაა ზომით $(m + m_1)xn$.

$X = (x_1, x_2, ..., x_n)^T - n$ განზომილებიანი სვეტის ვექტორა.

გავყოთ ამოცანის შეზღუდვები ორ ბლოკად. პირველ ბლოკს მივაკუთვნოთ პირველი შეზღუდვები, მეორე ბლოკს-დანარჩენი. ავღნიშნოთ პირობითი მატრიცები, რომლებიც პასუხობენ ამ ბლოკებს, შესაბამისად $A^{(0)}$ და $A^{(1)}$-ით, ბლოკების შეზღუდვების ვექტორები კი $B^{(0)}$ და $B^{(1)}$–ით.

$$A\begin{Vmatrix} A^{(0)} \\ A^{(1)} \end{Vmatrix}; \qquad B\begin{pmatrix} B^{(0)} \\ B^{(1)} \end{pmatrix}.$$

ამოცანა (4.12)-(4.14) ღებულობს სახეს:

$$L = (C, X) \to \max \tag{4.17}$$

პირობებში

$$A^{(0)}X = B^{(0)} \tag{4.18}$$

$$A^{(1)}X = B^{(1)} \tag{4.19}$$

$$X \geq 0 \tag{4.20}$$

დაუშვათ, რომ უმრავლესობა, განსაზღვრული (4.19)-(4.20) პირობებით, შეზღუდულია. ავღნიშნოთ ამოზნექილი მრავალწახნაგას წვეროები, რომელიც პასუხობს (4.19)-(4.20) პირობებს, $X_1, X_2, ...X_N$-ით. წერტილები $X_1, X_2, ...X_N$ წარმოადგენს გეომეტრიულ ობიექტებს ამოცანის საყრდენი გეგმებისა. ამოცანებს (4.17), (4.19), (4.20) დავარქვათ X^1 ამოცანები, საწყის ამოცანას (4.17)-(4.20) - X ამოცანა.

ნებისმიერი წერტილი X მრავალწახნაგასი (4.19), (4.20) წარმოადგენს თავისთავად ამოზნექილ კომბინაციას მისი წვეროების, ანუ

$$X = \sum_{v}^{N} Z_v X_v, \tag{4.21}$$

სადაც

$$\sum_{v=1}^{N} Z_v = 1 \tag{4.22}$$

$$Z_v \geq 0, \qquad v = 1, 2, ..., N. \tag{4.23}$$

ფორმულები (4.21)-(4.23) იძლევიან საწყის ამოცანაზე გადასვლის საშუალებას x; ცვლადებიდან Z_v ცვლადებზე. ცნობილი საყრდენი გეგმების $X_v = (x_1^{(v)}, x_2^{(v)}, ..., x_n^{(v)})$ გათვალისწინებით ამოცანა (4.14)-(4.16) გადავწეროთ (იგივე ამოცანა (4.15)-(4.20)) შემდეგი სახით:

$$\sum_{v=1}^{N} (C, X_v) Z_v \to \max.$$

პირობებით:

$$\sum_{v=1}^{N} (A^{(0)} X_v) Z_v = B^{(0)},$$

$$\sum_{v=1}^{N} Z_v = 1,$$

$$Z_v \geq 0, \qquad v = 1, 2, ..., N.$$

შემოვიღოთ აღნიშვნები

$$(C, X_v) = \delta_v, \tag{4.24}$$

$$A^{(0)} X_v = P_v \tag{4.25}$$

სადაც - δ_v - სკალარებია

$P_v - m$ - განზომილებიანი ვექტორი.

ახალ აღნიშვნებში ამოცანა დადის Z_v ცვლადების გამოთვლაზე, რომლებშიც მიიღწევა მაქსიმუმი წრფივ ფორმაში:

$$\sum_{v=1}^{N} \delta_v Z_v \tag{4.26}$$

პირობებით

$$\sum_{v=1}^{N} P_v Z_v = B^{(0)}. \quad (4.27)$$

$$\sum_{v=1}^{N} Z_v = 1, \quad (4.28)$$

$$Z_v \geq 0, \qquad v = 1, 2, \ldots, N. \quad (4.29)$$

დავარქვათ (4.24)-(4.27) ამოცანას $-Z$ ამოცანა. Z ამოცანების (4.25) და (4.26) პირობებში მოსახერხებელია დავწეროთ ერთი ვექტორული ტოლობის სახით:

$$\sum_{v=1}^{N} \overline{P}_v Z_v = \overline{B}^{(0)}, \quad (4.30)$$

სადაც

$$\left.\begin{array}{l} \overline{P}_v = \begin{pmatrix} P_v \\ 1 \end{pmatrix}, \; v = 1, 2, \ldots, N \\ \overline{B}^{(0)} = \begin{pmatrix} B^{(0)} \\ 1 \end{pmatrix} \end{array}\right\} \quad (4.31)$$

- შესაბამისად $-X$ ამოცანების პირობითი და შეზღუდვების ვექტორებია.

ამოცანის ამოხსნისათვის სავსებით არ არის აუცილებელი ცოდნა ყველა $\overline{P}_v$ ვექტორის. ყოველ ნაბიჯზე აუცილებელია გვქონდეს მხოლოდ $m+1$ პირობითი ვექტორები Z ამოცანების, შედგენილი მისი მიმდინარე ბაზისით. რაც შეეხება ვექტორს, რომელიც მიეკუთვნება ბაზისის დაბოლოებას, მისი არჩევა მოხდება რამდენიმე დამხმარე წრფივი პროგრამირების ამოცანის დახმარებით პირობებით (4.19)-(4.20). ამაშია დაყოფის მეთოდის არსი.

Z ამოცანის ამონახსნი განსაზღვრავს ოპტიმალურ გეგმას X ამოცანის. X^* ვექტორი $-X$ ამოცანის ამონახსნი - გამოითვლება კომბინაციებით Z_v^*. ოპტიმალური გეგმის Z ამოცანისა ფორმულაში:

$$X^* = \sum_{v=1}^{N} Z_v^* X_v \qquad (4.32)$$

სინამდვილეში X^* ვექტორი წარმოადგენს X ამოცანის გეგმას, როგორც:

1). X^* აკმაყოფილებს პირობებს (4.19), (4.20), როგორც ამოზნექილი კომბინაცია საყრდენი გეგმებისა X_v .

2). აკმაყოფილებს პირობებს (4.18) რამდენადაც ძალაშია (4.30), (4.23), და (4.25).

$$A^{(0)} X^* = \sum_{v=1}^{N} A^{(0)} X_v Z_v^* = \sum_{v=1}^{N} P_v Z_v^* = B^{(0)}.$$

გარდა ამისა Z^* ვექტორის ოპტიმალურობის პირობებიდან

$$\sum_{v=1}^{N} \delta_v Z_v^* \geq \sum_{v=1}^{N} \delta_v Z_v$$

(ყოველ გეგმისთვის Z ამოცანის) გამომდინარეობს, რომ:

$$\sum_{v=1}^{N} (C, X_v) Z_v^* \geq \sum_{v=1}^{N} (C, X_v) Z_v.$$

უკანასკნელი უტოლობები შეიძლება გადავწეროთ შემდეგი სახით:

$$CX^* \geq CX$$

ყოველი გეგმისათვის X –ამოცანის.

ამრიგად, X ამოცანების ამონახსნები შედიან გამოთვლებში Z ამოცანების ოპტიმალური გეგმისა [67].

4.3. მოდელირებაში გამოყენებული მათემატიკური მეთოდების შედეგების შედარება

ნაშრომში განხილულია ენერგოსისტემის განვითარების მათემატიკური მოდელები.

აღწერილია წრფივი პროგრამირების, ორიენტირებული გრაფების და სტოხასტიკური აპროქსიმაციის მოდელები. ენერგოსისტემის სტრუქტურის დადგენისათვის გამოყენებულია წრფივი პროგნოზირების აპარატი და მისი განვითარებისათვის ნაჩვენებია დინამიური პროგრამირების გამოყენების მაგალითი, აგრეთვე, ბლოკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენების პერსპექტივა.

წრფივი პროგრამირების მეთოდის გამოყენების საფუძველზე დამუშავებულ იქნა ენერგოსისტემის ოპტიმალური განვითარების ალგორითმები და მისი შესაბამისი პროგრამული რეალიზაცია სისტემა ”Matlab”-ის საშუალებით.

კერძო მაგალითზე ამოხსნილია ელექტროენერგიის გამომუშავების მაქსიმალიზაციის და ელექტროსიმძლავრეების გამომუშავების მაქსიმიზაციის ამოცანები.

ორიენტირებული გრაფის საშუალებით საქართველოს ენერგოსისტემისათვის ნაჩვენებია თბოსადგურების საუკეთესო შემადგენლობის არჩევის პროცესი. შესადარებელ ვარიანტთა ანალიზის და ტექნიკო-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე დადგინდა, რომ რესპუბლიკის გარედან შემოტანილ სათბობის პირობებში, თბილისის სრესზე დასაშვებია მხოლოდ 500 მვტ სიმძლავრის ორი აირტურბინის შეყვანა.

ადგილობრივი სათბობის პირობებში, თბილისის სრესზე მე-12 და მე-13 ენერგობლოკის შექვანის მაგივრად მიზანშეწონილია ნახშირის

სუსპენზია - აირზე მომუშავე 600 მვტ სიმძლავრის ქუთაისის თესის მშენებლობა.

სტოქასტიკური აპროქსიმაციის მეთოდის საშუალებით მოდელზე ენერგოსისტემის განვითარებისათვის ოპტიმალური გადაწყვეტის მიღებისას აუცილებელია საწყისი ინფორმაციის შემთხვევითი ხასიათის გათვალისწინება, რათა საწყისი ფორმები მიუახლოვოთ რეალურ პირობებს.

პროგნოზირების გამოყენება მრავალი შემთხვევითი პროტოტიპებით გვაძლევა საშუალებას ანალიზის ჩატარებისა, როგორც ფუნქციონირებადი ობიექტების ასევე მშენებარის მათი შესაძლებელი სიმძლავრეების მაქსიმალური მნიშვნელობების გათვალისწინებით.

ნაჩვენებია, რომ დინამიური პროგრამირების მეთოდი საშუალებას იძლევა სხვადასხვა ვარიანტების შედარების საფუძველზე რეკომენდაციების გაკეთების, თუ რა სიმძლავრის, რამდენი და რა ტიპის სადგურები უნდა აშენდეს რეგიონში.

აღნიშნულია პერსპექტივაში ბლოკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენების საშუალება ენერგოსისტემის განვითარებისათვის ამოცანების გადასაწყვეტად.

IV თავის დასკვნა

1. ენერგოსისტემაში სიმძლავრეების განვითარებისა და განლაგებისათვის ნაჩვენებია დინამიური პროგრამირების გამოყენების მოდელის მაგალითი.
2. ნაჩვენებია რომ, დინამიური პროგრამირების გამოყენება საშუალებას იძლევა ვარიანტებით შედარებით საფუძველზე რეკომენდაციების გაკეთების, თუ რა სიმძლავრის სადგურები უნდა აშენდეს სხვადასხვა რეგიონებში.
3. ნაჩვენებია ბლოკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენების პერსპექტივა ენერგოსისტემის განვითარებისათვის ამოცანების გადაწყვეტაში.

დასკვნა

1. შემუშავებულია ელექტროენერგეტიკული სისტემების მათემატიკური მოდელების აგების მეთოდიკა.
2. გაანალიზებულია დიდი სისტემების მრავალეტაპიანი ოპტიმიზაციური ამოცანების ამოხსნის მეთოდები.
3. შემუშავებულია კონკრეტული ელექტროენერგეტიკული სისტემის ფუნქციონირებისა და განვითარების მათემატიკური მოდელი.
4. შემუშავებულია ელექტროენერგეტიკული სისტემების ახალი სიმძლავრეების შეყვანისას ოპტიმალური სტრუქტურის დადგენის მათემატიკური მოდელი.
5. დიდი სისტემების მრავალეტაპიანი ამოცანებისათვის შემუშავებულია პროგრამული უზრუნველყოფა.
6. კონკრეტული ელექტროენერგეტიკული სისტემების ახალი სიმძლავრეების ოპტიმალური სტრუქტურის დადგენის მრავალეტაპიანი ამოცანების გადასაწყვეტად შემუშავებულია პროგრამული უზრუნველყოფა.
7. კონკრეტული ელექტროენერგეტიკული სისტემის ფუნქციონირების და განვითარების მათემატიკური მოდელის საფუძველზე რეალიზებულია სისტემის ფუნქციონირების და განვითარებისათვის საჭირო ამოცანები.
8. ელექტროენერგეტიკული სისტემების ახალი სიმძლავრეების ოპტიმალური სტრუქტურისათვის მათემატიკური მოდელის საფუძველზე გამოკვლეულია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მაგალითზე საუკეთესო ვარიანტების დადგენა.
9. ნაჩვენებია დინამიური პროგრამირების გამოყენების საშუალება ახალი ელექტროსადგურების სიმძლავრეების გათვალისწინებით ენერგეტიკული სისტემის განვითარების მოდელის შექმნისათვის.

10. შედგენილ წრფივ მათემატიკურ მოდელს გააჩნია ბლოკური სტრუქტურა. პერსპექტივაში ნაჩვენებია ენერგოსისტემის განვითარების მოდელის სრულყოფისათვის ბლოკური პროგრამირების მეთოდის გამოყენების საშუალება.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Варамашвили А.В., Гомелаури А.В., Джаникашвили М.С. Математическая модель электроэнергетической системы на примере Грузинской ССР. Тезисы докладов IV конференции молодых ученых закавказских республик. «Проблемы автоматического управления.» Тбилиси. 1986 г. Стр.22-25.

2. Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Холян А.М. АСУ и оптимизация режимов энергосистем. «Высш. шк.» масква, 1983 г. 46-48 с.

3. Беляев Л.С., Воропай Н.И., Кононов Ю.Д. и др. Методы исследования и управления системами энергетики. Новосибирск: Наука, 1987 г. Стр 91-94.

4. Куна Г.У. и Такера А.У. Линейные неравыенства и смежные вопросы. Изд-во инностранной литературы. Масква. 1969 г. Стр 207-209.

5. Новиков Н.А. Алгоритм решения полностью целочисленной задачи линейного программирования. «Алгоритмы конструкций и их эффект.» Ярославл. 1983г. стр. 23-26.

6. Муртаф Б. современное линейное программирование. Теория и практика. М. Мир. 1984 г. 224 с.

7. Лотов А.В. Согласование экономических моделей с использованием множеств достижимости. «Математические методы анализа взаимодействия отраслей и регионов систем. Новосибирск. 1983 г. стр. 36-44.

8. Глушков В.М., Иванов В.В., Яненко В.М. Моделирование развивающихся систем. 1983 г. 350 с.

9. Еремин И.И., Скарин В.Д. Методы программирования несобственных задач математического программирования. Свердловск: Урал. науч. центр АН СССР. 1984 г. 127 с.

10. Аношко В.Ф., Белостоцкая В.А. Алгоритм и пакет программ поиска равновесных решений для задач АП. «Методы оптимизации и их приложения.» 1982 г. стр. 150-160.

11. Сергиенко И.В. математические модели и методы пешения задач дискретной оптимизации. Киев. Наук. Думка. 1985 г. 381 с.

12. Карманов В.Г. Математическое програмирование. М: Наука. 1986 г. 268 с.

13. Вольфберг Д.Б., Макаров А.А. Основные направления развития энергетического комрлекса. «Изв. АН СССР. Энерг. И трансп.» 1985 г. №5. стр. 38-49.

14. Антонова Н.Н., Ткаченко Г.Е., Шевнук М.М. Формирование гарантированных стратегий перспективного развития энергетики. Теория и практ., Методы и модели принятия решений упр. прог. развития крупномасштабных систем. 4. Всес. конф. по пробл. упр. развитием систем. Рига.стр. 86-88.

15. Макаров А.А. Крайние стратегии долгосрочного развития энергетики. «Экон.и мат. методы.» 1987 г. 23. №1. стр.25-37.

16. Белоусов Е.Г., Черемных Ю.Н., Керт Х., Отто К. Математическое моделирование экономических процессов. М.: МГУ. 1990 г. 232 с.

17. Дале В.А., Кришан З.П., Назгле О.Г. Математические модели оптимизации развития сетей электроэнергетических систем. «Электричество.» 1987 г. №9. стр. 1-6.

18. Хачатуров В.Р. Математические методы регионального программирования. М.: Наука. 1989 г. 302 с.

19. Морозкина В.П., Максимова Б.К., Кароишева И.И. Планирование развития электрических систем. Масква. Энергоатомиздат. 1989 г. Стр.86.

20. Гералавичюс Вайде-Вутис. Равновесные модели экономики: существование равновесия. «Мам. Методы в соц. науках.» (Вильниус). 1988 г. №21. стр. 7-37.

21. Журавлев В.Г., Розенканц Е.А. Расчёт установившихся режимов электрических сетей методом агрегирования. «Электричество.» 1984 г. №5. стр. 50-52.

22. Дикин И.И. Применение метода внутренных точек при решении прикладных оптимизационных задач. «Методы оптимизации и их приложения. (Иркутск). 1988 г. №18. стр. 14-18.

23. Экономичность и оптимизация режимов энергосистем. Ред. Чебан В.Н. Новосибирск: Электротехн. ин-т. 1984 г. 152 с.

24. Оптимизация режимов электрических систем. Ред. Мукумбаев Н.К. Ташкент: Фан. 1985 г. 143 с.

25. Сулеиманов В.Н., Томашкевич М.Г. Оптимизация режимов работы электроэнергетических систем методом силайновой интерголяции. «Пробл. экон. энерг.материал. и труд. ресурсов. Научтехн. конф. 8-10 апр., 1986 г. Тез. докл «Новосибирск.» стр. 8-9.

26. Ганшин Г.С. методы оптимизации и решениеуровнений. М.: Наука. 1987 г. 126 с.

27. Кулик М.Н., Гуменюк А,И., Щербина Е.В. Оптимизация развития и реконструкции региональных систем газоснобжения методами дискретнонепрерывного моделирования. «Большие системы энергетики. Управление развитием и функционированием. Сборник научных трудов.» Киев. 1989 г. с 3-7.

28. Варамашвили А.В. Иследование задач развития электроэнергетических систем (на примере электроснабжения Грузии). Математическое и програмное обеспечение вычислительных машин и систем. Дисертация. Тбилиси, 1945 г. Стр.37-40.

29. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным биологическим и экологыческим задачам. Масквпа «Наука» главная редакция физико математической литературы 1986 г. Стр.153.

30. „საქართველოს ენერგოსისტემის ზოგიერთი საექსპლუატაციო საკითხების გადაწყვეტა მათემატიკური მოდელის საშუალებით“ – ანგარიში/ ინვ. № 08-100/94. 2-10 გ.

31. Ю.М. Ермолев,З.В. Некрылова. Метод стокастических градиентов и его применения. Семинар «Теория оптимальных решениа.» Вып. I Киев, 1967 г. 23 с.

32. Е.Г. Гладышев. О стохастической апроксимации. Теория вероятностей и ее применение. Т. IO, №2, 1965 г. 12 стр.

33. Идельчик Е.М. Определение оптимальной конфигурации электрической сети и динамике с помощью релаксации по непрерывным и дискретным переменным. Тр. Иркутского политехнич. ин-та №72, Иркутск, 1971 г. Стр 25-53.

34. Вопросы применения математических методов при управлении режимами и развитием электрических систем. Труды иркутского политехнического института. Иркутск 1972 г. стр. 71-90.

35. Мелентьев Л.А.Макаров А.А. Методы системных исследовании в энергетике и их применение. «Энергетика-2000. Материалы семинара представителей АН СССР и ОАПЕК. Масква, 13-15 ноябрь. 1984.» М. 1985 г. стр. 92-110.

36. Александров О.И., Дошников С.В., Бабкевич Г.Г. Декомпозиция сложных электрических систем с использованием принципа координации взаимодействии. Изв. Вузов энерг.» 1990 г. №2, стр. 22-26.

37. Нурминкии Е.А., Андрусенко С.К., Стецюк П.И. О новом полиномиальном алгоритме линейного программирования. «Кибернетика» (киев). 1985 г. №4. стр. 118-120.

38. Костина Е.А. Прищепова С.В. Алгоритмы решения задач кусочно-линейного программирования с простыми ограничениями. «Ин-т. мат. АН. СССР.» 1987. №24/294. стр. 3-44.

39. Суповцов Л.К. Вилков В.Б. Об одном подходе к решению линейных задач ЦП. «Применение математики в экономике.» (Ленинград). 1986 г. №14. ст. 25-53.

40. Астахов Н.Д. Уткин С.Л. О применимости метода последовательных расчетов к задачам линейного программирования с фиксированными доплатами. «Мат. Модели и САПР в судостр.» 1985. стр. 94-96.

41. Макаров А.А.Новый этап развития энергетики СССР. «Изв. АН СССР. энерг. и трансп.» 1988 г. №4, стр. 17-28.

42. Афонон Ю.С. Блочный метод ветвей и границ. «Автомат и телемех.» 1966 г. №8, стр. 98-108.

43. Семенов В.В. Динамическое програмирование в синтезе логико-динамических систем. «Изв. вузов приборостроения.» 1984 г. 27, №9, стр.71-77.

44. Шевченко А.Н. Применение метода динамического программирования и теории двойственности к многоиндексной транспортной задаче. «Алгоритмы решения сетевых задач.» М.1984 г. стр.45-58.

45. Гроппен Б.О. Оптимизация методов динамического программирования при решении экстремальных комбинаторных задач. «Автомат и телемех.» 1985 г. №12, стр. 79-84.

46. Дале В.А., Кришан З.П., Паегле О.Г. Итеративные методы решения динамических задач энергетических систем болшой размерности. «Изв. Ан Латв. ССР. сер. физ. и техн. н..» 1984 г.№4, стр, 92-102.

47. Макаров А.А. Ткаченко Г.Е., Шевчук Л.М. Принципы моделирования динамических связей энергетического комплекса в условиях неопределенности. «совершен моделей и методов оптимиз. слож. отрасл. систем.» Новосибирск, 1987 г. стр. 14-21.

48. Имотович А.Е., Кривобок И.Г. Алгоритми решения задач линейного динамического програмирования. «Методы иследования сложнгых систем.» Тр. конф. мол. ученых Внии систем иследованний. 1985 г. стр. 10-18.

49. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мизин А.Л. Модели оптимизации развития энергосистем. М.: высш. шк. 1987 г. 272 с.

50. Аношко В.Ф., Боршевский М.З., Диклн И.И., Симаков Н.В. Вычислительные средства для програмирования энергопотребления. Системы энергетики: Управление развитием и функционированием T.S.» Иркутск. 1986 г. стр. 54-58.

51. Литвинчев И.С. Декомпозиция в экстремальных задачах со специальной структурой ЖВМ и МФ. 1990-30. №7.стр. 1008-1016..

52. Мелентьев Л.А. Энергетическая программа СССР на Длительную перспективу. «Энергия: экон., техн.» 1984 г. №4, стр. 2-12.

53. Аминеладзе Т.Я. Демирханова А.С., Камкамидзе К.Н. Решения задачи програмирования и эксплуатации энергетических систем. «Труды института энергосеть-проект», Масква, «Энергия», 1978, стр. 153-159.

54. Камкамидзе К.Н., Демирханова А.С. Програмирование энергопотребления на несколько часов вперед. Труды ГПИ, №9 (173), 1974. стр. 133-135.

55. Волкенау И.М., Зейлигер А.Н., Хабачев Л.Д. Экономика формирования электроэнергетических систем. – М.,; Энергия, 1981-320 с.

56. Макаров А.А., Мелентьев Л.А. Методы иследования и оптимизации энергетического хозяйства. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1973-274 с.

57. Применение цифровых вычислительных машин в электроэнергетике: Учебное пособие для вузов /О.В. Щербачев, А.Н. зайлигер и др. – Л.: Энергия, 1980-240 с.

58. Липес А.В. Математические задачи энергетики - Свердловск: Изд. УПИ, 1981-86 с.

59. Методика определения экономической эффективности капитальных влозений. – Экономическая газета, 1981 г. №2,3. стр.2.

60. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных влажений в развитие энергетического хозяйства – М.: Энергшия, 1973 г. Стр 42.

61. Новожилов В.В. Проблемы измерения затрат и результатов при оптимальном планировании. – М.: Экономика, 1967-367 с.

62. мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. Элемент теории, направления развития. 2-е изд. – М.: Наука. 1983-454 с.

63. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л.Модели и методы оптимизации развития энергосистем. – Свердловск. Изд, УПИ. 1976-146 с.

64. Беляев Л.С., Войцеховская Г.В., Савальев В.А. – и др. Системный подход при управлении развитием электроэнергетики – Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1980-232 с.

65. Мелентьев А.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики – М.: Высшая школа, 1982-319 с.

66. Липес А.В. Применение методов математической статистики для решения электроэнергетических задач. – Свердловск: Изд. УПИ, 1983-86 с.

67. Гольштейн Е.Г. Юдин Д.Б. Новые направления в линейном програмировании. Издательство «Советское радио.» Масква-1966. стр.225-228.

68. Мшвидобадзе Т.Я. Перспективы развития электрической сети. Gorgian engineering news 3-2007. ISSN 1512-0287. стр.214-215.