

დავით ჩიქოვანი

ცოდნის ბაზის წესებს შორის კონფლიქტების გადაწყვეტის  
მეთოდების შემუშავება ენერგოსისტემის რეჟიმების მართვის  
მაგალითზე

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

2012

საავტორო უფლება © 2012 "დავით ჩიქოვანი"

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით "დავით ჩიქოვანის" მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: "ცოდნის ბაზის წესებს შორის კონფლიქტების გადაწყვეტის მეთოდების შემუშავება ენერგოსისტემის რეჟიმების მართვის მაგალითზე" და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის "ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის" სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

ხელმძღვანელი: სრული პროფ. ტ.მ.დ. რომან სამხარაძე

რეცენზენტი: ასოც. პროფ. ტ.მ.კ. ნინო მჭედლიშვილი

რეცენზენტი: ასოც. პროფ. ტ.მ.კ. გელა ჭიკაძე

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2012

ავტორი: დავით ჩიქოვანი  
დასახელება: "ცოდნის ბაზის წესებს შორის კონფლიქტების გადაწყვეტის მეთოდების შემუშავება ენერგოსისტემის რეჟიმების მართვის მაგალითზე"  
ფაკულტეტი: "ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი"  
აკადემიური ხარისხი: დოქტორი  
სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნების ან ინსტიტუტების მიერ შემოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნების კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

## დ. ჩიქოვანი

---

### ავტორის ხელმოწერა

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

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

დისერტაციას ვუძღვნი მშობლებს

## რეზიუმე

სადისერტაციო ნაშრომის "ცოდნის ბაზის წესებს შორის კონფლიქტების გადაწყვეტის მეთოდების შემუშავება ენერგოსისტემის რეჟიმების მართვის მაგალითზე", ძირითად მიზანს წარმოადგენს პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელებისა და ალგორითმების შემუშავება.

რთულ, დინამიკურ ტექნიკურ სისტემებში გადაწყვეტილებების სწორად და ეფექტურად მიღებას ხელს უწყობს ექსპერტულ სისტემებში პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების ეფექტურად გადაწყვეტა და შესაბამისი მეთოდებისა და ალგორითმების შემუშავება და გამოყენება.

აქედან გამომდინარე, ცოდნის ბაზის წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადასაწყვეტად შემუშავებულია მიდგომა, რომლის თანახმად არსებული სიტუაციიდან გამომდინარე წესების კონფლიქტური ნაკრები იყოფა ჯგუფებად. მათ ენიჭებათ პრიორიტეტები და სრულდება ამ ჯგუფების რანჟირება პრიორიტეტების შესაბამისად. თითოეული ჯგუფის შიგნით პროდუქციული წესები, ასევე დალაგებულია პრიორიტეტების მიხედვით, სიტუაციიდან გამომდინარე.

ასეთი მიდგომა მკვეთრად ამცირებს გასასინჯი წესების რაოდენობას გადაწყვეტილების მიღების თითოეულ ეტაპზე, რაც თავის მხრივ იძლევა ეფექტური გადაწყვეტილების სწრაფად მიღების შესაძლებლობას. მეხსიერებაში მოთავსებული შაბლონები, რომლებსაც შედარდება პროდუქციული წესების პირობის ნაწილები, დალაგებულია ანბანის მიხედვით, რაც მკვეთრად აჩქარებს საჭირო წესის ძებნისა და ამორჩევის პროცესს.

ენერგეტიკის ამოცანებისა და პრობლემების გადაწყვეტის მიზნით გამოყენებული ექსპერტული სისტემებისადმი მიძღვნილი ლიტერატურის მიმოხილვა და ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ექსპერტული სისტემების გამოყენების ძირითადი სფეროა ენერგოსისტემების ოპერატიული, ავარიული და ავარიის შემდგომი რეჟიმების ეფექტური მართვა. შედარებით ნაკლები ყურადღება ეთმობა მათ გამოყენებას ენერგოსისტემების სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის.

როგორც ცნობილია, ლოგიკური დასკვნების კეთების პრობლემატიკაში დიდი მნიშვნელობა აქვს პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის ეფექტური გზებისა და საშუალებების შემუშავებასა და რეალიზებას. გაანალიზებულია არსებული მდგომარეობა და ნაჩვენებია ამ კუთხით სამეცნიერო კვლევების წარმართვის აუცილებლობა.

ჩატარებულია პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების ანალიზი. ნაჩვენებია, რომ ამ კონფლიქტების ეფექტურ

გადაწყვეტაზეა დამოკიდებული სწორი გადაწყვეტილებების სწრაფად მიღება. ნაჩვენებია, აგრეთვე, რომ პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების სწრაფ გადაწყვეტაზე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული რთული ტექნიკური და დინამიკური ობიექტების ეფექტური მართვა.

გამოკვლეულია ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის დროს მოქმედი მიზნები და მათ შორის არსებული რთული ურთიერთკავშირები. მიზნების ნაწილს შორის მჭიდრო კავშირი არსებობს, მიზნების ნაწილს შორის კი - სუსტი. მიზნების ნაწილი წინააღმდეგობრივია, ნაწილი კი - არა. გარდა ამისა, ეს მიზნები არაერთგვაროვანია, ანუ მიზნების ნაწილი ორიენტირებულია მათი შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობების მაქსიმიზებაზე, ნაწილი კი - მინიმიზებაზე.

ყოველივე ეს, აუცილებელს ხდის ექსპერტული სისტემების გამოყენებას ენერგოსისტემების ნორმალური სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის. ნაჩვენებია, რომ ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვაში გამოყენებული ექსპერტული სისტემები არ ითვალისწინებენ ენერგოსისტემის ობიექტებს შორის არსებული კავშირებს.

შემუშავებულია ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს ენერგოსისტემის ობიექტებს შორის კავშირებსა და ამ ობიექტების მიზნებს შორის არსებულ რთულ კავშირებს. მოყვანილია შესაბამისი შეზღუდვა ტოლობები და უტოლობები.

შემუშავებულია პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელი და შესაბამისი ალგორითმები, რომლებიც ითვალისწინებენ ენერგოსისტემის ობიექტებს შორის არსებულ კავშირებს.

საქართველოს ენერგოსისტემის სადღეღამისო ნორმალური რეჟიმების ეფექტურად მართვის მიზნით შემუშავებულია ექსპერტული სისტემა. არსებული ექსპერტული სისტემებისაგან განსხვავებით მისი სტრუქტურა შეიცავს პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის ბლოკს, რომელიც ლოგიკური დასკვნების მკეთებელ ბლოკთან ერთად ქმნის ერთ მსხვილ ბლოკს.

ასეთი მიდგომის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ ლოგიკური დასკვნების კეთების პროცესში ხდება პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტა, რაც თავის მხრივ, აჩქარებს ეფექტური გადაწყვეტილების მიღების პროცესს. რაც უფრო ეფექტურად წყდება კონფლიქტი პროდუქციულ წესებს შორის, მით უფრო სწრაფად ხდება გადაწყვეტილების მიღება.

შექმნილია ცოდნის ბაზა, რომელშიც გათვალისწინებულია ენერგოსისტემის ობიექტებს შორის არსებული კავშირები. შემუშავებულია პროდუქციული წესებისა და ფაქტების სისტემა, შეკითხვებისა და ბრძანებების სისტემა. შემუშავებულია მსჯელობების პირდაპირი მწკრივის რეალიზების ალგორითმი.

შემუშავებულია ექსპერტულ სისტემასთან ენერგოსისტემის ტექნოლოგიის ურთიერთობის ინტერფეისი და დიალოგის სქემა.

შემუშავებული სქემის მიხედვით ენერგოსისტემის ტექნოლოგის მიერ საწყისი მონაცემების შეტანის შემდეგ, სრულდება მათი შემოწმება. შეცდომის აღმოჩენის შემთხვევაში მართვა გადაეცემა ტექნოლოგს. თუ საწყისი მონაცემები კორექტულია, მაშინ მართვა გადაეცემა გამოთვლების ბლოკს. შემდეგ მართვა ისევ გადაეცემა ტექნოლოგს და ის იღებს საბოლოო გადაწყვეტილებას. თუ მიღებული სადღეღამისო რეჟიმი მიუღებელია ტექნოლოგისთვის, მაშინ ის ცვლის მონაცემებს და იმეორებს გამოთვლების პროცესს.

## ABSTRACT

The dissertation 'Developing the methods of solution of conflicts among the rules of knowledge base upon the example of modes of energy system' has the main purpose to develop the models and algorithms for solution of conflicts among production rules.

Effective solution of conflicts among production rules and development and usage of corresponding methods and algorithms in expert system enable to make correct and effective decisions in complex dynamic technical systems.

Therefore, we offer the method of solution of conflicts among the rules of knowledge base. Conflicting set of rules are divided into groups. These groups have different priorities and they are ranged according to these priorities. Production rules are also ranged according to priorities in these groups. Such method decreases the quantity of inspected rules on each step of decision making and therefore, enables to make effective decisions quickly. The parts of condition of production rules are compared with the models in the memory. Models are ranged alphabetically and this fact speeds up the process of search and selection of needed rule.

Review and analysis of literature about expert systems, which has the purpose to solve the problems of energy system, show that expert systems are mainly used for effective management of operative, emergency and post-emergency modes. Such systems are rarely used for effective management of daily modes of energy system.

As we know, development and realization of effective methods of solution of conflicts among production rules are very important in the field of logical conclusions. We analyze the current situation and show the necessity of conducting scientific researches.

We analyze the conflicts among production rules and show that effective solution of these conflicts enables to make correct decisions quickly. We also show that effective management of complex technical and dynamic objects largely depends on the solution of conflicts among production rules.

We research the main goals and their relationships in the process of management of energy system in daily mode. Some goals have dense relationships, but some are connected weakly. Some goals are contradictory. Besides, these goals are diverse, i.e. some of them are oriented on the maximization of corresponding quantities, but some try to minimize these quantities. Therefore, it becomes necessary to use expert systems for effective management of normal daily regimes of energy system. We show that such expert systems don't take into consideration the relationships among objects of energy system.

We developed the model of management of daily regimes of energy system, which takes into consideration complex relationships among objects of energy system and among objects' goals. We offer corresponding equalities and inequalities.



We developed the models and algorithms of solution of conflicts among production rules. These models and algorithms take into consideration complex relationships among the objects of energy system.

We developed the expert system for effective management of normal daily regimes of Georgian energy system. In difference from existing expert systems, this system includes the block of solution of conflicts among production rules. This block and the block of logical conclusions create one big block. Advantage of such method is that in the process of making logical conclusions, conflicts among production rules are solved and therefore, effective decision is made quickly.

We created knowledge base, which takes into consideration relationships among the objects of energy system. We developed the system of production rules and facts and the system of questions and commands. We offer the algorithm of realization of direct line of discussions.

We developed the interface and scheme of dialogue between expert system and technologist of energy system. According to this scheme, data is inspected after the technologist inputs the initial data. If the error is present, then the technologist begins to manage the system. If initial data is correct, then the block of calculations performs the function of management. Lately technologist continues to manage the system and makes final decision. If current daily regime is unacceptable for technologist, then he/she changes the data and repeats the calculations.

# შინაარსი

შესავალი.....	14
<b>თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა: პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის საშუალებები .....</b>	<b>18</b>
1.1. ენერგეტიკაში გამოყენებული ექსპერტული სისტემების მიმოხილვა და ანალიზი .....	18
1.2. პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის გზები და საშუალებები .....	25
1.3. ამოცანის დასმა .....	42
<b>თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა: პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელები და ალგორითმები .....</b>	<b>46</b>
2.1. ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის მოდელი .....	46
2.2. ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვისას მოქმედ მიზნებს შორის არსებული კავშირების ანალიზი ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე .....	57
2.3. კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელის შემუშავება .....	64
2.4. კონფლიქტების გადაწყვეტის ალგორითმები .....	68
<b>თავი 3. შედეგების პრაქტიკული რეალიზება: ექსპერტული სისტემის შემუშავება საქართველოს ენერგოსისტემის რეჟიმების მართვისთვის .....</b>	<b>73</b>
3.1. ექსპერტული სისტემის სტრუქტურა .....	73
3.2. მსჯელობების პირდაპირი მწკრივის რეალიზება პროდუქციული წესების კონფლიქტური ნაკრების არსებობის პირობებში .....	81
3.3. ტექნოლოგის ინტერფეისის შემუშავება .....	89
<b>დასკვნები .....</b>	<b>104</b>
<b>ლიტერატურა .....</b>	<b>106</b>

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1.	ცვლადების სახელები .....	84
ცხრილი 2.	პირობის ცვლადები .....	84
ცხრილი 3.	ლოგიკური გამოყვანის ცვლადები .....	84
ცხრილი 4.	ლოგიკური გამოყვანის ცვლადების რიგი .....	85
ცხრილი 5.	ლოგიკური გამოყვანის ცვლადები .....	85
ცხრილი 6.	პირობის ცვლადები .....	85
ცხრილი 7.	ზამთარი .....	92
ცხრილი 8.	გაზაფხული .....	93
ცხრილი 9.	ზაფხული .....	94
ცხრილი 10.	შემოდგომა .....	95

## ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. ენერგეტიკაში ენერგოსისტემების გამოყენების სფეროები .....	26
ნახ. 2. პროდუქციული სისტემის კონფიგურაცია .....	27
ნახ. 3. პროდუქციული წესის ზოგადი წარმოდგენა გრაფის სახით .....	27
ნახ. 4. პროდუქციული წესის ზოგადი წარმოდგენა გრაფის სახით .....	28
ნახ. 5. მუშა მეხსიერების შემცველობა .....	33
ნახ. 6. მუშა მეხსიერების შემცველობა .....	33
ნახ. 7. წესების გამოყენება პრიორიტეტის მიხედვით დასკვნების კეთებისას პრიორიტეტის სიღრმის მიხედვით .....	38
ნახ. 8. გადასაწყვეტი ამოცანის ადგილი ენერგოსისტემაში .....	48
ნახ. 9. სადღეღამისო დატვირთვის გრაფიკი .....	49
ნახ. 10. ერთ ჰეს-ის დონეზე მოქმედ მიზნებს შორის არსებული შიდა კავშირები .....	59
ნახ. 11. ორი ჰეს-ის მიზნებს შორის არსებული გარე კავშირები .....	60
ნახ. 12. ჰეს-ების მიზნებს შორის არსებული გარე კავშირები .....	60
ნახ. 13. ჰეს-ებისა და თეს-ების მიზნებს შორის არსებული გარე კავშირები .....	61
ნახ. 14. პროდუქციული წესების ქვესიმრავლეების ურთიერთმიმარ- თება.....	65
ნახ.15. კონფლიქტური წესების ქვესიმრავლეების ურთიერთმიმარ- თება.....	66
ნახ. 16. ექსპერტული სისტემის სტრუქტურა .....	77
ნახ. 17. მიმთითებლის მიმდინარე პოზიცია .....	88
ნახ. 18. ექსპერტული სისტემის პირველი ფანჯარა .....	91
ნახ. 19. ელექტროსადგურების გამომუშავების გრაფიკები ზამთრის პერიოდისთვის .....	96
ნახ. 20. ელექტროსადგურების გამომუშავების გრაფიკები გაზაფხულის პერიოდისთვის .....	97
ნახ.21. ელექტროსადგურების გამომუშავების გრაფიკები ზაფხულის პერიოდისთვის .....	98
ნახ. 22. ელექტროსადგურების გამომუშავების გრაფიკები შემოდგომის პერიოდისთვის .....	99
ნახ. 23. "ბრძანებების ბლოკის" ფანჯარა .....	100
ნახ. 24. "ტექნოლოგის შეკითხვების ბლოკის" ფანჯარა .....	100
ნახ. 25. "ექსპერტული სისტემის შეკითხვების ბლოკის" ფანჯარა .....	101
ნახ. 26. დიალოგის სქემა .....	102

## მადლიერება

განსაკუთრებული მადლობა მინდა გადავუხადო ჩემს ხელმძღვანელს ტ.მ.დ. სრულ პროფესორ ბატონ რომან სამხარაძეს, რომლის კვალიფიციური პროფესიული რჩევები წლების მანძილზე მეხმარებოდა სამეცნიერო საქმიანობასა და პრაქტიკულ ამოცანათა გადაწყვეტაში. მადლობა მას ჭეშმარიტი ადამიანური თანადგომისთვის.

დიდ მადლობას ვუხდით ტ.მ.დ. სრულ პროფესორ ბატონ კონსტანტინე კამკამიძეს, უანგაროდ გაწეული საქმიანი კონსულტაციებისა და დახმარებისათვის.

მინდა მადლობა გადავუხადო ასევე კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტის ხელმძღვანელ პროფესორ ლ. იმნაიშვილს და ამავე დეპარტამენტის პროფესორ-მასწავლებლებს, რომლებმაც განსაკუთრებული როლი ითამაშეს ჩემი, როგორც სპეციალისტის ჩამოყალიბებაში და რომელთა დახმარებითაც დავამთავრე დისერტაციაზე მუშაობა.

დიდი მადლობა სრულ პროფესორ ქალბატონ თინათინ კაიშაურს მისი საქმიანი კონსულტაციებისათვის.

## შესავალი

ცნობილია, რომ ენერგოსისტემებში არსებული პრობლემების გადაწყვეტისათვის ექსპერტული სისტემების გამოყენებას ბევრი ფაქტორი განაპირობებს. ესაა სივრცული გადანაწილებადობა; გამოყენებული მოწყობილობებისა და ჰიდრო, თბო და ატომური ელექტროსადგურების მრავალფეროვნება; ავარიულ და ავარიის შემდეგ პერიოდებში ინფორმაციის ნაკლებობა და ა.შ.

ენერგოსისტემების რეჟიმების მართვისას ექსპერტული სისტემების გამოყენება იძლევა: ავარიული რეჟიმების მართვის დროს სიტუაციის სწორი ანალიზისა და სწორი გადაწყვეტილებების მიღების საშუალებას; ავარიის შემდგომ პერიოდში ნორმალური რეჟიმის აღდგენის მიზნით კვალიფიციური ტექნოლოგების ცოდნის გამოყენების საშუალებას; მიღებული გადაწყვეტილებების ახსნისა და განმარტებების საშუალებას, რაც თავის მხრივ, დამწყებ და გამოუცდელ ენერგოსისტემის ტექნოლოგებს აძლევს ცოდნისა და გამოცდილების მიღების საშუალებას და ა.შ.

ენერგეტიკაში ექსპერტული სისტემები გამოიყენება შემდეგი ამოცანების გადასაწყვეტად: მომსახურე პერსონალის სწავლება, საწვრთნელების შექმნა, სიმძლავრეების რეგულირება, ზუსტი დიაგნოზის დასმა, მუშაობის საიმედო და უსაფრთხო რეჟიმების უზრუნველყოფა, ელექტროსადგურების მუშაობის რეჟიმების პროგნოზი და მართვა, ელექტრომომარაგების აღდგენა ავარიის შემდეგ, ავარიული და ავარიის შემდგომი რეჟიმების მართვა, ენერგოსისტემების მდგომარეობების ანალიზი და ა.შ.

ლოგიკური დასკვნების მკეთებელი მექანიზმის მუშაობის დროს ერთ-ერთი მთავარი პრობლემაა პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტა და კონფლიქტური ნაკრების ზომის შემცირება. ეს, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენას ლოგიკური დასკვნების კეთების პროცესის ეფექტურობაზე. ნაჩვენებია, რომ საჭიროა მეცნიერული

კვლევების გაძლიერება ამ მიმართულებით და კონფლიქტის გადაწყვეტის ეფექტური გზების, საშუალებებისა და მიდგომების შემუშავება.

ცნობილია, რომ ლოგიკური დასკვნების კეთების ეფექტურობის თვალსაზრისით პროდუქციულ სისტემებში მთავარი პრობლემაა გრაფზე ძებნის ორგანიზების ხერხი, ანუ კონფლიქტების გადაწყვეტა და პირობის ნაწილების შეფასებების მიმდევრობების განსაზღვრა. შესაძლებელია, და/ან გრაფის სიგანის წინასწარ შეზღუდვა დასკვნების კეთების ეტაპების მიხედვით და იმ წესების რაოდენობით, რომელთა საფუძველზე კეთდება ერთი და იგივე დასკვნა.

აქედან გამომდინარე, მკვეთრად მცირდება იმ შემთხვევების რაოდენობა, როცა შესაძლებელია ყველა დასკვნის გამოტანა. თუმცა, პრაქტიკული დანიშნულების სისტემებში დიდი მნიშვნელობა აქვს მიღებული დასკვნის ეფექტურობას. მნიშვნელობა აქვს, აგრეთვე მოთხოვნილი მონაცემების და მათი მოთხოვნების სწორ მიმდევრობას.

პროდუქციულ სისტემებში გადაწყვეტილებების მიღების თითოეულ ეტაპზე მთავარი პრობლემაა საჭირო წესის არჩევა. სწორედ ამაზეა დამოკიდებული გადაწყვეტილებების მიღების სისწრაფე და ეფექტურობა, და შედეგად რთული დინამიკური ობიექტების ეფექტური მართვა.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, ენერგოსისტემების რეჟიმების ეფექტური მართვის პრობლემატიკაში, აუცილებელია შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტა:

1. ჰიდროელექტროსადგურებისა და თბოელექტროსადგურების მიზნებს შორის არსებული კავშირებისა და წინააღმდეგობების გამოვლენა და მათი ზემოქმედების განსაზღვრა ლოგიკური დასკვნების პროცესის ეფექტურობაზე.
2. პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელებისა და ალგორითმების შემუშავება.
3. შემუშავებული მოდელებისა და ალგორითმების ბაზაზე ექსპერტული სისტემის კვლევითი პროტოტიპის შემუშავება.

მეორე თავში აგებულია საქართველოს ენერგოსისტემის ნორმალური სადღეღამისო რეჟიმების მართვის მოდელი, რომელიც ხასიათდება მცირე სიმძლავრის სხვადასხვა ტიპის დიდი რაოდენობის ჰიდროელექტროსადგურის, სეზონური რეგულირების ჰიდროელექტროსადგურისა და მაღალდაწნევიანი, მცირეაგრეგატებიანი და დერივაციული ჰიდროელექტროსადგურის არსებობით. ჰიდროელექტროსადგურები ძირითადად მონაწილეობენ დატვირთვის გრაფიკის პიკური და ნახევრადპიკური ზონების დაფარვაში.

ენერგოსისტემების სადღეღამისო რეჟიმების მართვის დროს არსებული მიზნებიდან ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე გამოიყოფა ძირითადი მიზნები: დღე-ღამის განმავლობაში ელექტროენერგიაზე მოთხოვნის მაქსიმალურად დაკმაყოფილება, ჰიდროელექტროსადგურების მიერ დატვირთვის რეგულირების მაქსიმიზება, თბოელექტროსადგურებზე სათბობის დანახარჯების მინიმიზება და ა.შ. გამოკვლეულია მიზნებს შორის არსებული რთული კავშირები და ნაჩვენებია რთული ბუნება.

შემუშავებულია კონფლიქტის გადაწყვეტის მოდელი და შესაბამისი ალგორითმები. განსაზღვრულია ენერგოსისტემის მდგომარეობების სიმრავლეები. თითოეული მათგანისთვის განსაზღვრულია ერთმანეთთან კონფლიქტში მყოფი პროდუქციული წესების სიმრავლე.

პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელის საფუძველზე შემუშავებულია შესაბამისი ალგორითმები. ალგორითმი ითვალისწინებს ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის დროს მოქმედი მიზნების პრიორიტეტებს. პროდუქციული წესების დალაგება პრიორიტეტების მიხედვით სრულდება ენერგოსისტემის კვალიფიციური ტექნოლოგიების ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე.

მესამე თავში წარმოდგენილია საქართველოს ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვის მიზნით შემუშავებული ექსპერტული სისტემის სტრუქტურა. დაწვრილებითაა აღწერილია მისი



თითოეული ბლოკის მუშაობა. შემუშავებულია ფაქტებისა და პროდუქციული წესების სისტემა, აგრეთვე, ენერგოსისტემის ტექნოლოგიან კითხვა-პასუხის სისტემა. შემუშავებულია მსჯელობების პირდაპირი მწკრივის რეალიზების ალგორითმები პროდუქციული წესების კონფლიქტური ნაკრების არსებობის პირობებში. მოყვანილია ალგორითმის რეალიზების კონკრეტული მაგალითი.

შემუშავებულია ენერგოსისტემის ტექნოლოგიის ინტერფეისი და შემუშავებულია დიალოგის სქემა. სქემის მიხედვით საბოლოო გადაწყვეტილებას იღებს ენერგოსისტემის ტექნოლოგი. თუ ფორმირებული სადღეღამისო რეჟიმი მიუღებელია ტექნოლოგისთვის, მაშინ ის იმეორებს რეჟიმის ფორმირების პროცესს.

# თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა: პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის საშუალებები

## 1.1. ენერგეტიკაში გამოყენებული ექსპერტული სისტემების მიმოხილვა და ანალიზი

ჩვეულებრივ, ექსპერტული სისტემები გამოიყენება ენერგეტიკის იმ პრობლემების გადასაწყვეტად, რომლებისთვისაც არ არსებობს ფორმალური აღწერა [1, 2]. ენერგოსისტემებში არსებული პრობლემების გადაწყვეტისათვის ექსპერტული სისტემების გამოყენებას შემდეგი ფაქტორები განაპირობებენ: სივრცული გადანაწილებადობა; გამოყენებული მოწყობილობების და ჰიდრო, თბო და ატომური ელექტროსადგურების დიდი მრავალფეროვნება; ავარიულ და ავარიის შემდეგ პერიოდებში ინფორმაციის ნაკლებობა და გადაწყვეტილებების მიღებისას არსებული პრობლემები, რაც აფერხებენ აღდგენის პროცესს და ა.შ. [3, 4].

ენერგოსისტემების რეჟიმების მართვისას ექსპერტული სისტემების გამოყენება იძლევა: ავარიული რეჟიმების მართვის დროს სიტუაციის სწორი ანალიზისა და შესაბამისად, სწორი გადაწყვეტილებების მიღების საშუალებას; ავარიის შემდგომ პერიოდში ნორმალური რეჟიმის აღდგენის მიზნით კვალიფიციური ტექნოლოგების ცოდნის გამოყენების საშუალებას; მიღებული გადაწყვეტილებების ახსნისა და განმარტების საშუალებას, რაც თავის მხრივ, დამწყებ და გამოუცდელ ტექნოლოგებს აძლევს ცოდნისა და გამოცდილების მიღების საშუალებას და ა.შ.

ენერგეტიკაში არსებული პრობლემების გადასაწყვეტად აღარ არის ეფექტური არსებული კლასიკური მეთოდების გამოყენება [5-7]. ამიტომ,

უკანასკნელი 20-40 წელი ხასიათდება ენერგეტიკული პრობლემების გადასაწყვეტად ექსპერტული სისტემების გამოყენებით. რიგი შრომებისა [8-13] მიეძღვნა ენერგოსისტემების მართვაში ექსპერტული სისტემების გამოყენების აუცილებლობის დასაბუთებას. ჩამოყალიბებულია ექსპერტული სისტემების მიერ შესრულებული ფუნქციები: ენერგოსისტემების ნორმალური რეჟიმების დაგეგმვა და მართვა, მონაცემების შეგროვება და მათი ანალიზი, მოვლენების პროგნოზირება, მოპოვებული ინფორმაციის გამოყენება რეჟიმების ეფექტური დაგეგმვის მიზნით და ა.შ.

დიდი რაოდენობით ექსპერტული სისტემა იქნა შემუშავებული და გამოყენებული ჰიდრო, თბო და ატომური ელექტროსადგურების აგრეგატების დისპეტჩერირების მართვაში [14]. ასეთი ექსპერტული სისტემების ცოდნის ბაზა შეიცავს კვალიფიციური დისპეტჩერების ცოდნას, რაც ძალზე ეხმარება დამწყებ და არაკვალიფიციურ დისპეტჩერებს სწორი გადაწყვეტილებების მიღების პროცესში. ასეთი ექსპერტული სისტემების დადებითი მხარეა ის, რომ მათი გამოყენება წარმატებით შეიძლება დამწყებ და არაკვალიფიციურ დისპეტჩერების სწავლებისათვის.

ექსპერტული სისტემები წარმატებით გამოიყენება, აგრეთვე, ენერგეტიკულ ქსელებში ნაკადების გადაცემის მართვაში [15, 16]. მათი გამოყენების შედეგად შესაძლებელი ხდება ინფორმაციის სწრაფი დამუშავება, არაცხადი ინფორმაციის გამოყენება, პერსონალის მხრიდან დაშვებული შეცდომების მინიმიზება, მათი სწავლება და კვალიფიციური პერსონალის ცოდნის დაგროვება და გამოყენება.

დიდი ყურადღება ეთმობა ექსპერტული სისტემების შემუშავებისა და გამოყენების საკითხებს ენერგოსისტემებში ავარიების თავიდან აცილების, ავარიული რეჟიმებისა და ავარიების შემდგომი რეჟიმების მართვის საქმეში. ცნობილი პრობლემაა ავარიების შემდეგ ენერგოსისტემების ნორმალური რეჟიმების აღდგენა [17, 18]. ამ

პრობლემის გადასაწყვეტად შემუშავებულია რიგი ექსპერტული სისტემებისა. ისინი ასრულებენ მრჩეველის ფუნქციებს და ეხმარებიან ენერგოსისტემის პერსონალს ავარიის შემდეგ ნორმალური რეჟიმის აღდგენის პროცესში.

დიდი ყურადღება ეთმობა, აგრეთვე ექსპერტული სისტემების შემუშავებას ავარიის შემდეგ მაგისტრალური ქსელების ნორმალური ფუნქციონირების სწრაფად აღდგენისათვის [12, 19, 40]. ამ დროს, ძირითადი მიზანია ელექტროკვების აღდგენის ხანგრძლივობის შემცირება და გარდაცარად მინიმიზება. ექსპერტული სისტემების გამოყენებით შესაძლებელი ხდება დასაშვები მნიშვნელობებიდან სიხშირის გადახრის, ქსელებში სიმძლავრეების ნაკადების დისბალანსების, ძაბვის დონეების გათვალისწინება, გამაფრთხილებელი და ავარიული სიგნალების დამუშავება, მოწყობილობების მუშაობის უნარის დაზუსტება, ქსელის მუშაობის ნორმალური რეჟიმის აღდგენის კონტროლი და ა.შ. აქედან გამომდინარე, ექსპერტული სისტემების გამოყენება მნიშვნელოვნად ზრდის ენერგოსისტემის პერსონალის შესაძლებლობებს ავარიულ სიტუაციებში და ავარიის შემდგომ პერიოდებში სწორი გადაწყვეტილებების მიღებისას.

მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა ენერგოსისტემებში ავარიების პროფილაქტიკისა და თავიდან აცილების მიზნით ექსპერტული სისტემების შემუშავების საკითხებს. ენერგოსისტემის მუშაობის რეჟიმების ზუსტი და ოპერატიული შეფასება ჯერ-ჯერობით პრობლემად რჩება. ასეთ შემთხვევებში, ძირითად სირთულეს განაპირობებს შეფასების მეთოდების ნაკლები სიზუსტე, რაც ხანგრძლივ გამოთვლებს ითხოვს.

ამიტომ, აღნიშნული პრობლემის გადასაწყვეტად წარმატებით გამოიყენება ექსპერტული სისტემები [20, 51]. დასაბუთებულია ექსპერტული ცოდნის გამოყენების ეფექტურობა ანალიზური პროცედურების გამოყენებასთან შედარებით, რადგან ასეთ შემთხვევებში

შესაძლებელი ხდება ხანგრძლივი გამოთვლების თავიდან აცილება და ეფექტური გადაწყვეტილებების სწრაფად მიღება.

შრომების დიდი რაოდენობა მიემდვნა ავარიული რეჟიმების ეფექტურად მართვას ექსპერტული სისტემების გამოყენებით [16, 20, 21]. შემუშავებულია ავარიული რეჟიმების მართვის ალგორითმები და შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც ეფუძნება არაცხადი ლოგიკისა და არაცხადი სიმრავლეების თეორიას. ექსპერტული სისტემების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა ავარიული რეჟიმების დროული ანალიზი, მათი ეფექტური მართვა, ავარიის შედეგების შედარებით მოკლე დროში აღმოფხვრა და ა.შ.

ექსპერტული სისტემების საკმარისად დიდი რაოდენობა გამოიყენება ენერგოსისტემების რეჟიმების საიმედო მართვისა და უსაფრთხო რეჟიმების უზრუნველყოფისათვის [22, 23, 52]. ენერგოსისტემების ფუნქციონირების უსაფრთხოების პრობლემა მწვავედ დგას ნორმალური რეჟიმების ოპერატიული მართვის დროს. ასევე, მწვავედ დგას ენერგოსისტემების საიმედო მუშაობის უზრუნველყოფის პრობლემა. აქ შედის ისეთი ამოცანები, როგორცაა ელექტროგადაცემის ქსელების დატვირთვის მართვა, კვანძებში ძაბვის რეგულირება, ორგანიზაციული გადაწყვეტილებების მიღება ტერიტორიული და დროითი იერარქიის ნებისმიერ დონეზე და სხვა.

ენერგეტიკულ სისტემებში ექსპერტული სისტემების გამოყენების ერთ-ერთი პრიორიტეტული მიმართულებაა ნორმალური რეჟიმების ოპერატიული მართვა. მრავალი შრომა მიემდვნა ენერგოსისტემების ნორმალური ოპერატიული რეჟიმების სადისპეტჩერო მართვაში ექსპერტული სისტემების გამოყენებას [16, 24-26, 53]. აღნიშნულ შრომებში მოყვანილია მრავალი არგუმენტი და მეცნიერულად დასაბუთებულია აღნიშნული მიმართულებით ექსპერტული სისტემების გამოყენების აუცილებლობა.

ექსპერტული სისტემები ასრულებენ დისპეტჩერის მრჩევლის ფუნქციებს. ამას დიდი მნიშვნელობა აქვს რთულ სიტუაციებში სწორი და ეფექტური გადაწყვეტილებების მისაღებად, რადგან როგორც ცნობილია კრიტიკულ სიტუაციებში ადამიანებს უჭირთ სწორი და ეფექტური გადაწყვეტილებების სწრაფად მიღება.

ექსპერტული სისტემები აქტიურად გამოიყენება, აგრეთვე, ენერგომომწობილობების, როგორცაა აგრეგატები, ტრანსფორმატორები, გადამცემი ხაზები და ა.შ., დიაგნოზირებისათვის [27, 42-45].

თანამედროვე ენერგეტიკული ობიექტების ეფექტურად მართვისათვის აუცილებელია დიდი მოცულობის ექსპერტული ცოდნა [28, 54]. ეს ცოდნა ოპტიმალურად შეიძლება გამოყენებულ იქნას ინტელექტუალური და ექსპერტული სისტემების მიერ. აქედან, გამომდინარე, დიდი ყურადღება ეთმობა ექსპერტული სისტემების მიერ ცოდნის ბაზის შევსებისა და ამ ცოდნის ეფექტურად გამოყენების საკითხებს [29, 30, 55]. ცოდნის წარმოსადგენად, ძირითადად, გამოიყენება პროდუქციული წესები და ფრეიმები. რიგი ამოცანების გადასაწყვეტად წარმატებით გამოიყენება პროდუქციული წესების აპარატი.

ცოდნის შექმნის ძირითად წყაროდ წარმატებით გამოიყენება, აგრეთვე საუბრების ოქმების შედგენის მეთოდი [27, 31, 55]. ამ დროს, გაითვალისწინება ამოცანის პირობები და გადაწყვეტილებების მიღების პროცესი, ფიქსირდება ენერგოსისტემის ტექნოლოგის მოქმედებები ოქმის სახით. საუბრებისა და მოქმედებების ოქმების დამუშავებისა და ანალიზის საფუძველზე ხდება ცოდნის ბაზის შევსება. ამჟამად მიმდინარეობს მუშაობა ცოდნის შექმნის ახალი გზებისა და მეთოდების შემუშავების მიმართულებით.

გამოყოფილია ექსპერტული სისტემების სამი თაობა [29]: პირველი თაობის ექსპერტულ სისტემებში გამოიყენებოდა პროდუქციული წესები, ფრეიმები და „შავი ყუთის“ მეთოდები; მეორე თაობის ექსპერტულ სისტემებში სრულდებოდა ამ მეთოდების შეთავსება; მესამე თაობის

ექსპერტულ სისტემებში გამოიყენება პროტოტიპების მეთოდი, პრობლემებზე ორიენტირებული ცოდნის ბაზები, ჰიპერტექსტების მეთოდი და ა.შ. ამჟამად, მიმდინარეობს ახალი თაობის ექსპერტული სისტემების შექმნაზე მუშაობა. შესაბამისად, სამეცნიერო კვლევებიც ამ მიმართულებით სრულდება.

ამჟამად, ექსპერტული სისტემები გამოიყენება ენერგეტიკის ისეთი რთული პრობლემების გადასაწყვეტად, როცა ტრადიციული მეთოდების გამოყენება ნაკლებად ეფექტურია. [27, 32, 33, 56] შრომებში ნაჩვენებია ექსპერტული სისტემების გამოყენების უპირატესობები ტრადიციულ მეთოდებთან შედარებით. ამავე შრომებში განხილულია ექსპერტული სისტემების გამოყენების სფეროები და მიმართულებები ენერგეტიკის ამოცანებისა და პრობლემების გადაწყვეტისათვის. ნაჩვენებია, რომ ექსპერტული სისტემების გამოყენებით უფრო ოპტიმალურად ხდება ექსპერტული ცოდნის გამოყენება ენერგეტიკის პრობლემების გადაწყვეტის მიზნით.

[34, 57, 58] ნაშრომში მოყვანილია ენერგეტიკაში ექსპერტული სისტემების გამოყენების ძირითადი მიმართულებები: ელექტროსადგურების მუშაობის რეჟიმების დაგეგმვა, მართვა და პროგნოზირება, განგაშის სიგნალების ფორმირება, სადიაგნოზო სისტემების შექმნა და გამოყენება, საექსპლუატაციო ღონისძიებების დაგეგმვა და განხორციელება, მათი სწორი წარმართვა და შესრულება და ა.შ.

არ არსებობს ენერგეტიკის პრობლემების გადაწყვეტაში ექსპერტული სისტემების გამოყენებისადმი საერთო მიდგომა [33, 42], თუმცა მათი გამოყენება საკმაოდ ეფექტურია ინფორმაციის ნაკლებობისა და უზუსტობის პირობებში, ღია მოდელების გამოყენების შემთხვევებში, მრავალი ვარიანტის არსებობის შემთხვევაში გადაწყვეტილებების მიღების დროს და ა.შ.

როგორც ცნობილია, ენერგეტიკაში ექსპერტული სისტემები გამოიყენება შემდეგი ამოცანების გადასაწყვეტად: საპროექტო სამუშაოები, მომსახურე პერსონალის სწავლება, საწვრთნელების შექმნა, განგაშის სიგნალების გამომუშავება, სიმძლავრეების რეგულირება, ზუსტი დიაგნოზის დასმა, მუშაობის საიმედო და უსაფრთხო რეჟიმების უზრუნველყოფა, ელექტროსადგურების მუშაობის რეჟიმების პროგნოზი და მართვა.

ექსპერტული სისტემები წარმატებით გამოიყენება, აგრეთვე ელექტროგადაცემის ქსელებში ნაკადების მართვისა და ანალიზის, ელექტრომომარაგების აღდგენისას ავარიის შემდეგ, ავარიული და ავარიის შემდგომი რეჟიმების მართვისას, ნორმალური სადღეღამისო და ოპერატიული რეჟიმების მართვისას, ენერგოსისტემების მდგომარეობების ანალიზის დროს, საექსპლოატაციო ამოცანების გადაწყვეტისას, დაზიანების ადგილების აღმოსაჩენად, ძაბვების რეგულირებისათვის, ქსელების განვითარების მართვისთვის და ა.შ. [59, 60].

ამრიგად, ენერგეტიკის ამოცანებისა და პრობლემების გადაწყვეტის მიზნით გამოყენებული ექსპერტული სისტემებისადმი მიძღვნილი არსებული ლიტერატურის მიმოხილვა და ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ექსპერტული სისტემების გამოყენების ძირითადი და პრიორიტეტული სფეროა ენერგოსისტემების ოპერატიული, ავარიული და ავარიის შემდგომი რეჟიმების ეფექტური მართვა. შედარებით ნაკლები ყურადღება ეთმობა მათ გამოყენებას ენერგოსისტემების ნორმალური სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის.



## 1.2. პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის გზები და საშუალებები

როგორც ცნობილია, პროდუქციული სისტემა სამი ძირითადი კომპონენტისგან შედგება (ნახ. 1). ესაა პროდუქციული წესების ბაზა, მუშა მეხსიერება, რომელშიც ინახება მოცემულ საგნობრივ სფეროში კონკრეტული ამოცანების წინაპირობები და მათ საფუძველზე მიღებული დასკვნების შედეგები, და ლოგიკური დასკვნების კეთების მექანიზმი, რომელიც პროდუქციულ წესებს იყენებს მუშა მეხსიერების შემცველობის შესაბამისად.

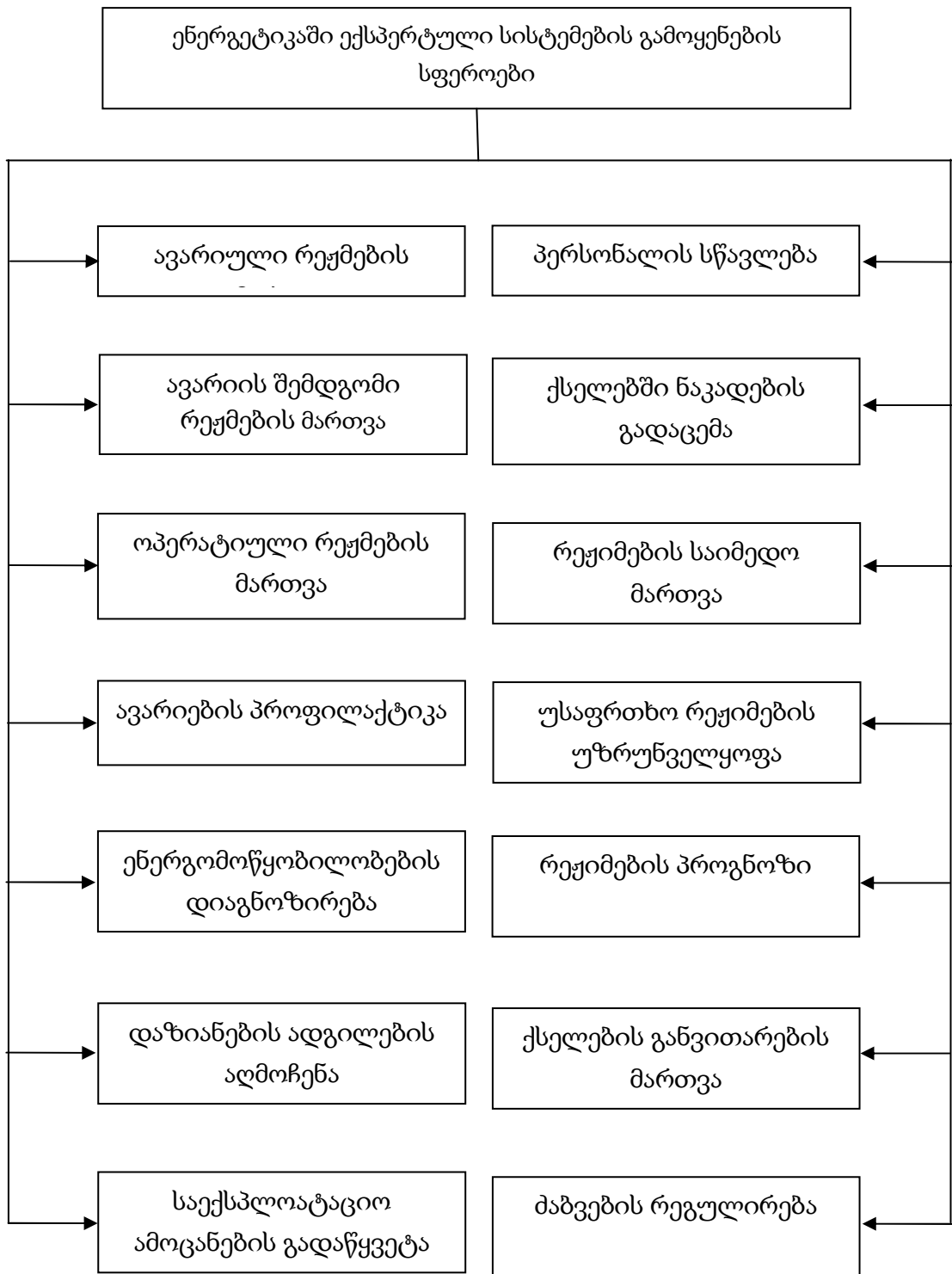
პროდუქციულ წესს შემდეგი სტრუქტურა აქვს:

**თუ პირობა მაშინ დასკვნა**

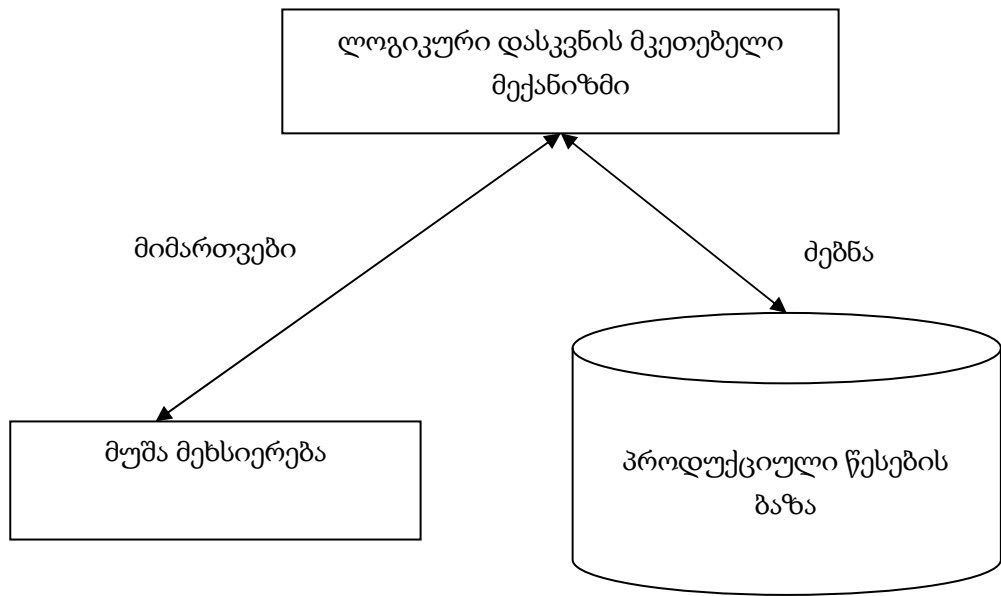
პროდუქციული წესის **თუ** ნაწილი შეიცავს წანამძღვარს, რომელიც შეიძლება შედგებოდეს ერთი ან მეტი პირობისაგან. პროდუქციული წესის **მაშინ** ნაწილი შეიცავს მოქმედებას, რომელიც შეიძლება შედგებოდეს ერთი ან მეტი დასკვნისაგან. წესის როგორც **თუ**, ისე **მაშინ** ნაწილები შეიძლება შეიცავდეს **და** და/ან **ან** ფუნქციებს, რომლებიც შესაბამისად წარმოადგენენ ბულის **და** და **ან** ფუნქციების ანალოგებს.

პროდუქციული წესის **თუ** ნაწილი შეიძლება შეიცავდეს ორ ან მეტ პირობას, რომლებიც ერთმანეთთან შეიძლება დაკავშირებული იყოს **და** და/ან **ან** ფუნქციებით. განვიხილოთ რამდენიმე შემთხვევა. დავუშვათ, პროდუქციულ წესს აქვს სახე:

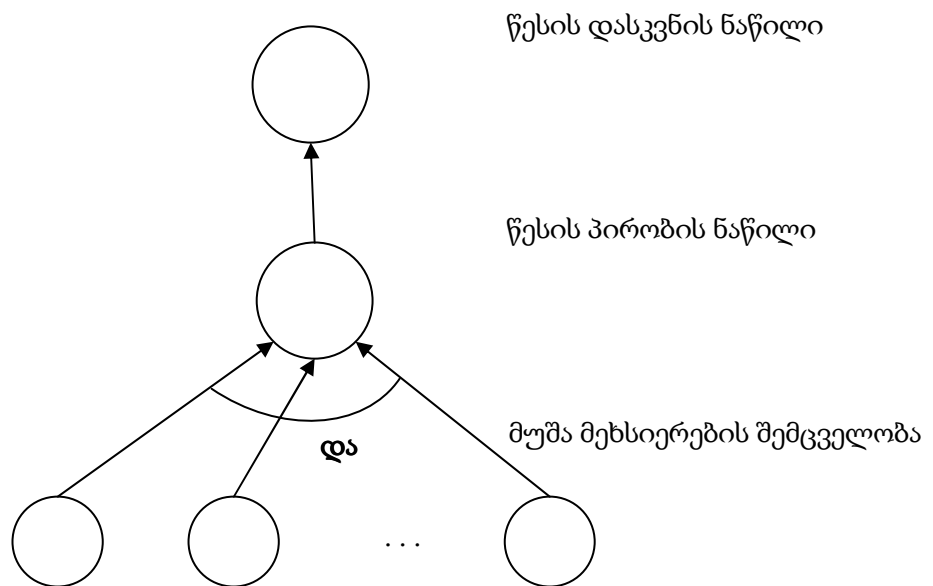
**თუ  $r_1$  ან  $r_2$  ან  $r_3$ , მაშინ  $d_1$**



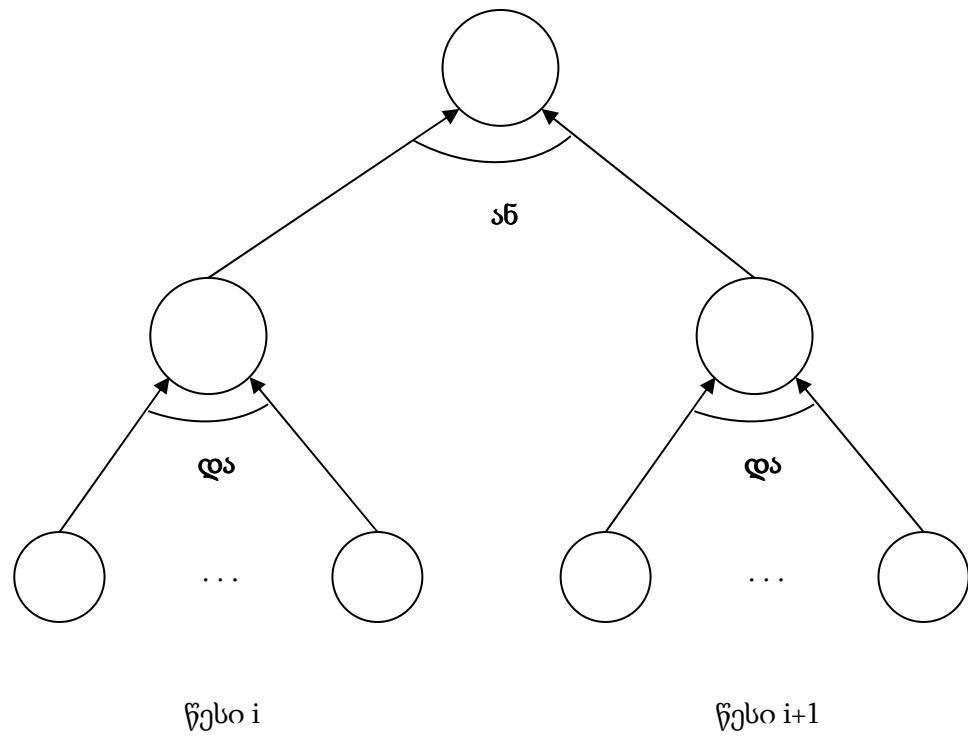
ნახ. 1. ენერგეტიკაში ენერგოსისტემების გამოყენების სფეროები



ნახ. 2. პროდუქციული სისტემის კონფიგურაცია



ნახ. 3. პროდუქციული წესის ზოგადი წარმოდგენა გრაფის სახით



ნახ. 4. პროდუქციული წესის ზოგადი წარმოდგენა გრაფის სახით

$d_1$  მოქმედება შესრულდება იმ შემთხვევაში, როცა სრულდება  $r_1$  ან  $r_2$  ან  $r_3$  პირობა. ამასთან, ლოგიკური დასკვნების მკეთებელი მექანიზმი ჯერ განიხილავს  $r_1$  პირობას, შემდეგ  $r_2$ , და ბოლოს  $r_3$  პირობას. ეს საშუალებას გვაძლევს პირობები დავალაგოთ მათი პრიორიტეტების მიხედვით.

დავუშვათ, წესს აქვს სახე:

**თუ  $r_1$  და  $r_2$  და  $r_3$ , მაშინ  $d_1$**

$d_1$  მოქმედება შესრულდება იმ შემთხვევაში, როცა ერთდროულად სრულდება  $r_1$ ,  $r_2$  და  $r_3$  პირობები. ამ სახის პროდუქციული წესი შეიძლება გრაფის სახით წარმოვადგინოთ (ნახ. 3).

დავუშვათ, პროდუქციულ წესს აქვს სახე:

**თუ ( $r_1$  და  $r_2$ ) ან ( $r_1$  და  $r_3$ ), მაშინ  $d_1$**

$d_1$  მოქმედება შესრულდება იმ შემთხვევაში, როცა ერთდროულად სრულდება  $r_1$  და  $r_2$  პირობები, ან  $r_1$  და  $r_3$  პირობები. ასეთი სახის პროდუქციული წესი შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც გრაფი (ნახ. 4).

პროდუქციული წესის **მაშინ** ნაწილში შეიძლება მიეთითოს ორი ან მეტი დასკვნა, რომლებიც ერთმანეთთან შეიძლება დაკავშირებული იყოს **და** და/ან **ან** ფუნქციებით. განვიხილოთ რამდენიმე შემთხვევა. დავუშვათ, წესს აქვს სახე:

**თუ  $r_1$ , მაშინ  $d_1$  ან  $d_2$**

თუ სრულდება  $r_1$  პირობა, მაშინ შესრულდება  $d_1$  ან  $d_2$  მოქმედება. ჯერ ლოგიკური დასკვნის მკეთებელი მექანიზმი ცდილობს შეასრულოს  $d_1$  მოქმედება. თუ ეს შეუძლებელია, მაშინ მექანიზმი ასრულებს  $d_2$  მოქმედებას.

დავუშვათ წესს აქვს სახე:

**თუ  $r_1$ , მაშინ  $d_1$  და  $d_2$**

თუ სრულდება  $r_1$  პირობა, მაშინ შესრულდება  $d_1$  და  $d_2$  მოქმედებები.

დავუშვათ, წესს აქვს სახე:

**თუ  $r_1$  და  $r_2$ , მაშინ (  $d_1$  და  $d_2$  ) ან (  $d_3$  და  $d_4$  )**

თუ  $r_1$  და  $r_2$  პირობები ერთდროულად სრულდება, ერთდროულად შესრულდება  $d_1$  და  $d_2$  მოქმედებები, ან  $d_3$  და  $d_4$  მოქმედებები.

ამრიგად, და/ან გრაფის საშუალებით შეგვიძლია წარმოვადგინოთ როგორც დამოკიდებულება პროდუქციულ წესებს, ისე და მუშა მესხიერების შემცველობას შორის. ასეთი გრაფის ყველაზე დაბალ წვეროში, როგორც წესი, განლაგებული იქნება ძირითადი სისტემური მონაცემები, ხოლო ყველაზე მაღალ წვეროში კი - ლოგიკური დასკვნების მკეთებელი მექანიზმის მიერ გამოტანილი დასკვნები.

დასკვნების სიმრავლე შეიძლება შეიცავდეს ათეულობით და/ან ასეულობით დასკვნას. აქედან გამომდინარე, პროდუქციული სისტემის მიერ გაცემული დასკვნა შეიძლება წარმოდგეს როგორც ამ დასკვნის შესაბამისი წესების სიმრავლისა და იმ მონაცემების ერთობლიობა, რომელთა საფუძველზეც ეს, კონკრეტული დასკვნა იქნა მიღებული.

ასეთი გრაფი წარმატებით შეგვიძლია გამოვიყენოთ, აგრეთვე უკუდასკვნების გასაკეთებლად. უკუდასკვნების კეთების პროცესი დაიყვანება გრაფზე გზის ძეხვის პრობლემის გადაწყვეტაზე. დასკვნების კეთების პროცესი იწყება გრაფის ყველაზე ქვედა დონის ერთ-ერთი წვეროდან და მთავრდება ყველაზე ზედა დონის ერთ-ერთი წვეროს პოვნით.

ერთი დასკვნის დასადასტურებლად აირჩევა ან კავშირებიდან ერთ-ერთი და განხორციელდება მის წინაპირობაში შემავალი წვეროების დადასტურების მცდელობა. წარმატების შემთხვევაში, დადასტურდება

აღნიშნული წვეროები, წინააღმდეგ შემთხვევაში კი - აირჩევა სხვა ან კავშირი და მეორდება აღნიშნული პროცესი. მოცემულ შემთხვევაში, ერთ-ერთი ან კავშირის ამორჩევა წარმოადგენს ერთ-ერთი პროდუქციული წესის არჩევას ანუ, ამ შემთხვევაში, ადგილი აქვს კონფლიქტის პრობლემის გადაწყვეტას.

ცნობილია, რომ ლოგიკური დასკვნების კეთების ეფექტურობის თვალსაზრისით პროდუქციულ სისტემაში მთავარი პრობლემაა გრაფზე ძებნის ორგანიზების ხერხი, ანუ კონფლიქტების გადაწყვეტა და პირობის ნაწილების შეფასებების მიმდევრობების განსაზღვრა. შესაძლებელია, და/ან გრაფის სიგანის წინაწარ შეზღუდვა დასკვნების კეთების ეტაპების მიხედვით და იმ წესების რაოდენობით, რომელთა საფუძველზე კეთდება ერთი და იგივე დასკვნა.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, მკვეთრად მცირდება იმ შემთხვევების რაოდენობა, როცა შესაძლებელია ყველა დასკვნის გამოტანა. მაგრამ, პრაქტიკული დანიშნულების სისტემებში დიდი მნიშვნელობა აქვს მიღებული დასკვნის ეფექტურობას. აგრეთვე, მნიშვნელობა აქვს მოთხოვნილ მონაცემებსა და მათი მოთხოვნების სწორ მიმდევრობას, რისთვისაც შემუშავებულია სხვადასხვა მეთოდები და მიდგომები.

პროდუქციულ სისტემებში გადაწყვეტილებების მიღების თითოეულ ეტაპზე მთავარი პრობლემაა საჭირო წესის არჩევა. სწორედ ამაზეა დამოკიდებული გადაწყვეტილების მიღების სისწრაფე და ეფექტურობა. ამ პრობლემის ილუსტრირებისათვის განვიხილოთ ლოგიკური დასკვნის კეთების (მსჯელობების პირდაპირი მწკრივი) მარტივი მაგალითი [37] ენერგოსისტემების სადღეღამისო ნორმალური რეჟიმების მართვის პროცესისათვის.

დავუშვათ, პროდუქციული წესების ბაზიდან ამორჩეულია შემდეგი ორი წესი:

### წესი 1

**თუ** საჭიროა უარყოფითი დისბალანსის ლიკვიდირება  
**და** ჰეს გამომიმუშავებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს  
**მაშინ** ადგილი ექნება სათბობის ეკონომიას

### წესი 2

**თუ** პიკის საათია  
**მაშინ** ჰეს გამოიმუშავებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს

დავუშვათ, მუშა მეხსიერებაში მოთავსებულია ორივე წესის შაბლონები (ნახ. 5):

1. „საჭიროა უარყოფითი დისბალანსის ლიკვიდირება“
2. „პიკის საათია“

ლოგიკური დასკვნის მკეთებელი მექანიზმი [38, 41] წესის პირობის ნაწილს ადარებს მუშა მეხსიერებაში მოთავსებულ შაბლონებს. შაბლონების რაოდენობა შეიძლება იყოს რამდენიმე ათეულიდან რამდენიმე ასეულამდე. დამთხვევის შემთხვევაში, პროდუქციული წესის პირობის ნაწილი ითვლება ნამდვილად (შესრულდა, true) და სრულდება ამავე წესის დასკვნის ნაწილი. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ის ითვლება მცდარად (არ შესრულდა, false).

თავდაპირველად, მუშა მეხსიერებაში სრულდება პირველი პროდუქციული წესის პირობის ნაწილების ძებნა და შაბლონებთან მათი შედარება. ამავე წესის პირობის მეორე ნაწილის შაბლონი:

„ჰეს გამომიმუშავებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს“

მუშა მეხსიერებაში არ არის. ამიტომ, მისი პირობის ნაწილი მთლიანობაში მცდარია.



მუშა მეხსიერება

1. საჭიროა უარყოფითი დისბალანსის ლიკვიდირება
2. პიკის საათია

ნახ. 5. მუშა მეხსიერების შემცველობა

მუშა მეხსიერება

1. საჭიროა უარყოფითი დისბალანსის ლიკვიდირება
2. პიკის საათია
3. ჰეს გამოიმუშავებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს

ნახ. 6. მუშა მეხსიერების შემცველობა

ამის შემდეგ, სრულდება მეორე წესის პირობის ნაწილის შედარება მუშა მეხსიერებაში მოთავსებულ შაბლონებთან. რადგან, მუშა მეხსიერებაში უკვე არის შაბლონი „პიკის საათია“, ამიტომ ამ წესის პირობის ნაწილი ითვლება ჭეშმარიტად (true). სრულდება მისი დასკვნის ნაწილი და შაბლონი „ჰეს გამოიმუშავებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს“ შეტანილი იქნება მუშა მეხსიერებაში (ნახ. 6).

*წესი 2* გამოირიცხება შემდგომი განხილვიდან. ამის შემდეგ, ლოგიკური დასკვნის მკეთებელი მექანიზმი განიხილავს დარჩენილი წესების გამოყენების შესაძლებლობას. დარჩენილია მხოლოდ *წესი 1*. სრულდება მისი პირობის ნაწილის შედარება მეხსიერებაში მყოფ შაბლონებთან. მოხდება დამთხვევა და შესრულდება ამ წესის დასკვნის ნაწილი „ადგილი ექნება სათბობის ეკონომიას“. რადგან, აღარ დარჩა გამოსაყენებელი პროდუქციული წესი, სისტემა ჩერდება. სისტემა გაჩერდება იმ შემთხვევაშიც, როცა შესრულდება გარკვეული პირობა, მაგალითად, როგორცა „ადგილი ექნება სათბობის ეკონომიას“.

ჩვენს მაგალითში ლოგიკური გამოყვანის (მსჯელობების პირდაპირი მწკრივი) ყოველ ეტაპზე შესაძლებელი იყო მხოლოდ ერთი პროდუქციული წესის გამოყენება, რაც ამარტივებდა ლოგიკური დასკვნების კეთების პროცესს. ხშირ შემთხვევებში, ასეთი წესი რამდენიმეა, რაც გარკვეულ პრობლემებს ქმნის, კერძოდ დგება პრობლემა თუ რომელი წესი უნდა ავირჩიოთ. ამის ილუსტრირებისთვის ჩვენს ორ პროდუქციულ წესს დავუმატოთ მესამე:

### *წესი 3*

**თუ** საჭიროა უარყოფითი დისბალანსის ლიკვიდირება

**მაშინ** ჰეს გამოიმუშავებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს

და შემოვიტანოთ სისტემის გაჩერების პირობა - მუშა მეხსიერებაში „ადგილი ექნება სათბობის ეკონომიას“ შაბლონის გამოჩენა. მესამე წესის

დამატების შემდეგ ლოგიკური დასკვნების კეთების პირველ ეტაპზე შესაძლებელი ხდება როგორც *წესი 2*-ის, ისე *წესი 3*-ის გამოყენება, რადგან ორივე წესის პირობის ნაწილები ემთხვევა მუშა მეხსიერებაში მოთავსებულ შაბლონს. *წესი 2*-ის არჩევის შემთხვევაში მომდევნო ეტაპზე შეგვიძლია გამოვიყენოთ *წესი 1* ან *წესი 3*. თუ ავირჩევთ *წესი 1*-ს, მაშინ სისტემა დაამთავრებს მუშაობას. თუ ავირჩევთ *წესი 3*-ს, მაშინ საჭირო გახდება კიდევ ერთი დამატებითი ეტაპი, რომელზეც სისტემა აირჩევს *წესი 1*-ს.

ამ მაგალითიდან მკაფიოდ ჩანს, რომ გამოსაყენებელი წესის არჩევას დიდი მნიშვნელობა აქვს. არჩევა მოქმედებს გადაწყვეტილებების მიღების ეფექტურობასა და სისწრაფეზე. გამოსაყენებელი წესების სიმრავლე ცნობილია როგორც კონფლიქტური წესების ნაკრები [39], ხოლო ერთ-ერთი მათგანის არჩევას კი ეწოდება კონფლიქტის გადაწყვეტა.

როგორც ვხედავთ, პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტაზე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული პროდუქციული სისტემის ფუნქციონირების ეფექტურობის ამაღლება. იმისათვის, რომ ამაღლდეს სისტემის ფუნქციონირების ეფექტურობა, აუცილებელია გადაწყდეს პროდუქციული წესების გამოყენების რიგითობის საკითხი. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად შემუშავებულია სხვადასხვა მიდგომები. ხშირად გამოიყენება პრიორიტეტული ძეზნის ხერხი, რომელიც ეფუძნება ხისტი პირობების პქონე წესებს. შედარებით იშვიათად გამოიყენება თამაშებისთვის დამახასიათებელი გრაფზე ძეზნის ალგორითმები, როგორცაა  $\alpha$ - $\beta$  ალგორითმები.

პრაქტიკული დანიშნულების სისტემებში გრაფზე ძეზნის ალგორითმების ნაცვლად ხშირად იყენებენ საგნობრივი სფეროს თვისებებსა და თავისებურებებს კონფლიქტის გადასაწყვეტად. ასეთ შემთხვევებში, ხშირად გამოიყენება ევრისტიკული მეთოდები. გარდა ამისა, ლოგიკური დასკვნების კეთების პროცესისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ტექნოლოგის მიერ მონაცემების მოთხოვნის ბუნებრივ მიმდევრობას და ამ მონაცემების მინიმიზებას.

პროდუქციულ წესებს შორის კონფლიქტების გადაწყვეტის დროს, ზოგად შემთხვევაში, ლოგიკური დასკვნების პირდაპირი მწკრივის რეალიზება უფრო მარტივია, ვიდრე უკუმწკრივისა, რადგან მსჯელობების პირდაპირი მწკრივის რეალიზებისას მეორდება მუშა მეხსიერებაში მონაცემების ძებნის, წესების კონფლიქტური ნაკრების გენერირების, კონფლიქტების გადაწყვეტისა და პროდუქციული წესების გამოყენების ციკლი.

პროდუქციულ წესებს შორის კონფლიქტის შემთხვევაში ლოგიკური დასკვნების კეთების პროცესის მართვისას ძირითადად ორი მიდგომა გამოიყენება: პირველია, კონფლიქტური წესების ნაკრების გენერირებაზე შეზღუდვების დადება; მეორეა, წესებს შორის კონფლიქტების გადაწყვეტის ალგორითმების განსაზღვრა.

რაც შეეხება წესების კონფლიქტური ნაკრების გენერირებაზე შეზღუდვების დადების ხერხს, გამოიყენება ორი მიდგომა: პირველი, წესების შემცველობაზე დამოკიდებულებით გამოიყენება მეთოდი, რომლის მიხედვით გარკვეული კატეგორიის წესების პირობის ნაწილის ძებნა მუშა მეხსიერებაში არ სრულდება; მეორე, გამოიყენება მეთოდი, რომლის მიხედვით წესები წინასწარ იყოფიან ცალკეულ კატეგორიებად და გარკვეულ სიტუაციებში წარმოებს იმ წესების გამოყენების შესაძლებლობების გამოკვლევა, რომლებიც განეკუთვნება გარკვეულ კატეგორიას.

პირველი მიდგომის რეალიზებისათვის გამოიყენება მეტაწესების გამოყენებაზე დაფუძნებული მეთოდები. როგორც ვიცით, მეტაწესი არის წესი, რომლის პირობის ნაწილი შეიცავს პირობას, რომელიც ეხება წესის შენაარსს და მუშა მეხსიერების შემცველობას, ან წესებს, რომელთა პირობის ნაწილი მიუთითებს ატრიბუტებზე, რომლებიც არ ექვემდებარება ძებნას ან გამოკვლევას ამ საგანზე.

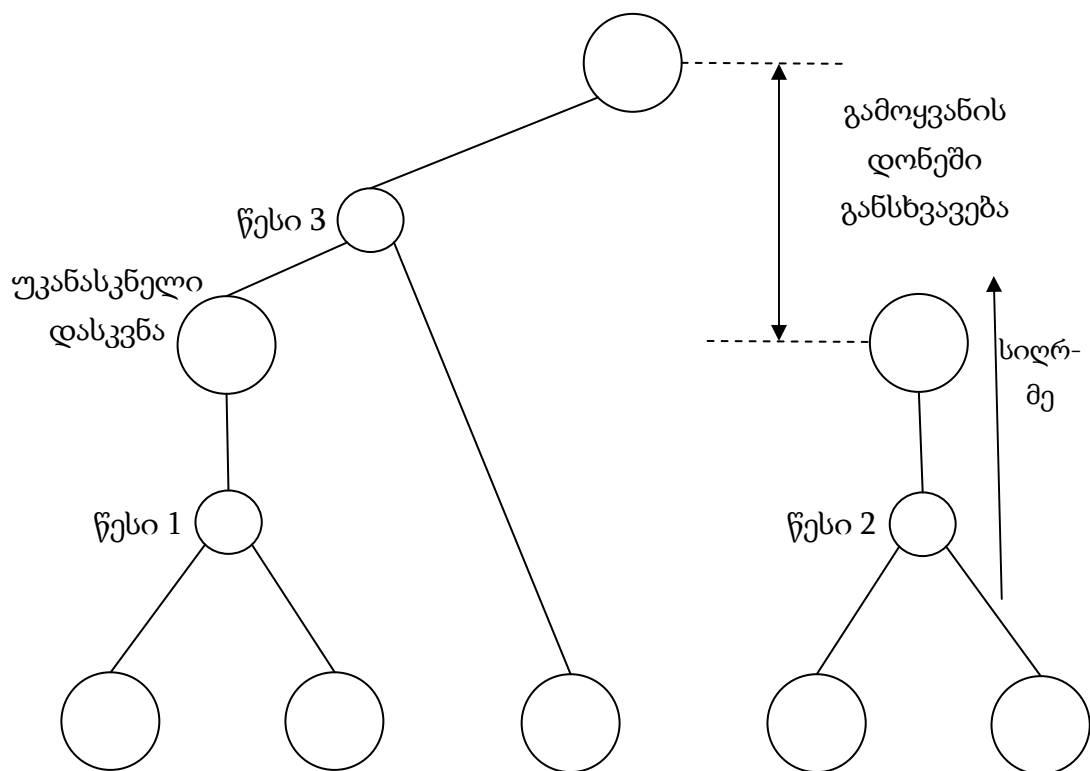
მეორე მიდგომის შემთხვევაში პროდუქციული წესები წინასწარ ჯგუფდება ატრიბუტების მიხედვით. თითოეული ჯგუფისთვის ეთითება

პირობა, რომელიც ეხება მუშა მეთხიერების შემცველობას და განიხილება მხოლოდ იმ ჯგუფის წესის გამოყენების შესაძლებლობა, რომლის ფარგლებშიც სრულდება ეს პირობა, ან ჯგუფი ეთითება წესის დასკვნის ნაწილის საშუალებით და დაიშვება ან აიკრძალება ამ ჯგუფის წესის გამოყენება.

თუ ლოგიკური დასკვნების აღმავალი კეთებისას განისაზღვრება ყველა დასკვნა, მაშინ წესებს შორის კონფლიქტი შედარებით მარტივად გადაწყდება. რადგან, გამოსაყენებლად ვარგისი თითოეული წესი გამოყენებული უნდა იყოს, ამიტომ წესების გამოყენების მიმდევრობის გავლენა შედეგობრივ დასკვნაზე შეგვიძლია გავხადოთ მინიმალური. ამ შემთხვევაში, ყველაზე მარტივი მიდგომაა წესების გამოყენება იმ მიმდევრობით, რა მიმდევრობითაც იყვნენ ისინი განსაზღვრული.

თუ მოცემულია გაჩერების პირობა, ამ პირობის შესრულება შეგვიძლია დავაჩქაროთ ლოგიკური დასკვნების კეთების პროცესის მართვის გზით. მაგალითად, ლოგიკური დასკვნის კეთების ეტაპების გაღრმავებით, რაც მიიღწევა ლოგიკური დასკვნის გამოყვანით სიღრმის პრიორიტეტის გათვალისწინებით. ეს კი, თავის მხრივ, შეესაბამება პროდუქციული წესების პრიორიტეტულ გამოყენებას (ნახ. 7). ნახაზიდან ჩანს, რომ წესი 2 და წესი 3 წესების შედარების შემთხვევაში უპირატესობა ეძლევა წესი 3-ს.

მოცემული მიდგომის რეალიზებით მიიღება ლოგიკური დასკვნების კეთების მინიმალური გზა. თუ არსებობს პროდუქციული წესების სიმრავლე, რომელიც მიმართავს მუშა მეთხიერების უკანასკნელ შემცველობას, მაშინ განიხილება, აგრეთვე, ხისტი პირობის მქონე წესის პრიორიტეტული გამოყენების მეთოდი. შედეგად, შესაძლებელი ხდება პირველ რიგში უფრო მაღალი დონის მქონე დასკვნების შემცველი წესების გამოყენება.



ნახ. 7. წესების გამოყენება პრიორიტეტის მიხედვით დასკვნების კუთებისას პრიორიტეტის სიღრმის მიხედვით.

ზემოთ ნათქვამი ეხება ლოგიკური დასკვნების კეთების ზოგად ალგორითმს. საგნობრივი სფეროს თვისებების გათვალისწინებით შესაძლებელია პროდუქციული წესებს შორის კონფლიქტების გადაწყვეტის სხვა ალგორითმების შემუშავებაც. მაგალითად, სისტემებში, რომლებშიც ლოგიკური დასკვნის კეთებასთან ერთად სრულდება მონაცემების შეტანა, შეიძლება ისეთი ალგორითმების შემუშავება და გამოყენება, რომლებიც მოახდენენ მონაცემების შეტანის ოპტიმიზებას და შესაბამისად, ლოგიკური დასკვნების პროცესის ეფექტურობის გაზრდას.

კონფლიქტური ნაკრების შეზღუდვის პრობლემა და კონფლიქტების გადაწყვეტის ალგორითმის ამორჩევა დამახასიათებელია აგრეთვე უკუდასკვნების მქონე სისტემებისთვისაც. თუმცა უკუდასკვნისას ამ პრობლემებს ემატება კიდევ ერთი, რომელიც კავშირშია პროდუქციული წესის პირობით ნაწილში პირობების შეფასების თანმიმდევრობითობასთან.

უკუდასკვნის შემთხვევაში ამორჩეული პროდუქციული წესის გამოყენების შესაძლებლობა ყოველთვის არ ნიშნავს გადაწყვეტილების მიღების შესაძლებლობას მოცემულ მომენტში და შესაძლებელია შემთხვევები, როდესაც მონაცემები, რომლებზედაც მიუთითებენ თითოეულ პირობაში უნდა იყვნენ განსაზღვრულნი დასკვნის მეშვეობით. აქედან გამომდინარე, პირობის ამორჩევა ბადებს ძიების ახალ განშტოებას, ხოლო ძიების თანმიმდევრობის შეცვლა უარყოფითად მოქმედებს სისტემის ფუნქციონირების ეფექტურობაზე და დასკვნის პროცესის გაგების სიმარტივეზე.

საერთოდ, ეფექტურად ითვლება შედარება მონაცემებზე მიმართვით, რომლებიც ახლოა ძირითად მონაცემებთან. არსებობენ აგრეთვე სისტემები, რომლებშიც დასკვნის პროცესის ცვლილება, რომელიც დაკავშირებულია პირობების შეფასებასთან, გამოიყენება პოზიტიურად, ე.ი. პირობების შეფასების რიგი შეესაბამება მათ

რიგითობას, პროდუქციული წესის განსაზღვრისას მითითებულია პირობების განლაგება, ე.ი. საბოლოო ჯამში განისაზღვრება დასკვნის პროცესი.

პროდუქციების სისტემაში წესების რიცხვის გაზრდა ამწვავებს და ართულებს ფუნქციონირების ეფექტურობის ამაღლების პრობლემას. ვაჩვენოთ ეს პირდაპირი დასკვნის მაგალითზე. დავუშვათ, რომ პროდუქციული წესები წარმოადგენენ ობიექტებს და განსაზღვრულია პროდუქციული წესების კონფლიქტური ნაკრები. პროდუქციული წესების რიცხვი აღვნიშნოთ  $N_T$ , ხოლო ნიმუშების (შაბლონების) რიცხვი  $N_P$ -ით. მივიღებთ, რომ ნიმუშების მარტივი შეპირისპირებისათვის მუშა მესხიერებასთან მიმართვა უნდა შესრულდეს  $N_T \times N_P$  ჯერ.

თუ პროდუქციული წესების და ნიმუშების რიცხვი აღემატება რამდენიმე ასეულს, მაშინ ნიმუშების შეპირისპირება შესაბამის რიცხვჯერ პრაქტიკულად შეუძლებელია და უნდა მოიძებნოს ეფექტურობის ამაღლების ახალი და უფრო ეფექტური გზები და საშუალებები. ეს უნდა განხორციელდეს «ობიექტი - ატრიბუტი - მნიშვნელობა» ფორმით მისი შემცველობის მოწესრიგების გზით.

ხშირად გამოიყენება, აგრეთვე შეთანხმების RETE ალგორითმი, რომლითაც მუშა მესხიერებაში ახალი ნიმუშის ყოველი დამატებისას მოწმდება პროდუქციული წესი, რომელშიც ის გამოიყენება, და თუ ნიმუში აკმაყოფილებს პროდუქციული წესის პირობების ნაწილებს, მაშინ ის დაიმახსოვრება და თუ ნიმუშის დამატება აკმაყოფილებს ყველა პირობას, მოცემული პროდუქციული წესი დაემატება კონფლიქტურ ნაკრებს.

არსებობს, აგრეთვე, მეთოდი, რომლის მიხედვითაც დამოკიდებულებები წესებსა და მონაცემებს შორის, ან წესებსა და წესებს შორის წინასწარ კომპილირდება (გარდაიქმნება) გრაფის სახით და ძირითადი მონაცემების ყოველი შევსებისას მოიძებნება გრაფის რკალი და მოინიშნება მასთან დაკავშირებული ერთი ან მეტი წვერო



(კვანძები).

შეიძლება ითქვას, რომ მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებული არიან პროდუქციული წესების ჯგუფებად დაყოფაზე, რომელთა მეშვეობითაც იზღუდება ერთდროულად წარმოქმნილი კონფლიქტური ნაკრებების ზომები, და მცირდება მუშა მეხსიერებაში შემცველობის ძეზნის მოცულობა და შესაბამისად დრო, და შესაბამისად, ყველაზე უფრო ფართოდ გამოიყენებიან სისტემის ეფექტურობის ამაღლებისა და დასკვნის სტრატეგიის რეალიზაციისათვის. ასეთი მიდგომის ტიპურ მაგალითს წარმოადგენს განცხადებების დაფის მოდელი (blackboard model).

განცხადებების დაფის მოდელში ცოდნის წყარო წარმოადგენს კავშირის კვანძს (წვეროს) დაბალი დონის მონაცემებსა, რომელთა საფუძველზე კეთდება დასკვნა, და მაღალი დონის მონაცემებს, რომლებიც გვიჩვენებენ დასკვნის შედეგს, შორის. ეს მონაცემები იმართება თავიანთი ობიექტების შესაბამისად.

თუ ჩავთვლით, რომ თითოეული ცოდნის წყარო მიეკუთვნება ობიექტს, რომელიც წარმოაჩენს დასკვნის შედეგს მაღალ დონეზე (მაღალი დონის ობიექტს), მაშინ შეიძლება ითქვას, რომ მოცემული ობიექტი საკმარისად ახლოსაა ფრეიმთან იმ აზრით, რომ ის შევსებულია დასკვნების მკეთებელი მექანიზმის წესებით (რომლებიც ეხება მონაცემებსა და მონაცემების მართვის ფუნქციებს).

თუ ასეთ სისტემაში შევიტანთ ობიექტების კონცეპტუალურ იერარქიას და მასზე დაფუძნებულ ატრიბუტების მემკვიდრეობას, ის გახდება სისტემა, რომელსაც სავსებით შეიძლება ვუწოდოთ ფრეიმული. ანალოგიურად, ფრეიმული სისტემა, რომელიც დაყოფილია წესების ჯგუფებად, შეიძლება გამოყენებულ იქნას დასკვნის სტრატეგიის განსაზღვრისათვის.

შესაძლებელია ასეთი ფრეიმული სისტემის შევსება დასკვნის პროცედურასთან დაკავშირებული ეფექტური საშუალებებით,

მეთოდებითა და ალგორითმებით. აქედან გამომდინარეობს ის, რომ ინტელექტუალური სისტემების აგების მეთოდები, რომლებიც აერთიანებენ პროდუქციულ წესებს და ფრეიმულ სისტემებს არის საკმაოდ პერსპექტიული. მათი გამოყენება ექსპერტულ სისტემებში მოგვცემს დიდ მოგებას დასკვნების კეთების სისწრაფისა და ეფექტურობის თვალსაზრისით.

### 1.3. ამოცანის დასმა

ენერგოსისტემების სადღეღამისო რეჟიმების მართვის ამოცანის სირთულე განპირობებულია შემდეგი ფაქტორებით: ჰიდროელექტროსადგურების მუშაობის დროს არსებული მიზნების გათვალისწინების აუცილებლობა როგორც ერთი ჰიდროელექტროსადგურის ფარგლებში, ისე ჰიდროელექტროსადგურებს შორის, თბოელექტროსადგურების მუშაობის დროს არსებული მიზნების გათვალისწინების აუცილებლობა, როგორც ერთი თბოელექტროსადგურის ფარგლებში, ისე თბოელექტროსადგურებს შორის, რეგულირებადი ჰიდროელექტროსადგურებისა და თბოელექტროსადგურების ტიპების მრავალფეროვნება.

ამ ფაქტორებს ემატება ჰიდრო და თბოელექტროსადგურების მუშაობის რეჟიმების ურთიერთგავლენის გათვალისწინება, გამოყენებული დამოკიდებულებების არაწრფივი ხასიათი, კავშირის განტოლებების დიდი რაოდენობა, ტოლობა-უტოლობა ტიპის შეზღუდვების არსებობა, საწყისი მონაცემების ალბათური ხასიათი, წყალსამეურნეო კომპლექსის მხრიდან ელექტროსადგურების რეჟიმების მიმართ არსებული მოთხოვნების გათვალისწინება, წინააღმდეგობრივი მიზნების არსებობა და ა.შ.

სირთულეებს განაპირობებს, აგრეთვე, დიდი რაოდენობის სადღეღამისო რეჟიმების არსებობა, რაც გამოწვეულია: რეგულირებადი ჰიდროელექტროსადგურების დატვირთვის რიგითობის ცვლილებით, რაც გვადლევს რეჟიმების I! რაოდენობას (I რეგულირებადი ჰიდროელექტროსადგურების რაოდენობაა); რეგულირებადი თბოელექტროსადგურების დატვირთვის რიგითობის ცვლილებით, რაც გვადლევს რეჟიმების J! რაოდენობას (J რეგულირებადი თბოელექტროსადგურების რაოდენობაა); ერთი ჰიდროელექტროსადგურის დატვირთვის რიგითობის ცვლილება საათების მიხედვით ერთი დღე-ღამის განმავლობაში. ამ შემთხვევაში, რეჟიმების რაოდენობაა 24!; ერთი თბოელექტროსადგურის დატვირთვის რიგითობის ცვლილება საათების მიხედვით ერთი დღე-ღამის განმავლობაში. ამ შემთხვევაშიც, რეჟიმების რაოდენობაა 24!.

აქედან გამომდინარე, რეჟიმების საერთო რაოდენობა არის  $I! \times J! \times 24!$   $\times 24!$ . ეს ეხება ენერგოსისტემის ერთ მდგომარეობას. მაგრამ, ენერგოსისტემა შეიძლება იმყოფებოდეს მდგომარეობების სიმრავლიდან ერთში. მდგომარეობების სიმრავლე შეიძლება შედგებოდეს ათობით და ასობით მდგომარეობისაგან. საწყის მონაცემებზე დამოკიდებულებით განისაზღვრება თუ რომელ საწყის მდგომარეობაში იმყოფება ენერგოსისტემა.

ამრიგად, ენერგოსისტემების რეჟიმების მართვის დროს არსებული სირთულეები განაპირობებენ ექსპერტული სისტემების გამოყენებას. მაგრამ, ენერგოსისტემების რეჟიმების მართვის დროს გადაწყვეტილების მიღების თითოეულ ეტაპზე ადგილი აქვს პროდუქციულ წესებს შორის კონფლიქტს, ანუ არსებობს პროდუქციული წესების კონფლიქტური ნაკრები. ეს ნაკრები შეიძლება ათობით და ასობით პროდუქციულ წესს შეიცავდეს.

ეს ცნობილი პრობლემაა და ამიტომ, მეტად მნიშვნელოვანია ამ პრობლემის გადაწყვეტის გზების ძებნისა და შესაბამისი მოდელებისა და

ალგორითმების შემუშავება ზოგადად, და კერძოდ, ენერგეტიკის ისეთი ამოცანებისათვის, როგორცაა სადღეღამისო ნორმალური რეჟიმების დაგეგმვა, ოპერატიული რეჟიმების მართვა, ავარიული რეჟიმების მართვა, ავარიის შემდეგ აღდგენა და ა.შ.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, ენერგოსისტემების სადღეღამისო ნორმალური რეჟიმების ეფექტური მართვის პრობლემატიკაში, აუცილებელია შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტა:

1. ჰიდროელექტროსადგურებისა და თბოელექტროსადგურების მიზნებს შორის არსებული კავშირებისა და წინააღმდეგობების გამოვლენა და მათი ზემოქმედების განსაზღვრა ლოგიკური დასკვნების პროცესის ეფექტურობაზე.
2. პროდუქციული წესების კონფლიქტური ნაკრების განსაზღვრა. პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელებისა და ალგორითმების შემუშავება.
3. შემუშავებული მოდელებისა და ალგორითმების ბაზაზე ექსპერტული სისტემის სქემისა და შესაბამისი კვლევითი პროტოტიპის შემუშავება.

## I თავის დასკვნები

1. ენერგეტიკის ამოცანებისა და პრობლემების გადაწყვეტის მიზნით გამოყენებული ექსპერტული სისტემებისადმი მიძღვნილი არსებული ლიტერატურის მიმოხილვა და ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ექსპერტული სისტემების გამოყენების ძირითადი სფეროა ენერგოსისტემების ოპერატიული, ავარიული და ავარიის შემდგომი რეჟიმების ეფექტური მართვა. შედარებით ნაკლები ყურადღება ეთმობა მათ გამოყენებას ენერგოსისტემების ნორმალური სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის.
2. ჩატარებულია პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების ანალიზი. ნაჩვენებია, რომ ეს პრობლემა წარმოადგენს ერთ-ერთ მთავარ პრობლემას გადაწყვეტილებების მიღების დროს.
3. ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის დროს მოქმედ მიზნებს შორის რთული ურთიერთკავშირები არსებობს. მიზნების ნაწილს შორის მჭიდრო კავშირი არსებობს, მიზნების ნაწილს შორის კი - სუსტი. გარდა ამისა, ეს მიზნები არაერთგვაროვანია. ყოველივე ეს, აუცილებელს ხდის ექსპერტული სისტემების გამოყენებას ენერგოსისტემების ნორმალური სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის.

## თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა:

### პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელები და ალგორითმები

#### 2.1. ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის მოდელი

როგორც ცნობილია, არსებობს ტერიტორიული იერარქიის შემდეგი დონეები: ენერგოსისტემა, ელექტროსადგური (ჰიდრო, თბო და ატომური) და აგრეგატი. არსებობს, აგრეთვე, დროითი იერარქიის შემდეგი დონეები: პერსპექტიული, გრძელვადიანი, საშუალოვადიანი, მოკლევადიანი (სადღეღამისო) და ოპერატიული დაგეგმვა [15, 16].

სადისერტაციო ნაშრომში განვიხილავთ ტერიტორიული იერარქიის ენერგოსისტემების დონეს, დროითი იერარქიის სადღეღამისო რეჟიმსა და სიტუაციური იერარქიის ნორმალურ რეჟიმს. კვლევის ობიექტია ენერგოსისტემა, რომელიც შედგება რეგულირებადი და არარეგულირებადი ჰიდროელექტროსადგურებისა (ჰეს) და თბოელექტროსადგურებისაგან (თეს).

ჩვენ განვიხილავთ საქართველოს ენერგოსისტემას, რომელიც ხასიათდება მცირე სიმძლავრის სხვადასხვა ტიპის დიდი რაოდენობის ჰიდროელექტროსადგურის, სეზონური რეგულირების ჰიდროელექტროსადგურისა და მაღალდაწნევიანი, მცირეაგრეგატებიანი და დერივაციული ჰიდროელექტროსადგურის არსებობით. ჰიდროელექტროსადგურის უმრავლესობას აქვს სხვადასხვა ტიპის აგრეგატები. მათ აქვთ როგორც, დერივაციული, ისე კაშხალურ-დერივაციული სქემები. ჰიდროელექტროსადგურები ძირითადად მონაწილეობენ დატვირთვის გრაფიკის პიკური და ნახევრადპიკური ზონების დაფარვაში [1-5].

ჰიდროელექტროსადგურები დატვირთვის გრაფიკის პიკური ზონის დაფარვაში მონაწილეობის ხარისხის მიხედვით შეიძლება დაიყოს პიკურ და ნახევრადპიკურ ჰიდროელექტროსადგურებად. პიკური ჰიდროელექტროსადგურები ფარავენ გრაფიკის პიკურ ზონას, ხოლო ნახევრადპიკური ჰიდროელექტროსადგურები - გრაფიკის ნახევრად პიკურ ზონას. გარდა ამისა, ჩვეულებრივ, ზამთრის პერიოდში პიკურ ნაწილს უპირატესად ფარავენ დღე-ღამური რეგულირების აუზის მქონე ჰიდროელექტროსადგურები, ხოლო ზაფხულის პერიოდში კი - წყალსაცავის მქონე ჰიდროელექტროსადგურები [2, 3].

ნახ. 9.-ზე მოყვანილია ენერგოსისტემის დატვირთვის იდეალური გრაფიკი, რომელიც ახლოს არის საქართველოს ენერგოსისტემის დატვირთვის რეალურ გრაფიკთან. როგორც გრაფიკიდან ჩანს, თბოელექტროსადგური არ მონაწილეობს რეგულირებაში. ეს იმას ნიშნავს, რომ საოპტიმიზებო ამოცანის მიზნობრივ ფუნქციაში, რომელიც წარმოადგენს სათბობზე ჯამურ დანახარჯებს, სათბობის გადახარჯვები, გამოწვეული დატვირთვის რეგულირებაში თბოელექტროსადგურის მონაწილეობით და აგრეგატების შემადგენლობის ცვლილებით, ნულის ტოლი აღმოჩნდება [2, 3].

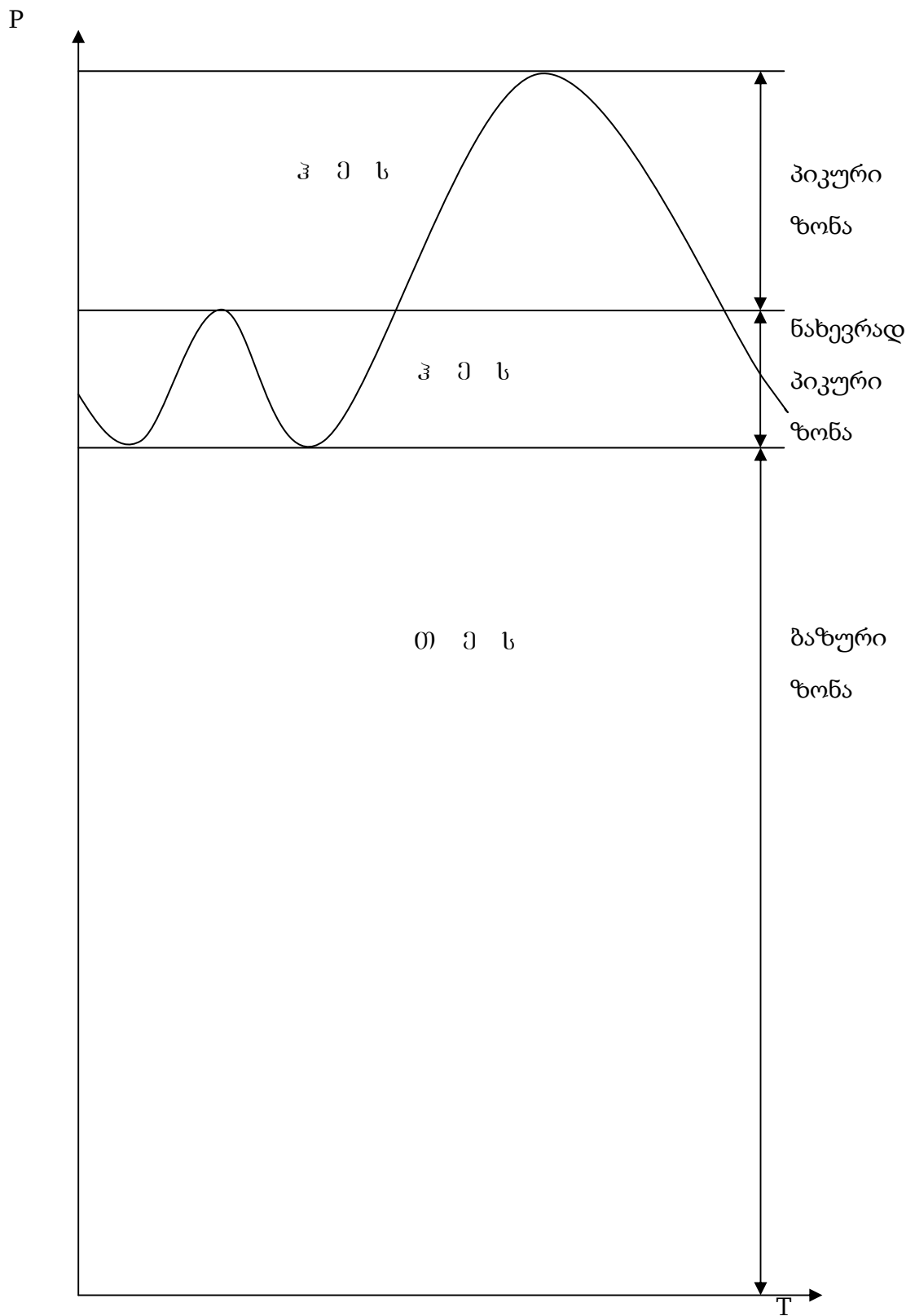
საქართველოს ენერგოსისტემის დატვირთვის გრაფიკის მნიშვნელოვანი სიახლოვე იდეალურთან, განპირობებულია იმით, რომ:

- საქართველოს ენერგოსისტემა ხასიათდება მცირეაგრეგატებიანი ჰიდროელექტროსადგურების არსებობით;
- დატვირთვის გრაფიკის ბაზურ ზონას თბოელექტროსადგურები ფარავენ. ისინი არ მონაწილეობენ დატვირთვის რეგულირებაში;
- დატვირთვის გრაფიკის ნახევრადპიკურ და პიკურ ზონებს ჰიდროელექტროსადგურები ფარავენ.

	პერსპექტიული დაგეგმვა	გრძელვადიანი დაგეგმვა	საშუალოვადიანი დაგეგმვა	მოკლევადიანი დაგეგმვა	ოპერატიული დაგეგმვა
ენერგოსისტემა					
ჰიდროელექტროსადგურების კასკადი					
ჰიდრო და თბოელექტროსადგურები					
კასკადი					

ნახ. 8. გადასაწყვეტი ამოცანის ადგილი ენერგოსისტემაში





ნახ. 9. სადღეღამისო დატვირთვის გრაფიკი

ჰიდროელექტროსადგურის მოდელირებას ვახდენთ "შავი ყუთის" სახით, რომლის შესასვლელზე მიეწოდება წყლის ხარჯი  $Q$  და დაწნევა  $E$ , გამოსასვლელზე კი გვაქვს აქტიური სიმძლავრე:

$$N_{ჰეს i} = \varphi_i(Q_i, E_i), i \in I. \quad (1)$$

ენერგოსისტემების სადღელამისო რეჟიმების მართვისას ვთვლით რომ

$$E_i = \text{const.}$$

ამიტომ, შეგვიძლია (1) ფუნქციების ოჯახით ოპერირება  $E_i$ -ის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

ზოგჯერ, საჭირო გახდეს წყალსაცავში წყლის დასაშვები დონის (მოცულობის) შემოწმება [1-4]:

$$\prod_{ჰეს i}^{\min} \leq \prod_{ჰეს i}(t) \leq \prod_{ჰეს i}^{\max} \quad i \in I, t \in T, \quad (2)$$

სადაც  $\prod_{ჰეს i}(t)$  -  $i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის წყალსაცავის დონეა  $t$

საათში,  $\prod_{ჰეს i}^{\max}$  -  $i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის წყალსაცავის

მაქსიმალური დასაშვები დონეა,  $\prod_{ჰეს i}^{\min}$  -  $i$ -ური

ჰიდროელექტროსადგურის წყალსაცავის მინიმალური დასაშვები დონეა.

ჰიდროელექტროსადგურების კასკადებს მოდელირებას ვახდენთ ერთიანი აგრეგირებული ჰიდროელექტროსადგურის სახით. თუ შეუძლებელია კასკადური ჰიდროელექტროსადგურების წარმოდგენა აგრეგირებული სახით, მაშინ მათი მოდელირება ხდება ცალ-ცალკე, დამოუკიდებელი ჰიდროელექტროსადგურების სახით, წყლის მიხედვით კავშირების გათვალისწინებით.

$i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის მარგი ქმედების კოეფიციენტი განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\eta_{\text{ჰეს } i} = \frac{N_{\text{ჰეს } i}}{N_{\text{მიყვ. ჰეს } i}}, \quad i \in I, \quad (3)$$

სადაც  $N_{\text{ჰეს } i}$  -  $i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის სიმძლავრეა,  $N_{\text{მიყვ. ჰეს } i}$  -  $i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურზე მიყვანილი სიმძლავრეა.

ჰიდროელექტროსადგურთვის აქტიური სიმძლავრის წყლის ხარჯზე დამოკიდებულების აპროქსიმირებას აგრეგატების  $\pi$ -ური შემადგენლობისათვის ვახდენთ მეორე რიგის პოლინომით:

$$N_{\text{ჰეს } i}(t) = b_{1,\pi} Q_i^2(t) + b_{2,\pi} Q_i(t) + b_{3,\pi}, \quad \pi \in \Pi, \quad (4)$$

სადაც  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  - სააპროქსიმაციო პოლინომის კოეფიციენტებია  $i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის აგრეგატების  $\pi$ -ური შემადგენლობისათვის მოცემული  $B_i$  დაწნევის დროს,  $\Pi$  -  $i$ -ურ ჰიდროელექტროსადგურზე აგრეგატების შემადგენლობის ინდექსების სიმრავლეა.

თბოელექტროსადგურების მოდელირებას ვახდენთ "შავი ყუთის" სახით, რომლის შესასვლელზე მიეწოდება სათბობი  $I_j$ , გამოსასვლელზე კი გვაქვს აქტიური სიმძლავრე:

$$N_{\text{თეს } j} = \Phi_j(I_j), \quad j \in J. \quad (5)$$

თბოელექტროსადგურების მუშაობას საქართველოს ენერგოსისტემაში აქვს ის თავისებურება, რომ ისინი ძირითადად ფარავენ დატვირთვის გრაფიკის ბაზურ ზონას.

$j$ -ური თბოელექტროსადგურთვის სათბობზე დანახარჯების აქტიური სიმძლავრეების გენერირებაზე დამოკიდებულების აპროქსიმირებას აგრეგატების  $z$ -ური შემადგენლობისათვის მეორე რიგის პოლინომით ვახდენთ:

$$\Xi_j = (d_{1,z} N_{\text{თეს } j}^2(t) + d_{2,z} N_{\text{თეს } j}(t) + d_{3,z}) \Pi_j, \quad z \in Z, \quad (6)$$

სადაც  $d_1, d_2, d_3$  - სააპროქსიმირებო პოლინომის კოეფიციენტებია  $j$ -ური თბოელექტროსადგურის აგრეგატების  $3$ -ური შემადგენლობისათვის  $3 - j$ -ური თბოელექტროსადგურის აგრეგატების შემადგენლობის ინდექსების სიმრავლეა,  $\Pi_j$  -  $j$ -ურ თბოელექტროსადგურზე სათბობის ფასია.

საქართველოს ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის დროს თბოელექტროსადგურების გამომუშავების სიმდორის უზრუნველყოფა შემდეგი საშუალებით არის შესაძლებელი:

1. შეზღუდვა-უტოლობების გამოყენება. ისინი მკვეთრად ზღუდავენ თბოელექტროსადგურის მონაწილეობას აქტიური სიმძლავრის რეგულირებაში.  $j$ -ური თბოელექტროსადგურის ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე მეზობელ  $t$  და  $t+1$  საათებში მოიცემა დატვირთვის ცვლილების მაქსიმალურად დასაშვები რაოდენობა, აგრეთვე აგრეგატების შემადგენლობის ცვლილების მაქსიმალურად დასაშვები რაოდენობა. ისინი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ შეზღუდვებს:

$$x_{რეგj} \leq x_{რეგj}^{\max}, \quad x_{აგრj} \leq x_{აგრj}^{\max}, \quad j \in J. \quad (7)$$

საქართველოს ენერგოსისტემისათვის  $x_{აგრj}^{\max} = 0$ , წყალუხვ პერიოდებში კი  $x_{აგრj}^{\max}$  საკმაოდ მცირეა. ნახ. 9-ზე წარმოდგენილი გრაფიკისთვის  $x_{აგრj}^{\max} = 0$  და  $x_{რეგj}^{\max} = 0$ .

2. მიზნობრივ ფუნქციაში დროის მეზობელ ინტერვალებში თბოელექტროსადგურის დატვირთვის ცვლილებით გამოწვეული სათბობის გადახარჯვების გათვალისწინება. ამ შემთხვევაში, თბოელექტროსადგურების გამომუშავების სიმდორე უზრუნველყოფილია ეკონომიკურად უფრო ზუსტად. მაგრამ, ასეთი მიდგომის რეალიზების სირთულეს განაპირობებს ის, რომ თითოეული

თბოელექტროსადგურთვის საჭიროა შემდეგი სახის ფუნქციონალური დამოკიდებულებების დადგენა:

$$I_{რეჟ}(t) = \Lambda_{რეჟ}(N_{თეს}(t-1) - N_{თეს}(t)), \quad (8)$$

$$I_{აგრ}(t) = \Lambda_{აგრ}(z_{j1}(t), z_{j2}(t+1)), \quad j_1, j_2 \in J, t \in T,$$

სადაც  $I_{რეჟ}(t)$  - სათბობის გადახარჯვაა, გამოწვეული  $j$ -ური თბოელექტროსადგურის  $N_{თეს}(t-1)$  და  $N_{თეს}(t)$  სიმძლავრეების ცვლილებით დროის მეზობელ  $t-1$  და  $t$  ინტერვალებში,  $I_{აგრ}(t)$  - სათბობის გადახარჯვაა, გამოწვეული აგრეგატების  $z_j$  პირობითი ნომრის მქონე შემადგენლობის ცვლილებით.  $\Lambda_{რეჟ}$  და  $\Lambda_{აგრ}$  ფუნქციების სახე შეიძლება განისაზღვროს ექსპერიმენტული ან ექსპერტული გზით.

დროის მეზობელ  $t-1$  და  $t$  ინტერვალებში თბოელექტროსადგურის გამომუშავების ცვლილებით გამოწვეული სათბობის გადახარჯვა აგრეგატების უცვლელი შემადგენლობის დროს, განისაზღვრება ფორმულით (8), თუ დღე-ღამის ამავე საათებში ადგილი აქვს სიმძლავრის ცვლილებას:

$$|N_{თეს}(t-1) - N_{თეს}(t)| > \xi^j, \quad j \in J, t \in T, \quad (9)$$

სადაც  $\xi^j$  - სიმძლავრის ცვლილების სიდიდეა. მისი იგნორირება შეიძლება, რადგან ის საკმაოდ მცირეა. თუ (9) პირობა არ სრულდება, ეს იმას ნიშნავს, რომ მეზობელ  $t-1$  და  $t$  საათებში სიმძლავრის ცვლილება საკმაოდ მცირეა. ამიტომ, სათბობის გადახარჯვა

$$I_{რეჟ} = 0.$$

თბოელექტროსადგურის აგრეგატების შემადგენლობის ცვლილებით გამოწვეული სათბობის გადახარჯვა განისაზღვრება აგრეგატების შემადგენლობის ცვლილების  $z_j$  პირობით ნომერსა და სათბობის შესაბამის  $I_{აგრ}(t)$  გადახარჯვას შორის განსაზღვრული შესაბამისობის ლოგიკური სკალის მიხედვით. დავუშვათ,  $t - 1$  საათში თბოელექტროსადგური

მუშაობდა აგრეგატების  $3' = 1$  შემადგენლობით,  $t$  საათში  $3_i - 3'_i = 2$  შემადგენლობით, მაშინ აგრეგატების შემადგენლობის ცვლილების პირობითი ნომერი იქნება  $3_j = 1$ . თუ, აგრეგატების შემადგენლობა იყო  $3' = 1$  და შემდეგ, გახდა  $3' = 3$ , მაშინ -  $3_j = 2$  და ა.შ. თუ, მეზობელ  $t - 1$  და  $t$  საათებს შორის აგრეგატების შემადგენლობა არ შეიცვალა, მაშინ

$$H_{\text{აგრ}}(t) = 0.$$

$\pi$ -სა და  $3$ -ის განსაზღვრისათვის უნდა შემოწმდეს შესაბამისი პირობები. თუ სრულდება შეზღუდვა:

$$N_{3_{\pi i}, \pi}^{\min} \leq N_{3_{\pi i}}(t) \leq N_{3_{\pi i}, \pi}^{\max} \quad i \in I, \pi \in \Pi, t \in T, \quad (10)$$

მაშინ ჰიდროელექტროსადგურის აგრეგატების შემადგენლობის ნომერი იქნება  $\pi$ -ის ტოლი. წინააღმდეგ შემთხვევაში, უნდა შემოწმდეს შესაბამისი პირობები აგრეგატების სხვა შემადგენლობისათვის. ანალოგიურად, თუ თბოელექტროსადგურისთვის სრულდება შეზღუდვა:

$$N_{3_{j, 3}}^{\min} \leq N_{3_{j, 3}}(t) \leq N_{3_{j, 3}}^{\max} \quad j \in J, 3 \in 3, t \in T, \quad (11)$$

მაშინ მისი აგრეგატების შემადგენლობის ნომერი  $3$ -ის ტოლი იქნება.

საქართველოს ენერგოსისტემისთვის ელექტროენერჯის სადღეღამისო მოხმარება განისაზღვრება პროგნოზირების გზით. ელექტროენერჯის მოხმარების გრაფიკში გაითვალისწინება ავარიული, სარემონტო და სახალხო-სამეურნეო რეზერვები, სიმძლავრეების პიკური მნიშვნელობები, აგრეთვე, გამოსამუშავებელი ელექტროენერჯის რაოდენობა.

არადეფიციტურ რეჟიმში  $N_{3_{\pi i}}(t)$  და  $N_{3_{j, 3}}(t)$  ცვლადებისთვის დღეღამის თითოეულ  $t$  საათში უნდა სრულდებოდეს აქტიური სიმძლავრეების ბალანსის პირობა:

$$\sum_{i \in I} N_{\text{ჰესი}}^{\text{არ.}}(t) + \sum_{j \in J} N_{\text{თესი}}^{\text{არ.}}(t) + \sum_{u \in Y} N_{\text{ჰესი}}^{\text{არ.}} + \sum_{o \in O} N_{\text{თესი}}^{\text{არ.}} \pm \sum_{\omega \in \Omega} N_{\omega}^{\text{ნაკ.}}(t) - \Delta P(t) \rightarrow \Psi(t), \quad (12)$$

სადაც  $N_{\text{ჰესი}}^{\text{არ.}}$  არის  $v$ -ური არარეგულირებადი ჰიდროელექტროსადგურის სიმძლავრე,  $N_{\text{თესი}}^{\text{არ.}}$  არის  $o$ -ური არარეგულირებადი თბოელექტროსადგურის სიმძლავრე,  $N_{\omega}^{\text{ნაკ.}}(t)$  არის  $\omega$ -ური ნაკადის სიმძლავრე (ნიშანი "+" შეესაბამება ნაკადის მიღებას ენერგოსისტემაში, ნიშანი "-" კი - გაცემას),  $\Delta P(t)$  არის ელექტროგადაცემის ხაზებში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები  $t$  საათში,  $Y$  არის არარეგულირებადი ჰიდროელექტროსადგურების ინდექსების სიმრავლე,  $O$  არის არარეგულირებადი თბოელექტროსადგურების ინდექსების სიმრავლე,  $\Omega$  არის ნაკადების ინდექსების სიმრავლე,  $\Psi(t)$  არის დისბალანსი  $t$  საათში.

ქსელური პროცესების მოდელირებისათვის  $P(t)$  უნდა განვიხილოთ, როგორც  $N_{\text{თესი}}(t)$  და  $N_{\text{ჰესი}}(t)$  სიმძლავრეების ფუნქცია და საოპტიმიზაციო ამოცანის ამოხსნის ყოველ ბიჯზე უნდა შევასრულოთ ნაკადების სიმძლავრეების გამოთვლა. ეს კი იწვევს საოპტიმიზაციო ამოცანის ამოხსნის დროის ერთი რიგით გაზრდას.

აქედან გამომდინარე, უნდა განვიხილოთ, მხოლოდ ის ელექტროგადაცემის ხაზები და კვანძები, რომლებიც დიდ გავლენას ახდენენ ნაკადის განაწილების ცვლილებაზე. ამიტომ, გათვლების გამარტივების მიზნით, ელექტროგადაცემის ხაზებში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებს  $\Delta P$  განვიხილავთ როგორც მუდმივ სიდიდეებს.

თითოეული რეგულირებადი ჰიდროელექტროსადგურისთვის შეზღუდვას წყლის სადღეღამისო დაგეგმილ ხარჯზე აქვს სახე:

$$\sum_{i \in T} Q_i(t) \leq Q_{i\text{დღ}}, \quad (13)$$

სადაც  $Q_i^{\text{დღ}}$  -  $i$ -ურ ჰიდროელექტროსადგურზე წყლის დაგეგმილი ხარჯია მოცემული დღე-ღამის განმავლობაში.

იშვიათად, (13) შეზღუდვის ნაცვლად შეგვიძლია გამოვიყენოთ შეზღუდვა:

$$\sum_{i \in T} N_{\text{ჰეს}i}(t) \leq N_{\text{ჰეს}}^{\text{დღ}} \quad i \in I \quad (14)$$

სადაც  $N_{\text{ჰეს}i}^{\text{დღ}}$  - არის  $i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის დაგეგმილი გამომუშავება მოცემული დღე-ღამის განმავლობაში.

ჰიდროელექტროსადგურებისა და თბოელექტროსადგურების მიერ  $t$  საათში გამომუშავებულ სიმძლავრეზე შეზღუდვებს აქვს სახე:

$$N_{\text{თეს}j}^{\text{min}} \leq N_{\text{თეს}j}(t) \leq N_{\text{თეს}j}^{\text{max}}, N_{\text{თეს}j}^{\text{min}} \leq N_{\text{თეს}j}^{\text{maxსას.}} \leq N_{\text{თეს}j}^{\text{max}}, \quad (15)$$

$$N_{\text{ჰეს}i}(t) = 0 \vee N_{\text{ჰეს}i}^{\text{min}} \leq N_{\text{ჰეს}i}(t) \leq N_{\text{ჰეს}i}^{\text{max}}, i \in I, j \in J, t \in T, \quad (16)$$

სადაც  $N_{\text{თეს}j}^{\text{max}}$  არის  $j$ -ური თბოსადგურის მაქსიმალური სასურველი სიმძლავრე. ინტერვალების საზღვრებად აიღება ჰიდროელექტროსადგურებისა და თბოელექტროსადგურების მინიმალური და მაქსიმალური სიმძლავრეები. თუ ჰიდროელექტროსადგურისთვის არ არსებობს წყვეტის ზონა  $]0, N_{\text{თეს}i}^{\text{min}}[$ , მაშინ (16) შეზღუდვა მიიღებს (15) შეზღუდვის სახეს.

$i$ -ურ ჰიდროელექტროსადგურზე  $t$  საათში წყლის ხარჯზე შეზღუდვა-უტოლობას აქვს სახე:

$$Q_i^{\text{min}} \leq Q_i(t) \leq Q_i^{\text{max}}, i \in I, t \in T. \quad (17)$$



i-ური ჰიდროელექტროსადგურისა და j-ური ჰიდროელექტროსადგურის აგრეგატების შემადგენლობაზე შეზღუდვა-უტოლობებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$0 \leq \pi_i(t) \leq \pi_i^{\max}, \quad (18)$$

$$z_j^{\min} \leq z(t) \leq z_j^{\max}, \quad i \in I, j \in J, t \in T. \quad (19)$$

2.2. ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვისას მოქმედ მიზნებს შორის არსებული კავშირების ანალიზი ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე

ენერგოსისტემების მოკლევადიანი (სადღეღამისო) რეჟიმების მართვის დროს არსებული მიზნებიდან ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე (კვალიფიციური დისპეტჩერების ცოდნის საფუძველზე) გამოიყოფა შემდეგი მიზნები:

$G_1$  – დღე-ღამის განმავლობაში ელექტროენერგიაზე მოთხოვნის მაქსიმალურად დაკმაყოფილება;

$G_2$  – ჰიდრორესურსების გამოყენების მაქსიმუმზე;

$G_3$  – არაენერგეტიკული მიზნებისათვის ჰიდრორესურსების ეკონომია;

$G_4$  – ჰიდროელექტროსადგურების (ჰეს) მიერ დატვირთვის რეგულირების მაქსიმუმზე;

$G_5$  – ჰიდროელექტროსადგურებზე ენერჯის დანაკარგების მინიმუმზე;

$G_6$  – თბოელექტროსადგურებზე (თეს) სათბობის დანახარჯების მინიმუმზე.

$G_1$  მიზანი არსებობს (მოქმედებს) ენერგოსისტემის დონეზე,  $G_2$ ,  $G_3$ ,  $G_4$ ,  $G_5$  მიზნები არსებობენ ჰიდროელექტროსადგურის დონეზე,  $G_6$  მიზანი კი - თბოელექტროსადგურის დონეზე.

ელექტროსადგურის დონეზე მიზნებს შორის არსებული კავშირები განხილულია [1] ნაშრომში. ჩვენი მიზანია ელექტროსადგურების მიზნებს შორის არსებული ურთიერთკავშირების გამოკვლევა.

ერთი ჰიდროელექტროსადგურის შიგნით მიზნებს შორის არსებული კავშირები ნაჩვენებია ნახ. 10-ზე. ნახ. 11-ზე ნაჩვენებია  $i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის მიზნების კავშირები (გარე კავშირები)  $i + 1$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის მიზნებთან. ასეთი გარე კავშირები ერთმანეთთან არსებობს თითოეული ჰიდროელექტროსადგურის მიზნებს შორის (ნახ. 12). გარე კავშირები არსებობს, აგრეთვე ჰიდროელექტროსადგურის მიზნებსა და თბოელექტროსადგურის მიზნებს შორის (ნახ. 13). ეს კავშირები საკმაოდ რთული ხასიათისაა და მათი ფორმალიზება საკმაოდ რთულია. ამასთან, მიზნების ნაწილი წინააღმდეგობრივია, ნაწილი კი - არა.

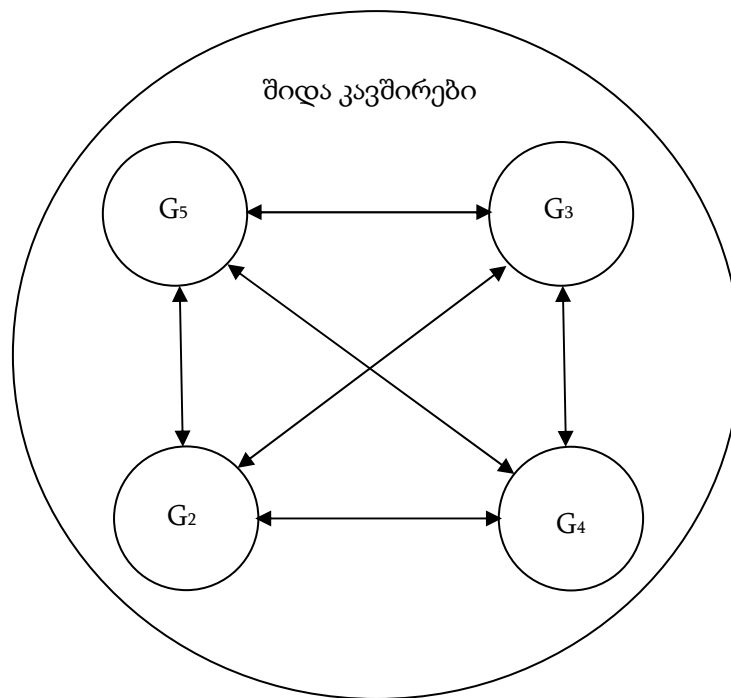
ერთი ჰიდროელექტროსადგურის შიგნით ერთ-ერთი მიზნის მიღწევა მოქმედებს ამავე ჰიდროელექტროსადგურის დანარჩენი მიზნების მიღწევაზე და დანარჩენი ჰიდროელექტროსადგურებისა და თბოელექტროსადგურების ერთი ან მეტი მიზნის მიღწევაზე.

როგორც აღვნიშნეთ, ჰიდროელექტროსადგურებსა და თბოელექტროსადგურებს შორის არსებული გარე კავშირები რთული ხასიათის მქონეა, რაც ართულებს მათ ფორმალიზებას. ამიტომ, აღვწერთ მათ შორის არსებულ მარტივ კავშირებს.

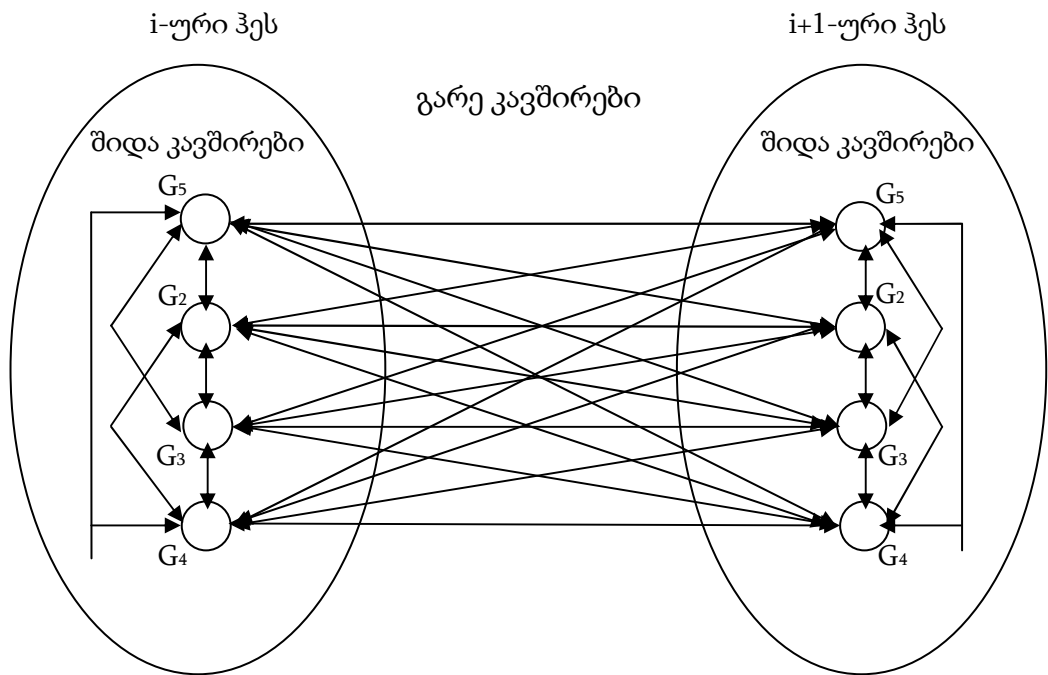
$G_1$  მიზანს დანარჩენ მიზნებთან შემდეგი კავშირი აქვს:

- ჰიდროელექტროსადგურებისთვის  $G_2$  მიზნის მიღწევა, ხშირ შემთხვევაში, ხელს უწყობს  $G_1$  მიზნის მიღწევას, იშვიათ შემთხვევებში კი - არა, რადგან ამ შემთხვევაში, ადგილი შეიძლება ჰქონდეს დადებით დისბალანსებს.

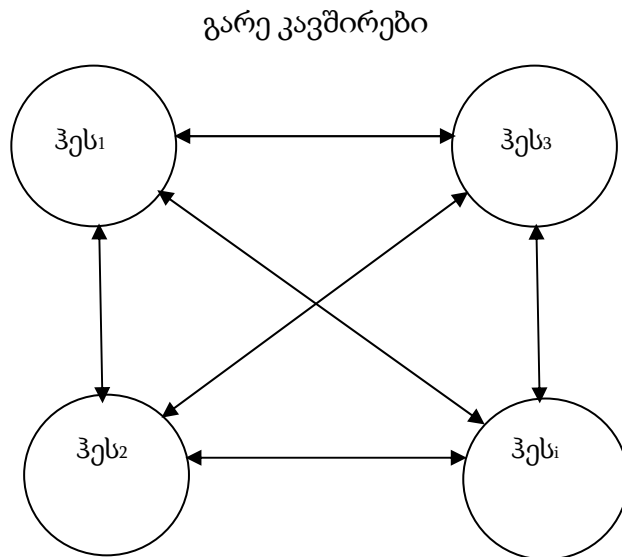
i-ური ჰიდროელექტროსადგური



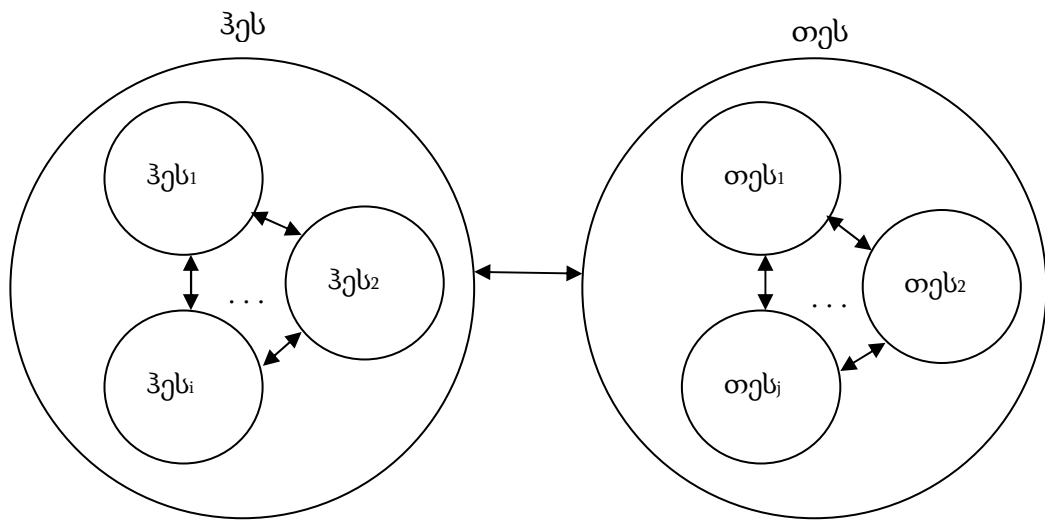
ნახ. 10. ერთ ჰეს-ის დონეზე მოქმედ მიზნებს შორის არსებული შიდა კავშირები.



ნახ. 11. ორი ჰეს-ის მიზნებს შორის არსებული გარე კავშირები.



ნახ. 12. ჰეს-ების მიზნებს შორის არსებული გარე კავშირები.



ნახ. 13. ჰეს-ებისა და თეს-ების მიზნებს შორის არსებული გარე კავშირები.

- ჰიდროელექტროსადგურებისთვის  $G_3$  მიზნის მიღწევა ეწინააღმდეგება  $G_1$  მიზნის მიღწევას, რადგან  $i$ -ურ ჰიდროელექტროსადგურზე წყლის ხარჯის შემცირება ხელს შეუწყობს უარყოფითი დისბალანსების არსებობას. ამრიგად, ეს ორი მიზანი ურთიერთწინააღმდეგობრივია.
- ჰიდროელექტროსადგურებისთვის  $G_4$  მიზნის მიღწევა, ხშირ შემთხვევაში, ხელს უწყობს  $G_1$  მიზნის მიღწევას, რადგან, როცა  $i$ -ური ჰიდროელექტროსადგური ფარავს დატვირთვის გრაფიკის პიკურ და ნახევრადპიკურ ნაწილებს, ამით ხელს უწყობს პიკის საათებში უარყოფითი დისბალანსების მინიმიზაციას.

- ჰიდროელექტროსადგურებისთვის  $G_5$  მიზნის მიღწევა ზოგჯერ ხელს უწყობს  $G_1$  მიზნის მიღწევას, ზოგჯერ კი - არა. საქმე ის არის, რომ ჰიდროელექტროსადგურის მუშაობამ ისეთ რეჟიმში, როცა მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ) მაქსიმალურია, შეიძლება გამოიწვიოს უარყოფითი ან დადებითი დისბალანსის გაჩენა.
- თბოელექტროსადგურებისთვის  $G_6$  მიზნის მიღწევა, ხშირ შემთხვევაში, ეწინააღმდეგება  $G_1$  მიზნის მიღწევას, რადგან  $j$ -ურ თბოელექტროსადგურზე სათბობის ეკონომია ზოგადად ხელს არ უწყობს უარყოფითი დისბალანსების ლიკვიდირებას. ამიტომ, ეს ორი მიზანი ურთიერთწინააღმდეგობრივია.

$i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის  $G_2$  მიზნს დანარჩენ მიზნებთან შემდეგი კავშირი აქვს:

- $G_2$  მიზნის მიღწევა შეიძლება ხელს უწყობდეს  $i+1$ -ურ ჰიდროელექტროსადგურზე  $G_3$  მიზნის მიღწევას და პირიქით. ეს დამოკიდებულია დისბალანსის სიდიდეზე. ზოგადად, ამ მიზნებს შორის სხვადასხვა ჰიდროელექტროსადგურებისათვის მკაფიოდ გამოხატული კავშირი არ არსებობს.
- $G_2$  მიზნის მიღწევა შეიძლება ხელს უწყობდეს  $i+1$ -ურ ჰიდროელექტროსადგურზე  $G_4$  მიზნის მიღწევას და პირიქით. ეს დამოკიდებულია დისბალანსის სიდიდეზე. ზოგადად, ამ მიზნებს შორის სხვადასხვა ჰიდროელექტროსადგურებისათვის მკაფიოდ გამოხატული კავშირი არ არსებობს.
- $G_2$  მიზნის მიღწევა შეიძლება ხელს უწყობდეს  $i+1$ -ურ ჰიდროელექტროსადგურზე  $G_5$  მიზნის მიღწევას და პირიქით. ეს დამოკიდებულია დისბალანსის სიდიდეზე. ზოგადად, ამ მიზნებს შორის სხვადასხვა ჰიდროელექტროსადგურებისათვის მკაფიოდ გამოხატული კავშირი არ არსებობს.
- $G_2$  მიზნის მიღწევა შეიძლება ხელს უწყობდეს  $j$ -ურ თბოელექტროსადგურზე  $G_6$  მიზნის მიღწევას, რადგან რაც უფრო

მეტი წყალი დაიხარჯება დატვირთვის გრაფიკის დაფარვის მიზნით, მით მეტი იქნება სათბობის ეკონომია.

$i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის  $G_3$  მიზანს დანარჩენ მიზნებთან შემდეგი კავშირი აქვს:

- $G_3$  მიზნის მიღწევა შეიძლება ხელს უწყობდეს  $i+1$ -ურ ჰიდროელექტროსადგურზე  $G_4$  მიზნის მიღწევას და პირიქით. ეს დამოკიდებულია დისბალანსის სიდიდეზე. ზოგადად, ამ მიზნებს შორის სხვადასხვა ჰიდროელექტროსადგურებისათვის მკაფიოდ გამოხატული კავშირი არ არსებობს.
- $G_3$  მიზნის მიღწევა შეიძლება ხელს უწყობდეს  $i+1$ -ურ ჰიდროელექტროსადგურზე  $G_5$  მიზნის მიღწევას და პირიქით. ეს დამოკიდებულია დისბალანსის სიდიდეზე. ზოგადად, ამ მიზნებს შორის სხვადასხვა ჰიდროელექტროსადგურებისათვის მკაფიოდ გამოხატული კავშირი არ არსებობს.
- $G_3$  მიზნის მიღწევა ეწინააღმდეგება უწყობდეს  $j$ -ურ თბოელექტროსადგურზე  $G_6$  მიზნის მიღწევას, რადგან რაც უფრო ნაკლები წყალი დაიხარჯება დატვირთვის გრაფიკის დაფარვის მიზნით, მით ნაკლები იქნება სათბობის ეკონომია. ამიტომ, ეს ორი მიზანი ურთიერთწინააღმდეგობრივია.

$i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის  $G_4$  მიზანს დანარჩენ მიზნებთან შემდეგი კავშირი აქვს:

- $G_4$  მიზნის მიღწევა შეიძლება ხელს უწყობდეს  $i+1$ -ურ ჰიდროელექტროსადგურზე  $G_5$  მიზნის მიღწევას და პირიქით. ეს დამოკიდებულია დისბალანსის სიდიდეზე. ზოგადად, ამ მიზნებს შორის სხვადასხვა ჰიდროელექტროსადგურებისათვის მკაფიოდ გამოხატული კავშირი არ არსებობს.
- ზოგადად,  $G_4$  მიზნის მიღწევა ხელს უწყობს  $j$ -ურ თბოელექტროსადგურზე  $G_6$  მიზნის მიღწევას, რადგან თუ ჰიდროელექტროსადგური ფარავს დატვირთვის გრაფიკის პიკურ

ნაწილს, მაშინ თბოელექტროსადგური ფარავს გრაფიკის ბაზურ ნაწილს, რაც ხელს უწყობს  $G_6$  მიზნის მიღწევას.

$i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის  $G_5$  მიზანს  $j$ -ური თბოელექტროსადგურის  $G_6$  მიზანთან შემდეგი კავშირი აქვს.  $G_5$  მიზნის მიღწევა ზოგადად, ხელს არ უწყობს  $G_6$  მიზნის მიღწევას, რადგან, როცა ჰიდროელექტროსადგური მუშაობს ისეთ რეჟიმში, როცა მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტი მაღალია, ამან დისბალანსის ლიკვიდირების მიზნით დეფიციტურ რეჟიმში შეიძლება გამოიწვიოს თბოელექტროსადგურზე სათბობის გადახარჯვა. ამიტომ, ზოგადად, ეს ორი მიზანი ურთიერთწინააღმდეგობრივია.

### 2.3. კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელის შემუშავება

ენერგოსისტემა შეიძლება იმყოფებოდეს მდგომარეობების სიმრავლეებიდან ერთ-ერთში. ყველა შესაძლო მდგომარეობების სიმრავლე აღვნიშნოთ  $S$ -ით:

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}, k = \overline{1, K}.$$

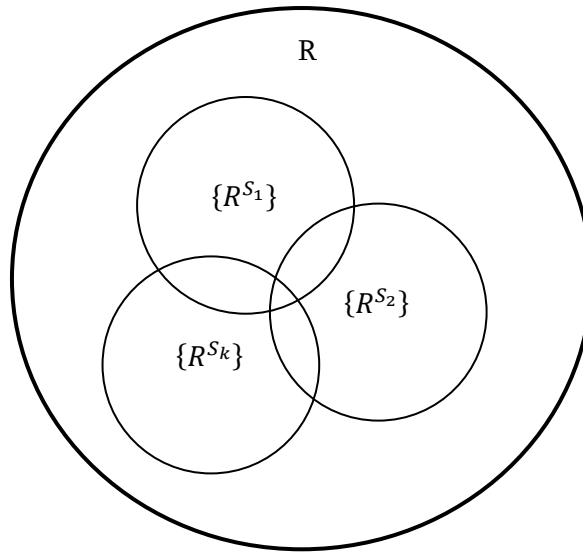
თითოეულ მდგომარეობას შეესაბამება ერთმანეთთან კონფლიქტში მყოფი პროდუქციული წესების გარკვეული სიმრავლე. პროდუქციული წესების სიმრავლე აღვნიშნოთ  $R$ -ით:

$$R = \{\{R^{S_1}\}, \{R^{S_2}\}, \dots, \{R^{S_k}\}\}, k = \overline{1, K}.$$

აქ,  $\{R^{S_1}\}$  არის  $S_1$  მდგომარეობის შესაბამისი კონფლიქტური პროდუქციული წესების სიმრავლე,  $\{R^{S_2}\}$  არის  $S_2$  მდგომარეობის შესაბამისი კონფლიქტური პროდუქციული წესების სიმრავლე და ა.შ.  $R$  სიმრავლეში



შემავალ ქვესიმრავლებს შეიძლება ჰქონდეს თანაკვეთა, ანუ შეიცავდეს ერთნაირ წესებს (ნახ. 14).



ნახ. 14. პროდუქციული წესების ქვესიმრავლების ურთიერთმიმართება

თითოეული მდგომარეობის შესაბამისი კონფლიქტური პროდუქციური წესების სიმრავლე იყოფა ქვესიმრავლებად (ნახ.15):

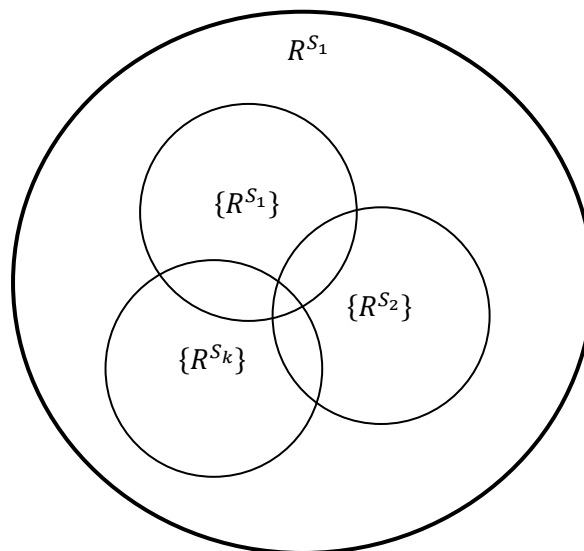
$$R^{S_1} = \{\{R_1^{S_1}\}, \{R_2^{S_1}\}, \dots, \{R_{k_1}^{S_1}\}\}, k_1 = \overline{1, K}, K_1 \in K,$$

$$R^{S_2} = \{\{R_1^{S_2}\}, \{R_2^{S_2}\}, \dots, \{R_{k_2}^{S_2}\}\}, k_2 = \overline{1, K}, K_2 \in K,$$

...

$$R^{S_k} = \{\{R_1^{S_k}\}, \{R_2^{S_k}\}, \dots, \{R_{k_k}^{S_k}\}\}, k_k = \overline{1, K}, K_k \in K.$$

როგორც ვხედავთ,  $S_1$  მდგომარეობაში არსებობს ერთმანეთთან კონფლიქტში მყოფი პროდუქციული წესების რამდენიმე შემადგენლობა. ანალოგიურად,  $S_2$  მდგომარეობაში არსებობს ერთმანეთთან კონფლიქტში მყოფი პროდუქციული წესების რამდენიმე შემადგენლობა და ა.შ.



ნახ. 15. კონფლიქტური წესების ქვესიმრავლეების ურთიერთმიმართება

კონფლიქტური პროდუქციული წესების  $R^{S_1}$  სიმრავლის თითოეული ქვესიმრავლის შემადგენლობა ასეთია:

$$R_1^{S_1} = \{R_{11}^{S_1}, R_{12}^{S_1}, \dots, R_{1n_{11}}^{S_1}\}, n_{11} = \overline{1, N_{11}}, N_{11} \in N,$$

$$R_2^{S_1} = \{R_{21}^{S_1}, R_{22}^{S_1}, \dots, R_{2n_{12}}^{S_1}\}, n_{12} = \overline{1, N_{12}}, N_{12} \in N,$$

$$\dots$$

$$R_{k_1}^{S_1} = \{R_{k_1 1}^{S_1}, R_{k_1 2}^{S_1}, \dots, R_{k_1 n_{k_1}}^{S_1}\}, n_{k_1} = \overline{1, N_{k_1}}, N_{k_1} \in N,$$

შესაბამისად, კონფლიქტური პროდუქციული წესების  $R^{S_k}$  სიმრავლის თითოეული ქვესიმრავლის შემადენლობა ასეთია:

$$R_1^{S_k} = \{R_{11}^{S_k}, R_{12}^{S_k}, \dots, R_{1n_{k1}}^{S_k}\}, n_{k1} = \overline{1, N_{k1}}, N_{k1} \in N,$$

$$R_2^{S_k} = \{R_{21}^{S_k}, R_{22}^{S_k}, \dots, R_{2n_{k2}}^{S_k}\}, n_{k2} = \overline{1, N_{k2}}, N_{k2} \in N,$$

$$\dots$$

$$R_{k_k}^{S_k} = \{R_{k_k 1}^{S_k}, R_{k_k 2}^{S_k}, \dots, R_{k_k n_{k_k}}^{S_k}\}, n_{k_k} = \overline{1, N_{k_k}}, N_{k_k} \in N,$$

საწყისი მონაცემების ანალიზის საფუძველზე განისაზღვრება ის მდგომარეობები, რომლებშიც იმყოფება ენერგოსისტემა. თითოეული მდგომარეობისათვის გამოიყენება კონფლიქტური პროდუქციული წესები შესაბამისი სიმრავლე. მასში შემავალი კონფლიქტური პროდუქციული წესების ქვესიმრავლეები დალაგებულია პრიორიტეტების კლების მიხედვით.

ლოგიკური დასკვნის კეთებისათვის აირჩევა კონფლიქტური პროდუქციული წესების პრიორიტეტული ქვესიმრავლე და მოხდება მასში შემავალი წესების გამოყენება. თითოეული ქვესიმრავლის შიგნით ასევე, ხდება პროდუქციული წესების რანჟირება და შესაბამისად, მათი განხილვა პრიორიტეტების კლების მიხედვით.

ასეთი მიდგომა მკვეთრად ამცირებს განსახილველი კონფლიქტური პროდუქციული წესების სიმრავლეს და შესაბამისად, აჩქარებს გადაწყვეტილებების მიღების პროცესს.

## 2.4. კონფლიქტების გადაწყვეტის ალგორითმები

პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელის საფუძველზე შემუშავებულია შესაბამისი ალგორითმები. დავუშვათ, გვაქვს ენერგოსისტემის  $S_1$  მდგომარეობა და მუშა მეხსიერებაში მოთავსებულია ხუთი პროდუქციული წესი:

$$R^{S_1} = \{R_1^{S_1}, R_2^{S_1}, R_3^{S_1}, R_4^{S_1}, R_5^{S_1}\}$$

და შესაძლებელია  $R_1^{S_1}$  და  $R_2^{S_1}$  პროდუქციული წესების გამოყენება, ანუ ეს ორი პროდუქციული წესი კონფლიქტურია. დასკვნის კეთება შეიძლება დავიწყოთ  $R_1^{S_1}$  ან  $R_2^{S_1}$  წესიდან. ასეთ შემთხვევას ადგილი ექნება მაშინ, როცა საწყისი მონაცემების ანალიზის შემდეგ ადგილი ექნება, ანუ იარსებებს პროდუქციული წესების კონფლიქტური ნაკრები.

დასკვნის კეთება შეიძლება გაგრძელდეს, აგრეთვე  $R_1^{S_1}$  ან  $R_2^{S_1}$  პროდუქციული წესიდან. ასეთ შემთხვევას ადგილი ექნება მაშინ, როცა ლოგიკური დასკვნების კეთების პროცესში იარსებებს პროდუქციული წესების კონფლიქტური სიმრავლე.

იმის გასარკვევად, თუ რომელი წესიდან უმჯობესია დასკვნების კეთების გაგრძელება, სრულდება პროდუქციული წესების მოწესრიგება პრიორიტეტების კლების მიხედვით ენერგოსისტემის  $S_1$  მდგომარეობისათვის და ამოირჩევა პრიორიტეტული პროდუქციული წესი. თუ  $S_1$  მდგომარეობაში  $R_1^{S_1}$  და  $R_2^{S_1}$  პროდუქციულ წესებს თანაბარი პრიორიტეტი აქვს, მაშინ პროდუქციული წესი აირჩევა შემთხვევითი მეთოდით.

$R_1^{S_1}$  პროდუქციული წესის დასკვნის ნაწილს ვათავსებთ მუშა მეხსიერებაში და ვადარებთ  $R_3^{S_1}, R_4^{S_1}$  და  $R_5^{S_1}$  პროდუქციული წესების პირობის ნაწილებს. თუ დამთხვევა არ მოხდა, მაშინ  $R_1^{S_1}$  პროდუქციული წესი გადის მუშა მეხსიერებიდან და განიხილება  $R_2^{S_1}$  პროდუქციული წესი, ანუ მისი დასკვნის ნაწილი შედარდება  $R_3^{S_1}, R_4^{S_1}$  და  $R_5^{S_1}$  პროდუქციული

წესების პირობის ნაწილებს. თუ  $R_1^{S_1}$  პროდუქციული წესის დასკვნის ნაწილი დაემთხვევა რომელიმე პროდუქციული წესის პირობის ნაწილს, მაგალითად  $R_5^{S_1}$  პროდუქციული წესის პირობის ნაწილს, მაშინ მოხდება  $R_1^{S_1}$  პროდუქციული წესის გამოყენება.

ამის შემდეგ, მოწმდება  $R_5^{S_1}$  პროდუქციული წესის გამოყენების შესაძლებლობა. თუ მას ერთი პირობა აქვს, მაშინ მოხდება ამ პროდუქციული წესის გამოყენება. თუ მას ორი პირობა აქვს და მეორე პირობა არ კმაყოფილდება, მაშინ  $R_1^{S_1}$  პროდუქციული წესი გამოდის მუშა მებსიერებიდან და განიხილება  $R_2^{S_1}$  პროდუქციული წესი. თუ  $R_1^{S_1}$  პროდუქციული წესის ორივე პირობა კმაყოფილდება, მაშინ მოხდება მისი გამოყენება.

თუ  $R_1^{S_1}$  პროდუქციული წესის პირობის ნაწილი დაემთხვა  $R_3^{S_1}$  და  $R_4^{S_1}$  პროდუქციული წესების პირობის ნაწილებს და არ დაემთხვა  $R_5^{S_1}$  პროდუქციული წესის პირობის ნაწილს, მაშინ მოწმდება თუ რომელი წესის გამოყენება იქნება შესაძლებელი:  $R_3^{S_1}$  თუ  $R_4^{S_1}$ . თუ ორივე მათგანის გამოყენება შეუძლებელია, მაშინ საჭირო წესის არჩევა ხდება პრიორიტეტის მიხედვით.

თუ  $R_3^{S_1}$  და  $R_4^{S_1}$  პროდუქციულ წესებს ერთნაირი პრიორიტეტები აქვს, მაშინ ერთ-ერთი მათგანი აირჩევა შემთხვევითი მეთოდით. თუ არ არის შესაძლებელი  $R_3^{S_1}$  და  $R_4^{S_1}$  პროდუქციული წესების გამოყენება, მაშინ ან მთავრდება დასკვნის კეთების პროცესი ან განიხილება  $R_2^{S_1}$  პროდუქციული წესი.

ალგორითმი ითვალისწინებს ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის დროს მოქმედი მიზნების პრიორიტეტებს. პროდუქციული წესების დალაგება პრიორიტეტების მიხედვით სრულდება ენერგოსისტემის კვალიფიციური ტექნოლოგების (დისპეტჩერების) ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე. მაგალითად, თუ პრიორიტეტულია  $G_1$  მიზანი:

*„დღე-ღამის განმავლობაში ელექტროენერგიაზე მოთხოვნის მაქსიმალურად დაკმაყოფილების“*

მაშინ გვაქვს ენერგოსისტემის  $S_1$  მდგომარეობა და აირჩევა პროდუქციული წესების შესაბამისი  $\{R^{S_1}\}$  ქვესიმრავლე.

თუ პრიორიტეტულია  $G_3$  მიზანი:

*„არაენერგეტიკული მიზნებისათვის ჰიდრორესურსების ეკონომიის“*

მაშინ ადგილი აქვს ენერგოსისტემის  $S_3$  მდგომარეობას და აირჩევა პროდუქციული წესების შესაბამისი  $\{R^{S_3}\}$  ქვესიმრავლე და ა.შ. თითოეული ქვესიმრავლის (მათი რაოდენობა შეიძლება იყოს რამდენიმე ათეული) შიგნით წესების მოწესრიგება ხდება პრიორიტეტების მნიშვნელობების კლების მიხედვით ენერგოსისტემის კვალიფიციური ტექნოლოგიების ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე.

ენერგოსისტემის თითოეული მდგომარეობის შესაბამისი პროდუქციული წესების ჯგუფები განსაზღვრულია წინასწარ ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე, ენერგოსისტემის კვალიფიციური ტექნოლოგიის ცოდნის საფუძველზე.

მიზნების რაოდენობის ზრდასთან ერთად შესაძლებელია პროდუქციული წესებისა და ჯგუფების რაოდენობისა და შემადგენლობის შეცვლა. თუ რომელიმე მიზანი არ მონაწილეობს განხილვაში, მაშინ არ განიხილება შესაბამისი ჯგუფი.

წესების კონფლიქტური ნაკრები შეიცავს აგრეთვე, ისეთ წესებს, რომელთა დასკვნის ნაწილში მოთავსებულია ერთი ან მეტი დასკვნა. ეს კიდევ უფრო ზრდის კონფლიქტური წესების რაოდენობას. მათი რაოდენობა შეიძლება იყოს რამდენიმე ათეული ან ასეული. ასეთი პროდუქციული წესის მაგალითი შეიძლება იყოს:

**თუ** ჰესი წყლის სიჭარბითაა, მაშინ

ჰესი არ მონაწილეობს დატვირთვის რეგულირებაში

**ან** ჰესი გამორთულია

**ან** ჰესი ფარავს მხოლოდ პიკს

**ან** ჰესი გამოიმუშავებს მხოლოდ მინიმალურ სიმძლავრეს

ერთ-ერთი პირობა ამოირჩევა ენერგოსისტემის არსებული მდგომარეობის მიხედვით.

როგორც კი, საბოლოო შედეგი დაფიქსირდება და ის მისაღები იქნება ენერგოსისტემის დისპეტჩერისთვის, მაშინ მოხდება მსჯელობების მწკრივის დამახსოვრება. შედეგად, როცა დაფიქსირდება ეს მდგომარეობა ან მსგავსი მდგომარეობა, ამოირჩევა მიღებული შედეგი დასკვნების კეთების გარეშე. მდგომარეობის ქვეშ იგულისხმება ისეთი პარამეტრების სიმრავლე, როგორცაა ჰიდროელექტრო სადგურის მინიმალური და მაქსიმალური სიმძლავრეები, წყალსაცავებში წყლის დონე და ა.შ., თბოელექტროსადგურის მინიმალური და მაქსიმალური სიმძლავრეები და ა.შ.

## მეორე თავის დასკვნები

1. ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის დროს მოქმედ მიზნებს შორის რთული ურთიერთკავშირები არსებობს. მიზნების ნაწილს შორის მჭიდრო კავშირი არსებობს, მიზნების ნაწილს შორის კი - სუსტი. მიზნების ნაწილი წინააღმდეგობრივია, ნაწილი კი - არა. გარდა ამისა, ეს მიზნები არაერთგვაროვანია, ანუ მიზნების ნაწილი ორიენტირებულია მათი შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობების მაქსიმიზებაზე, ნაწილი კი - მინიმიზებაზე. ყოველივე ეს, აუცილებელს ხდის ექსპერტული სისტემების გამოყენებას ენერგოსისტემების ნორმალური სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის.
2. ნაჩვენებია, რომ ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვაში გამოყენებული ექსპერტული სისტემები არ ითვალისწინებენ ენერგოსისტემის ობიექტებს შორის არსებული კავშირებს.
3. შემუშავებულია ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს ენერგოსისტემის ობიექტებს შორის კავშირებსა და ამ ობიექტების მიზნებს შორის არსებულ რთულ კავშირებს.
4. შემუშავებულია პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელი და შესაბამისი ალგორითმები, რომლებიც ითვალისწინებენ ენერგოსისტემის ობიექტებს შორის არსებულ რთულ კავშირებს.



### თავი 3. შედეგების პრაქტიკული რეალიზება: ექსპერტული სისტემის შემუშავება საქართველოს ენერგოსისტემის რეჟიმების მართვისთვის

#### 3.1. ექსპერტული სისტემის სტრუქტურა

საქართველოს ენერგოსისტემის სადღეღამისო ნორმალური რეჟიმების ეფექტური მართვის მიზნით შემუშავებულია ექსპერტული სისტემის სტრუქტურა (ნახ. 16), რომელიც შემდეგი ბლოკებისაგან შედგება: პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის ბლოკი, ლოგიკური დასკვნების მკეთებელი ბლოკი, ცოდნის ბაზა, მონაცემთა ბაზა, მუშა მეხსიერება, ცოდნის შექმნის ბლოკი და ენერგოსისტემის ტექნოლოგიან ურთიერთობის ბლოკი.

აღწეროთ თითოეული ბლოკის მუშაობა. ლოგიკური დასკვნების მკეთებელი და კონფლიქტების გადაწყვეტის ბლოკების მუშაობა აღწერილია მომდევნო განყოფილებაში.

შემუშავებული ცოდნის ბაზა შეიცავს ინფორმაციას საქართველოს ენერგოსისტემის სადღეღამისო ნორმალური რეჟიმების შესახებ და შედგება ფაქტებისა და წესებისაგან.

გამოყენებული ფაქტების ნაწილს აქვს სახე:

1. გამომუშავება "ენგური" 800 მვტ 12 სთ
2. "ლაჯანური" გამორთულია 15 სთ
3. "ენგური" რეგულირების უნარი მაღალია
4. პიკის საათებში ელექტროენერჯის მოხმარება დიდია
5. გაზაფხული ხასიათდება მდინარეებზე წყლის სიუხვით
6. ზამთარი ხასიათდება მდინარეებზე წყლის სიმეჩხრით
7. "ტყიბული" გამორთულია 15, 18, 23 სთ
8. 10 სთ უარყოფითი დისბალანსი

- 9. 6 სთ დადებითი დისბალანსი
- 10. 2, 4, 5 სთ უარყოფითი დისბალანსი
- 11. 3, 9, 17 სთ დადებითი დისბალანსი

გამოყენებული წესების ნაწილს აქვს სახე:

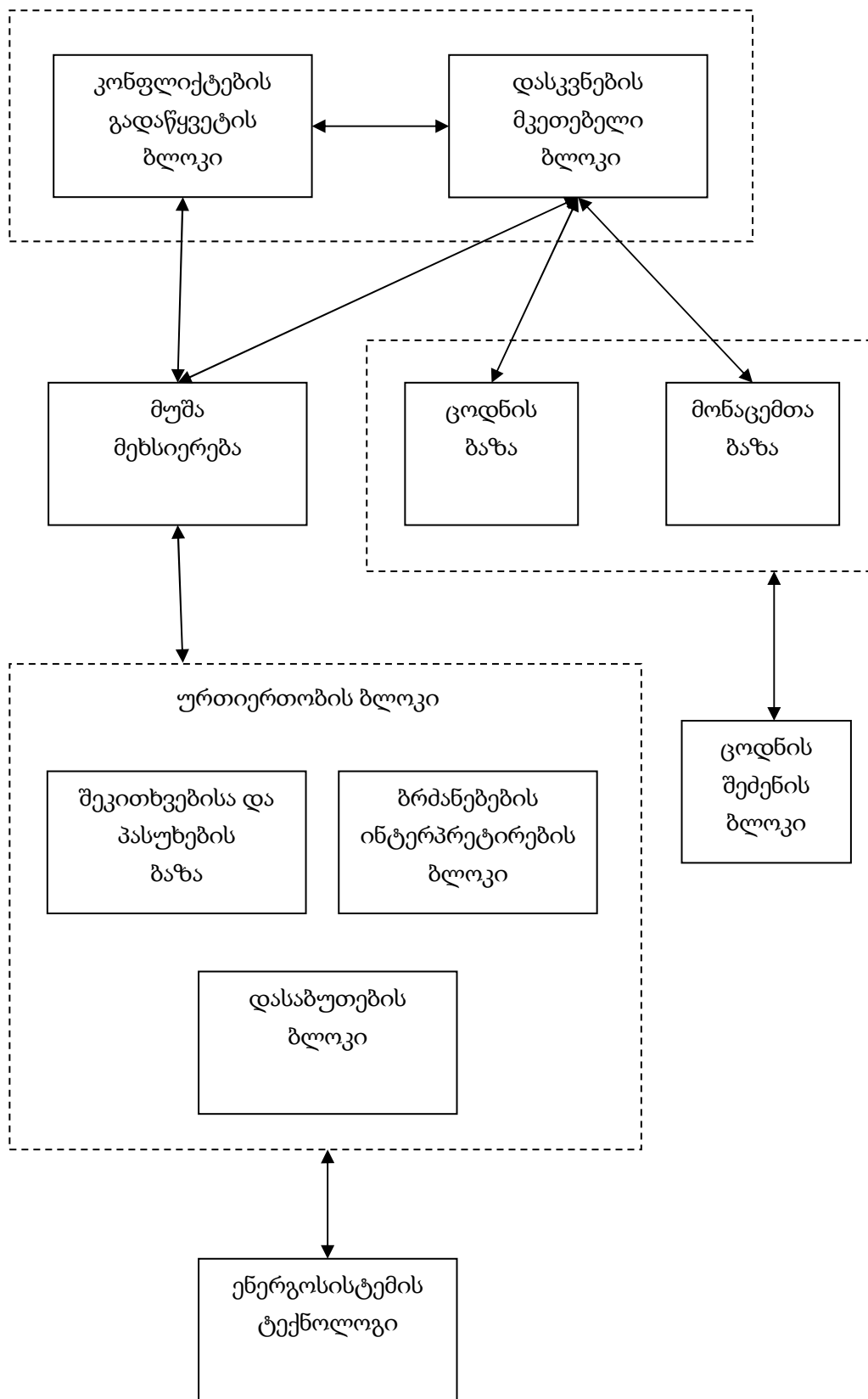
1. **თუ** პიკია,  
**მაშინ** ჰეს მაქსიმალურ სიმძლავრეზე ჩაირთვება.
2. **თუ** ჰეს წყლის სიჭარბითაა,  
**მაშინ** (ჰეს ყველა საათში მაქსიმალურ სიმძლავრეზე ჩაირთვება) **ან** (ჰეს არ მონაწილეობს დატვირთვის რეგულირებაში).
3. **თუ** ჰეს წყლის ნაკლებობითაა,  
**მაშინ** ჰეს პირველ რიგში ფარავს გრაფიკის პიკურ ნაწილს, შემდეგ კი დანარჩენ ნაწილს.
4. **თუ** კმაყოფილდება წყალზე წყალსამეურნეო კომპლექსის მოთხოვნა,  
**მაშინ** ჰეს-ზე ხდება წყლის ხარჯის მინიმიზება **ან** ჰეს არ მონაწილეობს დატვირთვის რეგულირებაში
5. **თუ**  $t$  საათში  $\Psi(t) > 0$  **და**  $N_{ჰესi}(t) = N_{ჰესi}^{min}$ ,  
**მაშინ**  $N_{ჰესi}(t) = 0$
6. **თუ**  $t$  საათში  $\Psi(t) > 0$  **და**  $N_{ჰესi}(t) = 0$ ,  
**მაშინ**  $N_{თესj}(t) = N_{თესj}^{min}$
7. **თუ**  $t$  საათში  $\Psi(t) > 0$  **და**  $N_{თესj}(t) = N_{თესj}^{min}$ ,  
**მაშინ** მართვა გადაეცემა ენერგოსისტემის დისპეტჩერს
8. **თუ**  $Q < 24N_{ჰესi}^{max}$   
**მაშინ** ჰეს <sub>$i$</sub>  წყლის სიჭარბითაა
9. **თუ** ჰეს <sub>$i$</sub>  წყლის სიჭარბითაა,  
**მაშინ**  $N_{ჰესi}(t^{\phi}) = N_{ჰესi}^{max}$  **და** ჰეს <sub>$i$</sub>  არ მონაწილეობს დატვირთვის რეგულირებაში
10. **თუ** პიკია,  
**მაშინ** "ტყიბული" მაქსიმალურ სიმძლავრეზე ჩაირთვება

11. თუ 13 საათში  $\Psi(t) = 0$ ,  
მაშინ "ხრამი\_1" გამოირთვება
12. თუ 14 საათში  $\Psi(t) = 0$ ,  
მაშინ "ლაჯანური" გამოირთვება
13. თუ 23 საათში  $\Psi(t) < 0$ ,  
მაშინ "ენგური" გამოიმუშავებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს
14. თუ 22 საათში  $\Psi(t) < 0$ ,  
მაშინ "ტყიბული" გამოიმუშავებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს
15. თუ 24 საათში  $\Psi(t) = 0$ ,  
მაშინ თბოსადგური გამოიმუშავებს მინიმალურ სიმძლავრეს
16. თუ 20 საათში  $\Psi(t) < 0$ ,  
მაშინ თბოსადგური გამოიმუშავებს მინიმალურ სასურველ სიმძლავრეს
17. თუ 20 საათში  $\Psi(t) < 0$  და რეჟიმი დეფიციტურია,  
მაშინ თბოსადგური გამოიმუშავებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს
18. თუ 13 საათში  $\Psi(t) > 0$ ,  
მაშინ "ხრამი\_2" გამოირთვება
19. თუ 14 საათში  $\Psi(t) > 0$ ,  
მაშინ "ტყიბული" გამოირთვება
20. თუ 15 საათში  $\Psi(t) > 0$ ,  
მაშინ თბოსადგური გამოიმუშავებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს
21. თუ 17 საათში "ტყიბული" რემონტი,  
მაშინ "ტყიბული" გამოირთვება 17 სთ
22. თუ 16 საათში "ხრამი\_1" რემონტი,  
მაშინ "ხრამი\_1" გამოირთვება 16 სთ
23. თუ 19 საათში "ტყიბული" პროფილაქტიკა,  
მაშინ "ტყიბული" გამოირთვება 19 სთ
24. თუ 11 საათში "ხრამი\_1" პროფილაქტიკა,  
მაშინ "ხრამი\_1" გამოირთვება 11 სთ

25. **თუ 12** საათში თბოსადგური რემონტი,  
**მაშინ** თბოსადგური გამოირთვება 12 სთ
26. **თუ 1** საათში თბოსადგური პროფილაქტიკა,  
**მაშინ** თბოსადგური გამოირთვება 1 სთ
27. **თუ 10** საათში "ტყიბული" პროფილაქტიკა,  
**მაშინ** "ტყიბული" გამოირთვება 15 სთ

ენერგოსისტემის ტექნოლოგის კავშირს ექსპერტულ სისტემასთან ურთიერთობის ბლოკი ახორციელებს. ის უზრუნველყოფს დიალოგს ექსპერტულ სისტემასა და ენერგოსისტემის დისპეტჩერს შორის შეზღუდულ ქართულ ენაზე, ანუ ექსპერტულ სისტემასთან დიალოგის დროს ენერგოსისტემის ტექნოლოგი იყენებს წინასწარ განსაზღვრულ წინადადებებს. ურთიერთობის ბლოკი ასრულებს ენერგოსისტემის ტექნოლოგის მიერ გაცემული შეკითხვებისა და ბრძანებების ინტერპრეტირებას.

ურთიერთობის ბლოკი შეიცავს შეკითხვების, შესაბამისი პასუხების, აგრეთვე ბრძანებების ბაზებს და მიღებული გადაწყვეტილებების დასაბუთების ბლოკს. ბრძანებების ბაზაში წინასწარ შეტანილია ენერგოსისტემის ტექნოლოგის მიერ ექსპერტული სისტემის მიმართ გაცემული ბრძანებები. თუ ენერგოსისტემის ტექნოლოგის ბრძანება დაემთხვა ბაზაში არსებულ რომელიმე ბრძანებას, მაშინ მართვა გადაეცემა გამოთვლების ბლოკს, რომელიც შეასრულებს შესაბამის მოქმედებებს. თუ შეტანილი ბრძანება არ არის ბაზაში, მაშინ ცოდნის ინჟინერი ამატებს მას ბაზაში და განსაზღვრავს შესაბამის მოქმედებებს.



ნახ. 16. ექსპერტული სისტემის სტრუქტურა

ბრძანებას შეიძლება წარმოადგენდეს შემდეგი წინადადებები:

1. გამორთე "ხრამი\_1" დღე-ღამის განმავლობაში
2. ჩართე "ვარდნილი" მინიმალურ სიმძლავრეზე
3. გამორთე "ტყიბული" 13, 16, 22 საათებში
4. ჩართე "ხრამი\_2" მაქსიმალურ სიმძლავრეზე
5. ჩართე "ხრამი\_1" მაქსიმალურ სიმძლავრეზე 5, 6, 7 სთ
6. ჩართე "ხრამი\_1" მინიმალურ სიმძლავრეზე 15, 18, 19 სთ
7. ჩართე "ტყიბული" 14, 17, 23 საათებში

შეკითხვების ბაზაში წინასწარ შეტანილია ენერგოსისტემის ტექნოლოგის შესაძლო შეკითხვების. თუ შეტანილი შეკითხვა მოიძებნა ბაზაში, მაშინ გაცივმა შესაბამისი პასუხი. თუ შეტანილი შეკითხვა ბაზაში არ არის, მაშინ ცოდნის ინჟინერი ამატებს მას ბაზაში და განსაზღვრავს შესაბამის პასუხს ენერგოსისტემის ტექნოლოგთან ერთად. პასუხების ნაწილი შეიძლება წინასწარ იყოს შეტანილი ბაზაში, ნაწილი კი გამოთვლების შედეგად.

შეკითხვებს შეიძლება შემდეგი სახე ჰქონდეს:

1. როგორია "ენგურის" გამომუშავება მე-19 საათში?
2. როგორია მინიმალური დადებითი დისბალანსი?
3. როგორია მოხმარება პიკში?
4. როგორია მაქსიმალური უარყოფითი დისბალანსი?
5. როგორია მაქსიმალური დადებითი დისბალანსი?
6. როგორია მინიმალური უარყოფითი დისბალანსი?
7. როგორია საშუალო უარყოფითი დისბალანსი?
8. როგორია "ტყიბულის" გამომუშავება მე-19 საათში?
9. როგორია უარყოფითი დისბალანსი 22 საათში?
10. როგორია დადებითი დისბალანსი 2 საათში?
11. როგორია "ხრამი\_1"-ის გამომუშავება მე-12 საათში?

პასუხებს შეიძლება შემდეგი სახე ჰქონდეს:

1. "ტყიბული" გამორთულია დღე-ღამის განმავლობაში
2. "ხრამი\_1" გამორთულია 4, 8, 17 საათებში
3. სადღეღამისო რეჟიმი დეფიციტურია
4. "ხრამი\_2" მაქსიმალურ სიმძლავრეს გამოიმუშავებს 20, 21, 22 საათებში
5. "ლაჯანური" მაქსიმალურ სიმძლავრეს გამოიმუშავებს 8, 9, 10 საათებში
6. დეფიციტია 21 საათში
7. დადებითი დისბალანსია 4 საათში
8. სადღეღამისო რეჟიმი არადეფიციტურია
9. "ტყიბული" მაქსიმალურ სიმძლავრეს გამოიმუშავებს 18, 19, 20 საათებში
10. დეფიციტია 22 საათში
11. დადებითი დისბალანსია 3, 4, 6 საათებში

ურთიერთობის ბლოკი ენერგოსისტემის ტექნოლოგიისგან ითხოვს საჭირო მონაცემებს. მოთხოვნებს შეიძლება ჰქონდეთ სახე:

1. შეიტანეთ „ვარდნილი“-ის მაქსიმალური სიმძლავრე
2. შეიტანეთ სრე-ის მაქსიმალური სასურველი სიმძლავრე
3. შეიტანეთ „ენგური“-ის მინიმალური სიმძლავრე წყვეტის ზონამდე
4. რომელ საათებში უნდა გამოირთოს "შაორი"
5. რომელ საათებში უნდა გამოირთოს "ლაჯანური"
6. რომელ საათებში უნდა გამოიმუშაოს "ენგურმა" მაქსიმალური სიმძლავრე
6. რომელ საათებში უნდა გამოიმუშაოს "ტყიბულმა" მაქსიმალური სიმძლავრე
7. შეიტანეთ „ხრამი\_1“-ის მინიმალური სიმძლავრე წყვეტის ზონამდე
8. რომელ საათებში უნდა გამოირთოს "ტყიბული"

დასაბუთების კომპონენტი გასცემს მიღებული გადაწყვეტილებებისა და რეკომენდაციების დასაბუთებას. ის ენერგოსისტემის ტექნოლოგს

უხსნის, თუ როგორ მიიღო მან მოცემული გადაწყვეტილება ან რეკომენდაცია. ამხსნელი ბლოგი უკუ მიმდევრობით განიხილავს გადაწყვეტილების ელემენტებს. განიხილვა იმ დასკვნიდან იწყება, რომელსაც შეკითხვა ეხება, და გრძელდება იმ მონაცემებისკენ, რომლებსაც ეყრდნობა ეს დასკვნა. ენერგოსისტემის დისპეტჩერისთვის გაცემის წინ ასეთი შუალედური დასკვნები ქართულ ენაზე გადაიყვანება.

მივცეთ შეკითხვა:

*როგორ მოახდინე დადებითი დისბალანსის ლიკვიდირება მე-9 საათში?*

პასუხი:

*გამოვიყენე წესი-2, რომელიც ასკვნის, რომ თეს-მა უნდა გამოიმუშაოს მინიმალური სიმძლავრე მე-9 საათში დადებითი დისბალანსის ლიკვიდირებისთვის. იმ შემთხვევაში თუ ყველა ჰეს გამორთულია გამოვიყენე წესი-1, რომელიც ასკვნის, რომ ჰესი მე-9 საათში უნდა გამოირთოს იმ შემთხვევაში, თუ ის გამოიმუშავებდა მინიმალურ სიმძლავრეს*

მივცეთ შეკითხვა:

*რატომ არ მონაწილეობს ტყიბული დატვირთვის რეგულირებაში?*

პასუხი:

*გამოვიყენე წესი-5, რომელიც ასკვნის, რომ რადგან ტყიბული წყლის ნაკლებობითაა, ამიტომ იგი მხოლოდ პიკის საათებში გამოიმუშავებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს გამოვიყენე წესი-4, რომელიც ასკვნის, რომ ტყიბული წყლის ნაკლებობითაა, რადგან მისთვის წყლის დაგეგმილი სადღეღამისო ხარჯი ნაკლებია ან ტოლი სიდიდეზე  $24N_{ჰესი}^{min}$ .*



ურთიერთობის ბლოკი გასცემს შუალედურ გადაწყვეტილებებს, შედეგებსა და მონაცემებს ყოველი საათის შემდეგ. მაგალითად, დისბალანსების სიდიდეები, თითოეული ჰიდროელექტროსადგურისა და თბოელექტროსადგურის რეჟიმი, თბოელექტროსადგურზე სათბობის ხარჯი, ჰიდროელექტროსადგურზე წყლის ხარჯი და ა.შ. ამრიგად, ურთიერთობის ბლოკი ატყობინებს ენერგოსისტემის ტექნოლოგს იმის შესახებ თუ რომელმა მონაცემებმა, ფაქტებმა, პროდუქციულმა წესებმა და მსჯელობების მსვლელობამ მიიყვანა იგი მიღებულ შედეგამდე.

გამოთვლების ბლოკი დღეღამის თითოეული საათისთვის ანგარიშობს დისბალანსის სიდიდეებს, თითოეული ჰიდროელექტროსადგურისა და თბოელექტროსადგურის მიერ გასამომუშავებელ სიმძლავრეებს, განსაზღვრავს ენერგოსისტემის რეჟიმი დეფიციტურია თუ არა, ასრულებს ენერგოსისტემის ტექნოლოგის მიერ შეტანილ ბრძანებებს და ა.შ.

ცოდნის შექმნის ბლოკის მუშაობისთვის შეიძლება გამოყენებული იყოს არსებული სტანდარტული მეთოდები და ალგორითმები. ჩვენს შემთხვევაში, ცოდნის ბაზაში წესების დამატებასა და შესაბამისი მოქმედებების განსაზღვრას ახდენს ცოდნის ინჟინერი ენერგოსისტემის ტექნოლოგთან ერთად.

### 3.2. მსჯელობების პირდაპირი მწკრივის რეალიზება პროდუქციული წესების კონფლიქტური ნაკრების არსებობის პირობებში

საქართველოს ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვისათვის შემუშავებული ექსპერტული სისტემის ერთ-ერთი ბლოკია ლოგიკური დასკვნის კეთების ბლოკი. მისი ძირითადი ნაწილია ინტერპრეტატორი, რომელიც ასრულებს მსჯელობების პირდაპირი

მწკრივის რეალიზებას. ის ახდენს წესის პირობის ნაწილის ანალიზს. თუ ის სრულდება, მაშინ ინტერპრეტატორი ასრულებს წესის დასკვნით ნაწილში მითითებულ მოქმედებებს. ინტერპრეტატორის მუშაობის ალგორითმი შეიძლება შემდეგნაირად წარმოვადგინოთ:

1. განისაზღვრება საწყისი მდგომარეობა. მუშა ცვლადებს საწყისი მნიშვნელობების ენიჭებათ.
2. ცვლადები და პირობები შეიტანება გამოყვანის ლოგიკური ცვლადების რიგში.
3. პირობის ცვლადების მნიშვნელობები შეიტანება ცვლადების სიაში.
4. ცვლადების სიაში სრულდება იმ ცვლადის ძებნა, რომლის სახელი დგას ლოგიკური გამოყვანის ცვლადების რიგის დასაწყისში.
5. თუ ცვლადი მოიძებნა, მაშინ პირობის ცვლადებზე მიმთითებელში ჩაიწერება წესის ნომერი და რიცხვი 1.
6. თუ ცვლადი ვერ მოიძებნა, მაშინ გადავდივართ მე-10 ბიჯზე.
7. მოძებნილი წესის პირობის ნაწილის არაინიციალიზებულ ცვლადებს შესაბამისი მნიშვნელობები ენიჭებათ. ცვლადების სახელები იმყოფება პირობის ცვლადების სიაში.
8. მოწმდება წესის ყველა პირობა და თუ ისინი ჭეშმარიტია, მაშინ იწყება წესის მაშინ ნაწილის დამუშავება.
9. წესის მაშინ ნაწილის ცვლადებს ენიჭებათ შესაბამისი მნიშვნელობები და მოთავსდებიან ლოგიკური გამოყვანის რიგის ბოლოში.
10. თუ ცვლადი იმყოფება ლოგიკური დასკვნის ცვლადების რიგის დასაწყისში და არ იმყოფება წესის პირობის ნაწილში, მაშინ ხდება მისი გამოტანა ამ რიგიდან.
11. ლოგიკური გამოყვანის პროცესი მთავრდება მაშინ, როცა დაცარიელდება ლოგიკური გამოყვანის ცვლადების რიგი.

12. თუ ლოგიკური გამოყვანის ცვლადების რიგი არ არის ცარიელი, მაშინ გადავდივართ მე-4 ბიჯზე.

განვიხილოთ ინტერპრეტატორის მუშაობის მაგალითი. ცოდნის ბაზის განსახილველ ფრაგმენტს აქვს სახე:

1.  $\forall t$  საათში  $\Psi(t) > 0$  &  $N_{\text{თესი}}(t) > N_{\text{თესი}}^{\min}$ , მაშინ  $N_{\text{ჰესი}}(t) = N_{\text{ჰესი}}^{\min}$
2.  $\forall t$  საათში  $\Psi(t) > 0$  &  $N_{\text{თესი}}(t) > N_{\text{თესი}}^{\min}$ , მაშინ  $N_{\text{ჰესი}}(t) = 0$
3.  $\forall t$  საათში  $\Psi(t) > 0$  &  $N_{\text{თესი}}(t) > N_{\text{თესი}}^{\min}$ , მაშინ  $N_{\text{თესი}}(t) = N_{\text{თესი}}^{\min}$
4.  $\forall t$  საათში  $\Psi(t) > 0$  &  $N_{\text{თესი}}(t) = N_{\text{თესი}}^{\min}$ , მაშინ მართვა გადაეცემა ენერგოსისტემის დისპეტჩერს

თვალსაჩინოებისათვის, ინტერპრეტატორის მუშაობის სქემას ცხრილური ფორმით მოვიყვანთ. ცვლადების სახელები მოყვანილია ცხრილში 1.

აქ, პრიორიტეტი აქვს პირველ წესს და ამიტომ, ჯერ ის დამუშავდება. შემდეგ, განიხილება მეორე წესი და ბოლოს მესამე წესი. ეს იმას ნიშნავს, რომ თუ ჰიდროსადგური წყლის სიჭარბითაა, მაშინ მან  $t$  საათში უნდა გამოიმუშაოს მინიმალური სიმძლავრე -  $N_{\text{ჰესი}}^{\min}$ . თუ ამ საათში ჰიდროსადგურის გამომუშავება უკვე არის  $N_{\text{ჰესი}}^{\min}$ , მაშინ ის უნდა გამოირთოს. თუ ამ ღონისძიებებმა შედეგი არ მოგვცა, მაშინ თბოსადგურმა მოცემულ საათში უნდა გამოიმუშაოს მინიმალური სიმძლავრე.

ცოდნის ბაზა შეიცავს პირობის ცვლადების სიას, ე.ი. თითოეული წესის პირობის ნაწილში შემავალი ცვლადების სიას (ცხრილი 2). დავუშვათ დღე-ღამის მე-4 საათში ადგილი აქვს დადებით დისბალანსს სიდიდით 90 მვტ და  $i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის გამომუშავება 600 მვტ-ის ტოლია. რადგან,  $N_{\text{ჰესი}}^{\min}$ ,  $\Psi(t)$  და  $t$  ცვლადები იმყოფებიან პირველი წესის პირობის ნაწილში, ამიტომ ისინი შეიტანება ლოგიკური გამოყვანის ცვლადების სიაში (ცხრილი 3).

ცხრილი 1. ცვლადების სახელები.

ცვლადის სახელი	მნიშვნელობა
$t$	დღე-ღამის საათი
$\Psi(t)$	რქს-ის დისბალანსი $t$ საათში
$N_{\text{ჰეს}_i}(t)$	$i$ -ური ჰეს-ის გამომუშავება $t$ საათში
$N_{\text{თეს}_j}(t)$	$j$ -ური თეს-ის გამომუშავება $t$ საათში
$N_{\text{ჰეს}_i}^{\min}(t)$	$i$ -ური ჰეს-ის მინიმალური სიმძლავრე
$N_{\text{თეს}_j}^{\min}(t)$	$j$ -ური თეს-ის მინიმალური სიმძლავრე

ცხრილი 2. პირობის ცვლადები.

პირობის ცვლადების სია	ინიციალიზების ნიშანი	მნიშვნელობა
$t$	10	
$\Psi(t)$	10	
$N_{\text{ჰეს}_i}(t)$	10	
$N_{\text{თეს}_j}(t)$	10	
$N_{\text{ჰეს}_i}^{\min}$	10	
$N_{\text{თეს}_j}^{\min}$	10	

ცხრილი 3. ლოგიკური გამოყვანის ცვლადები.

$\Psi(t)$
$t$
$N_{\text{ჰეს}_i}^{\min}$

ცხრილი 4. ლოგიკური გამოყვანის ცვლადების რიგი.

$\Psi(t)$	← დასაწყისი
$t$	
$N_{\text{ვესი}}^{\min}$	
$N_{\text{ვესი}}(t)$	← დასასრული

ცხრილი 5. ლოგიკური გამოყვანის ცვლადები.

$N_{\text{ვესი}}(t)$

ცხრილი 6. პირობის ცვლადები.

პირობის ცვლადების სია	ინიციალიზების ნიშანი	მნიშვნელობა
$t$	0	4
$\Psi(t)$	0	90
$N_{\text{ვესი}}(t)$	0	60
$N_{\text{თესი}}(t)$	0	750
$N_{\text{ვესი}}^{\min}$	0	70
$N_{\text{თესი}}^{\min}$	0	700

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, რადგან პირველი წესის პირობის ნაწილი სრულდება, ამიტომ იწყება დასკვნის ნაწილის მეორე ქვედასკვნის დამუშავება. მიმდინარე ხდება  $N_{\text{ესი}}(t)$  ცვლადი, რომლის მნიშვნელობა ნულის ტოლია. ის შეიტანება ლოგიკური გამოყვანის ცვლადების რიგში (ცხრილი 4). მას შემდეგ, რაც გასინჯულია  $t$ ,  $\Psi(t)$ ,  $N_{\text{ესი}}(t)$  ცვლადების შემცველი ყველა პროდუქციული წესი, ისინი გამოიტანება ლოგიკური გამოყვანის ცვლადების რიგიდან (ცხრილი 5).

$N_{\text{ესი}}(t)$  ცვლადი მუშავდება  $N_{\text{თესი}}(t)$  ცვლადის ანალოგიურად. როგორც კი ლოგიკური გამოყვანის ცვლადების რიგი დაცარიელდება, მსჯელობების პირდაპირი მწკრივი დამთავრდება და ამოცანა გადაწყვეტილი იქნება.

ცვლადების სია შეიცავს ცვლადების მნიშვნელობებსა და მათი ინიციალიზების ნიშანს. მუშაობის დასაწყისში ინიციალიზების ნიშანი არის “ა0” (არაინიციალიზებული) და ცვლადებს აქვთ ცარიელი მნიშვნელობები (ცხრილი 2). დიალოგის პროცესში ცვლადებს ენიჭებათ მნიშვნელობები, ხოლო ინიციალიზების ნიშანი ხდება “0” (ცხრილი 6).

ცვლადებზე მიმთითებელი შეიცავს ინფორმაციას იმ წესების შესახებ, რომელთანაც მუშაობს ერქსპერტული სისტემა მოცემულ მომენტში. ცვლადებზე მიმთითებელი შედგება წესის ნომრისა და წესში პირობის ნომრისაგან, რადგან წესის პირობის ნაწილი შეიძლება შეიცავდეს რამდენიმე პირობას.

მიმთითებელი გამოიყენება მსჯელობის პროცესში მიმდინარე მდგომარეობისთვის თვალყურის სადევნებლად. რადგან, საძებნ ცვლადს პირველი წესი შეიცავს, ამიტომ მიმთითებელი პირველ წესზე მიუთითებს (ნახ. 17).

მეორე შემთხვევისათვის აღნიშნული პროცესი მეორდება პირველი წესის დასკვნითი ნაწილის პირველი ქვედასკვნისთვის. სრულდება მიღებული შედეგების დამახსოვრება განმეორებითი გამოთვლების თავიდან აცილების მიზნით საწყისი მონაცემების გამეორების შემთხვევაში.

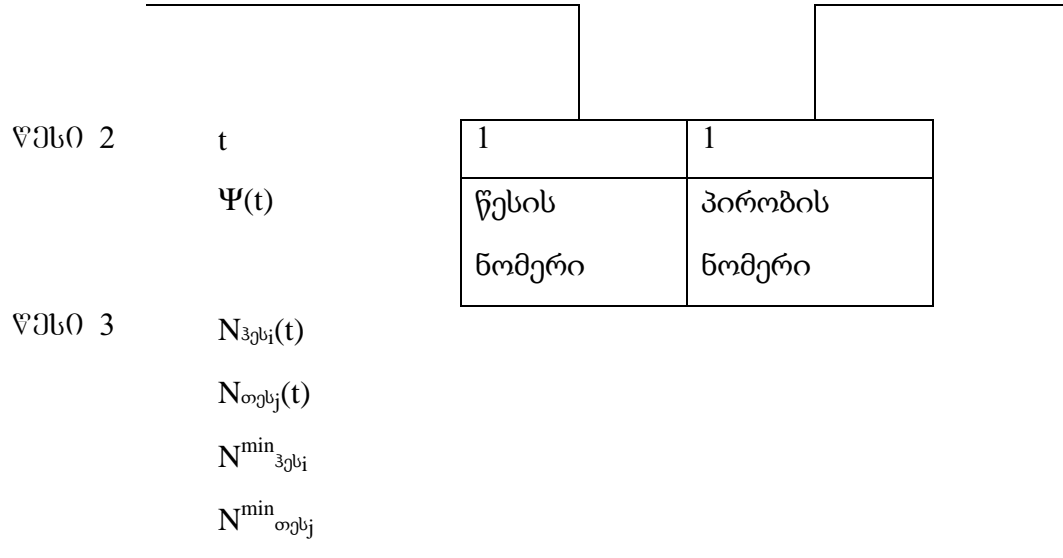
ექსპერტული სისტემა იმახსოვრებს მიღებულ შედეგებს. საწყისი მონაცემების გამეორების შემთხვევაში ის მიიღებს შესაბამის გადაწყვეტილებებს განმეორებითი გამოთვლების შესრულების გარეშე. პროდუქციული წესების კონფლიქტური ნაკრების არსებობის პირობებში ექსპერტული სისტემა იყენებს ევრისტიკულ ცოდნას.

ერთ-ერთი ევრისტიკის მიხედვით ჰიდრო და თბოელექტროსადგურების დატვირთვა უნდა დაიწყოს პიკური საათებიდან მოხმარების კლების მიმართულებით. ამ მიზნით, წინასწარ უნდა შესრულდეს საათების დახარისხება მოხმარების კლების მიხედვით და შემდეგ ჰიდრო და თბოელექტროსადგურების დატვირთვა.

კიდევ ერთი ევრისტიკის მიხედვით ჰიდროსადგურები უნდა დახარისხდეს მათი რეგულირების უნარის კლების მიხედვით და ამ რიგითობით შესრულდეს მათი დატვირთვა. ეს იმას ნიშნავს, რომ პირველ რიგში დაიტვირთება რეგულირების მაღალი უნარის მქონე ჰიდროსადგურები, შემდეგ კი - დაბალი უნარის მქონე. ასეთი მიდგომა და აგრეთვე, სხვა დამატებითი ინფორმაციის გამოყენება, ხშირ შემთხვევებში, წარმატებით წყვეტს პროდუქციულ წესებს შორის არსებულ კონფლიქტებს.

ცოდნის ბაზა	პირობის ცვლადების სია	პირობის ცვლადებზე მიმთითებელი
----------------	-----------------------------	----------------------------------

წესი 1



ნახ. 17. მიმთითებლის მიმდინარე პოზიცია



### 3.3. ტექნოლოგის ინტერფეისის შემუშავება

მუშაობის საწყის ეტაპზე ექსპერტული სისტემა ენერგოსისტემის ტექნოლოგიისგან ითხოვს საწყისი მონაცემების შეტანას. იმ შემთხვევაში, თუ საწყისი მონაცემები ემთხვევა წინა პერიოდში შეტანილ მონაცემს, მაშინ შესაძლებელია მათი წაკითხვა და გამოყენება როგორც ახალი. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ენერგოსისტემის ტექნოლოგი ექსპერტულ სისტემას აწვდის საწყის მონაცემებს: თითოეული ჰიდრო და თბოელექტროსადგურის მაქსიმალური და მინიმალური სიმძლავრეები, ჰიდროსადგურების მინიმალური სიმძლავრეები წყვეტის ზონამდე, თბოელექტროსადგურების მინიმალური სასურველი სიმძლავრეები, მოხმარება დღე-ღამის თითოეული საათისათვის, დასახარჯი წყლის მოცულობა თითოეული ჰიდროსადგურისათვის. შესაბამისი ფანჯარა ნაჩვენებია ნახ. 18-ზე.

შემდეგი ეტაპია ამ მონაცემების შემოწმება. შემდეგ ექსპერტული სისტემა იწყებს სადღეღამისო რეჟიმის ფორმირებას. შემდეგი ეკრანზე გამოჩნდება ცხრილის სახით, მაგალითად როგორც ეს ნაჩვენებია ცხრილებში 7 – 10. ტექნოლოგს შეუძლია ექსპერტულ სისტემას მოსთხოვოს შედეგების გრაფიკების სახით გამოტანა, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახაზებზე 19 – 22.

ამის შემდეგ, ენერგოსისტემის ტექნოლოგს ეძლევა საშუალება შეცვალოს საწყისი მონაცემები და გაიმეოროს სადღეღამისო რეჟიმის ფორმირების პროცესი. ყოველივე ზემოთ თქმული მეორდება მანამ, სანამ არ მიხდება ტექნოლოგისთვის მისაღები სადღეღამისო რეჟიმის ფორმირება.

ნახ. 23-ზე ნაჩვენებია ფანჯარა, რომელშიც ენერგოსისტემის ტექნოლოგი ექსპერტულ სისტემას აძლევს ბრძანებებს. მაგალითად,

"გამორთე ხრამი\_1 13.00 საათში".

ნახ. 24-ზე ნაჩვენებია ფანჯარა, რომელშიც ენერგოსისტემის ტექნოლოგი ექსპერტულ სისტემას აძლევს შეკითხვას, მაგალითად

"რატომ გამორთე შაორი 15.00 საათში?".

ნახ. 25-ზე ნაჩვენებია ფანჯარა, რომელშიც ექსპერტული სისტემა ტექნოლოგს აძლევს შეკითხვას, მაგალითად

"რომელ საათში უნდა გამოირთოს ლაჯანური?".

ენერგოსისტემის ტექნოლოგს, გარდა აღნიშნული საწყისი მონაცემებისა, შეუძლია მიუთითოს ჰიდროსადგურების დატვირთვის მიმდევრობა, თბოსადგურების დატვირთვის მიმდევრობა, საათები, როცა უნდა გამოირთოს ჰიდროსადგურები ამა თუ იმ მიზეზის გამო, მაგალითად სარემონტო სამუშაოების შესასრულებლად და ა.შ.

დიალოგის სქემა ნაჩვენებია ნახ. 26-ზე. სქემის მიხედვით, საწყისი მონაცემების შეტანის შემდეგ, სრულდება მათი შემოწმება. არასწორი მონაცემების შემთხვევაში მართვა გადაეცემა ენერგოსისტემის ტექნოლოგს, წინააღმდეგ შემთხვევაში, შესრულდება სადღეღამისო რეჟიმის გათვლა. რეჟიმის ფორმირების შემდეგ მართვა გადაეცემა ენერგოსისტემის ტექნოლოგს. ის იღებს საბოლოო გადაწყვეტილებას ფორმირებული სადღეღამისო რეჟიმი მისაღებია თუ არა.

თუ სადღეღამისო რეჟიმი მიუღებელია, მაშინ ენერგოსისტემის ტექნოლოგი ცვლის საწყის მონაცემებს და იმეორებს გამოთვლებს. ასე გრძელდება ტექნოლოგისთვის მისაღები რეჟიმის მიღებამდე. სასურველი რეჟიმის მიღების შემდეგ ხდება მისი დამახსოვრება და შემდგომში გამოყენება საწყისი მონაცემების გამეორების შემთხვევაში.

საწყისი მონაცემების შეტანის შემდეგ ყოველთვის სრულდება მისი შედარება უახლოესი წინა პერიოდის საწყის მონაცემებთან და დამთხვევის შემთხვევაში გამოთვლების შესრულების გარეშე ამოირჩევა დამახსოვრებული შესაბამისი რეჟიმი.

სადღველამისო რევიმების მართვა

	მაქსიმუმი	მინიმუმი	მინ. წყვეტის ზონამდე	წყლის მოცულობა	სთ.	მოხმარება	სთ.	მოხმარება
ენგური	800	0	100	13000	1	1650	13	1850
ლაჯანური	200	0	50	3500	2	1300	14	1800
ხრამი 1	100	50	50	2000	3	1250	15	1850
ხრამი 2	100	0	0	1900	4	1250	16	1950
შაორი	50	0	0	400	5	1250	17	1950
ტყიბული	50	0	0	350	6	1400	18	2350
					7	1550	19	2450
					8	1650	20	2200
თეს	1200	900	1000		9	2250	21	2050
					10	2000	22	2020
					11	1950	23	1970
					12	1850	24	1850

2011 წლის 24 02, ხუთშაბათი ▾

ინიციალიზება    შენახვა    მონაცემების გადმოწერა    გენერირება

ნახ. 18. ექსპერტული სისტემის პირველი ფანჯარა

ცხრილი 7.

ზამთარი

სთ	ენგური	ლაჯანური	ხრამი 1	ხრამი 2	შაორი	ტყიბული	თეს	მოხმარება	დისბალანსი
1	200	200	100	100	50	50	950	1650	0
2	200	50	50	50	0	0	950	1300	0
3	150	50	50	50	0	0	950	1250	0
4	150	50	50	50	0	0	950	1250	0
5	100	120	50	30	0	0	950	1250	0
6	140	130	50	80	30	20	950	1400	0
7	350	110	60	80	0	0	950	1550	0
8	350	140	70	80	30	30	950	1650	0
9	800	200	100	100	50	50	950	2250	0
10	700	100	80	80	50	40	950	2000	0
11	750	200	50	0	0	0	950	1950	0
12	600	100	70	70	30	30	950	1850	0
13	600	110	70	70	30	20	950	1850	0
14	600	100	80	70	0	0	950	1800	0
15	600	120	90	90	0	0	950	1850	0
16	700	120	90	90	0	0	950	1950	0
17	700	120	90	90	0	0	950	1950	0
18	800	200	100	100	50	50	1050	2350	0
19	800	200	100	100	50	50	1050	2450	-100
20	800	170	90	90	0	0	950	2200	-100
21	750	170	90	90	0	0	950	2050	0
22	750	150	90	80	0	0	950	2020	0
23	700	150	90	80	0	0	950	1970	0
24	700	100	50	50	0	0	950	1850	0

ჯამი 12990 3160 1810 1770 370 340 23000 43640 -200

ცხრილი 8.

გაზაფხული

სთ	ენგური	ლაჯანური	ხრამი 1	ხრამი 2	შაორი	ტყიბული	თეს	მოხმარება	დისბალანსი
1	200	200	100	100	50	50	800	1500	0
2	200	50	50	50	0	0	800	1150	0
3	150	50	50	50	0	0	800	1100	0
4	150	50	50	50	0	0	800	1100	0
5	100	120	50	30	0	0	800	1100	0
6	140	130	50	80	30	20	800	1250	0
7	350	110	60	80	0	0	800	1400	0
8	350	140	70	80	30	30	800	1500	0
9	800	200	100	100	50	50	800	2100	0
10	700	100	80	80	50	40	800	1850	0
11	750	200	50	0	0	0	800	1800	0
12	600	100	70	70	30	30	800	1700	0
13	600	110	70	70	30	20	800	1700	0
14	600	100	80	70	0	0	800	1650	0
15	600	120	90	90	0	0	800	1700	0
16	700	120	90	90	0	0	800	1800	0
17	700	120	90	90	0	0	800	1800	0
18	900	200	100	100	50	50	800	2200	0
19	1000	200	100	100	50	50	800	2300	0
20	800	170	90	90	0	0	800	1950	0
21	750	170	90	90	0	0	800	1900	0
22	750	150	90	80	0	0	800	1870	0
23	700	150	90	80	0	0	800	1820	0
24	700	100	50	50	0	0	800	1700	0

ჯამი 13290 3160 1810 1770 370 340 19200 39940 0

ცხრილი 9.

ზაფხული

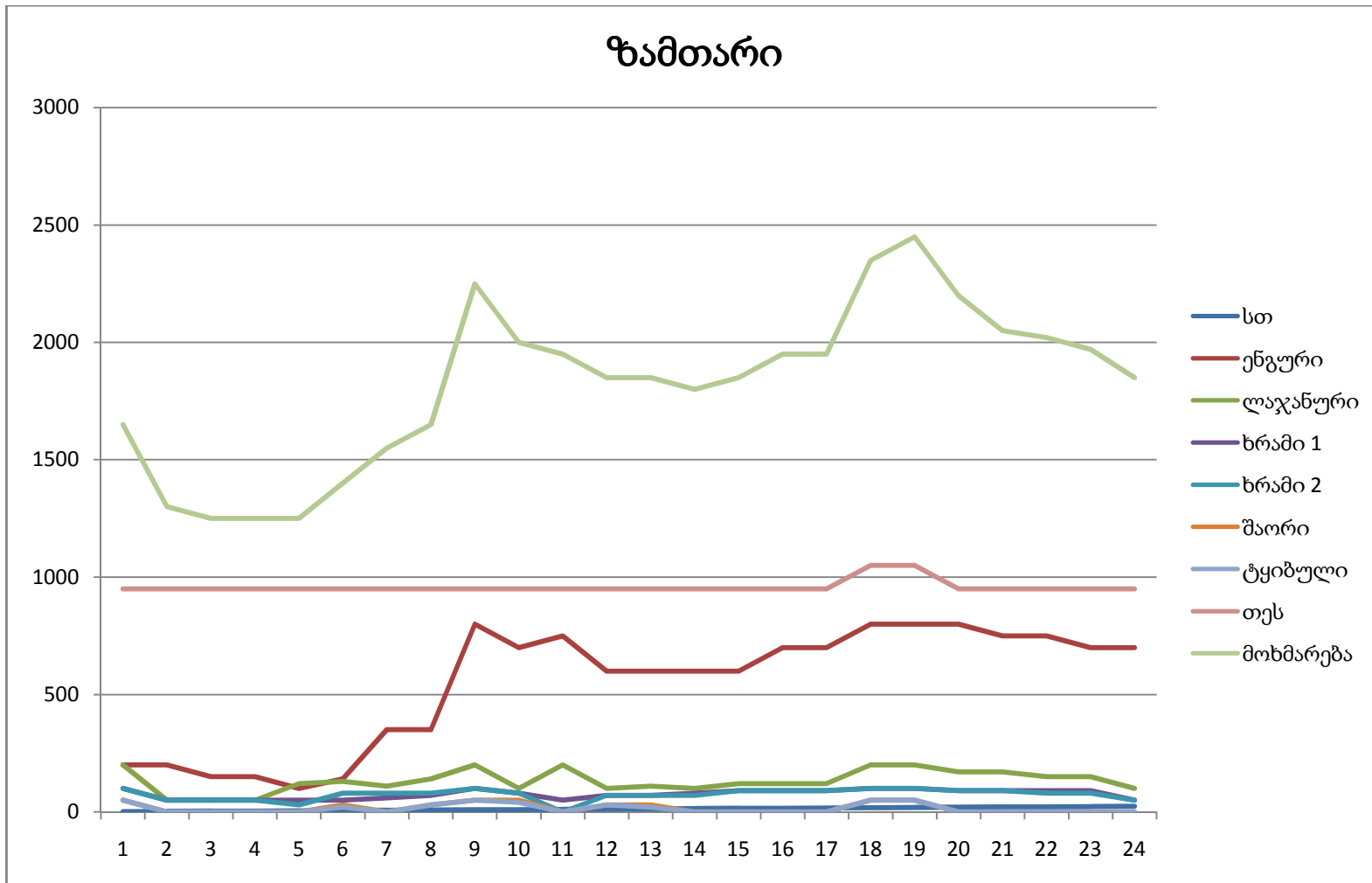
სთ	ენგური	ლაჯანური	ხრამი 1	ხრამი 2	შაორი	ტყიბული	თეს	მოხმარება	დისბალანსი
1	200	200	100	100	50	50	750	1450	0
2	200	50	50	50	0	0	750	1100	0
3	150	50	50	50	0	0	750	1050	0
4	150	50	50	50	0	0	750	1050	0
5	100	120	50	30	0	0	750	1050	0
6	140	130	50	80	30	20	750	1200	0
7	350	110	60	80	0	0	750	1350	0
8	350	140	70	80	30	30	750	1450	0
9	800	200	100	100	50	50	750	2050	0
10	700	100	80	70	0	0	750	1700	0
11	750	200	50	0	0	0	750	1750	0
12	600	100	70	70	30	30	750	1650	0
13	600	110	70	70	30	20	750	1650	0
14	600	100	80	70	0	0	750	1600	0
15	600	120	90	90	0	0	750	1650	0
16	700	120	90	90	0	0	750	1750	0
17	700	120	90	90	0	0	750	1750	0
18	900	200	100	100	50	50	750	2150	0
19	1000	200	100	100	50	50	750	2250	0
20	800	170	90	40	0	0	750	1850	0
21	750	170	90	90	0	0	750	1850	0
22	750	150	90	60	0	0	750	1800	0
23	700	150	90	80	0	0	750	1770	0
24	700	100	50	50	0	0	750	1650	0

ჯამი 13290 3160 1810 1690 320 300 18000 38570 0

## ცხრილი 10.

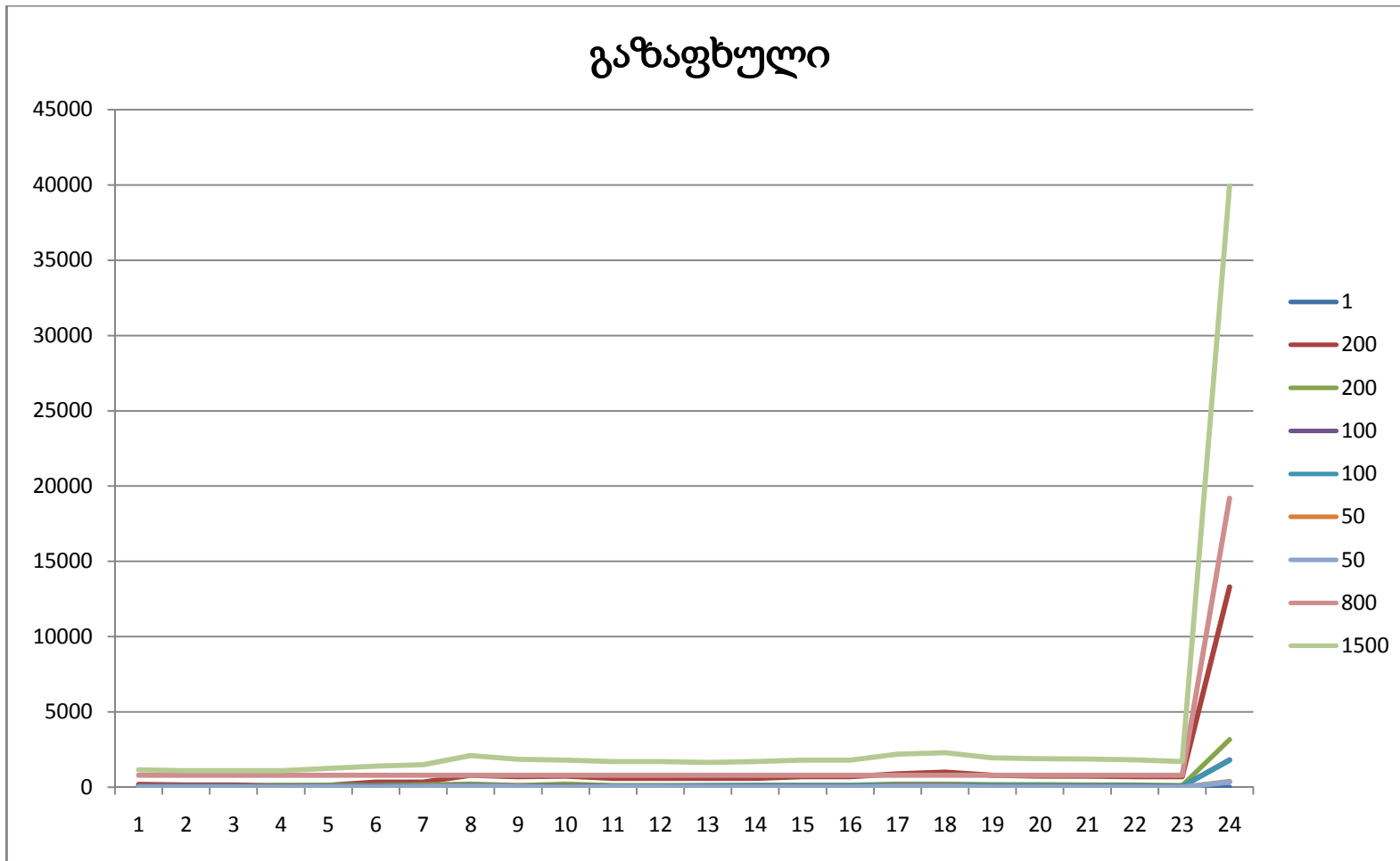
## შემოდგომა

სთ	ენგური	ლაჯანური	ხრამი 1	ხრამი 2	შაორი	ტყიბული	თეს	მოხმარება	დისბალანსი
1	200	200	100	100	50	50	900	1600	0
2	200	50	50	50	0	0	900	1250	0
3	150	50	50	50	0	0	900	1200	0
4	150	50	50	50	0	0	900	1200	0
5	100	120	50	30	0	0	900	1200	0
6	140	130	50	80	30	20	900	1350	0
7	350	110	60	80	0	0	900	1500	0
8	350	140	70	80	30	30	900	1600	0
9	800	200	100	100	50	50	900	2200	0
10	700	100	80	80	50	40	900	1950	0
11	750	200	50	0	0	0	900	1900	0
12	600	100	70	70	30	30	900	1800	0
13	600	110	70	70	30	20	900	1800	0
14	600	100	80	70	0	0	900	1750	0
15	600	120	90	90	0	0	900	1800	0
16	700	120	90	90	0	0	900	1900	0
17	700	120	90	90	0	0	900	1900	0
18	800	200	100	100	50	50	1000	2300	0
19	800	200	100	100	50	50	1000	2350	-50
20	800	170	90	90	0	0	900	2050	0
21	750	170	90	90	0	0	900	2000	0
22	750	150	90	80	0	0	900	1970	0
23	700	150	90	80	0	0	900	1920	0
24	700	100	50	50	0	0	900	1800	0
ჯამი	12990	3160	1810	1770	370	340	21800	42290	-50

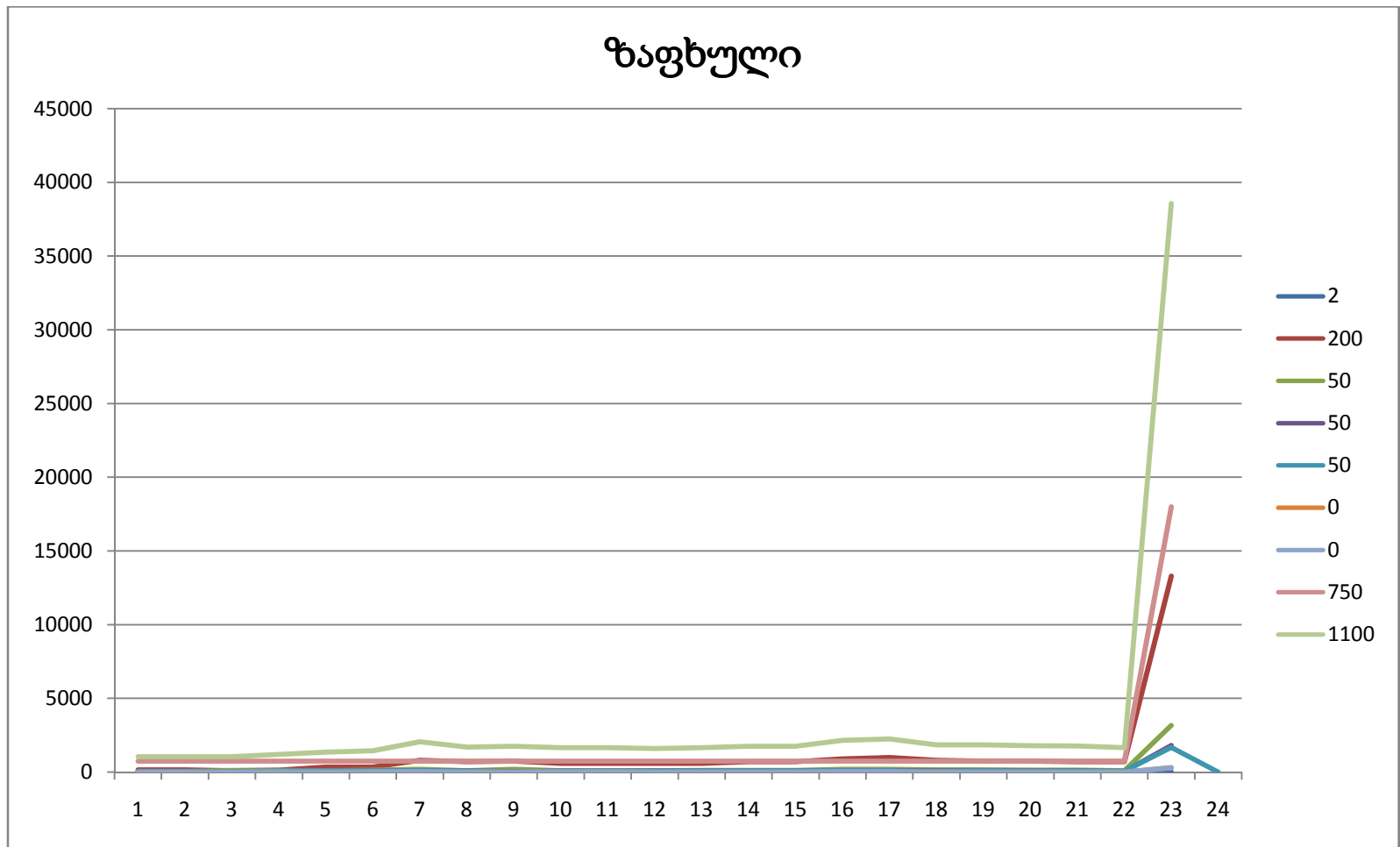


ნახ. 19. ელექტროსადგურების გამომუშავების გრაფიკები ზამთრის პერიოდისთვის

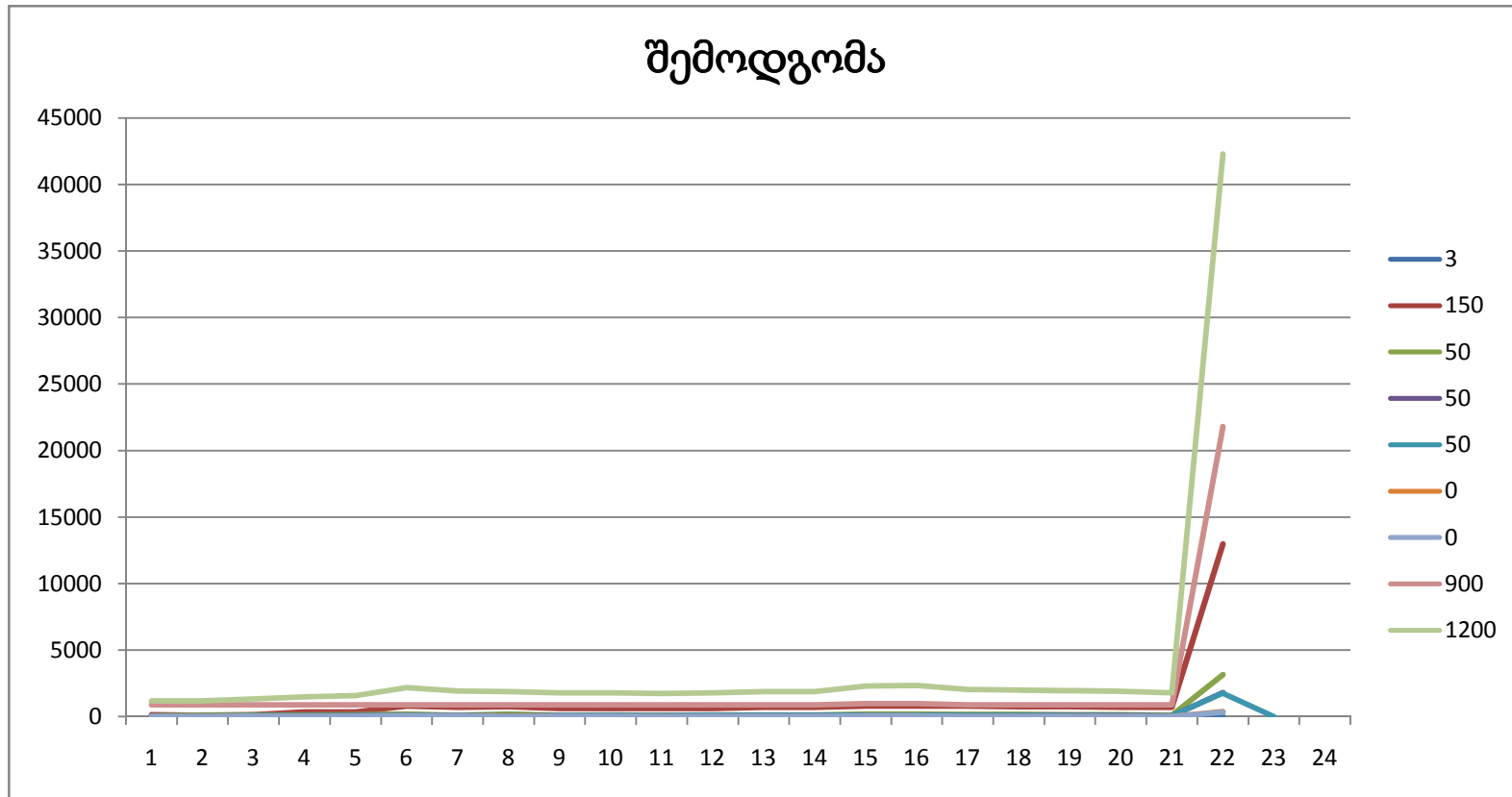




ნახ. 20. ელექტროსადგურების გამომუშავების გრაფიკები გაზაფხულის პერიოდისთვის



ნახ. 21. ელექტროსადგურების გამომუშავების გრაფიკები ზაფხულის პერიოდისთვის



ნახ. 22. ელექტროსადგურების გამომუშავების გრაფიკები შემოდგომის პერიოდისთვის

Form2

### ბრძანებების ბლოკი

შეიტანეთ ბრძანებები:    საათში

ნახ. 23. "ბრძანებების ბლოკის" ფანჯარა

Form3

### შეკითხვების ბლოკი

შეიტანეთ შეკითხვა

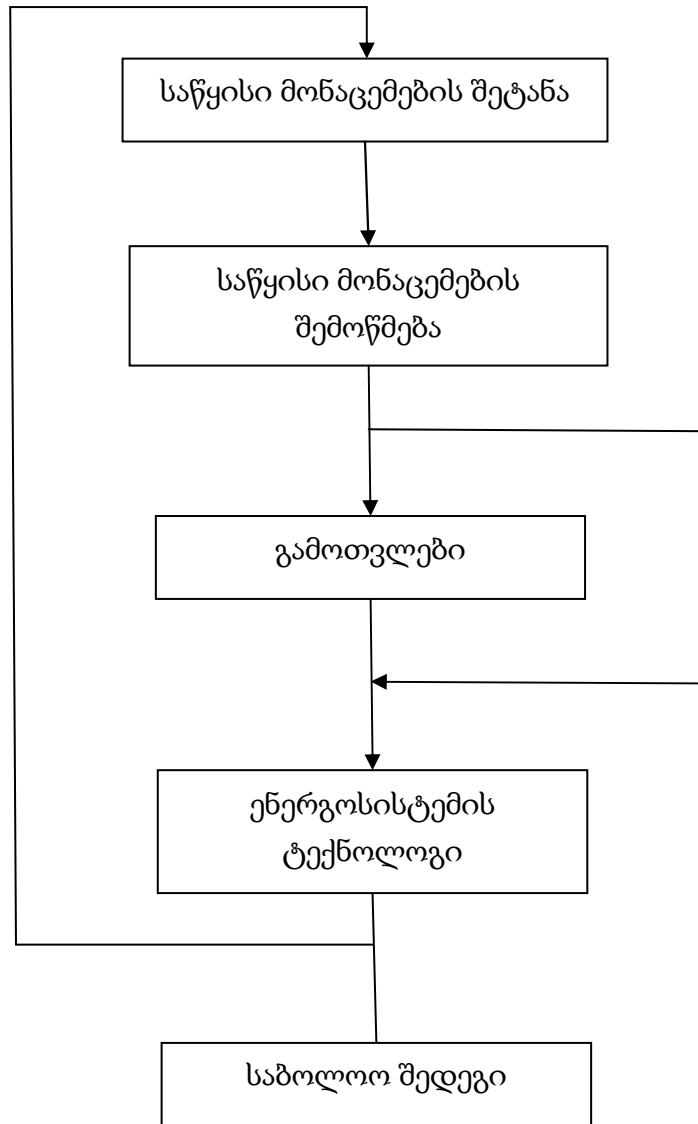
საათში

ნახ. 24. "ტექნოლოგის შეკითხვების ბლოკის" ფანჯარა

The image shows a screenshot of a software window titled "Form4". The window has a light blue border and standard window control buttons (minimize, maximize, close) in the top right corner. The main content area is light gray and contains the following text and elements:

- Centered title: **შეკითხვების ბლოკი**
- Text: **შეკითხვა: რომელ საათში უნდა გამოირთოს ლაჯანური?**
- Text: **შეიტანეთ პასუხი:** followed by a text input field containing **17:22:14** and a small calendar icon.
- Centered button: **შესრულება**

ნახ. 25. "ექსპერტული სისტემის შეკითხვების ბლოკის" ფანჯარა



ნახ. 26. დიალოგის სქემა

### III თავის დასკვნები

1. საქართველოს ენერგოსისტემის სადღეღამისო ნორმალური რეჟიმების ეფექტურად მართვის მიზნით შემუშავებულია ექსპერტული სისტემა. არსებული ექსპერტული სისტემებისაგან განსხვავებით მისი სტრუქტურა შეიცავს პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის ბლოკს, რომელიც ლოგიკური დასკვნების მკეთებელ ბლოკთან ერთად ქმნის ერთ მსხვილ ბლოკს. ასეთი მიდგომის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ ლოგიკური დასკვნების კეთების პროცესში ხდება პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტა, რაც თავის მხრივ, აჩქარებს ეფექტური გადაწყვეტილების მიღების პროცესს.
2. შემუშავებულია მსჯელობების პირდაპირი მწკრივის რეალიზების ალგორითმი. ალგორითმი ითვალისწინებს პროდუქციულ წესებს შორის არსებულ კონფლიქტებს და შესაბამისად, ახდენს დასკვნების გენერირებას.
3. შემუშავებულია მონაცემთა და ცოდნის ბაზა, რომლებშიც ასახულია ინფორმაცია ენერგოსისტემის ობიექტების შესახებ და გათვალისწინებულია მათ შორის არსებული რთული ურთიერთ კავშირები.
4. შემუშავებულია ექსპერტულ სისტემასთან ენერგოსისტემის ტექნოლოგიის ურთიერთობის ინტერფეისი. ინტერფეისი ენერგოსისტემის დისპეტჩერს შესაძლებლობას აძლევს სწრაფად და მოხერხებული გზით შეიტანოს საწყისი მონაცემები, სისტემის მუშაობის ნებისმიერ ეტაპზე შეცვალოს შუალედური მონაცემები, ეკრანზე გამოიტანოს ისინი და ა.შ.

## დასკვნები

1. ენერგეტიკის ამოცანებისა და პრობლემების გადაწყვეტის მიზნით გამოყენებული ექსპერტული სისტემებისადმი მიძღვნილი არსებული ლიტერატურის მიმოხილვა და ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ექსპერტული სისტემების გამოყენების ძირითადი სფეროა ენერგოსისტემების ოპერატიული, ავარიული და ავარიის შემდგომი რეჟიმების ეფექტური მართვა. შედარებით ნაკლები ყურადღება ეთმობა მათ გამოყენებას ენერგოსისტემების ნორმალური სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის.
2. ჩატარებულია პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების ანალიზი. ნაჩვენებია, რომ ეს პრობლემა წარმოადგენს ერთ-ერთ მთავარ პრობლემას გადაწყვეტილებების მიღების დროს.
3. ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის დროს მოქმედ მიზნებს შორის რთული ურთიერთკავშირები არსებობს. მიზნების ნაწილს შორის მჭიდრო კავშირი არსებობს, მიზნების ნაწილს შორის კი - სუსტი. მიზნების ნაწილი წინააღმდეგობრივია, ნაწილი კი - არა. გარდა ამისა, ეს მიზნები არაერთგვაროვანია, ანუ მიზნების ნაწილი ორიენტირებულია მათი შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობების მაქსიმიზებაზე, ნაწილი კი - მინიმიზებაზე. ყოველივე ეს, აუცილებელს ხდის ექსპერტული სისტემების გამოყენებას ენერგოსისტემების ნორმალური სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის.
4. შემუშავებულია ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს ენერგოსისტემის ობიექტებსა და მათ მიზნებს შორის არსებულ რთულ კავშირებს.
5. შემუშავებულია პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელი და შესაბამისი



ალგორითმები, რომლებიც ითვალისწინებენ ენერგოსისტემის ობიექტებს შორის არსებულ რთულ კავშირებს.

6. შემუშავებულია მსჯელობების პირდაპირი მწკრივის რეალიზების ალგორითმი. ალგორითმი ითვალისწინებს პროდუქციულ წესებს შორის არსებულ კონფლიქტებს და მათი გადაწყვეტის გზებს.
7. შემუშავებულია ცოდნის ბაზა, რომელშიც გათვალისწინებულია ენერგოსისტემის ობიექტებს შორის არსებული კავშირები.
8. შემუშავებულია ექსპერტულ სისტემასთან ენერგოსისტემის ტექნოლოგიის ურთიერთობის ინტერფეისი, რომელიც ტექნოლოგს აძლევს ექსპერტულ სისტემასთან მოხერხებული ურთიერთობის საშუალებას, რაც თავისი მხრივ მკვეთრად ზრდის ეფექტური გადაწყვეტილებების მიღების ალბათობას.

## ლიტერატურა

1. Осака С., Фуивара Р., Коно У., Уаманиши А. Приобретение знаний о планировании в энергосистемах на основе анализа протоколов // Дэнки гаккай ромбунси, Trans. Inst. Elec. Jap. 1988. С. 108, N 8. С. 571 - 578.
2. Батманова О.В., Лекцевичюс Р.А., Христуаскас Ч.С. Многокритериальная оптимизация электроэнергетических систем. "Моделирование электроэнергетических систем 9 Всес. науч. конф. Рига, 1987. Тез. докл.", Рига, 1987. - С. 241-242.
3. Проблемы создания интеллектуальных систем поддержки решений: Сб. науч. трудов/АН УССР. Институт кибернетики. Научный совет АН УССР по проблемам "Кибернетика". - Киев, 1990. - 78 с.
4. Ли Г., Танг Г., Ши М., Гао У. Интеллектуальные терминалы в системе диспетчерского управления//Дяньли ситун цзыдунхуа. Autom. Elec. Power Syst. - 1990. - 14, N 6. С. 20-26.
5. Коврижкин О.Г. Моделирование нестрогих рассуждений человека в хорошо знакомых ему ситуациях//Кибернетика. 1990. N 3. - С. 81-85.
6. Коииама И., Варашина Ш., Като М., Мики И. Экспертные системы для восстановления режима после аварии. "Тосиба Рэвю, Toshiba Rev.", 1987, 42, N 5. С. 353-356.
7. Линдсей П. Норман Д. Переработка информации у человека. - М.: Мир, 1974.
8. Гафт М.Г., Подиновский В.В. О построении решающих правил в задачах принятия решений//АиТ. 1981. N 6. - С. 128-138.
9. Генкин М.Д., Крейнин А.В. Об одном подходе к многокритериальным задачам оптимизации//Автоматика и телемеханика, 1988, N 8. - С. 146-155.
10. Генс Г.В., Черняк В.И. Направления использования экспертных систем для поддержки принятия решений управленческих решений//Вопр. применения экспертных систем. - Минск, 1988. - С. 23-27.
11. Герасимов В.А., Шустров М.Ю. Диалоговые процедуры решения многокритериальных задач управления//Диалоговые системы в задачах управления/Новосибирский электротехнический институт (НЭТИ). - Новосибирск, 1990. - С. 86-91.
12. Ларичев О.И., Поляков О.А. Человеко-машинные процедуры принятия решений многокритериальных задач математического программирования (Обзор) // Экономика и математические методы. 1980. Вып. 1. Т.16. - С. 129-145.
13. Луговая И.С. Выбор режима работы тепловых электрических станций//Тез. респ. науч.-практ. конф. молодых ученых, Душанбе, 12-14 апр. 1990. Секция Технические науки: Сб. науч. трудов /Гадж. политехнический институт. - Душанбе, 1990. - С. 200-201.
14. Сакагути Т. Использование искусственного интеллекта в области энергетики."Дэнки херон, Eles. Rev.", 1985, 70, N 12, С. 1027-1031.
15. Летун В.М. Оптимальное распределение активной мощности в гидротепловой энергосистеме/Применение математических методов и

- вычислительной техники в задачах функционирования и развития энергосистем. Уральский политехнический институт. - Свердловск, 1984. - С. 18-23.
16. Dubots L., Hertz A. Systems experts pour l'aide a la conduite des reseaux. Expert systems as network control support tools//Bull. Dir etud et rech. B. - 1990. N 2. P. 1-11.
  17. . Gingerich W. Developing expert systems//Comput. Hum. Serv. - 1990. - 6, N 4. - P. 251-263.
  18. Cory B.J. Expert systems for power applications. "IEE Rev.", 1988, 34, N 4, P. 147-149.
  19. Christie R., Talukdar S. Expert systems for on line security assessment. A preliminary design. "Power Ind. Comput. ppl. Conf.: PICA 87, Montreal, May 18-22, 1987. Conf. Pap." New York, 1987. P. 114-119.
  20. Kakimoto N., Ezure S., Hayashi M. Development of simulator with artificial intelligence on secondary power system operation //Mem. Fac. Eng. Kyoto Univ. - 1988. -60, N 3.
  21. Keronen J. A knowledge-based system for real-time operation planning and event analysis in power system control//Res. Notes /Techn. Res. Cent. Finl. - 1988. N 883. P. 1-108.
  22. Khaparde S.A., Nair A.S., Biswas S. An expert decision support system for assisting power operators to correct real power flow violations//Elec. Power Syst. Res. - 1989. - 16, N 1. - P. 47-51.
  23. Kirschen D., Wollenberg B., Irisarri G., Bann J., Miller B. Controlling power systems during emergencies: The role of expert systems//IEEE Comput. Appl. Power. - 1989, - 2, N 2, - P. 41-45.
  24. . Koike N., Maeshiro T., Gotoh T., Kunuoi M, Hirokawa T., Wada N. A real-time expert system for power system fault analysis//High Technol. Power Ind.: Proc. IASTED Int. Symp., Bozeman, Aug. 20-22. 1986.
  25. . Liu C., Dauborg M., Lauby M., Iveson R. Development of an expert system as power system operational aid // Proc. Int. Work-shop Artif. Intell. Ind. Appl., Hitachi Sity, May 25 - 27, 1988. - New York, 1988. P. 70-75.
  26. Mokhfari S., Singh J., Wollenberg B. A unit commitment expert system. "Power Ind. Comput. Appl. Conf.: PICA 87. Montreal. May 18-22. 1987. Conf. Pap.". New York, N.Y., 1987. P. 400-405.
  27. Moor R.L. Artificial intelligence applications in the power industry: A tutorial. "Instrum. Power Ind. Vol. 28 Proc. 28th Power Instrum. Symp., New Orleans, La, May, 20-22, 1985". Research Triangle Park, N. C., 1985, P. 81-87.
  28. Prasad N.R., Ranade S.J., Dietrich E., Hartley R.T. Speculation on the nature of knowledge-based systems in a power system environment. "Proc. 19th Annu. N. Amer. Power Symp. "NAPS' 87, Edmonton, Oct. 22-23, 1987". New York, N.Y., 1987, 323-332.
  29. Поспелов Д.А. Экспертные системы: состояние и перспективы: Сб. науч. трудов/АН СССР. Институт проблем передачи информации; - М.: Наука, 1989. - 152 с.
  30. Совалов С.А. Режимы Единой энергосистемы. - М.: Энергоатомпздат, 1983. - 384 с.

31. Такеясу И., Судзуки К. Создание экспертной системы с целью помощи оперативному персоналу при оптимизации режима электрической сети в темпе процесса//Дэнки гаккай дзаси=J. Int. Elec. Eng. Jap. - 1988. - 108, N 9. P. 913-916.
32. Тамура В. Применение искусственного интеллекта в энергетике. Часть 1. Общие теоретические положения//Дэнки гаккай дзаси.J. Int. Elec. Eng. Jap. - 1989. - 109, N 8. С. 605-608.
33. Филатов В.И. Применение экспертных систем в электроэнергетике//Энергохозяйство за рубежом. - 1989. N 6. С. 35-39. 189. Халиф А.И. Метод оценки многокритериальных решений//АиТ. 1982. N 12. - С. 124-129.
34. Хамано М., Фукуи С. Применение экспертных систем в области управления энергосистемами//Дэнки херон.Elec. Rev. - 1988. - 73, N 12, С. 28-34.
35. რ. სამხარაძე, დ. ჩიქოვანი. ექსპერტული სისტემები ენეტგეტიკაში. თბილისი, "საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი", შრომები. მართვის ავტომატიზებული სისტემები. N 1(8), 2010. გვ. 170-174.
36. რ. სამხარაძე, დ. ჩიქოვანი. ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმის მართვისას მოქმედ მიზნებს შორის არსებული კავშირების ანალიზი ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე. საქართველოს მეცნიერებისა და საზოგადოების განვითარების ფონდი. საერთაშორისო პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“. 1(36). თბილისი. 2010. გვ. 54-57.
37. Самхарадзе Р., Габарашвили А., Гаччиладзе Л. Использование сетей Петри в производственных системах. Сборник докладов Международной научной конференции «Проблемы управления и энергетики». № 8, 2004 г. Тбилиси. С.178-180.
38. ფრანგიშვილი ა., სამხარაძე რ. ენერგოსისტემების მართვის ექსპერტული სისტემების აგების თეორია (მონოგრაფია). თბილისი, „მეცნიერება“, 2002. 285 გვ.
39. Уэно Х., ояма Т. и др. Представление и использование знаний: пер. с япон./Под ред. Уэно Х., Исидзука М. – М.: Мир, 1989. 220 с., ил.
40. Хедли Дж. Нелинейное и динамическое программирование. – М: Мир. 1967.
41. Зайченко Ю.П. Исследование операций. – Киев: Вища школа, 1975.
42. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М: Советское радио, 1972.
43. Карманов В.Г. Математическое программирование. М: Наука. 1975.
44. Терехов Л.Л. Экономико-математические методы. – М: Статистика, 1972.
45. Нит И.В. Линейное программирование. – М: Изд-во МГУ, 1978.
46. Р. Самхарадзе, Чиковани Д.Н. Разработка модели и алгоритма разрешения конфликта между производственными правилами. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ, НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ: Сборник тезисов Международной научно-практической конференции. – Грозный: Изд.-во «Грозненский рабочий», 7-9 октября 2010 г. – 160 с.

47. Р. Самхарадзе, Чиковани Д.Н. Экспертная система в управлении Грузинской энергосистемы. Посвящённая 80-летию со дня рождения академика И.В. –Прангишвили Международная научная конференция "Информационные и компьютерные технологии, моделирование, управление". Тезисы докладов. Грузия, Тбилиси, 1 - 4 ноября, 2010 г. ISBN 978-9941-14-855-2. с. 162 – 163.
48. R. Samkharadze, David Chikovani. Development of Structure of Expert System on the Basis of Solution of Conflicts among Production Rules. Scientific Journal of International Black Sea University. Volume 4, Issue 2, Tbilisi, 2010. ISSN 1512-3731. p. 157-167.
49. Геллингс К.Ую Включение управления нагрузкой в планирование развития энергоснабжения/ТИИЭР. Т. 77, №6, июнь, 1989.
50. Generalizations of Petri nets. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 118, Math. Found. of Computer Science, 1981, 10th Symp. New York: Springer-Verlag, 1981.
51. David R. Alla H. Continuous Petri nets. Proc. 8th European Workshop Application and Theory of Petri Nets, Zaragoza, Spain, 1987.
52. Silva M., Martinez J., Ladet P., Alla H. Generalized inverses and the calculation of symbolic invariants for colored Petri nets. TSI-Technique et Science Informatiques, vol. 4, no. 1, 1985.
53. "How to find invariants for coloured Petri nets" in Lecture Notes in Computer Science, 1981, 10 th Symp. New York: Springer-Verlag, 1981.
54. Ajmone M. Conte G., Balbo G. "A class of generalized Petri nets for the performance evaluation of multiprocessor systems, "ACM Trans. Comput. Sys, vol. 2, no. 2, May, 1984.
55. Tani K. and Murata T. "Scheduling parallel computations with storage constraints", in. Proc. 12th Annual Asilomar conf. Circuits, Systems, Computers, Nov. 1978.
56. Weiss S.M., Kulikowsky C.A. A practical guide to designing expert systems. NJ: Rowman and Allanheld, 1984. 297. Wang S., Lu Y. Knowledge-based multiobjective nonlinear optimization method for large systems. "Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Man and Cybern, Alexandria, Va, Oct. 20-23, 1987. Vol. 1". New York, 1987.
57. Moore R.L., Hawkinson L.B., Knicherbocker C.G., Churchman L.M. A real-time expert system for process control. Proceedings of the First Conference on Artificial Intelligence Applications, IEEE Computer Society, December 1984.
58. Kierman G., Koltun A., Schwartz E. Constructing an expert system - software engineering of a different kind // ACM 16th Annu. Comput. Sci. Conf., Atlanta, Ga, Febr. 23-25, 1988. Proc. Focus Software. - New York, 1988.

59. Bohanec M., Raikovich V. An expert system approach to multiattribute decision making // Expert Syst.: Theory and Appl.: IASTED Int. Cont., Geneva, June 16-18, 1987. Proc. -Anabeim Itc., 1987.
60. Сейфула Д.О. Влияние режимных особенностей и энергетических характеристик ГЭС на эффективность их работы в пиках графиков нагрузки. В книге: Методы покрытия пиков электрической нагрузки. М.: Изд. АН СССР. 1963. С. 231-239.