

გიორგი მაისურაძე

კვების პროდუქტების დამზადების მართვის  
ექსპერტული სისტემა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
ნოემბერი, 2008

საავტორო უფლება © 2008 მაისურაძე გიორგი, 2008

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მაისურაძე გიორგის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: კვების პროდუქტების დამზადების მართვის ექსპერტული სისტემა და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: პროფ. გ. გოგიჩაიშვილი

რეცენზენტი: პროფ. კ. კამკამიძე

რეცენზენტი: ასოც. პროფ. ზ. ჩხაიძე

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

წელი 2008

ავტორი: მაისურაძე გიორგი

დასახელება: კვების პროდუქტების დამზადების მართვის  
ექსპერტული სისტემა

ფაკულტეტი: ინფორმატიკისა მართვის სისტემების

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 28.11.2008

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

---

ავტორის ხელმოწერა

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

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

ვუძღვნი მშობლების ხსოვნას.

## რ ე ზ ი უ მ ე

წარმოგენილი ნაშრომის საპრობლემო სფეროს წარმოადგენს კვების პროდუქტების დამზადების საწარმოო პროცესების მართვა. ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი სისტემის აგების მეთოდებისა და მოდელების შემუშავება საბაზრო მოთხოვნილებებისა და საწარმოო რესურსების გათვალისწინებით, ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენებით.

ნაშრომში განხილულია დინამიკური მართვის ექსპერტული სისტემის გამოყენების ასპექტები ძირითადად ორი მიმართულებით: წარმოების ოპერატიული კალენდარული დაგეგმვის ამოცანის გადასაწყვეტად და მეორე კვების პროდუქტების წარმოების ინგრედიენტული კომპონენტების რაოდენობრივი და თვისობრივი მახასიათებლების ოპერატიული განსაზღვრა საბაზრო კონკურენციისა და საწარმოო სიმძლავრეების გათვალისწინებით.

რთული საწარმოს ეფექტური მართვისათვის განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა მენეჯმენტის მიერ წარმოების პროცესის შესახებ მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე სწორი და დროული გადაწყვეტილების მიღებას, რაც მნიშვნელოვნად რთული და შრომატევადი პროცესია ექსპერტული სისტემის გამოყენების გარეშე.

ბაზრის მოთხოვნილებების საფუძველზე ხდება წარმოების სტრატეგიის, როგორც მიზნობრივი ფუნქციის, ფორმირება. წარმოების მიმდინარე მდგომარეობის მიზნობრივთან შესაბამისობის ანალიზის საფუძველზე, ხდება საწარმოო სიმძლავრეების - ტექნოლოგიური პარამეტრების, რეცეპტურის მიხედვით კომპიუტერის საშუალებით ოპერატიული დაგეგმვის ამოცანის გადაწყვეტა, რაც ორ ქვეამოცანად რეალიზდება.

მმართველი ორგანო საჭიროებს მმართველი ექსპერტული სისტემის (მეს) შემუშავებას, რომელიც თავის მხრივ ფუნქციონალური ამოცანების გადაწყვეტას გულისხმობს.

ზოგადად ექსპერტული სისტემა შედგება ცოდნის ბაზისგან და გადაწყვეტილების ლოგიკური მანქანისაგან. რეალურად ცოდნის ბაზა შეიძლება წარმოვიდგინოთ წესების (IF ... THEN) ფრეიმების სქემით, რომელიც ყალიბდება მართვის პროცესის სტატისტიკის (მონაცემთა

ბაზის) საფუძველზე. მეორეს მხრივ, აუცილებელი ხდება წარმოების არსებული ანუ მიმდინარე მდგომარეობის შეცნობა.

ცოდნის ბაზის განსწავლა-განახლების პროცესი მეტად ეფექტურად შეიძლება განხორციელდეს გენეტიკური ალგორითმების გამოყენებით, როცა ახალი ინფორმაციის შემოსვლის დროს აღმოჩნდება, რომ არ არსებობს შესაბამისობა არსებულ ფრეიმებსა და მოცემულ რეალობას შორის. ამ შემთხვევაში გენეტიკური ალგორითმის ამოხსნით მოხდება ახალი ფრეიმის ფორმირება.

ნაშრომში წარმოდგენილია წარმოების ეკონომიკური მოდელი და კალენდარული დაგეგმვის ქსელური მეთოდების გამოყენების ახლებური მიდგომა, ასევე გაკეთებულია ევრისტიკული მეთოდების ფართო კლასის მიმოხილვა ანალიზისა და შერჩევის თვალსაზრისით, როგორც ევრისტიკული სისტემის ნაწილის შედეგად გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი ექსპერტული, კერძოდ გენეტიკური ალგორითმების ბაზაზე, რაც განპირობებულია მართვის ობიექტის დიდი განზომილებით, მრავალექსტრემალურობით და მაღალი დინამიკურობით. როგორც ცნობილია, მრავალექსტრემალური ამოცანების ეფექტური გადაწყვეტა შესაძლებელია გენეტიკური ოპერატორების, კროსოვერი, მუტაცია და ინვერსია, გამოყენებით.

ნაშრომში განხილულია საწარმოს მართვის მოდელი ხელოვნური ნეირონული ქსელებისა და ევოლუციური მეთოდების გამოყენებით. შემოთავაზებულია ცოდნის ბაზების წარმოდგენის ფრეიმული მოდელი. დამუშავებული და დანერგილია კონკრეტული ექსპერტული სისტემა კონკრეტული ობიექტისათვის. შექმნილია სისტემის ინფორმაციული და პროგრამული უზრუნველყოფა MS SQL SERVER და C++ ბაზებზე.

## **Abstract**

Problematic sphere of the present work is management of industrial processes of producing food products. Subject of the work is to be worked out methods and models of structuring the system supporting to decision making by taking into consideration market requirements and industrial resources, applying methods of artificial intellect. Aspects of applying the expertise system of dynamic control has been discussed in the work by two main directions: to be discussed operative calendar planning tasks of production and to be operatively defined numeral and qualitative characteristics of ingredient components of producing food products by taking into consideration market competition and industrial facilities.

Making a correct and timely decision on the basis of received information on production process by management is paid special importance for effective control of a difficult enterprise, which is most difficult and hard-working process without applying expertise system.

Formation of production strategy, as aiming function takes place based on the market requirements. Solving of a problem of operative planning by means of a computer in accordance with industrial facilities-technologic parameters takes place based on the analysis of conformity of current condition of production with for special purposes. The management body needs to be worked out managing expertise system, which in its part means settlement of functional problems.

Generally, expertise system consists of knowledge base and logical machine of decision. In real, knowledge base may be represented by Framers scheme of rules which is formed on the basis of statistics of management process (data base). On the other hand, getting to know existed or current situation of production is becoming necessary.

Studying-renewing process of knowledge base may be implemented more effectively by using genetic algorithms, when in case of coming new information it becomes clear that there is no any conformity between existed Framers and reality. In this case, formation of a new Framer will take place by solving genetic algorithm.

A new approach of economic model of production and network methods of calendar planning has been presented in the work and survey of broad class of heuristic methods has been made by points of view of analysis and selection, as a part of

heuristic system on the basis of expertise supporting to making the decision, namely on the basis of genetic algorithms, which is stipulated by great dimension of management object, multi-extremity and high dynamicity. As it is known effective settlement of multi-extreme issues has been possible by using genetic operators, crossover, mutation and inversion.

Mode of enterprise management has been discussed in the work by using artificial neuron networks and evolution methods. Framer model of knowledge bases of presentation has been offered. Concrete, expertise system has been processed and implemented for concrete objects. Informational and welfare system has been made on MS SQL SERVER and C++ bases.



## შინაარსი

შესავალი .....	15
<b>თავი I. ექსპერტული სისტემების გამოყენებითი</b>	
ასპექტები .....	18
1.1. კვების პროდუქტების საწარმოს მართვის პრობლემები და აქტუალობა.....	18
1.2. ექსპერტული სისტემების კლასიფიკაცია .....	24
1.3. მართვის ექსპერტული სისტემების მოდელები .....	37
1.4. მმართველობითი გადაწყვეტილების მიღება .....	40
1.5. დინამიკური მართვის ექსპერტული სისტემები .....	43
<b>თავი II. წარმოების მართვის მოდელები და ალგორითმები .....</b>	<b>52</b>
2.1. წარმოების ეკონომიკური მოდელი .....	52
2.2. კალენდარული დაგეგმვის ქსელური მეთოდები.....	59
2.3. ევრისტიკული ალგორითმების მიმოხილვა .....	69
<b>თავი III. ამოცანის გადაწყვეტის მხარდამჭერი სისტემები .....</b>	<b>115</b>
3.1 დაგეგმვის ალგორითმის შერჩევა. ....	115
3.2 ინფორმაციული უზრუნველყოფა .....	127
3.3 მართვის ექსპერტული სისტემის ალგორითმის ბლოკ-სქემის აღწერა .....	131
<b>თავი IV. შედეგების პრაქტიკული რეალიზაცია .....</b>	<b>136</b>
4.1. კვების პროდუქტების დამამზადებელი საწარმოს განხილვა რძის კომბინატის მაგალითზე .....	136
4.2 ოპერაციების დაგეგმვის ალგორითმი .....	140
დასკვნა .....	145
გამოყენებული ლიტერატურა .....	146

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. მშობლების არჩევა .....	75
ცხრილი 2. მშობლების ქრომოსომების ჩამოყალიბებული ნაწილების რეკომბინაცია .....	76
ცხრილი 3. შთამომავლობის მატრიცა .....	78

## ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. საწარმოს სტრუქტურული სქემა .....	19
ნახ. 2. საწარმოს წარმოების ორგანიზაციულ-ფუნქციური სქემა .(არაუანი).....	20
ნახ. 3. საწარმოს წარმოების ორგანიზაციულ-ფუნქციური სქემა (მაწონი).....	21
ნახ. 4. საწარმოს წარმოების ორგანიზაციულ-ფუნქციური სქემა .(ხაჭო).....	22
ნახ. 5. ექსპერტული სისტემის განზოგადოებული სქემა .....	25
ნახ. 6. ექსპერტილი სისტემის დამუშავების ტექნოლოგია .....	30
ნახ. 7. ექსპერტული სისტემის არქიტექტურა .....	39
ნახ. 8. მართვის პროცესის ბლოკ-სქემა .....	43
ნახ. 9. ინფორმაციული სისტემის სტრუქტურული სქემა .....	45
ნახ. 10. პირველი ტიპის დეს-ის სტრუქტურა .....	49
ნახ. 11. წარმოების ტექნოლოგიური ტრაქტი .....	51
ნახ. 12. შავი ყუთი .....	55
ნახ. 13. თეთრი ყუთი .....	57
ნახ. 14. კრიტიკული გზის განსაზღვრის ქსელური მოდელი .....	60
ნახ. 15. ქსელი “სამუშაო-რკალი” .....	63
ნახ. 16. ალტერნატიული ქსელური მოდელები .....	64
ნახ. 17. ალტერნატიული ქსელური მოდელი .....	65
ნახ. 18. მონაცემების კომპლექსური წარმოდგენა და ფილტრაცია .....	68
ნახ. 19. ქრომოსომა .....	73
ნახ. 20 გენეტიკური ძებნის სისტემები .....	80
ნახ.21. ფრაგმენტული კროსოვერით .....	102
ნახ.22. ამოცანებში ფრაგმენტის სიგრძეზე მიზნობრივი ფუნქციის ექსტრემალური დამოკიდებულება: ა) ცხრილის სინთეზი; ბ) სატრანსპორტი საშუალებების მარშრუტიზაცია დროითი ფანჯრებით (VRPTW); გ) შედგენა; დ) გამოთვლითი ქსელის ტოპოლოგიის სინთეზი .....	103
ნახ. 23. ქრომოსომის ორფრაგმენტიანი ნაწილი .....	103

ნახ. 24. მაკრომუტაციები ციკლურ-გენეტიკურ მეთოდში .....	107
ნახ. 25. შემ-ის და ცგმ-ის გამოყენების შედეგები .....	108
ნახ. 26. ჭიანჭველების კოლონიები .....	113
ნახ. 27. სამუშაოს დაგეგმვის ალგორითმი .....	115
ნახ. 28. პროდუქტების წარმოების მართვის სისტემის არქიტექტურა .....	119
ნახ. 29. მართვის სისტემის პროგრამული კომპლექსის სტრუქტურა .....	121
ნახ. 30. ხელოვნური ნეირონის ზოგადი სახე .....	123
ნახ. 31. პერცეპტრონის ზოგადი სქემა .....	123
ნახ. 32. ქსელის განსწავლის პროცესის სქემა .....	124
ნახ. 33. მონაცემთა ბაზის სტრუქტურა .....	127
ნახ. 34. წარმოების მართვის ზოგადი ალგორითმის ბლოკ-სქემა .....	132
ნახ. 35. პროგრამის მთავარი პანელი .....	136
ნახ. 36. მეორე რიგის მესერული ფილტრი .....	141
ნახ. 37. დროითი დამოკიდებულების გრაფი .....	141
ნახ. 38. კროსოვერის სქემა გრაფის ფრაგმენტისათვის .....	143
ნახ. 39. 52 მწვერვალიანი გრაფი .....	144

## დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურა

1. ეს – ექსპერტული სისტემა;
2. ლმგ – ლოგიკური გამოყვანის მექანიზმი;
3. ფმ – ფაქტების ბაზა;
4. მბ – მონაცემთა ბაზა;
5. ცბ – ცოდნის ბაზა;
6. გქ – გამნმარტების ქვესისტემა;
7. მი – მომხმარებლის ინტერფეისი;
8. ცბრ – ცოდნის ბაზის რედაქტორი;

## მ ა დ ლ ი ე რ ე ბ ა

დისერტანტი მადლობას უხდის ხელმძღვანელს, პროფ. გ. გოგინაიშვილის, მართვის ავტომატიზებული სისტემების მიმართულების უფროსს პროფ. გ. სურგულაძეს, პროფესორებს ო. შონიას, ბ. მეფარიშვილს, გ. ჯანელიძეს და მიმართულების ყველა თანამშრომელს.

## შ ე ს ა ვ ა ლ ი

თანამედროვე მსოფლიო ინფორმაციული ინდუსტრია მზარდი განვითარებით ხასიათდება. ერთიანი გლობალური ეკონომიკური, სოციალური და კულტურული სივრცის ფორმირება წარმოუდგენელია კომპიუტერული და კომუნიკაციური ტექნოლოგიების ინტეგრაციის გარეშე. თანამედროვე ინფორმაციული ტექნოლოგია ფაქტიურად არის მეტატექნოლოგია, რომელიც მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ყველა არსებულ ტექნოლოგიებსა და მთლიანად ეკონომიკაზე.

თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების განვითარებამ შესაძლებელი გახადა ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენებით ახალი ტიპის ამოცანების გადაწყვეტა.

ეს არის ამოცანები, რომლებიც დაკავშირებულია მართვისა და მართვის ორგანოების მხარდამჭერი ექსპერტული სისტემების შექმნასთან, რომლებიც გამოიყენება კონკრეტულ საპრობლემო სფეროში. ერთ-ერთ ასეთ სფეროს წარმოადგენს კვების პროდუქტების დამზადება.

ეკოლოგიურად სუფთა კვების პროდუქტების დამზადება საზოგადოებისათვის წარმოადგენს მთავარ სასიცოცხლო მნიშველობას. კვების პროდუქტები, მათ შორის რძის ნაწარმი, როგორც ცნობილია წარმოადგენენ ყველაზე მალფუჭებად პროდუქტებს, აქედან გამომდინარე წარმოების გამართული მუშაობისათვის საჭიროა მისი ოპერატიული მართვა. თავისთავად მართვა გულისხმობს სწორი კომპეტენტური გადაწყვეტილებების დროულ გაცემას და შესრულებას. რძის პროდუქტების წარმოება მიეკუთვნება რთულ დინამიკურ პროცესებს, რომელთა სწორი მართვა შეუძლებელია თანამედროვე ინფორმაციული ტექნოლოგიების გამოყენების გარეშე. იმისათვის, რომ ეს პროცესი წარიმართოს ნორმალურად და მივიღოთ კონკურენტუნარიანი პროდუქცია, საჭიროა ნედლეულის დროულად შემოტანა, ლაბორატორიულად შემოწმება, რათა შეესაბამებოდეს დასამზადებელი პროდუქტის რეცეპტურის მოთხოვნებს, რეცეპტურით დადგენილი ნორმების განუხრელი დაცვა და რაც მთავარია ბაზრის მოთხოვნების გათვალისწინება, მზა პროდუქციის შენახვა-დასაწყობება

და მისი დროული რეალიზაცია, მზა პროდუქციის ვარგისიანობის ვადის გათვალისწინებით. პროდუქტზე მოთხოვნისა და რეალიზაციაზე დაკვირვების შედეგად მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე კვირის, თვის და კვარტლის განმავლობაში დასამზადებელი პროდუქტის საგარეულო რაოდენობის დადგენა და მისი შედარება წინა პერიოდის სტატისტიკურ მონაცემებთან, წარმოების მოცულობის შემდგომ დაგეგმვაში გათვალისწინების მიზნით.

ამ პირობებში რასაკვირველია მმართველი გადაწყვეტილების მიღებისათვის აუცილებელია დიდი მოცულობის ინფორმაციის დამუშავება, რომელიც შემოდის გასაღების ქსელიდან, საფირმო მალაზიებიდან, მომწოდებლებიდან, მომხმარებლებისგან და სხვა.

დიდი მოცულობის ინფორმაციის დამუშავება და სწორი, დროული გადაწყვეტილების მიღება საკმაოდ ძნელია ადამიანისათვის, რადგანაც ეს აღემატება მის ფიზიკურ და გონებრივ შესაძლებლობებს. აქედან გამომდინარე აუცილებელი ხდება გადაწყვეტილების მიღების ავტომატიზაცია, რომლის განხორციელება შესაძლებელია ადამიანის მხარდამჭერი ექსპერტული სისტემის გამოყენებით.

დისერტაციის მიზანს წარმოადგენს გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი სისტემის აგების მეთოდებისა და მოდელების შემუშავება საბაზრო მოთხოვნილებების და საწარმოო რესურსების გათვალისწინებით. ამ მიზნის მიღწევა შესაძლებელია შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტით:

- საწარმოს მართვის მოდელის დამუშავება ნეირონული ქსელური მეთოდის გამოყენებით;
- გადაწყვეტილების მიღების ალგორითმის დამუშავება;
- ცოდნის წარმოდგენის ფრეიმული მოდელის დამუშავება;
- საწარმოს ოპერატიული მართვის სისტემის ინფორმაციული და პროგრამული უზრუნველყოფა.

ჩატარებული კვლევების შედეგად დამუშავდა:

- საწარმოს მართვის მოდელი ხელგონური ნეირონული ქსელებისა და ევოლუციური მეთოდების გამოყენებით;



- გადაწყვეტილების მიღების ალგორითმი არსებული ინფორმაციის საფუძველზე;
- საწარმოს ოპერატიული მართვის სისტემის ინფორმაციული და პროგრამული უზრუნველყოფა.
- მართვის სისტემის პროგრამული უზრუნველყოფა სს “ამალთეას” მაგალითზე.

დისერტაციის პირველ თავში განხილულია ექსპერტული სისტემების გამოყენებითი ასპექტები, კერძოდ კვების პროდუქტების საწარმოს მართვის პრობლემები და აქტუალობა, ექსპერტული სისტემების კლასიფიკაცია, მართვის ექსპერტული სისტემების მოდელები, მმართველობითი გადაწყვეტილების მიღება, დინამიკური მართვის ექსპერტული სისტემები.

მეორე თავში განხილულია წარმოების მართვის მოდელები და ალგორითმები, წარმოების ეკონომიკური მოდელი, კალენდარული დაგეგმვის ქსელური მეთოდები, ევრისტიკული ალგორითმები.

მესამე თავში განხილულია ამოცანის გადაწყვეტის მხარდამჭერი სისტემები, მოცემულია დაგეგმვის ალგორითმი, მართვის ექსპერტული სისტემის ალგორითმის ბლოკ-სქემა და ინფორმაციული უზრუნველყოფა.

მეოთხე თავში მოცემულია მიღებული შედეგების პრაქტიკული რეალიზაცია კვების პროდუქტების დამამზადებელი საწარმოს - რძის კომბინატის “ამალთეა“-ს მაგალითზე და ოპერაციების დაგეგმვის ალგორითმი.

# თავი I. ექსპერტული სისტემების გამოყენებითი ასპექტები

## 1.1. კვების პროდუქტების საწარმოს მართვის პრობლემები და აქტუალობა

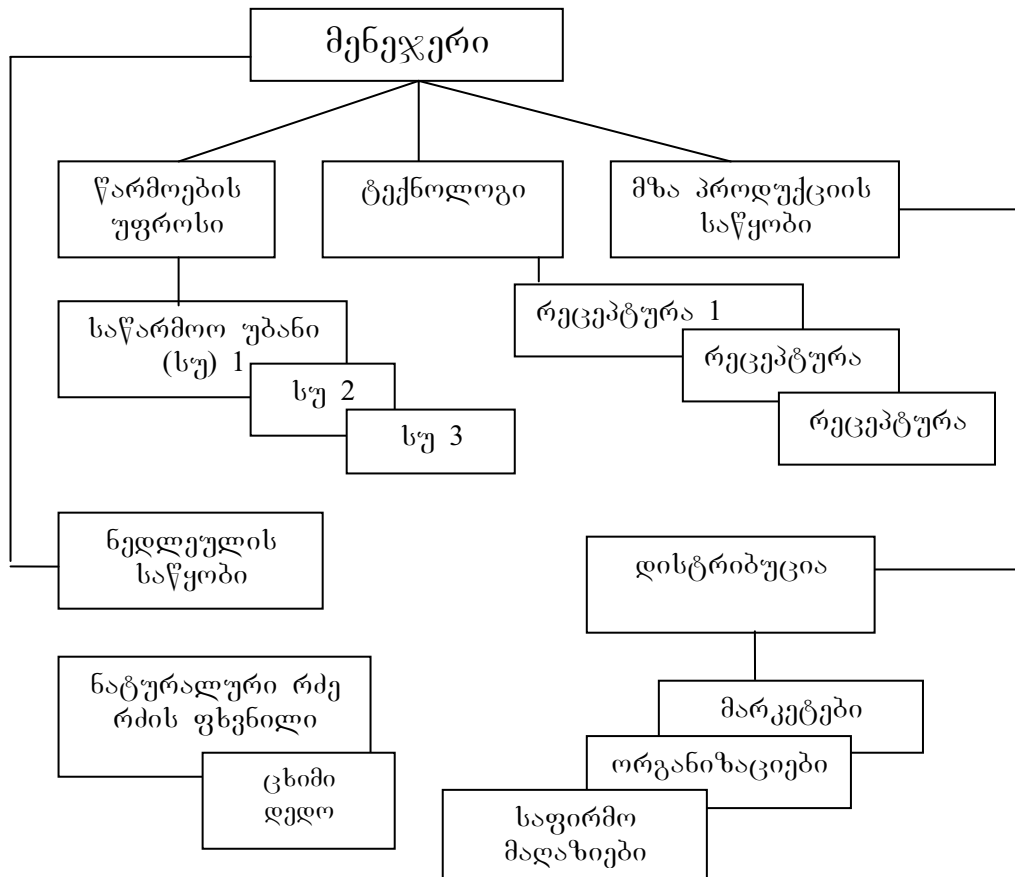
კვების პროდუქტები მათ შორის რძის პროდუქტები, როგორც ცნობილია წარმოადგენს ყველაზე მაღალუფლებად პროდუქტებს, აქედან გამომდინარე წარმოების გამართული მუშაობისათვის საჭიროა მისი ოპერატიული მართვა, თავისთავად ოპერატიული მართვა გულისხმობს სწორი, კომპეტენტური გადაწყვეტილების დროულ გაცემასა და შესრულებას. რძის პროდუქტების წარმოება, წარმოადგენს რთულ დინამიკურ პროცესს, რომლის გადაწყვეტაც შესაძლებელია თანამედროვე ინფორმაციული ტექნოლოგიების გამოყენებით, რაც საფუძველს ქმნის კვების პროდუქტების დამზადების მართვის ექსპერტული სისტემის შექმნას.

ექსპერტულ სისტემას, საფუძველად უდევს ცოდნის მარაგი მოცემული საგნობრივი სფეროს შესაბამისად, კერძოდ კი – პროდუქტების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესების შესახებ. რაც გამოიხატება დასამზადებელი პროდუქტის რეცეპტურაში და მისი მიღების საწარმოო ხაზის “ნედლეული – მზა პროდუქტები” არსებობაში.

განხილული საწარმოს სტრუქტურული სქემა შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით (ნახ. 1).

საწარმოს ფუნქციონირების სირთულე გამოიხატება კონკურენტული გარემოს არსებობით, ნედლეულის (განსაკუთრებით ნატურალური რძის) შექმნის დროს ფაქტორით, ბაზრის კონიუნქტურით (პროდუქციის მოთხოვნით) და ხარისხიანი, ეკოლოგიურად სუფთა პროდუქტის დამზადების რთული ტექნოლოგიური პროცესით. ზემოთ ჩამოთვლილი სირთულეების გათვალისწინებით, საწარმოს ეფექტური მართვისთვის განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა მმართველის (მენეჯერის) მიერ წარმოების შესახებ მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე სწორი და დროული გადაწყვეტილების გამომუშავებას, რაც განსაკუთრებით რთულია ეს გამოყენების გარეშე.

ეს საშუალებას იძლევა მენეჯერს გაუადვილდეს დროული გადაწყვეტილების მიღების პროცესი, რაც საწინდარია საწარმოს გამართული მუშაობისათვის ავარიული სიტუაციების გათვალისწინებით.



ნახ. 1. საწარმოს სტრუქტურული სქემა

ქვემოთ მოცემულია მაწვნის, არაუნის და ხაჭოს წარმოების ორგანიზაციულ-ფუნქციური სქემები თანმიმდევრული ოპერაციებით, მათ შორის დროის გათვალისწინებით.









## 12. ექსპერტული სისტემების კლასიფიკაცია

ხელოვნური ინტელექტის ერთ-ერთ უფრო მნიშვნელოვან მიღწევად იქცა მძლავრი კომპიუტერული სისტემების დამუშავება, „ექსპერტულ“ სისტემად ან „ცოდნაზე“ დაფუძნებულ სისტემებად წოდებული თანამედროვე საზოგადოებაში, როელი მრავალპარამეტრიანი და მჭიდროდ დაკავშირებული სისტემების, ობიექტების წარმოების მართვის ამოცანის გადაწყვეტისას შესაძლებელია წავაწყდეთ არაფორმალიზებულ ან ძნელადფორმალიზებული ამოცანების გადაწყვეტას. ასეთი ამოცანები ხშირად გვხვდება შემდეგ სფეროებში: ავიაციაში, ქიმიაში, ენერგეტიკაში, მეტალურგიაში, ტრანსპორტში, მედიცინაში, კვების მრეწველობაში და სხვა.

ექსპერტულ სისტემაში (ეს) ჩვენ ვიგულისხმებთ პროგრამას, რომელიც იყენებს სპეციალისტების (ექსპერტების) ცოდნას, ვიწრო სპეციალიზებულ საგნობრივ სფეროში და ამ საგნობრივ სფეროს საზღვრებში შეუძლია გადაწყვეტილების მიღება ექსპერტ-პროფესიონალის დონეზე. სისტემების დამუშავებამ, რომლებსაც შეუძლიათ ძვირადღირებული ან იშვიათი ნიჭის, ცოდნის მქონე ადამიანების კოპირება, განაპირობა ამ ტექნოლოგიის ფართოდ დანერგვა ყველა სფეროში.

ექსპერტული სისტემების დამუშავების საფუძველს წარმოადგენს მისი ორი სერიოზული თვისება:

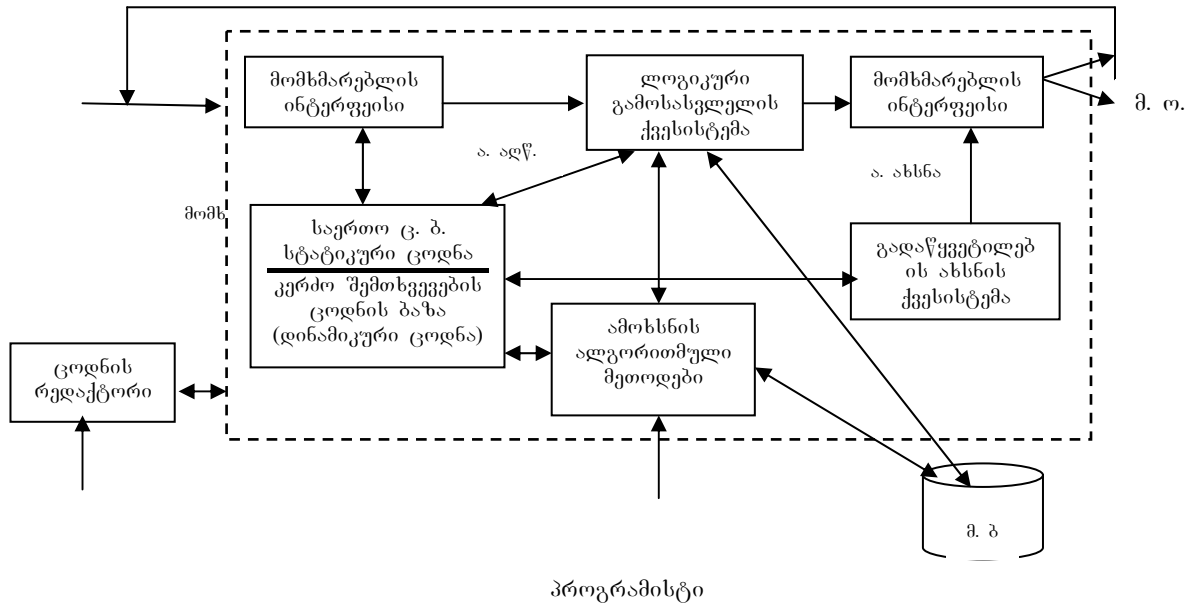
- ექსპერტულ სისტემაში ცოდნა გამოყოფილია მონაცემებისაგან და ექსპერტული სისტემის სიმძლავრე განისაზღვრება, პირველ რიგში „ცოდნის ბაზის სიმძლავრით და მხოლოდ შემდეგ ამოცანების ამოხსნის გამოყენებული მეთოდებით.
- ექსპერტული სისტემით ამოხსნილი ამოცანები წარმოდგენილია არაფორმალიზებული ან სუსტადფორმალიზებული სახით და იყენებენ ევრისტიკულ, ექსპერიმენტალურ, სუბიექტურ ცოდნას ექსპერტებისას განსაზღვრულ საგნობრივ სფეროში.

ექსპერტული სისტემით ამოხსნადი ამოცანების ძირითად კატეგორიებს წარმოადგენს: დიაგნოსტიკა, მართვა, ინტერპრეტაცია,



პროგნოზირება, დაპროექტება, გაშვება და რემონტი, დაგეგმვა, მონიტორინგი, სწავლება.

ექსპერტული სისტემის განზოგადებულ სქემას აქვს შემდეგი სახე:



ნახ. 5. ექსპერტული სისტემის განზოგადოებული სქემა

ექსპერტული სისტემის საფუძველს წარმოადგენს ქვესისტემა ლოგიკური გამოსასვლელით, რომელიც ინფორმაციას იყენებს ცოდნის ბაზიდან და ახდენს რეკომენდაციების გენერაციას დასმული ამოცანის ამოსახსნელად. ექსპერტულ სისტემაში ცოდნის წარმოდგენისათვის უფრო ხშირად იყენებენ სისტემურ პროექტს და სემანტიკურ ქსელებს. დაეუშვათ, რომ ცოდნის ბაზა შედგება ფაქტებისა და წესების ერთობლიობისაგან (თუ <გზავნილი> მაშინ <დასკვნა>). თუ ეს განსაზღვრავს, რომ გზავნილი სწორია, მაშინ წესი აღიარებულია.

ნებისმიერი ეს-ის აუცილებელ ნაწილებს წარმოადგენენ აგრეთვე: ცოდნის შექმნის მოდული და მოდული გადაწყვეტილების არეკვლისა და ახსნისა. რეალური ეს აგრეთვე მუშაობენ მონაცემთა ბაზებზე, მაგრამ ერთდროული მუშაობა ცოდნისა და მონაცემთა ბაზებთან ეს აძლევს საშუალებას მიიღოს არაორდინალური შედეგები.

ეს შექმნისას მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ინსტრუმენტული საშუალებები, მათ შორის ყველაზე პოპულარული პროგრამული ენებია, LISP და PROLOG და სხვა.

ექსპერტული სისტემის აუცილებლობა განპირობებულია იმით, რომ დასმული ამოცანის ძირითადი ამოცანები არ ექვემდებარება მათემატიკურ ანალიზს ან ალგებრულ ამოხსნას. საგნობრივი ნაწილი წარმოადგენს დინამიკურ სფეროს და სტრუქტურის მიხედვით საკმაოდ რთულია, ამიტომ შექმნილ ექსპერტულ სისტემაში საგნობრივი ნაწილის ცოდნა გამოყოფილია სხვა ტიპის ცოდნისაგან, ისეთებისგან როგორცაა: თუ როგორ უნდა ამოვხსნათ ამოცანები და როგორი ურთიერთობა უნდა გვქონდეს მომხმარებელთან (ექსპერტთან). ექსპერტულ სისტემაში არის მხოლოდ სიმბოლოები, რომელთა საშუალებითაც წარმოდგენილია ცოდნის ბაზის კონცეფცია. ექსპერტული სისტემის აუცილებლობა იმითაც არის განპირობებული, რომ მხოლოდ ექსპერტის გამოცდილება არ არის საკმარისი სისტემის ეფექტური ფუნქციონირებისათვის, რადგან ადამიანის როლი დროთა განმავლობაში სუსტდება. მიღებული ხელოვნური ცოდნა კი უფრო ადვილად შეიძლება გადაიცეს ან აისახოს, ვიდრე ერთი ადამიანიდან მეორეს გადაეცეს ცოდნა. მიღებული ცოდნის ბაზა წარმოადგენს ცოდნის ნაკრებს, რომელიც გადაიქცევა კვალიფიცირებული შეფასებების ერთობლიობად და მუდმივად განახლდება საუკეთესო საშუალებებითა და მეთოდებით, რომლებიც გამოიყენება საგნობრივი ნაწილის ხელმძღვანელების, სპეციალისტებისა და ექსპერტების მიერ. ეს სისტემა შეიცავს ცოდნის მდიდარ ბაზას.

***ექსპერტული სისტემის დამუშავების პრობლემები***

ექსპერტულ სისტემას საფუძვლად უდევს ცოდნის მარაგი მოცემული საგნობრივი ნაწილის შესახებ, რომელიც სტრუქტურირებულია გადაწყვეტილების მისაღებად. ცოდნა ნიშნავს ინფორმაციას, რომელიც აუცილებელია ექსპერტული სისტემისათვის და ღებულობს წესების ფორმას. ამრიგად, ცოდნა არის იმ წესების გარკვეული ერთობლიობა, რომელიც საწყისი მონაცემების საფუძველზე შესაბამისი დასკვნების გაკეთდეს საშუალებას იძლევა. ექსპერტული სისტემას საფუძვლად უდევს ცოდნის ბაზა და „ლოგიკური დასკვნის მანქანა“, ეს შეიძლება ჩავწეროთ: ***სისტემა=ცოდნა+დასკვნა.***

მიღებული ექსპერტული სისტემა საშუალებას მოგვცემს მივიღოთ გადაწყვეტილება მონაცემთა დამუშავების ფუნქციის შესახებ და

გავცეთ შესაბამისი პასუხი (რჩევა). ამრიგად, ცოდნის ბაზა წარმოადგენს ექსპერტული სისტემის საფუძველს. ცოდნის ბაზაში ცოდნა წარმოდგენილია ცხადი სახით და სისტემაში ორგანიზებულია გადაწყვეტილების მიღებისათვის საჭირო ფორმით. ცოდნის ბაზა შეიცავს მონაცემებს და წესებს. წესები მონაცემებს იყენებს შესაბამისი გადაწყვეტილებების მისაღებად. ლოგიკური დასკვნის მექანიზმი ადგენს წესების გამოყენების თანმიმდევრობას ცოდნის მისაღებად. ამისთვის, ჯერ განსაზღვრავენ და ღებულობენ ცოდნას მოცემული საგნობრივი ნაწილების შესახებ და ამის შემდეგ იღებენ გადაწყვეტილებას, თუ როგორ გამოიყენებს სისტემა ამ ცოდნას, ეს შეიცავს პრობლემის გადაწყვეტის ხელშემწყობ კომპონენტებს. ზრუნველყოფის კომპონენტები აუცილებელია პროგრამის შეფასებისათვის, წესების და მონაცემების მოდიფიცირებისათვის. მოცემული კომპონენტები წარმოდგენილია ინფორმაციის გამართვის და შეტანა-გამოტანის საშუალებებით.

თანამედროვე ექსპერტულ სისტემაში გამოიყენება მონაცემთა წარმოდგენის სამი ძირითადი მეთოდი: წესები, ფრეიმები და სემანტიკური ქსელი [9].

წესებზე დამყარებული მათოდები არის ცოდნის წარმოდგენის საშუალება, რომელიც აგებულია “თუ (პირობა) – მაშინ (ქმედება)” სახის ოპერაციების გამოყენებით. თუ სისტემის მიმდინარე სიტუაცია (მონაცემები, ფაქტები) აკმაყოფილებს წესის „თუ“-ს ნაწილს, მაშინ სრულდება ქმედება, რომელიც განპირობებულია „მაშინ“ ნაწილით, რომელიც მიუთითებს, რომ სისტემამ უნდა მიიღოს გარკვეული დასკვნა. „თუ“-ს ნაწილის ფაქტებთან შედარების მიხედვით იქმნება დასკვნების ჯაჭვი. ამრიგად, წესები უზრუნველყოფს პროცესების აღწერის ხერხს, რომლებიც სისტემის მიერ იმართება დინამიკურად და ცვალებადი საგნობრივი ნაწილით.

ფრეიმების საშუალებით ცოდნის წარმოდგენა დამყარებულია ცხრილზე სლოტების გარკვეული რაოდენობით და იგი ღებულობს მნიშვნელობებს ლოგიკური დასაბუთების მანქანის მუშაობის პროცესში. სემანტიკური ქსელი, როგორც ცოდნის წარმოდგენის მეთოდი, არის ორიენტირებული გრაფი, რომლის მწვერვალები შეესაბამება ობიექტებს

(მოვლენებს), ხოლო რკალები აღწერს მწვერვალები შორის ურთიერთდამოკიდებულებას.

ექსპერტული სისტემის აგებისას უნდა გავითვალისწინოთ მისი შემდეგი თვისებებით:

- ექსპერტულმა სისტემამ ცოდნის გამოყენებით ოპერატიულად და ეფექტურად უნდა მიიღოს გადაწყვეტილებები.
- ექსპერტულ სისტემაში ცოდნა წარმოდგენილია სიმბოლოების სახით. ექსპერტულ სისტემაში სიმბოლოებს აერთიანებენ მათ შორის ურთიერთდამოკიდებულების გამოსახატავად და ამ დამოკიდებულებებს უწოდებენ სიმბოლურ სტრუქტურებს.
- ექსპერტული სისტემა უნდა შეიცავდეს ყველა აუცილებელ ამოცანას და პროგრამას, რაც საჭიროა მისი ეფექტური მუშაობისათვის მოცემულ საგნობრივ ნაწილში, ანუ უნდა ჰქონდეს ღრმა ცოდნა მოცემულ საგნობრივ ნაწილში ეფექტური მუშაობისათვის.
- ექსპერტულ სისტემას უნდა ჰქონდეს ისეთი სტრუქტურა და მონაცემები, რომელებიც გაამარტივებს მსჯელობას ყველანაირი ქმედების შესახებ. წესებზე დამყარებულმა ექსპერტულმა სისტემამ გადაწყვეტილების მისაღებად უნდა განიხილოს მიღებული დასკვნები.
- ექსპერტულ სისტემაში ფაქტები და ლოგიკური მსჯელობის მექანიზმი მკვეთრად არის გამოყოფილი ერთმანეთისაგან.
- ექსპერტულმა სისტემამ გასაგებად უნდა ახსნას მსჯელობის ჯაჭვი.
- ექსპერტულმა სისტემამ უნდა იმსჯელოს საეჭვო მონაცემების შემთხვევაშიც.
- ექსპერტული სისტემა ისე უნდა იყოს აგებული, რომ შესაძლებელი იყოს სისტემის თანდათანობით გაზრდა.
- ექსპერტული სისტემა შეზღუდული უნდა იყოს გარკვეული სფეროთი, ანუ საგნობრივი ნაწილით.
- ექსპერტული სისტემის მუშაობის პროცესი ეკონომიურად მომგებიანი უნდა იყოს.

ექსპერტული სისტემის დამუშავება შედგება ხუთი ურთიერთდაკავშირებული ეტაპისაგან.

პირველ ეტაპზე ხდება სპეციალისტებთან და ექსპერტებთან ერთად საგნობრივი ნაწილის იდენტიფიკაცია, ამოცანების თავისებურებების განსაზღვრა, ამოცანების ტიპების, ექსპერტული სისტემის შექმნის მიზნებისა და ამოცანის ჩამოყალიბება.

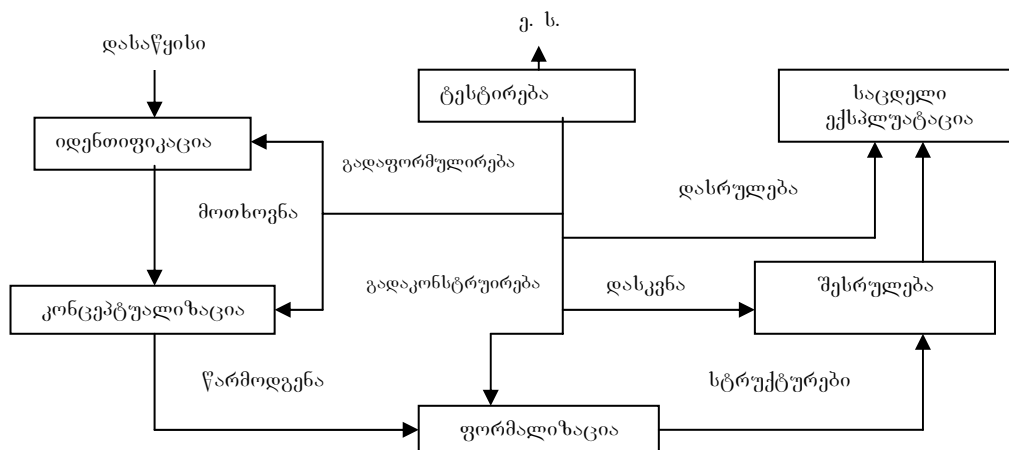
მეორე ეტაპზე კეთდება კონცეპტუალიზაცია, წყდება ცოდნის დაწვრილებით წარმოდგენის ხარისხის განსაზღვრის საკითხები, ანუ განიხილება საკითხი გრანულირების შესახებ, საკვანძო ცნებების სწორად ჩამოყალიბების უზრუნველსაყოფად. მოცემულ ეტაპზე გადაწყვეტილია ცნებების, დამოკიდებულებების და მართვის მექანიზმების განსაზღვრის საკითხები, რომლებიც აუცილებელია ამოცანების ამოხსნის აღწერის, სტრატეგიისა და შეზღუდვების გამოსავლენად.

მესამე ეტაპზე ხდება ფორმალიზაცია - საკვანძო ცნებები და დამოკიდებულებები გამოიხატება ფორმალური ხერხებით.

მეოთხე ეტაპი ეთმობა რეალიზაციას - სისტემის ფორმალიზებული ცოდნა გარდაიქმნება კომპიუტერულ პროგრამებად. პროგრამის დაწერა მოითხოვს შინაარსის, ფორმისა და შეთანხმების არსებობას. შინაარსი აიღება საგნობრივი ნაწილიდან, რომელიც თვალსაჩინო ხდება ფორმალიზაციის ეტაპის მიმდინარეობისას ანუ მონაცემთა სტრუქტურის, ლოგიკური მსჯელობის იმ წესებისა და მართვის სტრატეგიის საშუალებით, რომლებიც აუცილებელია ამოცანების ამოსახსნელად.

მეხუთე ეტაპზე ტარდება ტესტირება. მოცემული ეტაპის მიზანია აღმოაჩინოს წარმოდგენილი სქემის ნაკლოვანებანი, აუცილებელი ცნებების და მათ შორის დამოკიდებულებების არ არსებობა. სისტემის მუშაობის ხარისხის შეფასებამ საშუალება მოგვცა მოცემული გაანგარიშებისა და ამოხსნისას გვეპასუხა შემდეგ ძირითად საკითხებზე: მოიცავს თუ არა მოცემული გამოთვლა და ამოცანა სისტემის კომპეტენტურობის მთელ დაგეგმილ მონაკვეთს? არის თუ არა სისტემის მიერ მიღებული გადაწყვეტილებები სწორი? არის თუ არა გამოტანის წესები სრული, მართებული და არაწინააღმდეგობრივი?

რამდენად სრულად და გასაგებად ხსნის სისტემა, თუ როგორ მიიღო და მოგვაწოდა შესაბამისი დასკვნები? ეხმარება თუ არა სისტემა მომხმარებელს (ექსპერტს) თავისი ფუნქციების რეალიზაციისას ამოცანების ამოხსნის პროცესში? არის თუ არა სისტემის ყველა დასკვნა სწორად ორგანიზებული და გადმოცემული დეტალურად?



ნახ. 6. ექსპერტილი სისტემის დამუშავების ტექნოლოგია

**არსებული ექსპერტული სისტემების მიმოხილვა.**

ექსპერტული სისტემების გამოყენების ძირითადი, ყველაზე აქტიური დარგებია: გეოლოგია, მედიცინა, ქიმია, ელექტრონიკა, სამხედრო საქმე, საინჟინრო და კომპიუტერული სისტემები. გარდა ამისა, ექსპერტული სისტემები დამუშავებულია საქმიანობის ისეთ სფეროებში, როგორცაა: კოსმოსური ტექნიკა, მრეწველობა, მეტეოროლოგია, იურისპრუდენცია, პროცესების მართვა, სოფლის მეურნეობა და სხვა.

გეოლოგიაში დამუშავებულია **ეს PROSPE-CTOR-ი**, რათა გეოლოგებს დახმარება აღმოუჩინოს წიაღისეული საბადოების პოვნაში. მოცემული სისტემისათვის დამუშავებულია პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებების პაკეტი, რომელიც შეიცავს ცოდნის ახსნის და შექმნის საშუალებებს. სისტემა აწარმოებს დიალოგს მომხმარებელთან, რომელსაც ინფორმაცია შეყავს საბადოს მახასიათებლების შესახებ: საბადოს ტიპი, გეოლოგიური სტრუქტურების პარამეტრები, ქანების, მინერალებისა და მეორადი პროდუქტების სახეობები. შემდგომ სისტემა

აფასებს მადანის მარაგს მოცემულ საბადოში და შეუძლია ზუსტად იწინასწარმეტყველოს მადნის ადგილმდებარეობა. სისტემა იყენებს წესებს, რომლების ერთმანეთთან აკავშირებს ამა თუ იმ გეოლოგიური ფაქტებს. სისტემის წესები ქმნის დასკვნების დიდ ქსელს, რომელშიც მითითებულია ყველა კავშირი მოწმობებსა და ჰიპოთეზებს შორის, სისტემაში მოწმობა შეიძლება იყოს ნებისმიერი ლოგიკური კომბინაცია. ჰიპოთეზა ყოველთვის არის ერთადერთი ცნება და გამოიყენება წესის „თუ“ ნაწილში, რათა მისგან გამომდინარეობდეს სხვა ჰიპოთეზა. სისტემაში გამოიყენება მსჯელობის საწინააღმდეგო ჯაჭვი. სისტემა წარმოადგენს ცოდნას წესებისა და სემანტიკური ქსელის საფუძველზე. დამუშავებულია სტენკოსტის კვლევით ინსტიტუტში და რეალიზებულია INTERLISP-ის ენაზე.

ქიმიაში დამუშავებულ ექსპერტულ სისტემას DENDRAL-ს გამოყავს უცნობი ნაერთების მოლეკულური სტრუქტურა, გამომდინარე მასის – სპექტრომეტრიის და ბირთვულ-მაგნიტური რეზონანსის მონაცემებიდან. სისტემა ჩამოთვლის შესაძლო მოლეკულურ სტრუქტურებს და შემდეგ იყენებს ცოდნას ქიმიაში, ამ ცხრილის შესამცირებლად, მისაღებ ზომამდე. სისტემაში ცოდნა წარმოდგენილია მოლეკულური სტრუქტურების გენერატორისთვის მისაღები პროცედურებისა და მონაცემთა სამართავი წესების და პროგრამის შეფასებითი ნაწილის სახით.

ქიმიაში დამუშავებულ ექსპერტული სისტემა GAI აწარმოებს დნმ-ის სტრუქტურის ანალიზს, დნმ-ის მოლეკულის სეგმენტირების მონაცემების მიხედვით, ფერმენტი - რექსტრაქტაზის საშუალებით. სისტემაში შეყავთ მონაცემები ფერმენტების მიერ დნმ-ს ათვისების, ტიპოლოგიის, ექსპერიმენტის შესაძლო ცდომილებისა და სხვა შეზღუდვების შესახებ. ხელმეორედ წარმოშობისა და სტრუქტურა-კანდიდატის გამორიცხვის შემდეგ, განისაზღვრება დნმ-ის ყველაზე ალბათური სტრუქტურები. სისტემა GAI-მ გადმოიღო „გაჩენის და შემოწმების“ პარადიგმა, რომელიც გამოყენებული იყო სისტემა DENDRAL-ში: პროგრამა-გენერატორის მიერ შემოთავაზებული ჰიპოთეზები დაფუძნებულია ყველა შესაძლო ამონახსნის ჩამოთვლის პროცედურაზე. სისტემა საშუალებას აძლევს მომხმარებელს დასაშვები

წინააღმდეგობების დონის რეგენერირებისა, რათა კომპენსირებულ იყოს მცდარი მონაცემების უმნიშვნელო მოცულობები.

DENDRAL და GAI სისტემები დამუშავებულია სტენფორდის უნივერსიტეტში და რეალიზებულია INTERLISP-ის ენაზე. მედიცინაში დამუშავებული ექსპერტული სისტემა MYCTN ექიმებს ეხმარება შესაბამისი ანტიმიკრობული თერაპია შეარჩიონ ბაქტერიული მენინგიტით და ცისტით დაავადებული ავადმყოფებისათვის. სისტემა საზღვრავს ინფექციის მიზეზს, იყენებს ცოდნას, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს მაინფიცირებელ მიკროორგანიზმებს და ავადმყოფობის ისტორიას, სიმპტომებს და ლაბორატორიული გამოკვლევების შედეგებს. სისტემის მიერ რეკომენდებულია მედიკამენტური მკურნალობა (სახეობა და დოზა), იმ პროცედურების შესაბამისად, რომელსაც იყენებს გამოცდილი სპეციალისტი ინფექციური დაავადებების მკურნალობისას. სისტემა დაფუძნებულია წესებზე, მსჯელობის პირუკუ ჯაჭვით და შეიცავს ალბათობის გამოთვლის და მსჯელობის პროცესის ახსნის, აგების მექანიზმებს. სისტემა დამუშავებულია სტენფორდის უნივერსიტეტში და რეალიზებულია CISP-ის ენაზე.

ელექტრონიკაში დამუშავებული ექსპერტული სისტემა ACE განსაზღვრავს გაუმართაობას სატელეფონო ქსელში, რეკომენდაციებს იძლევა აუცილებელი რემონტის და აღდგენითი ღონისძიებების შესახებ. სისტემა მუშაობს ადამიანის ჩარევის გარეშე, ანალიზს უკეთებს ცნობა-ანგარიშს იმ მდგომარეობის შესახებ, რომელიც მიიღება ყოველდღიურად CRAS-ის საშუალებით—პროგრამით, რომელიც თვალყურს ადევნებს სარემონტო სამუშაოების მიმდინარეობას საკაბელო ქსელში. სისტემა აღმოაჩენს გაუმართავ სატელეფონო კაბელებს, შემდეგ კი გადაწყვეტს, საჭიროებს თუ არა იგი გეგმურ-გამაფრთხილებელ რემონტს და აირჩევს სარემონტო სამუშაოების რომელი ტიპი იქნება ყველაზე ეფექტური. შემდეგ სისტემა იმახსოვრებს თავის რეკომენდაციებს სპეციალურ მონაცემთა ბაზაში, რომელიც მომხმარებლებისათვის ხელმისაწვდომია; შემდეგ კი დებულობს გადაწყვეტილებას სატელეფონო სადგურების შესახებ ცოდნის, CRAS სისტემის შეტყობინებების და ქსელის სტრატეგიის ანალიზის



გამოყენებით. სისტემაში ცოდნის წარმოდგენა დამყარებულია წესებზე და მართვის სქემა გამოიყენება მსჯელობის პირდაპირი ჯაჭვის მეშვეობით. სისტემა დამუშავებულია Bell laboratories კომპანიაში და რეალიზებულია OPSS და FRANZCISP ენაზე. სამხედრო საქმეში დამუშავებული ექსპერტული სისტემა SIAP აღმოაჩინს და ინდენტიფიკაციას უკეთებს სხვადასხვა ტიპის საოკეანო გემებს, რისთვისაც იყენებს ციფრულ ფორმად გარდაქმნილ მონაცემებს, რომლებიც მიღებულია ჰიდროგრაფების ქსელისგან. SIAP ცდილობს გემების ინდენტიფიკაციას მათი სპექტრების შესახებ იმ ცოდნის საფუძველზე, რომლებიც მიიღება ხმოვანი ენერჯის ინდიკატორებისგან და გარდა ამისა, აჯგუფებს გემებს უფრო მსხვილ ერთეულებად, მაგალითად, ფლოტებად. სისტემა უზრუნველყოფს ანალიზს რეალური დროის რეჟიმში და სიტუაციის კორექტირებას უწყვეტად შემოსული ინფორმაციის აღრიცხვასთან დაკავშირებით. ცოდნა სისტემაში წარმოდგენილია წესების სახით. სისტემა შექმნილია ერთობლივად სტენფორდის უნივერსიტეტის და Control Tectnolojy კომპანიის მიერ. იგი რეალიზებულია INTERLISP-ის ენაზე. საინჟინრო საქმეში დამუშავებული ექსპერტული სისტემა DELTA მომსახურე პერსონალს ეხმარება აღმოაჩინოს და გამოასწოროს შეფერხებები დიზელ-ელექტრომავლებში, ლოკომოტივების ტექნიკური მომსახურების დიაგნოსტიკური სტრატეგიის გამოყენებით. სისტემას შეუძლია უხელმძღვანელოს მომხმარებელს შეკეთების პროცედურეს განმავლობაში სარემონტო ოპერაციების თანამიმდევრობის გამოყენების საშუალებით და გაუმართაობის აღმოჩენის შემდეგ კი კონკრეტული ინსტრუქციებით რემონტის თაობაზე. DELTA ეფუძნება წესებს, რომელთა გამოყენება ხდება როგორც პირდაპირი, ასევე მსჯელობის პირუკუ ჯაჭვით. სისტემა დამუშავებულია კომპანია „ჯენერალ ელექტრიკის“ მიერ ნიუ-იორკის შტატში და რეალიზებული იყო ჯერ LISP ენაზე, შემდეგ კი FORTN-ზე.

კომპიუტერული სისტემების დარგში დამუშავებული ექსპერტული სისტემა XSEL გამყიდველებს ეხმარება BC VAX 11/780 კომპონენტების შერჩევაში. სისტემა ირჩევს პროცესორს, ოპერატიულ მეხსიერებას, პროგრამულ უზრუნველყოფას და პერიფერიულ მოწყობილობებს.

შემდეგ კი ამ ინფორმაციას XCON ექსპერტულ სისტემას გადასცემს დეტალიზაციისა და კონფიგურაციისათვის. XSEL სისტემა შეიცავს ცოდნას კომპონენტებსა და სხვადასხვა გამოყენებით ამოცანებს შორის არსებული ურთიერთკავშირების შესახებ, რომლებიც შეიძლება დასჭირდეს მყიდველს [10].

XCON ექსპერტული სისტემა შეადგენს BC VAX 11/780-ის კონფიგურაციას. მომხმარებელთა განაცხადის საფუძველზე, სისტემა ღებულობს გადაწყვეტილებას იმის შესახებ, თუ რა კომპონენტები უნდა დაემატოს სრულიად გამართული სისტემის მისაღებად. XCON სისტემა შეადგენს კონფიგურაციას, კომპონენტებსა და სტანდარტულ პროცედურებს შორის არსებულ ურთიერთკავშირზე შეზღუდვების შესახებ ცოდნის გამოყენებით. XSEL და XCON სისტემები დაფუძნებულია წესებზე და იყენებენ მსჯელობის პირდაპირ ჯაჭვს ლოგიკური დასკვნის სქემაში. XSEL და XCON სისტემები დამუშავებულია კარნეგი-მელონის უნივერსიტეტში, კორპორაცია DEC-თან ერთობლივად და რეალიზებულია OPSS ენაზე.

### ***ექსპერტული სისტემის აგების ინსტრუმენტული საშუალებები***

LISP წარმოადგენს პროგრამირების ენას, პროცედურებზე დამყარებული წარმოდგენებისათვის. როგორც პროგრამირების ეს მოქნილი ენა გვთავაზობს ფუნქციების – პრიმიტივების ჩამონათვალს, რომელთაგანაც მომხმარებელს შეუძლია შექმნას უფრო მაღალი დონის ფუნქციები და შეუფარდოს ისინი გამოყენებითი ნაწილის მოთხოვნებს. LISP-ს აქვს მექანიზმი სიმბოლური ტექსტების დასამუშავებლად სისებრი სტრუქტურების სახით; სტრუქტურები წარმოადგენს ხელსაყრელ სამშენებლო ბლოკების რთული ცნებების წარმოსადგენად. LISP უზრუნველყოფს მესხიერების ავტომატურ მართვას და ერთიან მიდგომას პროგრამის და მონაცემების დამუშავებასთან, რაც LISP პროგრამებს საშუალებას აძლევს შეცვალოს საკუთარი თავი. არსებობს LISP ენის მრავალი დიალექტი: INTERLISP; FRANZLISP და სხვა. LISP დამუშავებულია მასაჩუსეტის ტექნოლოგიურ უნივერსიტეტში.

INTERLISP წარმოადგენს პროგრამირების ენას, რომელიც შექმნილია პროცედურებზე ორიენტირებული წარმოდგენებისთვის. LISP ამ

დიალექტს აქვს LISP-ს ყველა სტანდარტული თვისება და დამატებული აქვს მხარდაჭერის ზუსტად შერჩეული საშუალებები, რომლებიც შეიცავს გაუმჯობესებულ მექანიზმებს ტრასირებით და პირობითი წყვეტებით, რომელიც ორიენტირებულია LISP რედაქტორზე, აგრეთვე მექანიზმი „გააკეთე მე რაც მინდა“, რომელიც ადგილზევე ასწორებს მრავალი სახის შეცდომას. შექმნილი ან სამუშაო გარემო აგრეთვე საშუალებას აძლევს მომხმარებელს მოდიფიცირება გაუწიოს სისტემის ტრადიციულ ასპექტებს, ისეთებს, როგორცაა წყვეტის სიმბოლოები და განაწილებული ადგილები ნაგვის შესაკრებად. INTERLISP დამუშავებულია XEROX კომპანიის მიერ.

PROLOG წარმოადგენს ლოგიკაზე დაფუძნებული წარმოდგენებისთვის პროგრამირების ენას. პროგრამები PROLOG -ზე შედგება ობიექტებს შორის ურთიერთობის მტკიცებულების წესებისგან (დასკვნის მიმართ). PROLOG ინტერპრეტატორი ცდილობს მსჯელობის პირუკუ ჯაჭვის საშუალებით იპოვოს მოცემული დამოკიდებულებების ჭეშმარიტების მტკიცებულებები საჭიროების მიხედვით უნიფიკაციის და მართვის დაბრუნების გამოყენებით. არსებობს PROLOG-ს მრავალი ვერსია და ნაირსახეობა; ზოგიერთი მათგანი ჩადგმულია LISP-ს სისტემაში, მოქნილობის გასაფართოებლად. PROLOG დამუშავებულია Quintns Computer Systems კომპანიის მიერ.

OPSS წარმოადგენს ცოდნის ინჟინერიის ენას, წესებზე დაფუძნებული წარმოდგენებისთვის. მისი ძირითადი თვისებებია: ენის კონსტრუქცია, რომელიც უზრუნველყოფს მონაცემთა წარმოდგენის და მართვის სტრუქტურების უნივერსალობას; სახეობასთან შედარების მძლავრი მექანიზმი; ეფექტური ინტერპრეტატორი მსჯელობის პირდაპირი ჯაჭვით, მონაცემების და წესების შესადარებლად. ზრუნველყოფის საშუალებები შეიცავს რედაქტირების და გამართვის პაკეტებს იმ მექანიზმის ჩათვლით, რომელიც გვეხმარება განვსაზღვროთ, თუ რატომ არ გამოიყენება წესი, როდესაც პროგრამისტი თვლის, რომ იგი უნდა გამოიყენებოდეს. OPSS რეალიზებულია BLISP, MACLISP და FRANZLISP\_ზე. ORSS დამუშავებულია კარნეგი-მელინის უნივერსიტეტში.

EMYCIN წარმოადგენს ცოდნის ინჟინერიის ჩონჩხურ ენას, წესებზე დაფუძნებული წარმოდგენებისთვის. მისი ძირითადი თვისებები შეიცავს მართვის შემზღულად სქემას იმ მსჯელობათა პირუკუ ჯაჭვის საშუალებით, რომელიც მოხერხებულია დიაგნოსტიკისა და საკონსულტაციო ტიპის ამოცანებისთვის, საიმედოობის კოეფიციენტების გამოთვლის და მომხმარებლის ავტომატური გამოკითხვის მექანიზმებს. უზრუნველყოფის საშუალებები შეიცავს გაუმჯობესებული ინტერფეისის მექანიზმებს სისტემის მსჯელობის ასახსნელად და ახალი ცოდნის შესაძენად. სისტემა რეალიზებულია INTERLISP ენაზე. EMYCIN დამუშავებულია სტენფორდის უნივერსიტეტში და არსებითად იგი წარმოადგენს MYCIN-ს, საიდანაც ამოღებულია საგნობრივი ცოდნა.

NAS წარმოადგენს ცოდნის ინჟინერიის ბაზურ ენას წესებზე დაფუძნებული წარმოდგენებისთვის. იგი არსებითად წარმოადგენს PROSPECTOR სისტემას, საიდანაც ამოღებულია ცოდნა გეოლოგიის შესახებ. NAS ცოდნის წარმოსადგენად იყენებს მსჯელობის წესებს მის მიერ მიღერილი საიმედოობის კოეფიციენტებით, განაწილებულ სემანტიკურ ქსელებთან ერთად. გამოყვანის მექანიზმი დაფუძნებულია მსჯელობათა პირდაპირ და პირუკუ ჯაჭვსა და ალბათობის გავრცელებაზე სემანტიკურ ქსელში. NAS –ის უზრუნველყოფის საშუალებები შეიცავს ცოდნის ახსნის და შეძენის მექანიზმებს, უზრუნველყოფს სინონიმების ამოცნობას, პასუხების გადახედვას, შეჯამებას და ტრასირებას. სისტემა რეალიზებულია INTERLISP ენაზე და დამუშავებულია SPI International კომპანიის მიერ.

ROSIE წარმოადგენს ცოდნის ინჟინერიის ენას წესებზე დაფუძნებული წარმოდგენებისთვის, მაგრამ იგი ამავედროულად უზრუნველყოფს პროცედურებზე ორიენტირებული წარმოდგენების მეთოდებს. მისი ძირითადი თვისებები შეიცავს ინგლისურის მსგავს სინტაქსს; პროცედურებზე ორიენტირებულ სტრუქტურებს, რომლებიც საშუალებას იძლევა ავაგოთ რეკურსიული და ჩადებული ქვეპროგრამები; ნიმუშთან შედარების მძლავრი მექანიზმები; ინტერფეისი ლოკალურ ოპერაციულ სისტემასთან. უზრუნველყოფის

საშუალებები შეიცავს რედაქტირების და გამართვის ინსტრუმენტულ საშუალებებს. ROSIE რეალიზებულია INTERLISP და CN-ზე.

### *13. მართვის ექსპერტული სისტემების მოდელები*

კვების პროდუქტების დამზადების პროცესის მართვაში ვიგულისხმებთ მართვის ქრონოლოგიურ დონეს, რომელსაც ექსპერტი ახორციელებს ავტომატური მართვის შემდეგ. ამ პროცესში ადამიანის ჩართვის შემდეგ წარმოიქმნება ხარისხზე ზეგავლენის ფსიქოფიზიოლოგიური ფაქტორები, რომელიც სერიოზულ როლს თამაშობს ექსპერტის მიერ ასეთი დონის ამოცანების ამოხსნისას. ძირითადი ამოცანების ჩამონათვალში შედის: ქსელის მუშაობის მართვის რეჟიმები, წარმოების გადართვის, ავარიული დარღვევების ლოკალიზება და ნორმალური რეჟიმის აღდგენა.

ექსპერტული სისტემა რთული პროგრამული კომპლექსია, რომელიც სპეციალისტების ცოდნის აკუმულაციას ახდენს ფაქტებისა და წესების სახით და მათზე დაყრდნობით ექსპერტი პროცესის იმიტაციას ახდენს ამოცანის ამოხსნისათვის.

ექსპერტული სისტემის ტიპური არქიტექტურა შედგება შემდეგი კომპონენტებისაგან: ლოგიკური გამოყვანის მექანიზმი (ლგმ) იყენებს ფაქტებს ფაქტების ბაზიდან (ფბ), მონაცემებს - მონაცემთა ბაზიდან (მბ) და წესებს ცოდნის ბაზიდან (ცბ), რითაც აკეთებს ლოგიკურ დასკვნებს და ახდენს ოპერაციების თანმიმდევრულ ფორმირებას დასმული ამოცანის ამოხსნისათვის.

ცოდნის ბაზა (ცბ) წარმოადგენს საგნობრივი სფეროს ცოდნის ერთობლიობას ფაქტების (მონაცემების) და წესების (მონაცემთა დამუშავების პროცედურა) სახით ჩაწერილს კომპიუტერის მეხსიერებაში.

მონაცემთა ბაზა (მბ) ყველა საჭირო მონაცემების საცავია.

ფაქტების ბაზა (ფბ) ოპერაციული მექანიზმების სამუშაო სფეროა, რომელიც შეიცავს ამოცანის პირობას, ლოგიკური გამოსასვლელის შუალედურ და საბოლოო მონაცემებს.

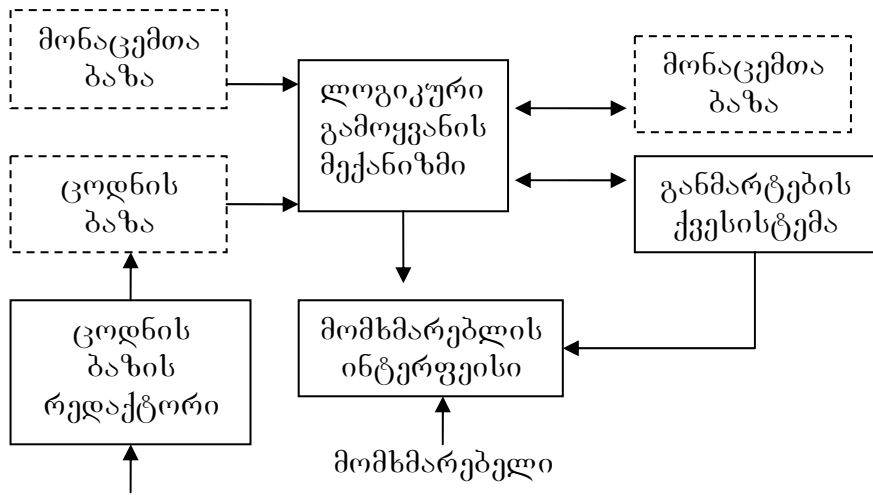
განმარტების ქვესისტემა (გქ) უხსნის მომხმარებელს, თუ როგორ მიიღო გადაწყვეტილება **ეს**-ამ და როგორი ინფორმაცია (წესები, ფაქტები და მონაცემები) იქნა გამოყენებული.

მომხმარებლის ინტერფეისი (მი) პროგრამული კომპლექსია მომხმარებელსა და **ეს**-ს შორის. იგი უზრუნველყოფს დიალოგს ამოცანის ამოხსნის პროცესში.

ცოდნის ბაზის რედაქტორი (ცბრ) პროგრამების ერთობლიობაა, რომელიც ახორციელებს ახალი ცოდნის შეყვანას, არსებულის კორექტირებას და ცოდნის ბაზაში სიახლის შეტანას.

**ეს** მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში. ამოსახსნელი ამოცანის საწყისი მონაცემები (საწყისი პირობები) შეიყვანება ფაქტების ბაზაში (ფბ). მომხმარებელი მომხმარებლის ინტერფეისის საშუალებით აკვირდება კონტროლირებადი ობიექტის ცვლილებებს და ააქტიურებს ე.ს.-ს. ამასთან (ლგმ) ანალიზებს (ფბ) - ის მიმდინარე მდგომარეობას, გადახედავს ცოდნის ბაზას, მოცემული სიტუაციიდან გამომდინარე ირჩევს შესაბამის წესს, აუცილებლობის შემთხვევაში მიმართავს მონაცემთა ბაზას და ახდენს ახალი ფაქტების გენერირებას, რომლებიც შეჰყავს ფაქტების ბაზაში, ე.ი. ცვლის მის მდგომარეობას. ეს პროცესი მეორდება მანამდე, სანამ არ მიიღწევა გადაწყვეტილება.

ე.ს. არქიტექტურა და მუშაობის პრინციპი შინაგანად დამოკიდებულია კონკრეტულ საპრობლემო სფეროსა და ამოსახსნელი ამოცანის ტიპზე. ჩვეულებრივ გამოყოფენ ამოცანების შემდეგ ტიპებს: ინტერპრეტაციას, დიაგნოსტიკას, მონიტორინგს, პროგნოზირებას, პროექტირებას, დაგეგმვას და მართვას.



ნახ. 7. ექსპერტული სისტემის არქიტექტურა

ეს-ის განსაზღვრიდან გამომდინარე მისი აგებისათვის აუცილებელია შეირჩეს ცოდნის წარმოდგენის მოდელი, რომელიც განაპირობებს ცოდნის ბაზის სტრუქტურას და ამ ცოდნის დამუშავების მეთოდები ლგმ-ის ძირითადი შემადგენელი ნაწილია. ცოდნის წარმოდგენის მოდელის სახით ყველაზე ხშირად გამოიყენება ერთი ან რამოდენიმე ფორმალიზმის კომბინაცია: პრედიკატების ლოგიკა, ფრეიმები, პროდუქციები და სემანტიკური ქსელები.

ესენი ე.წ. უნივერსალური წარმოდგენის ენებია. თუმცა პრაქტიკაში ისინი ყოველთვის საკმარისად ეფექტურები არ არიან, რადგან კონკრეტულ საპრობლემო სფეროს ცოდნა იმდენად სხვადასხვაგვარია, რომ მათი ხარისხიანი წარმოდგენისათვის აუცილებელია სპეციალური ორიენტირებული წარმოდგენის ენა, უნივერსალურ მოდელთან შერწყმული დადებითი თვისებებით. ეს-ში ცოდნის დამუშავების ამოსახსნელი ამოცანის კლასსზე. მეთოდთა ჩადებულია ლგმ-ის ალგორითმში და დამოკიდებულია.

#### **14. მმართველობითი გადაწყვეტილების მიღება**

მმართველობითი გადაწყვეტილების დამუშავება წარმოადგენს სერიოზულ პროცესს, დამაკავშირებელს მართვის ძირითად ფუნქციებთან: დაგეგმვა, ორგანიზაცია, მოტივაცია, კონტროლი. სახელდობრ, ნებისმიერი ორგანიზაციის ხელმძღვანელის მიერ მიღებული გადაწყვეტილება განსაზღვრავს არა მარტო მის ეფექტურ მოღვაწეობას, არამედ მისი განვითარების მტკიცე შესაძლებლობასაც.

ეფექტური გადაწყვეტილების მიღება – ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი პირობაა ორგანიზაციის ეფექტური არსებობისა და განვითარებისა.

გადაწყვეტილების მიღების საჭიროება კაცობრიობის მიერ აღქმული იყო ერთდროულად მისი კოლექტიური საქმიანობის, ცნობიერების საწყისში.

თანამედროვე მეცნიერება მართვაზე და მასთან ერთად თეორია მმართველობითი გადაწყვეტილების მიღების შესახებ წარმოიშვა მას შემდეგ, რაც გამოჩნდა ორგანიზაცია თანამედროვე წარმოდგენით.

თანამედროვე მეცნიერება, მმართველობითი გადაწყვეტილების მიღების სფეროში ამაღლდა ხარისხობრივად ახალ დონეზე, მის საფუძველზე დამუშავდა ეფექტური მმართველობითი ტექნოლოგიები, რომელიც რთული მმართველობითი ამოცანების ამოხსნის საშუალებას იძლევა.

მნიშვნელოვანი როლი ითამაშა ინფორმაციის მოცულობის სწრაფმა ზრდამ, რომელიც დღესდღეობით გასათვალისწინებელია მმართველობითი გადაწყვეტილების მიღებისას. შექმნილია გადაწყვეტილების მიღების თანამედროვე კომპიუტერული სისტემები, ექსპერტული სისტემები, ავტომატიზებული სისტემები ექსპერტული შეფასებით, რომელთა დანიშნულებააა შესრულების პროცესში და რთულ სიტუაციებში ეფექტური მმართველობითი გადაწყვეტილების მიღება.

#### **გადაწყვეტილების მიღების პროცესის ბუნება**

მენეჯერი შეიძლება უწოდო ადამიანს მხოლოდ მაშინ, როდესაც იგი იღებს მმართველობით გადაწყვეტილებას ან ანხორციელებს მას სხვა ადამიანების მეშვეობით.



გადაწყვეტილების მიღება, მსგავსად ინფორმაციის გაცვლისა, მმართველობითი ფუნქციის შემადგენელი ნაწილია. გადაწყვეტილების მიღების აუცილებლობა წარმოიშობა მართვის პროცესის ყველა ეტაპზე. ამიტომ აუცილებელია სწორად გავიგოთ გადაწყვეტილების არსი და ბუნება.

ამრიგად, გადაწყვეტილება არის ალტერნატივის არჩევა.

გადაწყვეტილების მიღების სფეროში შეიძლება გამოვყოთ ხელმძღვანელის ოთხი ტიპი:

- მეწარმე;
- მუშაობისას დაშვებული შეცდომების გამოსწორების სპეციალისტი;
- რესურსების გამნაწილებელი;
- სპეციალისტი შეთანხმების მიღწევაში.

მმართველობითი გადაწყვეტილება არის არჩევანი, რომელიც უნდა გააკეთოს ხელმძღვანელმა, რომ შეასრულოს მასზე დაკისრებული მოვალეობანი. მართვაში ძირითადი არის გადაწყვეტილების მიღება.

მმართველობითი გადაწყვეტილების ხარისხობრივ პარამეტრებს განეკუთვნება:

ენტროპიის მაჩვენებელი, ე.ი. პრობლემის რაოდენობრივი გაურკვევლობა; ინვესტიციების ჩადების რისკის ხარისხი; გადაწყვეტილების რეალიზაციის ალბათობა ხარისხის, დანახარჯების და ვადის მაჩვენებლებით; ადეკვატურობის ხარისხი.

მმართველობითი გადაწყვეტილების მაღალი ეფექტურობის უზრუნველყოფის ძირითად პირობებს წარმოადგენენ: მმართველობითი გადაწყვეტილების შემუშავებისას მენეჯმენტის სამეცნიერო მიდგომის გამოყენება; მმართველობითი გადაწყვეტილების ეფექტურობაზე ეკონომიკური კანონების შესწავლა; გადაწყვეტილების ზემოქმედების მიმდები პირის უზრუნველყოფა ხარისხიანი ინფორმაციით, დამახასიათებელი პარამეტრებით. „გამოსასვლელი“, „შესასვლელი“, „შიდა არის“ და „პროცესის“ გადაწყვეტილების დამუშავების სისტემით; ფუნქციონალურ-ღირებულებითი ანალიზის მეთოდების გამოყენება, პროგნოზირება, მოდელირება და ყველა გადაწყვეტილების ეკონომიკური დასაბუთება; პრობლემის სტრუქტურიზაცია და მიზნების

ხის აგება; გადაწყვეტილების ვარიანტების შედარების უზრუნველყოფა; გადაწყვეტილების მრავალვარიანტობის უზრუნველყოფა; მისაღები გადაწყვეტილების სამართლებრივი დასაბუთება;

ინფორმაციის შეგროვებისა და დამუშავების ავტომატიზაციის პროცესი; გადაწყვეტილების დამუშავებისა და რეალიზაციის პროცესი; გადაწყვეტილების რეალიზაციის მექანიზმების არსებობა [3].

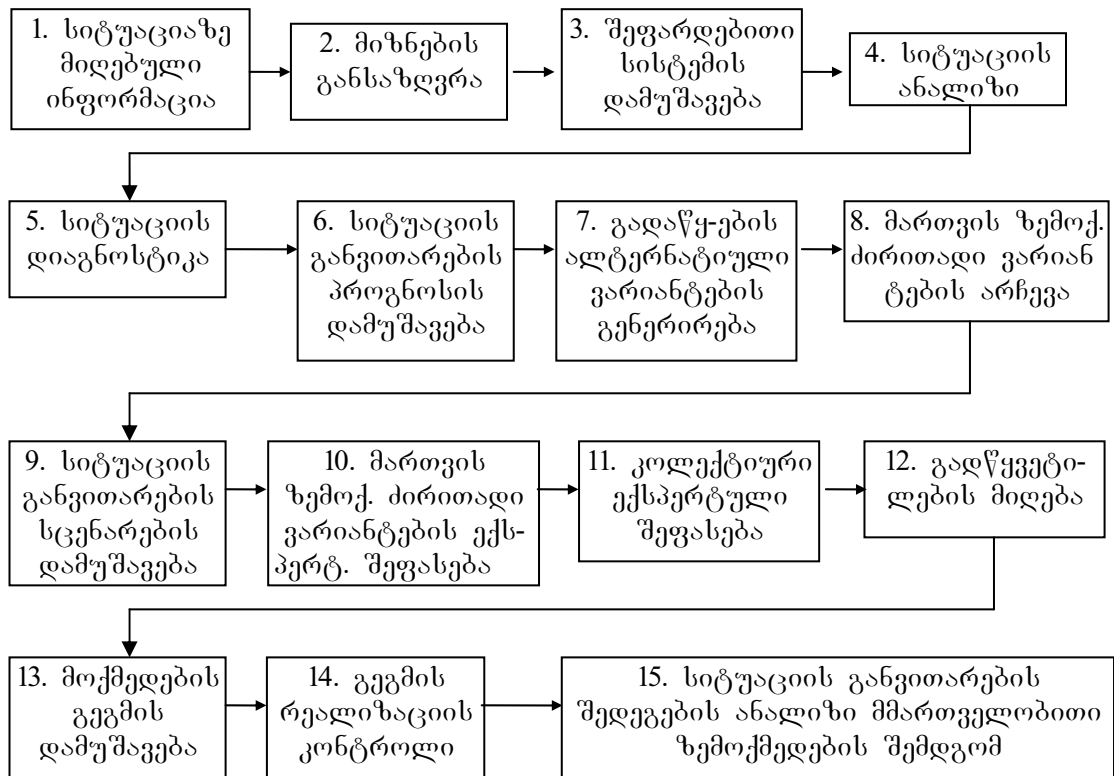
მმართველობითი გადაწყვეტილების ხარისხზე მოქმედ ძირითად ფაქტორებს წარმოადგენს:

- მენეჯმენტის სისტემაზე სამეცნიერო მიდგომებისა და პრინციპების გამოყენება;
- მენეჯმენტის სისტემაზე მოდელირების მეთოდების გამოყენება;
- მართვის ავტომატიზაცია;
- ხარისხობრივი გადაწყვეტილების მოტივაცია და სხვა.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, გადაწყვეტილების მიღება წარმოადგენს ნებისმიერი მმართველობითი პროცესის ერთ-ერთ ძირითად შემადგენელ ნაწილს.

გადაწყვეტილების მიღების პროცესი ძალიან რთულია, გადაწყვეტილების მომზადება ხორციელდება სიტუაციის შესახებ ყველა არსებულ ინფორმაციაზე დაყრდნობით. გადაწყვეტილების მიღების პროცესში დიდი ყურადღება ეთმობა ექსპერტული შეფასების მეთოდების გამოყენებას. ექსპერტული ტექნოლოგიების ძირითადი დანიშნულებაა პროფესიონალიზმის ამაღლება, აგრეთვე მისაღები მმართველობითი გადაწყვეტილების ეფექტურობა.

განვიხილოთ მმართველობითი გადაწყვეტილების მიღების პროცესის ძირითადი ეტაპები. მართვის პროცესის ბლოკ-სქემა წარმოდგენილია ნახ. 8 - ზე.



ნახ. 8. მართვის პროცესის ბლოკ-სქემა

### 1.5. დინამიკური მართვის ექსპერტული სისტემები

სისტემების ახალი თაობა – ინტელექტუალური სისტემები (ის) – სისტემის კომპონენტების ორგანიზების სხვა პრინციპების გამოძახილია ცხოვრებაში, გამოჩნდა სხვაგვარი ცნებები, ტერმინები, ბლოკები, რომლებიც ადრე არ გვხვბოდა სამეცნიერო ლიტერატურაში. ინტელექტუალური სისტემებს შეუძლიათ მიზნის სინთეზირება, მოქმედების გადაწყვეტილების მიღება, მიზნის მისაღწევად მოქმედების უზრუნველყოფა, მოქმედების პარამეტრების მნიშვნელობის პროგნოზირება და მათი შედარება რეალურთან, უკუკავშირის წარმოქმნა, მიზნის ან მართვის კორექტირება.

ნახ. 9–ზე მოცემულია ინტელექტუალური სისტემის სტრუქტურული სქემა, სადაც გამოყოფილია სისტემის ორი მსხვილი ძირითადი ბლოკი: მიზნის სინთეზი და მისი რეალიზაცია.

პირველ ბლოკში ინფორმაციის აქტიური შეფასების საფუძველზე, სისტემის მაჩვენებლებისაგან მიღებული მოტივირებული ცოდნით ხდება მიზნის სინთეზირება და მიიღება მოქმედების გადაწყვეტილება. ინფორმაციის აქტიური შეფასება ხორციელდება გამშვები სიგნალების ზემოქმედებით.

მეორე ბლოკში დინამიკური ექსპერტული სისტემა (დეს) მიმდინარე ცნობების საფუძველზე გარემომცველი სფეროს და საკუთრივ ინფორმაციული სისტემის მდგომარეობის შესახებ ახორციელებს ექსპერტულ შეფასებას, იღებს გადაწყვეტილებას მართვისთვის, ახდენს მოქმედების შედეგების პროგნოზირებას და გამოიმუშავებს მმართველს.

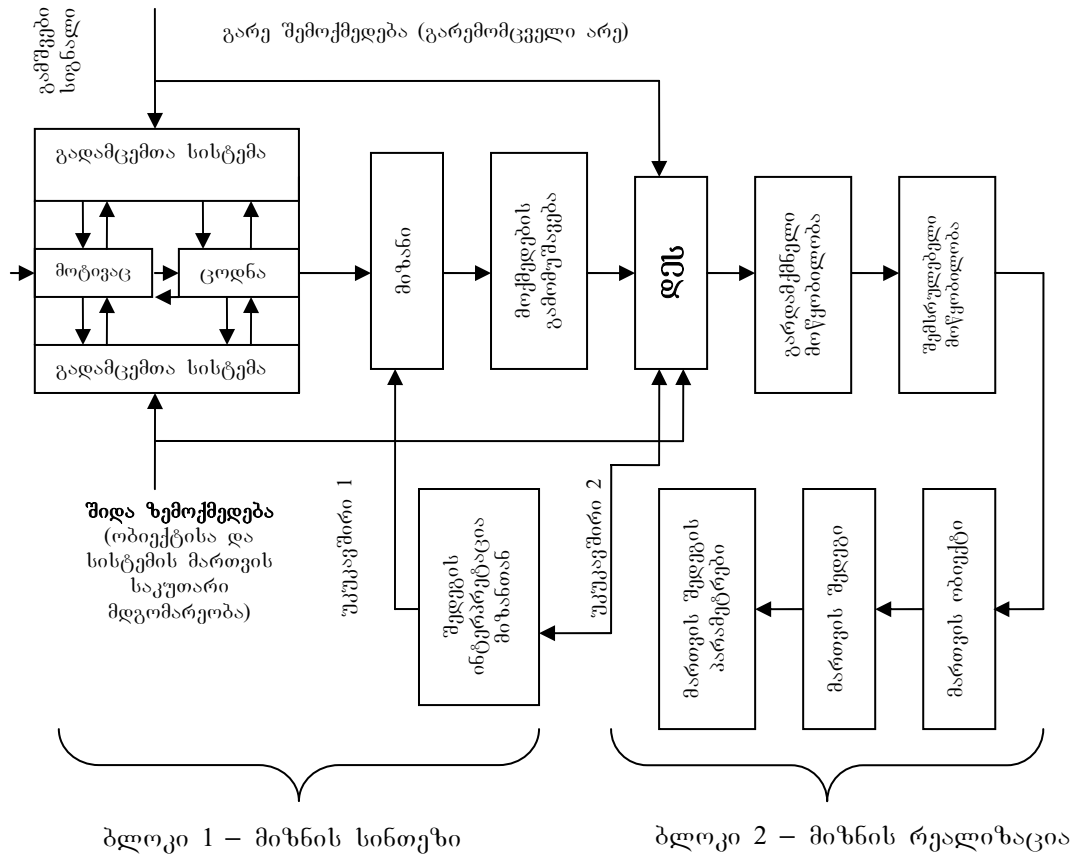
თუ მიზანი მიიღწევა ყველა პარამეტრებით, მაშინ მართვა ძლიერდება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ხდება მართვის კორექცია. როცა მიზანი მიუღწეველია, მაშინ მიზნის კორექტირება ხდება.

ინტელექტუალური სისტემის სტრუქტურა ახალი ელემენტებით შეიცავს ტრადიციულ ელემენტებსა და კავშირებს, მასში ცენტრალური ადგილი უკავია დინამიკურ ექსპერტულ სისტემას.

ინფორმაციული სისტემის დინამიკური თვისება შეიძლება იყოს აღწერილი მდგომარეობის სივრცეში. ინტელექტუალური ოპერატორები; აღქმის განმახორციელებელი; წარმოდგენის, აზრის ფორმირების, მსჯელობის და შეცნობის პროცესში დასკვნები წარმოადგენენ ცნობებისა და ცოდნის დამუშავების ფორმალურ საშუალებებს, აგრეთვე გადაწყვეტილების მიღებაც. ყველა ეს ასპექტები უნდა იყოს ჩადებული დეს აგების საფუძველში, რეალურ დროსა და სივრცეში ფუნქციონირებადი.

დინამიკური ექსპერტული სისტემა არის ზოგიერთი კომპლექსური განათლება, რომელსაც შეუძლია სისტემისა და არის მდგომარეობის შეფასება, შეადაროს სასურველი და რეალური პარამეტრების მოქმედების შედეგები, მიიღოს გადაწყვეტილება და გამოიმუშაოს მართვა მიზნის მისაღწევად. ამისათვის დეს უნდა ფლობდეს ცოდნის მარაგს და ჰქონდეს ამოცანების ამოხსნის მეთოდები. ექსპერტული სისტემისთვის გადაცემული ცოდნა შეიძლება დაყვით სამ კატეგორიად: კონცეპტუალური (გაგების დონეზე) ცოდნა - ეს არის ადამიანის მიერ სიტყვებით გადმოცემული ცოდნა, კონკრეტულად - სამეცნიერო-

ტექნიკური ტერმინებით და ამ ტერმინების უკან მდგარი ობიექტების კლასებითა და თვისებებით აღწერილი ცოდნა. მასში შედიან კავშირები, დამოკიდებულებები თავისებურებებსა და აზრს შორის.



ნახ №9 - ინფორმაციული სისტემის სტრუქტურული სქემა

ამასთან კავშირები აბსტრაქტულია და ასევე გამოსახულია სიტყვებითა და ტერმინებით. კონცეპტუალური ცოდნის სფეროა ძირითადად ფუნდამენტალური მეცნიერებები, იმის გავითვალისწინებით, რომ ცნება არის მატერიის - ტვინის უმაღლესი პროდუქტი.

აქტუალური, საგნობრივი ცოდნა - ეს არის ცნებების ერთობლიობა კონკრეტული ობიექტების ხარისხობრივ და რაოდენობრივ მახასიათებლებზე. ზუსტად ესეთი კატეგორიის ცოდნაზე იხმარება ტერმინები „ინფორმაცია“ და „მონაცემები“, თუმცა ამ ტერმინების ასეთი გამოყენება რამდენაღმე ამცირებს მათ მნიშვნელობას. ნებისმიერ

ცოდნას მოაქვს ინფორმაცია და ის შეიძლება წარმოვადგინოთ მონაცემების სახით. აქტუალური ცოდნა ისაა, რომელთანაც ყოველთვის ქონდა საქმე გამომთვლელ მანქანებს. მონაცემების დაგროვების თანამედროვე ფორმას უწოდებენ მონაცემთა ბაზებს. ალგორითმული, პროცედურული ცოდნა - ეს ის ცოდნაა, რასაც ეწოდება „უნარი“, „ტექნოლოგია“ და სხვა. გამომთვლელ სფეროში ალგორითმული ცოდნა რეალიზდება ალგორითმების პროგრამების და ქვეპროგრამების სახით. ალგორითმული ცოდნის ასეთ რეალიზაციას ეწოდება პროგრამული პროდუქტი. პროგრამული პროდუქტის უფრო გავრცელებული ფორმებია გამოყენებითი პროგრამული პაკეტები, პროგრამული სისტემები და სხვა ორიენტირებულები დეს-ის გამოყენების კონკრეტულ სფეროზე.

გამოყენებითი პროგრამული პაკეტების ორგანიზება და გამოყენება კონცეპტუალურ ცოდნაზეა დამყარებული.

გასაგებია, რომ კონცეპტუალური ცოდნა წარმოადგენს ცოდნის კატეგორიების უფრო მაღალ განმსაზღვრელს, თუმცა პრაქტიკიდან გამომდინარე, სხვა კატეგორიები შეიძლება მოგვეჩვენოს უფრო საჭიროდ.

ზუსტად ამიტომ, ალბათ, კონცეპტუალური ცოდნა იშვიათად განსახიერდება გამომთვლელ მანქანებში მისაწვდომი ფორმით დამუშავებისათვის. კონცეპტუალური ცოდნის მატარებლად, ხშირ შემთხვევაში, რჩება ადამიანი. ეს ამუხრუჭებს მრავალი პროცესების ავტომატიზაციას.

ინტელექტუალურ სისტემებში ერთერთი აქტუალური ამოცანაა ცოდნის ბაზების შექმნა და ფართო გამოყენება

ცოდნის ბაზის კონცეპტუალურ ნაწილს უწოდოთ საგნობრივი სფეროს მოდელი, ალგორითმულ ნაწილს - პროგრამული სისტემა, ხოლო ფაქტუალურ ნაწილს - მონაცემთა ბაზები.

დეს-ის შემდეგი ფუნქციაა ამოცანების ამოხსნა. ამოცანა მანქანის საშუალებით შეიძლება ამოიხსნას მხოლოდ მაშინ, როცა ის დასმულია ფორმალურად, როცა მისთვის დაწერილია ფორმალური სპეციფიკაცია, რომელიც უნდა ეფუძნებოდეს ზოგიერთ ცოდნის ბაზას. საგნობრივი სფეროს მოდული აღწერს საერთო მდგომარეობას, რომელშიც

წარმოიშვა ამოცანა, ხოლო სპეციფიკაცია – ამოცანის შინაარსია. ერთობლივად ისინი საშუალებას იძლევიან დავასკვნათ, როგორი აბსტრაქტული კავშირები და დამოკიდებულებები, რომელ შერჩევაში და როგორი თანმიმდევრობით უნდა იქნან გამოყენებულები ამოცანის ამოხსნისათვის.

გამოყენებითი პროგრამები წარმოადგენენ კონკრეტულ საშუალებებს, მათ შემდეგ მდგომი დამოკიდებულებებით, აგრეთვე შეიცავენ ალგორითმებს ამოხსნისათვის. მონაცემთა ბაზა შეიცავს ყველა საწყისს მონაცემებს ან მათ ნაწილს, რომელიც საჭიროა ალგორითმების შესასრულებლად, მოცემული მონაცემები უნდა იყოს სპეციფიკაციებში.

ცოდნის ბაზის ამ სამ ნაწილს შეესაბამება ამოცანის ამოხსნის სამი ეტაპი:

1. ამოხსნის აბსტრაქტული პროგრამების აგება;
2. ამოცანის ჩაწერა შესაბამის მანქანურ ენაზე;
3. გაშვება და პროგრამის შესრულება.

აბსტრაქტული პროგრამის აგება დაკავშირებულია წარმოდგენასა და დამუშავებაზე კონცეპტუალური ცოდნისა ხელოვნურ ინტელექტში და განსაზღვრით წარმოადგენს ხელოვნური ინტელექტის საკუთრებას.

ხელოვნური ინტელექტი ტექსტების დამუშავებას უკავშირებს ბუნებრივ ენაზე ზეპირ ცნობებს, ანალიზით და ინფორმაციის დამუშავებით.

დეს-ის ფუნქციებს წარმოადგენს აგრეთვე ამოცანის ამოხსნის შედეგების შეფასება, პარამეტრების მოქმედებების შემდგომი შედეგების ფორმირება, მართვაზე გადაწყვეტილების მიღება, მმართველის გამომუშავება და პარამეტრების სასურველი და რეალური შედეგების შერწყმა. აქ ხდება პროცესების მოდელირების გათვალისწინება შესაძლო შედეგების შეფასებისათვის და ამოცანის ამოხსნის კორექტურობისათვის.

აღვნიშნოთ, რომ რეალურ სიტუაციებში არსებობს შესასწავლი ობიექტის აღწერის პრობლემა. ასეთი აღწერა არ შეიძლება ჩაითვალოს ამოცანის სპეციფიკაციის ნაწილად, რადგანაც პირობითად ერთი ობიექტი შედგება, როგორც წესი, ბევრი ამოცანებისაგან, რაც ჩვეულებრივ უნდა გავითვალისწინოთ ცოდნის ბაზის ფორმირებისას.

გარდა ამისა, შეიძლება აღმოჩნდეს, რომ წამოჭრილი ამოცანა არ ამოიხსნას ბოლომდე ავტომატურად, მაგალითად, სპეციფიკაციისა ან ობიექტის აღწერის არასრულყოფილების გამო.

ამიტომ ხელოვნურ ინტელექტში მიზანშეწონილია განსაზღვრულ სტადიებზე დეს-ის ინტერაქტიური სამუშაო რეჟიმი.

უნდა გვახსოვდეს, რომ საგნობრივი სფეროს მოდული აღწერს საერთო მდგომარეობას (ცოდნას), ხოლო სპეციფიკაცია - ამოცანის შინაარსს. ძალიან საჭირო პრობლემებად ითვლება ერთიანი პროგრამული არის შექმნა და ალგორითმების სინთეზი.

მიზნიდან გამომდინარე დამოკიდებულებებს, რომლებიც დგანან ხელოვნური ინტელექტის წინ, ცოდნის ბაზა, ამოცანის ამოხსნის ალგორითმები, გადაწყვეტილების მიღება, მმართველის გამომუშავება შეიძლება ჰქონდეს სხვადასხვა წარმოდგენა, რომლებიც დამოკიდებულია ამოცანის ამოხსნის ხასიათზე. შესაბამისად, შეიძლება დეს-ის სამი ტიპის ნახვა. დეს-ის სტრუქტურის პირველი ტიპი ნაჩვენებია ნახ. 10-ზე.

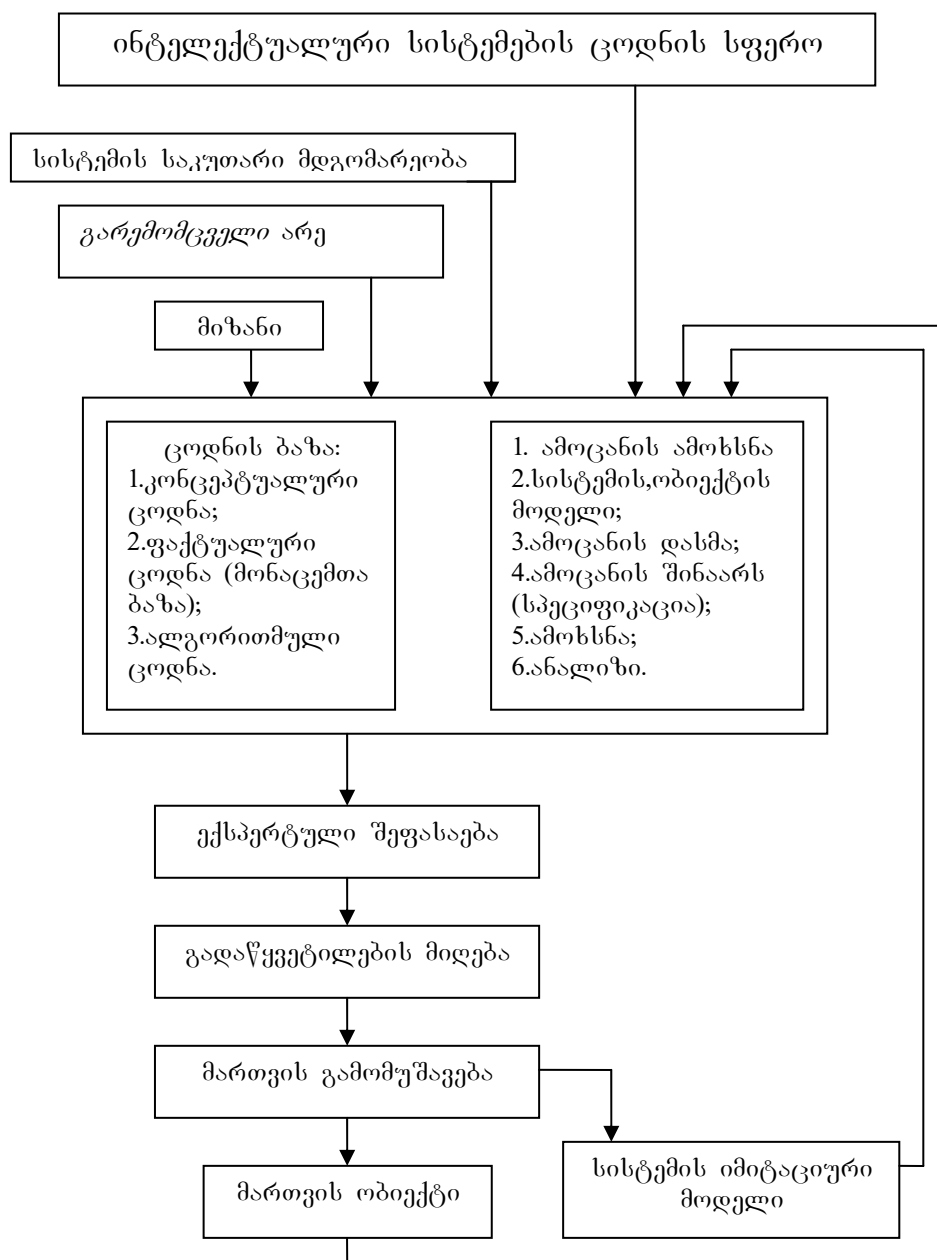
აქ იგულისხმება, რომ კონცეპტუალური და ფაქტიური ცოდნა ზუსტად ასახავენ პროცესებს და ცნობებს ზოგიერთი საგნობრივი სფეროს შესახებ. აქედან გამომდინარე ამ სფეროში წარმოქმნილი ამოცანის ამოხსნა მიღებული იქნება მკაცრი მათემატიკური მეთოდების საფუძველზე, ამოცანის დასმისა და სპეციფიკის შესაბამისად. გამოკვლევის შედეგები და პროგნოზი გამოიყენება ექსპერტული შეფასებისა და მართვის აუცილებლობის მიღებისათვის. შემდეგ ცოდნის ბაზაში არსებული შესაფერისი მართვის ალგორითმის საფუძველზე ფორმირდება მმართველი ზემოქმედება.

ამ ზემოქმედების ეფექტურობა და არაწინაარმდეგობრიობა, მანამ, სანამ ის შევა მართვის ობიექტზე, ფასდება იმიტაციური მათემატიკური მოდელის საფუძველზე. შეფასება უნდა შესრულდეს სწრაფად ხელოვნური ინტელექტის რეალურ პროცესებში.

თუმცა გადაწყვეტილების მიღების რეალიზების დეს-ი, წარმოადგენენ რთულ პროგრამულ კომპლექსს, დანიშნულია ავტომატურად გადაწყვეტილების მიღებისათვის ან იმ პირთა დასახმარებლად, რომლებიც იღებენ გადაწყვეტილებას, და რთული სისტემებისა და



პროცესების ოპერატიული ჩართვის დროს, როგორც წესი, მუშაობენ მკაცრად შეზღუდული დროის პირობებში.



ნახ. 10. პირველი ტიპის დეს-ის სტრუქტურა

პირველი ტიპის დეს-გან განსხვავებით, მეორე ტიპის დეს ძირითადად ორიენტირებულია რთულად ფორმალიზებადი ამოცანების გადაწყვეტაზე, სრული და სწორი ინფორმაციის გარეშე. აქ გამოიყენება ექსპერტული მოდელები, რომლებიც აგებულია ექსპერტების ცოდნის

საფუძველზე, მოცემული საგნობრივი სფეროს სპეციალისტებით და გადაწყვეტილების ძებნის ევრისტიკული მეთოდებით.

ერთ-ერთ ძირითადი პრობლემა მეორე ტიპის დეს-ის დაპროექტებისას არის გადაწყვეტილების მიღების პროცესების აღწერისათვის ფორმალური აპარატის არჩევა და მის საფუძველზე გადაწყვეტილების მიღების მოდულის აგება, ადეკვატური საპრობლემო სფეროსათვის (სემანტიკურად კორექტული). ასეთი აპარატის სახით იყენებენ პროდუქციულ სისტემებს.

რეალურად უნდა მოხდეს ორიენტირება პირველი და მეორე ტიპის დეს-ის გაერთიანება, საანგარიშო-ლოგიკურ მესამე ტიპის დეს-ში, სადაც ცოდნის ბაზა შეესაბამება ექსპერტების მიერ წარმოდგენილ ინფორმაციას, გამოსახულს მათემატიკური ფორმულებით.

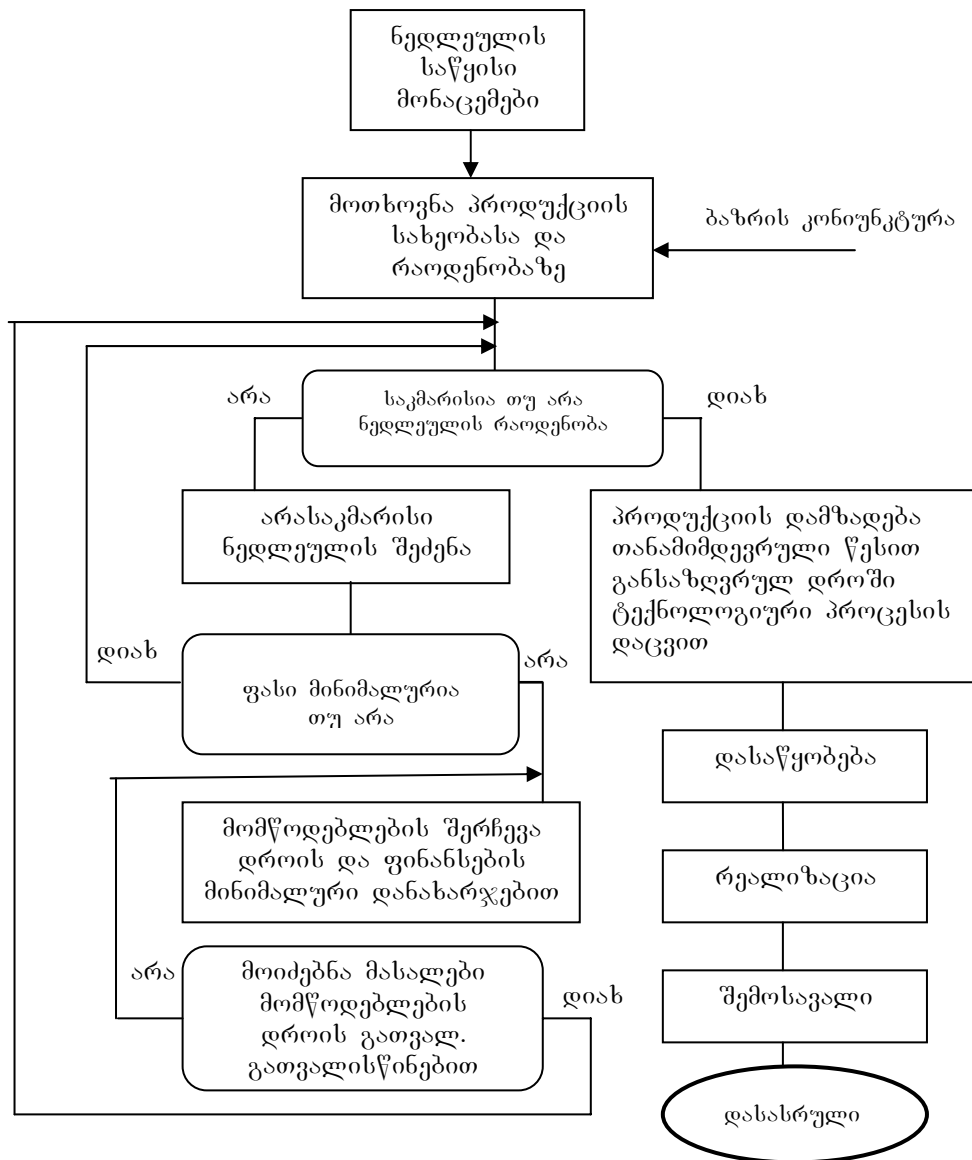
დეს-ის დამუშავებისას წარმოიქმნება შემდეგი პრობლემები:

- ცოდნის ბაზის შემადგენლობის განსაზღვრა და მისი ფორმირება;
- დამუშავება ახლის და გამოყენება ცნობილი თეორიების და მეთოდების ხელოვნური ინტელექტის ინფორმაციული პროცესების აღწერისათვის;
- ცოდნის წარმოდგენისა და გამოყენების ორგანიზაციის საშუალებების დამუშავება;
- ალგორითმებისა და პროგრამული უზრუნველყოფის დამუშავება პარალელურად და გამოყენება „დრეკადი ლოგიკის“;
- დეს-ის ფორმირებისას მოძებნა შესაბამისი გამომთვლელი არის, პარალელური ალგორითმების რეალიზაციისათვის.

ზემოთ ჩამოთვლილიდან გამომდინარე დეს-ბი უნდა ფლობდნენ დინამიკურ საპრობლემო სფეროსთან ადაპტაციის თვისებას, შესაძლებელი უნდა იყოს ახალი ელემენტების შეყვანისა და კავშირების სიტუაციის აღწერა, სტრატეგიისა და წესების შეცვლა, ობიექტების ფუნქციონირების პროცესში გადაწყვეტილების მიღება და მართვის გამომუშავება, სამუშაოების არასრული, არაზუსტი და წინააღმდეგობრივი ინფორმაციების მიღება და სხვა.

ნახ. 11-ზე მოცემულია წარმოების ტექნოლოგიური ტრაქტი.

დინამიკური ექსპერტული სისტემები ფუნქციონირებენ უკუკავშირის მქონე ხელოვნური ინტელექტის შემადგენლობაში, ამიტომ საჭიროა ასეთი ხელოვნური ინტელექტის მდგრადი მუშაობის უზრუნველყოფა.



ნახ. 11. წარმოების ტექნოლოგიური ტრაქტი

## თავი II. წარმოების მართვის მოდელები და ალბორითმები

### 2.1 წარმოების ეკონომიკური მოდელი

მიკროეკონომიკაში ეკონომიკური სუბიექტებია სამრეწველო, სამეურნეო, საეაჭრო, სამსენებლო, სატრანსპორტო, კავშირგაბმულობის, საყოფაცხოვრებო მომსახურების და ა.შ. ფირმები, საოჯახო მეურნეობები მათი ინტერესებითა და გარემოთი “ავტომატურად” ფორმირებადი ქცევებით, რომელთაც შეიძლება ვუწოდოთ “ეკონომიკური ავტომატიზმი”.

ეკონომიკური ავტომატიზმი დირექტიულად არამართვადია, იგი შეუძლია მართოს “უხილაგმა ხელმა” – გარემომ. გარემოს კი ქმნის არა მარტო ეკონომიკური სუბიექტების ეკონომიკურ-კომერციული ქცევები მეურნეობრიობის საბაზრო მექანიზმის გამოყენებით, არამედ ფუნქციების განაწილებით ხელისუფლებასა და საბაზრო მექანიზმს შორის.

ეკონომიკური ავტომატიზმი ნიშნავს იმას, რომ ეკონომიკური სუბიექტი, იქნება ის ერთეული ადამიანი (ინდივიდი), ადამიანთა ჯგუფი, საწარმოს კოლექტივი, ფირმა, სოციალური ჯგუფი, თუ მთელი ქვეყანა, ექვემდებარება ბუნებრივ გარემოში აღმოცენებულ პროცესებს და სიტუაციებს. მათში მაშინაღურად აღმოცენდება ინიციატივა და მოქმედებს ავტომატურად. სახელდობრ, ჩნდება მოთხოვნილება, იწყება აზროვნება მოცემულ გარემოში მოთხოვნილების დაკმაყოფილების გზის მისაგნებად. ხორციელდება ამ გზით მოძრაობა, რათა მიღწეულ იქნას ეს შედეგი ან მოსალოდნელზე მეტი, მაშინ ეკონომიკური სუბიექტი იმეორებს ამ გზით სიარულს (აუმჯობესებს ამ გზაზე მავალ მექანიზმს), ან თუ სასურველი შედეგი ვერ იქნა მიღწეული დაეძებს ახალ გზას, რაც ხდება გარედან სხვისი დირექტიული ჩარევის გარეშე. მას გააჩნია სოციალურად სამართლიანი სამმართველო გადაწყვეტილებათა მიღებისა და განხორციელების თავისუფლება.

გარემოს (გარემომცველი არის) ზემოქმედებით ამგვარი ცნობიერების მაშინაღურად თვითმართვადი იმპულსებით გამოწვეულ ქცევების

სისტემას, რომელიც წარმოქმნის თვითაღმორცენებად ინიციატივას, შეგვიძლია ვუწოდოთ ეკონომიკური ავტომატიზმი.

ეკონომიკურ ავტომატიზმში მუდგანდება ეკონომიკური სუბიექტის მიმანიშნებელი ქცევის მექანიზმი. მაგალითად, საკმარისია მოშივდეს ეკონომიკურ სუბიექტს (აღამიანს), რომ იგი იწყებს აზროვნებას, თუ რა გზას დაადგეს, რომ მოიპოვოს საკვები. ანალოგიურად დგას საკითხი მაშინაც, როდესაც გარემო მიუთითებს ბიზნესის კეთების რაიმე შესაძლებლობებზე. აქ უკვე იბადება სურვილი, რომ მან მოკიდოს ხელი ამ საქმეს. ეს სურვილი თავის მხრივ წარმოშობს იმპულსს, რათა მიაგნოს იმ გზას, რომელიც მას მოუტანს სასურველ შედეგს, დიდ შემოსავალს, მაქსიმალურ მოგებას. ყოველივე ამას იგი აკეთებს მასზე გარედან სამმართველო ზემოქმედების დირექტიული წესით განხორციელების გარეშე, ე.ი. საკუთარი ინიციატივით. ამ ინიციატივას მისამართს აძლევს (სტრატეგიულ ორიენტაციას იწვევს) გარემო, რომელშიც მას უხდება საქმიანობა. ვინც ან რაც აყალიბებს ამ გარემოს, იგი უხილავი ხელით, არა დირექტიულად (ინდიკატურად) მართავს მას.

ამრიგად, მიკროეკონომიკა, როგორც რეალურად არსებული ობიექტი, წარმოადგენს მაკროეკონომიკური სუბიექტების მიერ ეკონომიკური დოვლათის მოპოვებისათვის საკუთარ ეკონომიკურ გადაწყვეტილებათა მიღებით თავისივე ქცევების მართვას და ერთმანეთს შორის ჰორიზონტალურ გადაჭდობის ეკონომიკური ავტომატიზმის მეშვეობით. მაკროეკონომიკა ყალიბდება ეკონომიკური “ატომებისაგან”. ამგვარს წარმოადგენენ ძირეული ეკონომიკური სუბიექტები. ისინი წარმოდგენილი არიან ამ სუბიექტების გროვად კი არა, არამედ ერთიან არეალში გარემოთი დაკვალიანებულ ჰორიზონტალურ და დარგობრივად ვერტიკალურ სათავსოში მოთავსებულ ერთიანობად.

მაკროეკონომიკური ჰორიზონტალური კავშირებისათვის ფირმა საერთოდ და, კერძოდ, სამრეწველო ფირმა წარმოადგენს “შავ ყუთს” (ნახ. 12.).

“შავი ყუთი” ნიშნავს ისეთ სისტემას, რომლითაც შეისწავლება ამ სისტემაში შესასვლელ რესურსებზე ზემოქმედებათა დაპირისპირება მისი გამოსავლის რეაგირებასთან ისე, რომ აქ ეს ხორციელდება

შიდასაწარმოო პროცესების და პროცედურების მსვლელობის შინაგანი ანალიზი და მართვა იმის მიერ, ვისთვისაც იგი “შავი ყუთია”.

იგი “შავი ყუთია” ჰორიზონტალურ კავშირებში მონაწილეობისათვის ისევე, როგორც დაგროვილი ვერტიკალური ინდიკატორი მართვისათვის. იგი “შავი ყუთია” მათთვისაც, ვინც ჰორიზონტალურ კავშირშია მოცემულ ფირმასთან. ეს იმიტომ, რომ ყოველ ფირმას აქვს უფლება გაასაიდუმლოს თავისი კომერციული შიდასაფირმო მანევრები [25].

ნახ. 8 – დან ჩანს, რომ “შავი ყუთის” (ფირმის) საწარმოო სისტემაში გამსხვილებულ შესაყვან ფაქტორთან (ეგზოგენურ ფაქტორად) წარმოდგენილია კაპიტალი (ძირითადი კაპიტალი), შრომა (სამუშაო ძალა) და მატერიალურ-ენერგეტიკული რესურსები. აქ წყდება საკითხი თუ როგორი თანაფარდობაა განსაზღვრულ კაპიტალსა და შრომას შორის საწარმოო ფუნქციის განაწილებისას. თავიდან მათ გააჩნიათ ურთიერთშენაცვლების უნარი. ამ თანაფარდობის რაციონალურობა მოითხოვს, რომ იგი იწვევდეს საერთო ხარჯების შემცირებას (იმის მიხედვით, გაიაფდა კაპიტალი თუ შრომა ან რომელი მათგანი გაძვირდა). გარდა ამისა, აქ არსებითი მნიშვნელობა ენიჭება, თუ საიდან და ტრანსპორტის რომელი სახეობით, ან ურთიერთშემცვლელი ნედლეულით და ენერჯით, რომელ მათგანს მიენიჭება უპირატესობა, რომ განხორციელდეს მათი დანახარჯების მინიმიზაცია.

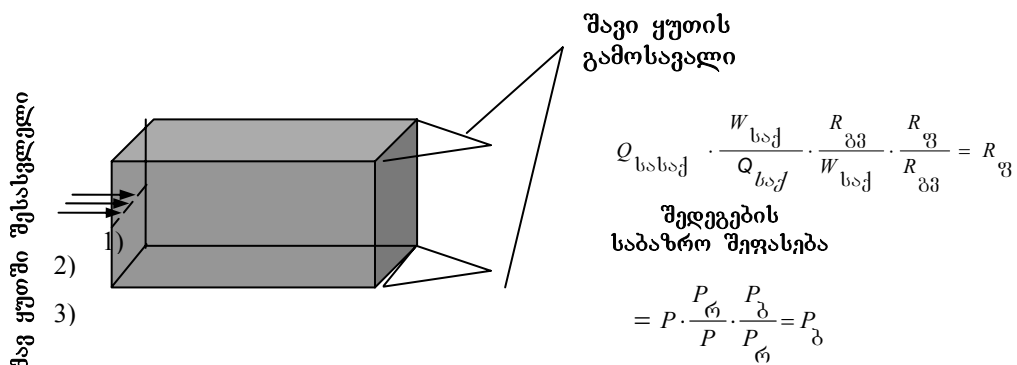
ამგვარი საკითხები უნდა გამოიკვლიოს მიკროანალიზმა. სახელდობრ:

1. ფუნქციონალურმა ანალიზმა. ამ დროს გამოიყოფა საინტერესო ნიშანთვისება (მიზანი), რომელიც უნდა გადაწყდეს ანალიზის შედეგების მიხედვით. მაგ. მიზანი – საერთო ხარჯების შემცირება. მიღწევის საშუალება – წარმოებაში შესაყვანი ფაქტორების იმ თანაფარდობის განსაზღვრა, რომელიც გამოიწვევს წარმოებაზე დანახარჯების მინიმიზაციას საერთოდ, იმ შეფასებათა მიხედვით, რომელსაც განსაზღვრავს რესურსების ბაზრის კონიუნქტურა;
2. ზღვრულმა ანალიზმა უნდა გამოიკვლიოს მომდევნო ეკონომიკური ოპერაციის არა მარტო საერთო დანახარჯები, არამედ ის დამატებითი (ზღვრული) სარგებლიანობა და

დამატებითი (ზღვრული) ხარჯები, რომლებიც ექვემდებარებიან საბაზრო შეფასებებით კორექტირებას;

3. შეწონასწორებითი მიდგომა მიკროანალიზის ერთ-ერთი არსებითი მახასიათებელია, რომელიც გამოიყენება მუდმივად მოძრაობაში მყოფი ეკონომიკური მოვლენების პროცესების გამოკვლევაში, სადაც მათავარია მოვლენათა დინამიკის განსაზღვრაში შესადარისობის დაცვა ინდექსური ანალიზის მეთოდოლოგიის გამოყენებით.

### შავი ყუთი



წარმოებაში შესაყვანი გამსხვილებული ფაქტორები

ნახ. №12. შავი ყუთი

1. კაპიტალი;
2. შრომა;
3. მატერიალურ-ენერგეტიკული რესურსები.

ნახ. №8 – დან ჩანს, რომ იგი არ წარმოადგენს შიდა საწარმოო მართვის გამჭვირვალე სისტემას. აქ არ ჩანს, თუ რა ხდება, რა პროცესები, ოპერაციები ხორციელდება და რომელი პროცედურები სრულდება ფირმაში, განსაკუთრებით მის საწარმოო სისტემაში. აქ ჩანს მხოლოდ ის, თუ რა შეჰყავთ “შავი ყუთში”, რა გამოდის “შავი ყუთიდან”, როგორ მყარდება კავშირი შეყვანილ გამსხვილებულ ფაქტორებსა და “შავი ყუთიდან” გამოსავალს შორის. ამ კავშირის მიკროეკონომიკა განიხილავს “არგუმენტი ფუნქციის” ჭრილით და არა

შიგასაწარმოო პროცეს-ოპერაციების მართვით და უშუალოდ გადადიან საბაზრო შეფასებით კორექტირებულ ეკონომიკურ შედეგებზე ( $R_{\text{გ}}$  და  $P_{\text{გ}}$ ).

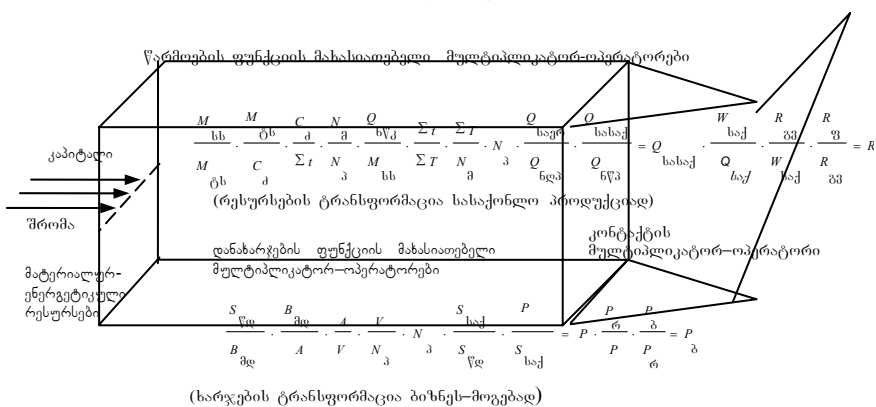
<p>1. <math>Q_{\text{სააქ}}</math> – საწარმოს ფუნქციის შედეგი ე.ი.სასაქონლო პროდუქციის შესადარ ფასებში;</p> <p>2. <math>P</math> – დანახარჯების ფუნქციის შედეგი, ხარჯების წარმოებრივი ტრანსფორმაცია მოგებად;</p> <p>3. <math>R_{\text{გ}}</math> – პროდუქციის რელიზაციის (გაყიდვა) ფაქტიური მოცულობა;</p> <p>4. <math>P_{\text{გ}}</math> – ბიზნეს მოგება;</p> <p>5. <math>W_{\text{საქ}}</math> – საქონლის პროდუქცია მიმდინარე საბაზრო ფასებში;</p>	<p>6. <math>R_{\text{გგ}}</math> – პროდუქციის რელიზაციის მოცულობის გეგმა-ვარაუდი;</p> <p>7. <math>P_{\text{გ}}</math> – პროდუქციის რელიზაციიდან მიღებული მოგება;</p> <p>8. <math>\frac{W_{\text{საქ}}}{Q_{\text{საქ}}}</math> – ფასების ინდექსი</p> <p>9. <math>\frac{R_{\text{გგ}}}{W_{\text{საქ}}}</math> – პროდუქციის რელიზაციის (გაყიდვათა) მოცულობის სასაქონლო პროდუქციიდან;</p>	<p>10. <math>\frac{R_{\text{გ}}}{R_{\text{გგ}}}</math> – პროდუქციის ფაქტიური რელიზაციის გადახრა რელიზაციის გეგმა-ვარაუდიდან;</p> <p>11. <math>\frac{P_{\text{გ}}}{P}</math> – პროდუქციის რელიზაციიდან მიღებული მოგების გამოსავლიანობა წარმოებული მოგებიდან;</p> <p>12. <math>\frac{P_{\text{გ}}}{P_{\text{გგ}}}</math> – ბიზნეს-მოგების გამოსავლიანობა რელიზაციიდან მიღებული მოგებიდან;</p>
--	---	---

სამრეწველო ფირმისათვის, ამ ფირმის მეწარმესათვის, მენეჯერისათვის, სხვებისათვის ეს “შავი ყუთი” უკვე გამჭვირვალე “თეთრი ყუთია”. ეს ყუთი წარმოადგენს ისეთ სისტემას, სადაც ჩანს “ყუთის” შიგა არეალი. აქ შეგვიძლია ამოვიკითხოთ, თუ რა რეაგირებას ახდენს ფირმის საწარმოო სისტემის ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები მასში მიმდინარე პროცესებით და პროცედურებით შესავალზე ზემოქმედი ეგზოგენურ (შეყვანითი კაპიტალის, შრომის და მატერიალურ-ენერგეტიკული რესურსების) ფაქტორთა ცვლილებებზე და როგორ ხორციელდება შიგასაწარმოო მართვის პროცესი (ნახ. 13).



## თეთრი ყუთი

წარმოების შედეგები პროდუქციის გასაღებასთან



ნახ. 13. თეთრი ყუთი

### წარმოების მულტიპლიკატორ-ოპერატორები

<p>1. <math>M_{ტს}</math> –ტექნიკური სიმძლავრე;</p> <p>2. <math>M_{სს}</math> –საწარმოო სიმძლავრე;</p> <p>3. <math>\frac{M}{ტს}</math> –საწარმოო სიმძლავრის ტექნიკურ სიმძლავრეზე განფენის პოტენცია;</p> <p>4. <math>C_d</math> –ძირითადი კაპიტალი;</p> <p>5. <math>\frac{M}{ტს} \cdot \frac{C_d}{C_d}</math> –ძირითადი კაპიტალის უკუგების პოტენცია ტექნიკური სიმძლავრის მიხედვით;</p> <p>6. <math>\sum t</math> –შრომითი ერთეულები კაც-საათში;</p> <p>7. <math>\frac{C_d}{\sum t}</math> –შრომის კაპიტალშეიარაღება;</p> <p>8. <math>N_a</math> –მუშათა საშუალო სიობრივი რიცხობრიობა;</p> <p>9. <math>N_3</math> –სამრეწველო საწარმოო პერსონალის საშუალო სიობრივი რიცხობრიობა;</p> <p>10. <math>\frac{N_a}{N_3}</math> –სამრეწველო საწარმოო პერსონალი სტრუქტურა მუშათა ხვედრითი წილის მიხედვით;</p>	<p>11. <math>\frac{Q}{წვკ}</math> –პროდუქციის საერთო გამოშვება წმინდა პროდუქციის ნორმატივებში (წმინდა პროდუქცია);</p> <p>12. <math>\frac{Q}{წვკ} \cdot \frac{M}{სს}</math> –საწარმოო სიმძლავრის გამოყენების კოეფიციენტი;</p> <p>13. <math>\sum T</math> –ნამუშევარ კაც-დღეთა რაოდენობა;</p> <p>14. <math>\frac{\sum t}{\sum T}</math> –სამუშაო დღეთა საშუალო ხანგრძლივობა;</p> <p>15. <math>\frac{\sum T}{N_a}</math> –სამუშაო დღეებით მუშის საშუალო დატვირთვა პროდუქციის საშუალო გამომუშავება შესაძარ ფასებში (საერთო პროდუქცია);</p> <p>16. <math>\frac{Q}{საერ}</math> –პროდუქციის საშუალო გამოშვება შესაძარ ფასებში (საერთო პროდუქცია);</p> <p>17. <math>\frac{Q}{წდკ}</math> –პროდუქციის საერთო გამოშვების მასალატევალობა;</p> <p>18. <math>\frac{Q}{სსსაქ}</math> –სასაქონლო პროდუქცია შესაძარ ფასებში;</p>	<p>19. <math>\frac{Q}{სსსაქ} \cdot \frac{Q}{საერთ}</math> –სასაქონლო პროდუქციის გამოსავლიანობა პროდუქციის საელო გამოშვებიდან;</p> <p>20. <math>W_{სსსაქ}</math> –სასაქონლო პროდუქცია მიმდინარე საბაზრო ფასებში;</p> <p>21. <math>\frac{W_{სსსაქ}}{Q_{სსსაქ}}</math> –ფასების ინდექსი სასაქონლო პროდუქციაზე;</p> <p>22. <math>R_{ბმ}</math> –პროდუქციის რეალიზაციის (გაყიდვათა) მოცულობის გეგმური ვარაუდი;</p> <p>23. <math>\frac{R_{ბმ}}{W_{სსსაქ}}</math> –სასაქონლო პროდუქციიდან პროდუქციის გამოსავლიანობის გეგმური ვარაუდი;</p> <p>24. <math>R_{ფ}</math> –პროდუქციის რეალიზაციის (გაყიდვების) ფაქტიური მოცულობა</p> <p>25. <math>\frac{R_{ფ}}{R_{ბმ}}</math> –საბაზრო შეფასებათა მიხედვით პროდუქციის გაყიდვათა ფაქტიური მოცულობის გამოსავლიანობა გეგმიური ვარაუდიდან;</p>
--	---	---

## დანახარჯების მულტიპლიკატორ-ოპერატორები

<p>1. <math>\frac{S}{V_{\text{მდ}}}</math> –წარმოებაზე დანახარჯები;</p> <p>2. <math>\frac{B}{\text{მდ}}</math> –მატერიალური დანახარჯები;</p> <p>3. <math>\frac{S}{\frac{B}{\text{მდ}}}</math> –წარმოებაზე დანახარჯების განფენა მატერიალურ დანახარჯებზე (ხვედრითი წონის შებრუნება);</p> <p>4. <math>A</math> –ამორტიზაციის ანარიცხები, როგორც ეკონომიკური ელემენტები;</p> <p>5. <math>\frac{B}{\frac{\text{მდ}}{A}}</math> –მატერიალური დანახარჯების განფენა ამორტიზაციის ანარიცხებზე;</p> <p>6. <math>V</math> –ხელფასი, როგორც ეკონომიკური ელემენტი;</p>	<p>7. <math>\frac{A}{V}</math> –ამორტიზაციის ანარიცხების განფენა ხელფასზე;</p> <p>8. <math>\frac{N}{3}</math> –მუშაკთა რიცხოვნობა, როგორც მხარჯავი ოპერატორები;</p> <p>9. <math>\frac{V}{\frac{N}{3}}</math> –მხარჯავ ოპერატორზე ხელფასის განფენა;</p> <p>10. <math>\frac{S}{S_{\text{საქ}}}</math> –მთელი სასაქონლო პროდუქციის თვითღირებულება;</p> <p>11. <math>\frac{S_{\text{საქ}}}{\frac{S}{V_{\text{მდ}}}}</math> –მთელი სასაქონლო პროდუქციის თვითღირებულების წილი წარმოებაზე დანახარჯებში;</p>	<p>12. <math>P</math> –წარმოების მოგება;</p> <p>13. <math>\frac{P}{S_{\text{საქ}}}</math> –სასაქონლო პროდუქციის რენტაბელობა;</p> <p>14. <math>\frac{P}{r}</math> –მოგება რეალიზაციიდან;</p> <p>15. <math>\frac{P}{P}</math> –რეალიზაციიდან მოგების გამოსავლიანობა წარმოებული მოგებიდან;</p> <p>16. <math>\frac{P}{\delta}</math> –ბიზნეს-მოგება;</p> <p>17. <math>\frac{P}{\frac{\delta}{P}}</math> –ბიზნეს-მოგების გამოსავლიანობა რეალიზაციით მიღებული მოგებიდან.</p>
---	--	--

მართლაც აქ უკვე ჩანს, როგორც რესურსების ტრანსფორმაცია სასაქონლო პროდუქციად, ასევე ხარჯების ტრანსფორმაცია ბიზნეს-მოგებად. მაგრამ იმისათვის, რომ შესაძლებელი გახდეს ამ ტრანსფორმაციათა მართვა წარმოების საბოლოო შედეგის მისაღებად ( $Q_{\text{საქ}}$  და  $P$ ) ორგანიზებულობის უმაღლეს დონეზე, საჭიროა ამ პროცესების წარმოდგენა საწარმოო სისტემის იმგვარ ტექნიკურ-ეკონომიკურ მახასიათებელთა ჭრილით, რომელიც გაშიფრავს მულტიპლიკატორ-ოპერატორებს წარმოების და ხარჯების ფუნქციათა განხორციელებაში.

ამას მოითხოვს ის, რომ თუ აქ გენეტიკურად არის დასაბუთებული თანმიმდევრობა, მაშინ შესაძლებელი ხდება გავზომოთ და ვმართოთ საწარმოო სისტემა ორგანიზებულობის უმაღლეს გენეტიკურ დონეზე, სათანადო მანევრითაც კი.

## 2.2. კალენდარული დაგეგმვის ქსელური მეთოდები

პროგრამა განსაზღვრავს ურთიერთდაკავშირებული ოპერაციების ერთობლიობას, რომლებიც აუცილებელია შესრულდეს გარკვეული თანმიმდევრობით, რათა მივაღწიოთ პროგრამაში დასმულ მიზანს. ოპერაციები ლოგიკურად ისეა დალაგებული, რომ ზოგიერთი მათგანი არ დაიწყება მანამ, სანამ სხვები არ იქნება დასრულებული. პროგრამის ოპერაცია ჩვეულებრივ განიხილება როგორც სამუშაო, რომლის შესასრულებლად მოითხოვება დროისა და რესურსების ხარჯვა. როგორც წესი ოპერაციის ერთობლიობა არ მეორდება.

დაგეგმვის ქსელური მეთოდების გამოჩენამდე, პროგრამის დაგეგმვა ხორციელდებოდა მცირე მოცულობით.

პროგრამების ქსელური დაგეგმვა და მართვა შეიცავს სამ ძირითად ეტაპს: სტრუქტურული დაგეგმვა, კალენდარული დაგეგმვა და ოპერატიული მართვა.

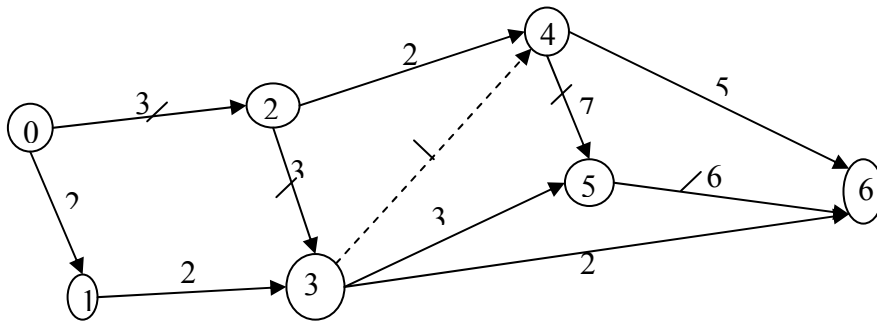
სტრუქტურული დაგეგმვის ეტაპი იწყება პროგრამების ზუსტად განსაზღვრული ოპერაციებად დაყოფით. შემდგომ განისაზღვრება ოპერაციის ხანგრძლივობის შეფასება და იგება ქსელური მოდელი(ქსელური გრაფიკი, ისროვანი დიაგრამა), ყოველი წიბო(ისარი), რომელიც წარმოადგენს სამუშაოს. მთლიანად ქსელური მოდელი წარმოადგენს პროგრამების, ოპერაციების ურთიერთკავშირის გრაფიკულ წარმოდგენას.

ქსელური მოდელი გამოსახავს ოპერაციებსა და მათი შესრულების თანმიმდევრობას შორის დამოკიდებულებას. მოვლენა განისაზღვრება როგორც დროის მომენტი, როდესაც მთავრდება ერთი ოპერაცია და იწყება სხვა. ნებისმიერი ოპერაციის საწყისი და საბოლოო წერტილები აღინიშნება, , მოვლენის სახით, რომელთაც უწოდებენ ჩვეულებრივ საწყის და საბოლოო მოვლენას. ყოველი ოპერაცია ქსელში წარმოიდგინება ერთი წიბოთი (ისრით). მოვლენის არც ერთი წყვილი არ უნდა განისაზღვროს ერთი და იგივე საწყისი და საბოლოო მოვლენით.

ქსელური დაგეგმვისა და მართვის აგებისათვის გამოიყენება შემდეგი ფორმულები:

$$\begin{aligned}
T_i(E) &= 0 \text{ თუ } i=0; \\
T_j(E) &= \max(T_i(E) + d(i, j)), \quad i < j; \\
T_i(L) &= T_i(E) \text{ თუ } i=n; \\
T_i(L) &= \min(T_j(L) - d(i, j)), \quad i < j; \\
R_i &= T_i(L) - T_i(E) - d(i, j); \\
FF_{ij} &= T_j(E) - T_i(E) - d(i, j).
\end{aligned}
\tag{1}$$

სადაც  $d(i, j)$  არის სამუშაოს ხანგრძლივობა,  $T_i(E)$  ადრეული ვადაა ყველა ოპერაციის დაწყების,  $i$ -ური მოვლენებიდან გამომდინარე.



ნახ. 14. კრიტიკული გზის განსაზღვრის ქსელური მოდელი

$T_i(L)$  – გვიანი ვადაა ყველა მოვლენის დასრულების  $i$ -ურში შემავალი.  
 $R_i$  – თავისუფალი დროის რეზერვი  $i$ -ური მოვლენის. თუ  $R_i=0$ , მაშინ მოვლენის შესრულება არ შეიძლება შეყოვნდეს, რადგან ის კრიტიკულ გზაზე ძეგს.  $R_{ij}$  – სამუშაო დროის სრული რეზერვი  $ij$ , განსაზღვრავს, თუ რამდენად შეიძლება შეყოვნდეს მოცემული სამუშაოს შესრულება.  $R_{ij}=0$  – სამუშაო კრიტიკულ გზაზე ძეგს და ამიტომ არ შეიძლება მისი შეყოვნება.  $FF_{ij}$  – ოპერაციის დროის თავისუფალი რეზერვი  $i-j$ -ური, განსაზღვრება ვარაუდით, რომ ყველა ოპერაციები ქსელში იწყება ადრეულ ვადაში.

ზემოთ ჩამოთვლილი ფორმულების გამოყენებით, კრიტიკული გზა მდებარეობს 0-2-3-4-7-6. ნახაზზე წარმოდგენილია ქსელური მოდელი. ციფრი ისარზე უჩვენებს ოპერაციის ხანგრძლივობას.

წყვეტილი ხაზით ნაჩვენები ისარი განსაზღვრავს ფიქტიურ ოპერაციას 3-4, ხოლო გადახაზული ისრები – კრიტიკულ გზას.

ქსელური გრაფიკის პარამეტრების გათვლის საწყის წარმოდგენს ოპტიმიზებული გრაფიკის ცალკეული სამუშაოს ხანგრძლივობის შეფასებას.

სამუშაოს ხანგრძლივობა განსაზღვრულ დიაპაზონში  $t_{\min} - t_{\max}$ , სადაც  $t_{\min}$  – სამუშაოს შესრულების ხელსაყრელი პირობების და ვითარების ხანგრძლივობაა, დღეები (კვირები);  $t_{\max}$  – აგრეთვე არახელსაყრელ პირობებსა და ვითარებაში, დღეები (კვირები).

ამ საწყისი მონაცემებით გამოითვლება მოსალოდნელი ხანგრძლივობა  $t_g = (3t_{\min} + 2t_{\max}) / 5$  და მონიშნება გრაფიკში ისარზე, რომელიც აღინიშნავს მოცემულ სამუშაოს.

დაგეგმვას მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია წარმოების მართვის ეს-ში შემავალ ამოცანებს შორის.

წარმოების კალენდარული გეგმის და გრაფიკის შედგენა აუცილებელი პირობაა ორგანიზაციის გამართული მუშაობისათვის, ხოლო ქსელური მოდელები უზრუნველყოფენ ყველაზე უკეთ გამოსახონ ობიექტი და განახორციელონ მეცნიერულად დასაბუთებული წარმოების კალენდარული დაგეგმვა, განსაზღვროს და ამოხსნას მრავალი პრობლემური სიტუაცია, წარმოშობილი წარმოების პროცესის დროს.

ქსელური მოდელი ეს არის ურთიერთდაკავშირებული სამუშაოების კომპლექსი, როგორც წესი შეიცავს ორიენტირებულ გრაფს და რიგ მახასიათებლებს: დრო, ღირებულება, რესურსები და სხვა დამოკიდებულს ცალკეულ სამუშაოებზე და მთლიანად კომპლექსზე.

ცნობილია ქსელის წარმოდგენის სხვადასხვა ფორმები. ყველაზე მეტად გავრცელება ჰპოვა გრაფიკულმა წარმოდგენამ, რომელსაც ქსელის გრაფიკს ეძახიან [25].

ქსელური მოდელები შეიძლება ორიენტირებული იყოს მოვლენაზე და სამუშაოზე.

მოვლენებზე ორიენტირებული მოდელები შედარებით იშვიათად გამოიყენება. სამუშაოზე ორიენტირებულმა მოდელებმა მიიღეს უფრო მეტი გავრცელება წარმოების პრაქტიკაში. სამუშაოს ხასიათის

მიხედვით განასხვავებენ დროით, ღირებულებით და რესურსულ მოდლებს. პირველი მათგანია სამუშაოს ხანგრძლივობა, რომელიც შეიძლება მოცემული იყოს მხოლოდ მისი შესრულების დასაშვები მუდმივი სიჩქარით. სამუშაოს ხანგრძლივობა შეიძლება იყოს როგორც განსაზღვრული (დეტერმინირებული), ასევე შემთხვევითი სიდიდე. სამუშაოს ღირებულება დამოკიდებულია ხანგრძლივობასა და მისი შესრულების პირობებზე. მოცემული დამოკიდებულების აღწერის ფუნქცია, ე.წ. ფუნქცია „დრო – ღირებულება“, შეიძლება განისაზღვროს მოცემული სამუშაოს სხვადასხვა შესრულების ვარიანტების ანალიზით, ან სტატისტიკური მონაცემების შეგროვებისა და დამუშავების შედეგით. რესურსულ მახასიათებლებად ამა თუ იმ სამუშაოსათვის საჭირო სხვადასხვა რესურსებზე მოთხოვნის შეტყობინება იგულისხმება. ამასთან განასხვავებენ რესურსული მახასიათებლების ორ ძირითად ტიპს.

პირველი მათგანი არის დასაწყობებული (არაგანახლებადი) მასალები, რომლებიც სამუშაოს შესრულების პროცესში იხარჯება და შეიძლება გამოყენებული იქნენ შემდგომში.

მეორე ტიპი რესურსებისა არის არადასაწყობებული (განახლებადი): ხალხი, მანქანები და ა.შ. სამუშაოს შესრულების პროცესში არ ხდება ამ რესურსების გახარჯვა და არც დასაწყობება. მოთხოვნა ესეთი სახის რესურსებზე ჩვეულებრივ ხასიათდება მისი გამოყენების ინტენსივობით და შესაბამისი გრაფიკით გამოისახება. აღსანიშნავია, რომ ნებისმიერი ორი სამუშაო შეიძლება ერთმანეთთან დაკავშირებული იყოს წინა პირობით, რომ ერთ-ერთი მათგანი სრულდებოდეს მხოლოდ ერთის დასრულების შემდეგ, ან გამორიცხული იყოს ესეთი კავშირი.

ქსელურ მოდელში სამუშაოზე ორიენტირებული მოვლენა ნიშნავს, პირველ რიგში პირობების ერთობლიობას, რომლებიც ნებას რთავენ დაიწყოს მოცემული ერთი ან რამდენიმე მოვლენიდან გამომდინარე სამუშაო კომპლექსი, მეორე რიგში, მოხდეს მასში შემავალი ერთი ან რამდენიმე სამუშაოს დასრულება.

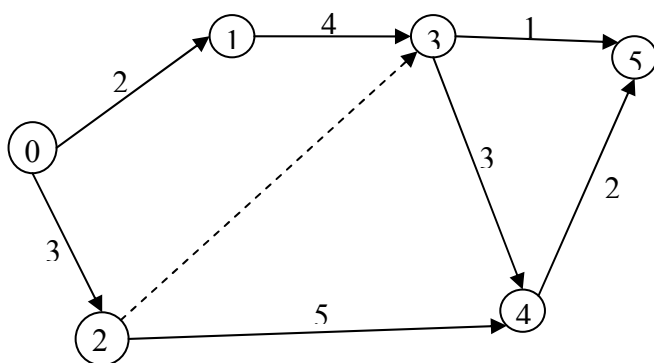
უფრო მეტად გავრცელებულ სამუშაოზე ორიენტირებულ ქსელურ მოდელში, გარდა შუალედურისა, გამოყოფენ საწყის და საბოლოო მოვლენებს, რომლის შემდგომ არ სრულდება არანაირი სამუშაო.

დამამთავრებელი მოვლენები ერთდროულად წარმოადგენს მიზნობრივსაც.

უნდა აღინიშნოს, რომ გარდა საწყისი, დამამთავრებელი და მიზნობრივი მოვლენების კომპლექსისა, ხშირად გამოყოფენ კიდევ საკონტროლო მოვლენებს, რომლებიც წარმოადგენენ მოცემული წარმოების მართვის ინტერესს.

თუ სამუშაოს შეესაბამება ორიენტირებული გრაფის მწვერვალები, ხოლო რკალი აფიქსირებს წინა პირობებს სამუშაოებს შორის, მაშინ ფორმირდება ქსელი „სამუშაოები – მწვერვალები“.

წინააღმდეგ შემთხვევაში, როცა სამუშაოებს შეესაბამება ქსელის რკალები, ხოლო მწვერვალები კი - განსაზღვრულ მოვლენებს, საუბრობენ „სამუშაოები-რკალები“ ქსელის გამოყენებაზე (ნახ. 10)

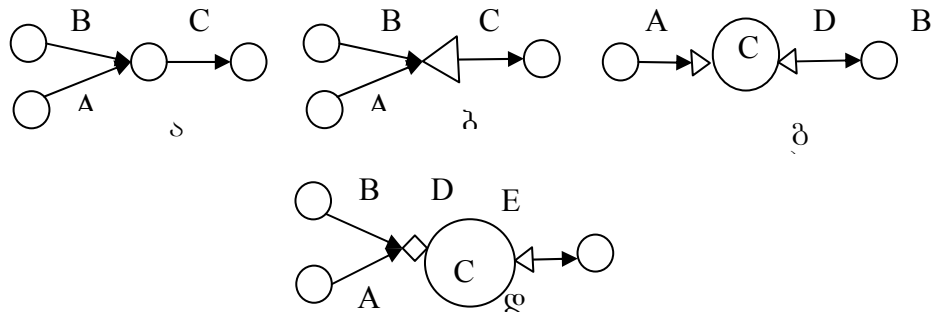


ნახ. 15. ქსელი “სამუშაო-რკალი”

რეალური შრომითი პროცესების ან მოლოდინის რეჟიმში მყოფი სამუშაოების გამომსახველის რკალების გარდა, ერთ ქსელში არა იშვიათად გვხვდება კიდევ დამატებითი რკალები – ე.წ. ფიქტიური სამუშაოები, რომელთაც ნულოვანი ხანგრძლივობა აქვთ და გამოყენებულია მხოლოდ კომპლექსის წესების დამოკიდებულების სწორი ასახვისათვის [1].

ზოგჯერ ქსელი იყოფა რამდენიმე დამოუკიდებელ ქსელად ე.ი. ყალიბდება ე.წ. მრავალქსელური მოდელი.

თუ ქსელის ყველა მწვერვალზე სრულდება მხოლოდ ოპერაცია „და“, ესეთ ქსელს უწოდებენ კანონიკურს, ხოლო იმ შემთხვევაში, როცა ზოგიერთ მწვერვალზე ხორციელდება ოპერაცია „ან“, მაშინ ფორმირდება ალტერნატიული ქსელი.

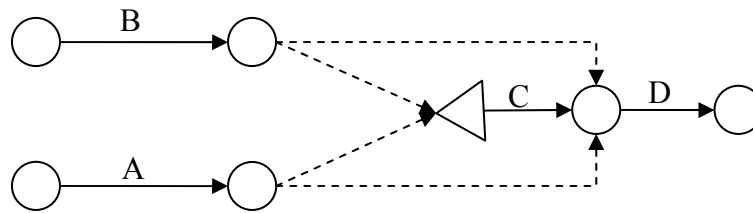


ნახ. 16. ალტერნატიული ქსელური მოდელები

ალტერნატიული ქსელების მოდელების, სამუშაოების შემაერთებელი სქემების სხვადასხვა გამოსახულებები მოცემულია ნახ. 16-ზე. მწვერვლების გამოსახვისათვის წრეები გამოიყენება მხოლოდ მაშინ, როცა შემავალი და გამომავალი რკალები (სამუშაოები) შეერთებულია სქემით „და“ (ნახ. 16ა). თუ შემავალი რკალები შეერთებულია სქემით „ან“, ხოლო გამომავალი – სქემით „და“, გამოიყენება (ნახ. 16ბ), სადაც ნაჩვენებია, რომ სამუშაო C შეიძლება დაიწყოს, როდესაც დამთავრდება ან A ან B. იმ შემთხვევაში, როცა შემავალი რკალები შეერთებულია სქემით „და“, ხოლო გამომავალი კი - სქემით „ან“, გვექნება ფიგურით (ნახ. 16გ), სადაც A სამუშაოს დამთავრების შემდეგ, შესრულდება B და C შორის ერთ-ერთი და ბოლოს, როდესაც შემავალი და გამომავალი რკალები შეერთებულია სქემით „ან“, გვექნება ნახ.16დ-ზე წარმოდგენილი სიტუაცია. A და B-დან ერთ-ერთის დამთავრების შემდეგ, შეიძლება შესრულდეს C და D-დან ნებისმიერი ერთ-ერთი. ზოგიერთ შემთხვევაში ალტერნატიული ქსელის შეერთება სქემით „ან“ ფაქტიურად მიეკუთვნება მხოლოდ ორი სამუშაოს შესრულების რიგს, მაგრამ არ მიაწინებს ერთ-ერთის გამორიცხვის საშუალებას. როგორც



ეს ნახ. 17 -ზეა მოცემული, C სამუშაოს რეალიზაციისათვის საკმარისია დამთავრდეს A ან B-დან ერთ ერთი სამუშაო, მაგრამ შემდეგი D სამუშაოს დასაწყებად უნდა შესრულდეს ორივე A და B სამუშაოები.



ნახ. 17. ალტერნატიული ქსელური მოდელი

ზემოთ განხილული ქსელური მოდელები შეიძლება იყოს დეტერმინირებულები და ალბათური.

**დეტერმინირებული ქსელური მოდელები**

ერთმიზნიანი დეტერმინირებული მოდელი დროის მახასიათებლების გათვალისწინებით, რომელსაც აგრეთვე კრიტიკული გზის მოდელსაც უწოდებენ, ხასიათდება ერთადერთი საწყისი და საბოლოო მოვლენებით, ამასთან ფიქსირებული ქსელის სტრუქტურით და ცალკეული სამუშაოს მოცემული ხანგრძლივობით (ნახ. 14).

ესეთ მოდელებში ყოველთვის არსებობს და შეიძლება გამოვლინდეს კრიტიკული გზა. მისი ხანგრძლივობა ტოლია კრიტიკული დროის, ე.ი. უმცირესი პერიოდის, რომლის დროსაც შეიძლება ჩამოყალიბდეს(შეიქმნას) საწარმოო ხაზი. რიგ შემთხვევებში წარმოიქმნება ერთი და იგივე ხანგრძლივობის მქონე რამდენიმე კრიტიკული გზები.

კრიტიკული გზის შემცველი სამუშაოებს გააჩნიათ უმცირესი სავსე დროის რეზერვი, ე.ი. ისეთი, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელია აღვნიშნოთ დაწყება ან გავზარდოთ ამა თუ იმ სამუშაოს ხანგრძლივობა მიზნობრივი მოვლენის შესრულების ვადის დირექტივის დარღვევის გარეშე. იმ შემთხვევებში, როდესაც დირექტიული ვადა არ არის მოცემული ან ემთხვევა კრიტიკულ დროს, სრული რეზერვების მინიმალური მნიშვნელობა ტოლია ნულის.

მრავალმიზნიანი დეტერმინირებული მოდელი დროითი მახასიათებლების გათვალისწინებით განსხვავდება ჩვეულებრივი

უბრალო მოდელისაგან იმით, რომ ერთის მხრივ, დაიშვებიან რამდენიმე საწყისი და მიზნობრივი მოვლენები, მეორეს მხრივ, ხდება შეზღუდვა ზემოდან და/(ან) ქვემოდან ზოგიერთი საკონტროლო მოვლენების შესრულების ვადაზე.

ასეთი პირობები ძალზე ხშირად გვხვდება წარმოების პრაქტიკაში.

განზოგადოებული დეტერმინირებული მოდელი დროითი მახასიათებლების გათვალისწინებით იძლევა საშუალებას აისახოს რიგი დამატებითი მოთხოვნები წარმოების (პროდუქტის დამზადების) დროს.

განზოგადოებულ ქსელურ მოდელებში გამოიყენება ორი სახის კავშირი ურთიერთდამოკიდებულ სამუშაოებს შორის – „არა ადრე“ და „არაუგვიანეს“ და ანალოგიური შეზღუდვა სამუშაოების დაწყებისა და დამთავრების ვადებისა. ეს ნიშნავს, რომ შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს არა მარტო ფიქტიური სამუშაოებს ნულოვანი ხანგრძლივობით, რომელიც მიუთითებს ლოგიკური კავშირის ტიპზე „არა ადრე“, არამედ ისეთები, რომლებსაც აქვთ ნებისმიერი, მათ შორის დროის უარყოფითი შეფასება. ესეთივე კავშირები შეიძლება დამყარდეს, როგორც წინამორბედის დამთავრებისა და შემდგომის დაწყებას შორის, ასევე ამ სამუშაოების შესრულების ნებისმიერი ორი მომენტისა. ამავე დროს შეიძლება შემოღებული იქნას შეზღუდვები ქვემოდან („არა ადრე“ ტიპის) და ზემოდან („არა უგვიანეს“) სამუშაოს შესრულების ნებისმიერი მომენტის ვადით.

დეტერმინირებული ქსელური მოდელების დროითი და ღირებულებითი მახასიათებლები განსხვავდებიან იმით, რომ მათში ყოველი სამუშაოსათვის მიეთითება ფუნქცია „დრო-ღირებულება“ ე.ი. პირდაპირი დანახარჯებს-სამუშაოს ხანგრძლივობას შორის დამოკიდებულება.

მოდელს ღირებულების გათვალისწინებით უწოდებენ წრფივს, თუ მიღებულია წრფივი ფუნქციები „დრო-ღირებულება“, წინააღმდეგ შემთხვევაში მოდელს ეწოდება არაწრფივი.

დეტერმინირებული ქსელური მოდელები რესურსული მახასიათებლების გათვალისწინებით განსხვავდებიან იმით, რომ ყველა ან ზოგიერთი სამუშაოები აღიჭურვება მათი შესრულებისათვის საჭირო თანხმსლები

რესურსული ცნობებით. მას გარდა, შესაძლებელია მოცემულ იქნას რაოდენობის გრაფიკი ან ამა თუ იმ რესურსების დაგეგმილი შემოტანა. ეს ქსელური მოდელები მიზანმიმართულად კლასიფიცირდება რამდენიმე მახასიათებლით:

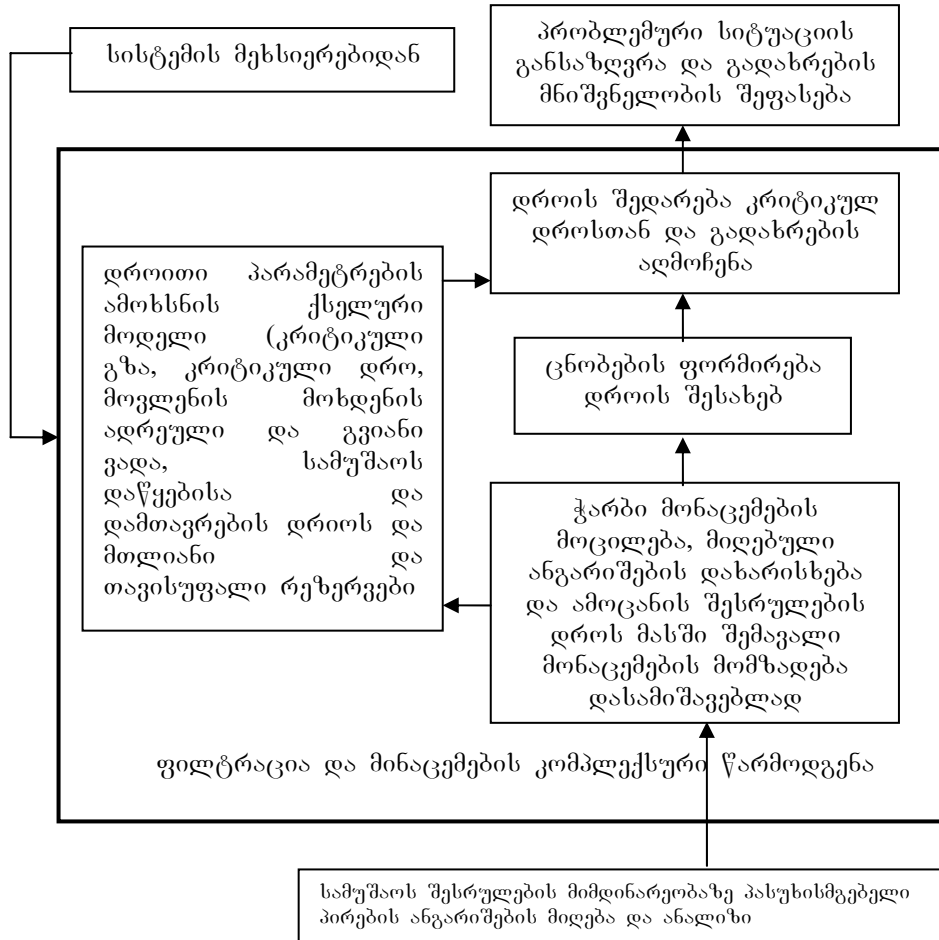
- აღრიცხული რესურსების ხარისხობრივი სახის მიხედვით;
- ცალკეული სამუშაოებისათვის რესურსების მოთხოვნის გრაფიკების სიძნელის მიხედვით;

აღბათურ ქსელურ მოდელებად ითვლება ისეთი ქსელები, რომელთა სამუშაოების ზოგიერთი პარამეტრები მოცემულია შემთხვევითი სიდიდეებით. მათ შორის უნდა გამოვყოთ მოდელები სამუშაოების გაურკვეველი ხანგრძლივობით და მათი შემადგენლობით, აგრეთვე რესურსული მოდელები.

### ***ქსელური დაგეგმარების საში მიდგომა.***

წარმოების მართვის ექსპერტულ სისტემაში გამოიყენება ქსელური მოდელების სხვადასხვა ტიპები. უფრო რთული მოდელების გამოყენება, აფართოებს მმართველობითი ამოცანების ეფექტურად ამოხსნის არეს ან აუმჯობესებს მათი ამოხსნის შედეგებს. ამასთან ერთად იზრდება სიძნელე ნორმატიული ბაზის მომზადებისა და ოპერატიული ინფორმაციის შეგროვების, ამასთან მათი გადაცემისა და დამუშავების. განვიხილოთ ამოცანების ზოგიერთი კონკრეტული ტიპი. დროითი(დროზე დამოკიდებული) ამოცანები—ამოცანის კრიტიკული გზის აღმოჩენა და წარმოების რეალიზაციის კრიტიკული დროის აღმოჩენა, მოვლენის მოხდენის ადრეული და გვიანი ვადის მონახვა და სამუშაოს დაწყება და დამთავრება, აგრეთვე დროის რეზერვის მთლიანი და თავისუფალი განსაზღვრა—შესაძლებელია ამოხსნას ერთმიზნით დეტერმინირებული ქსელური მოდელით დროითი მახასიათებლების გათვალისწინებით.

ნახ. 18-ზე მოცემულია ფილტრაციის ბლოკში რეალიზებული პროცედურები, და კომპლექსურად წარმოდგენილი მონაცემები. ამ პროცედურების რეალიზაცია, დაკავშირებული ქსელური მოდელის დროითი პარამეტრების ამოხსნასთან, ავტომატიზებულია, ამასთან დამუშავებულია დიდი რაოდენობის ალგორითმები და პროგრამები.



ნახ. 18. მონაცემების კომპლექსური წარმოდგენა და ფილტრაცია

მნიშვნელოვანი ამოცანების ოპტიმიზაციის რიგი, ამოიხსნება დეტერმინირებული ქსელური მოდულებით, დროით და ღირებულებით მახასიათებლების აღრიცხვის საშუალებით.

ესეთი ამოცანების ამოხსნის უმარტივეს ვარიანტს ადგილი აქვს ფუნქციის წრფივი ხასიათისას  $C_{ij} = \varphi_{ij}(t_{ij})$ , რომელიც აღწერს დამოკიდებულებას სამუშაოს ღირებულებასა და ხანგრძლივობას  $t_{ij}$ -ს შორის, ე.ი.

$$\varphi_{ij}(t_{ij}) = a_{ij}t_{ij} + b_{ij} \quad (2)$$

ამ შემთხვევაში მიზნობრივი ფუნქცია იღებს სახეს:

$$C = \sum_{ij} \varphi_{ij}(t_{ij}) \quad (3)$$

განხილული ამოცანის ამოხსნის შედეგის მიხედვით მოიძებნება სამუშაოს ისეთი ტექნოლოგიური დასაშვები ხანგრძლივობა, რომლითაც პირდაპირი დანახარჯების ჯამი იღებს უმცირეს მნიშვნელობას.

წარმოების მართვის ავტომატიზაციაში ფართო გავრცელება მიიღო ყოველნაირმა რესურსულმა ამოცანებმა, ამოხსნილი დეტერმინირებული ქსელური მეთოდების საშუალებით, სასურველი მახასიათებლების გათვლის გათვალისწინებით.

უმარტივესია რესურსებზე მოთხოვნის აღრიცხვის ამოცანები. უფრო მეტი სირთულით გამოირჩევა ამოცანები, რომელიც დაკავშირებულია რაციონალურ განაწილებასთან [2].

### ***2.3. ევრისტიკული ალგორითმების მიმოხილვა***

ნებისმიერი ტექნიკური მოწყობილობის ან სისტემის დამუშავება წარმოადგენს პროექტის დასაშვები ვარიანტების სიმრავლიდან კონკრეტული ვარიანტის ამორჩევის ამოცანას. სტრუქტურული სინთეზის ამოცანის (ამორჩევის ამოცანის) ამოხსნისათვის საჭირო მოხდეს ავტომატიზებული სისტემის პროექტირება და მართვა წარმოების ლოგიკური მხარდაჭერით.

ტექნიკური ნაწარმის გართულებისას უფრო შეზღუდული ხდება ადამიანის შესაძლებლობები მიიღოს არა მარტო ოპტიმალური, არამედ საერთოდ რაციონალური გადაწყვეტილება. გარდა ამისა, ბევრ პრაქტიკულად სერიოზულ ამოცანებში, პრობლემატური აღმოჩნდა არა მარტო პროექტის უკეთესი ვარიანტის განსაზღვრა, არამედ დასაშვები, თუნდაც ერთ-ერთი ვარიანტის მოძებნა. ამასთან დაკავშირებით იზრდება სტრუქტურული სინთეზის ამოცანების ავტომატიზებული ამოხსნის აქტუალურობა. რადგანაც, ამოცანის პროექტირების სინთეზი უმრავლეს შემთხვევაში შემოქმედებითი ამოცანაა, ფორმალიზაციის არ

ქონა, ადამიანის მთლიანად ამოგდება გადაწყვეტილების მიღების პროცესიდან არამიზანშეწონილია.

ტექნიკისა და ტექნოლოგიების განვითარების ფონზე იზრდება პროექტირებისა და მართვის რთული ამოცანების წილი, რომელთა გადაწყვეტისას ტრადიციული მეთოდების გამოყენება არაეფექტურია. ამიტომ, ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენებას უფრო მეტი ყურადღება ეთმობა.

სტრუქტურული სინთეზის ამოცანებისათვის იყენებენ შემდეგ ინტელექტუალურ სისტემებსა და ტექნოლოგიებს:

- გამოგონებითი ამოცანების ამოხსნა;
- ექსპერტული სისტემები;
- მორფოლოგიური სინთეზი პატერნების პროექტირების გამოყენებით;
- გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი სისტემები (გმმს);
- ევოლუციური გამოთვლები.

სტრუქტურული სინთეზის მეთოდებს შორის, ევოლუციურ გამოთვლებს წამყვანი ადგილი უკავია. ევოლუციური გამოთვლები – ბიონირებული მიმართულებაა, რომელიც იყენებს ევოლუციის პრინციპებს, გადმოღებულია ბუნებიდან, მაგრამ იმ დონემდეა გამარტივებული, რომ მათი რეალიზაცია შესაძლებელი იყოს კომპიუტერულ მოდელებში.

დღესდღეობით შეისწავლება და ვითარდება ევოლუციური მეთოდების ოთხი ძირითადი ჯგუფები – გენეტიკური მეთოდები, გენეტიკური პროგრამირება, “ბრბო” ქცევის მეთოდები და “ჭიანჭველების კოლონიის” მეთოდი.

ავტომატიზირებული სისტემების დაპროექტებასა და მართვაში მეტი ყურადღება ეთმობა გენეტიკურ მეთოდებს, რომელსაც ხშირად გენეტიკურ ალგორითმებსაც უწოდებენ.

გენეტიკური ალგორითმების გამოყენებას ოპტიმიზაციას ამოცანების გადასაწყვეტად სათავე დაუდო დ. ჰოლანდმა 1975 წ. გენეტიკური ალგორითმების განვითარებაში ფუნდამენტური წვლილი შეიტანა დ. გოლდბერგმა. შემდგომში გენეტიკური ალგორითმები წარმატებით გამოიყენებოდა კონსტრუქციის სინთეზის სხვადასხვა ამოცანებისათვის,

ცხრილების შედგენისათვის, სატრანსპორტო საშუალებების მარშრუტიზაციისათვის და სხვა.

**ევოლუციური მეთოდები.**

ევოლუციური მეთოდები (ემ) წარმოადგენს ოპტიმიზაციის ამოცანებსა და სტრუქტურული სინთეზის ამოხსნის მიახლოებულ (ევრისტიკურ) მეთოდებს. უმრავლესი ემ დაფუძნებულია სიტუაციის გამოკვლევისა და საძიებელი გადაწყვეტილების იტერაციულ მიახლოების სტატისტიკურ მიდგომაზე.

ევოლუციური გამოთვლები შეიცავენ ხელოვნური ინტელექტის ერთ-ერთ ნაწილს. მოცემული მდგომარეობით ხელოვნური ინტელექტის სისტემის აგებისას ძირითადი ყურადღება ეთმობა საწყისი მოდულის აგებას და წესებს, რომელთა მეშვეობითაც ის შეიძლება შეიცვალოს. ამასთან, მოდული შეიძლება აიგოს სხვადასხვა განსხვავებული მეთოდებით, მაგალითად, ეს შეიძლება იყოს ნეირონული ქსელი და ლოგიკური წესების კრებული. ძირითად ევოლუციურ მეთოდებს მიეკუთვნება მეთოდები: გენეტიკური სიმულაციის, “ბრბოს” ქცევის, ჭიანჭველების კოლონიის, გენეტიკური პროგრამირების.

მათემატიკური პროგრამირების ზუსტი მეთოდებისაგან განსხვავებით, ევოლუციური მეთოდი საშუალებას იძლევა მონახოს მისაღებ დროში ოპტიმალურთან მიახლოებული გადაწყვეტილებების მითებისა, ხოლო განსხვავებით სხვა ოპტიმიზაციის ევრისტიკური მეთოდებისაგან, ხასიათდება ნაკლებადაა დამოკიდებული დანართის განსაკუთრებულობებზე და ხშირ შემთხვევებში უზრუნველყოფს ოპტიმალურ გადაწყვეტილებასთან მიახლოების საუკეთესო ხარისხს. სიმულაციის მეთოდებში ხდება სხეულის პროცენტული ენერჯის მინიმიზაცია, პროცესის იმიტაცია დეტალების სიმულაციის დროს. ხდება მოცემულ საძიებელ წერტილის ზოგიერთი სამართავი პარამეტრების შეცვლა. ახალი წერტილი ყოველთვის მიიღება მიზნობრივი ფუნქციის გაუმჯობესებით და მისი გაუარესების ცალკეული ალბათობის დროს.

ევოლუციური მეთოდების, სერიოზული კერძო შემთხვევას, წარმოადგენს გენეტიკური მეთოდები და ალგორითმები. გენეტიკური ალგორითმები (გა) დაფუძნებულია საუკეთესო გადაწყვეტილებების

ძიებაზე, მემკვიდრეობითი და საგვარეულო თვისებების გაძლიერებაზე, იმიტაციის პროცესის გარკვეულ დანართზე ობიექტების სიმრავლეზე. ობიექტების თვისება წარმოდგენილია პარამეტრების მნიშვნელობებით, რომლებიც გაერთიანებულია ჩანაწერებში, და ეწოდება ევოლუციური მეთოდების ქრომოსომა. გენეტიკურ ალგორითმში ოპერირებენ ქრომოსომების ქვესისტემი პოპულაციად წოდებული. გენეტიკური პრინციპების იმიტაციას – მშობლების ალბათურ შერჩევას პოპულაციის წევრებს შორის, მათი ქრომოსომების შეჯვარებას, მომავლის ამორჩევა სობიექტების ახალ თაობაში ჩართვისთვის მიზნობრივი ფუნქციის შეფასების საფუძველზე მივყავართ მიზნობრივი ფუნქციის მნიშვნელობის ევოლუციურ გაუმჯობესებამდე (საჭიროების ფუნქციამდე) თაობიდან თაობამდე.

ევოლუციურ მეთოდებს შორის გამოყენებას პოულობს აგრეთვე მეთოდები, რომლებიც გენეტიკური ალგორითმისაგან განსხვავებით ოპერირებენ არა ქრომოსომების სიმრავლით, არამედ ერთადერთი ქრომოსომით. ეს დისკრეტული ლოკალური ძიების მეთოდი დაფუძნებულია ცალკეული პარამეტრების შემთხვევით ცვლილებაზე. ასეთ ცვლილებებს მუტაციას უწოდებენ. მორიგი მუტაციის შემდეგ აფასებენ საჭიროების ფუნქციის მნიშვნელობას  $F$  და მუტაციის შედეგები ინახება ქრომოსომაში, მაშინ როცა  $F$  გაუმჯობესდება.

“სიმულაციის მოდელირება”-ის დროს მუტაციის შედეგი ინახება, გარკვეული ალგორითმით,  $F$ -ის მიღებულ შედეგზე დამოკიდებულებით. “ბრბოს მოქმედების” მეთოდში, მრავალი აგენტის მოქმედების იმიტაცია ხდება, რომლებიც ცდილობენ თავიანთი მდგომარეობა შეათანხმონ საუკეთესო აგენტის მდგომარეობას.

“ჭიანჭველების კოლონიის” მეთოდი დაფუძნებულია, ჭიანჭველების ქცევის იმიტაციაზე, თავიანთი მარშტუტების სიგრძის მინიმიზირება ჭიანჭველების საბუდარიდან საკვების წყარომდე.

### **უბრალო გენეტიკური ალგორითმი.**

გენეტიკური ალგორითმის გამოყენებისათვის აუცილებელია:

1. ობიექტების თავისებურებების ერთობლიობის გამოყენებისათვის, დამახასიათებელი შიგა პარამეტრებით და მოქმედი მის ვარგისიანობაზე ე.ი.  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$   $x_i$ -ის შორის შეიძლება იყოს



სხვადაცხვა ტიპის სიდიდეები (*real, integer*) არა ციფრული სიდიდეების რაოდენობა, განაპირობებს ამოცანის ამოხსნას, არა მარტო პარამეტრული, არამედ სტრუქტურული ოპტიმიზაციით;

2. ჩამოყალიბდეს რაოდენობრივი შეფასება ობიექტის ვარგისიანობის ვარიანტების – ვარგისიანობის ფუნქცია  $F$ , თუ ამოცანის საწყისი სახე მრავალკრიტერიულურია, მაშინ ასეთი ფორმულირება ნიშნავს სკალარული (განზოგადებული) კრიტერიუმის შერჩევას;
3. ობიექტის მატემატიკური მოდელის დამუშავება, რომელიც შეიცავს  $F$ -ის გამოთვლას ალგორითმის მოცემული  $X$ -ვექტორისათვის;
4.  $X$ -ვექტორის წარმოდგენა ქრომოსომების ფორმით – შემდეგი სახის ჩანაწერით (ნახ. 1 )

$X_1$	$X_2$	$X_3$	.....	$X_n$
-------	-------	-------	-------	-------

ნახ. 19. ქრომოსომა

გენეტიკურ ალგორითმში გამოიყენება შემდეგი ტერმინოლოგია:

- გენი – მართველი პარამეტრი  $x_i$ ;
- ალელი – გენის მნიშვნელობა;
- ლოკუსი (პოზიცია) – პოზიცია, რომელიც უკავია გენს ქრომოსომაში;
- გენოტიპი – ქრომოსომის ეგზემპლარი, გენოპიტი წარმოადგენს ერთობლიობას შიგა პარამეტრებსა და ობიექტის გენეტიკური ალგორითმის საშუალებით;
- გენოფონდი – ყველა შესაძლო გენოტიპების სიმრავლე;
- სარგებლიანობის ფუნქცია (შეგუებადობის)  $F$  - მიზნობრივი ფუნქცია;
- ფენოტიპი – კრიტერიუმების მნიშვნელობის ერთობლიობა, რომელიც მიიღება ქრომოსომის დეკოდირებისას, ფენოტიპის ქვეშ ხშირად იგულისხმება გამოსასვლელი პარამეტრების

ერთობლიობა, სინთეზირებული ობიექტის გენეტიკური ალგორითმის საშუალებით.

გამოთვლითი პროცესი იწყება საწყისი შთამომავლობის გენერაციით – სიმრავლე, შემცველი  $N$  ქრომოსომის,  $N$ –პოპულაციის ზომაა. გენერაცია სრულდება ყოველი გენის შემთხვევითი ალელების შერჩევით.

**for (k=0; k<G; k++)**

**{ for (j=0; j<N; j++)**

**{ ქრომოსომებში მშობლების წყვილის შერჩევა;**

**კროსოვერი;**

**მუტაცია**

**$F$  - მიზნობრივი ფუნქციის სარგებლიანობის სეფასება;**

**სელექცია;**

**}**

**მიმდინარე თაობის შეცვლა ახლით;**

**}**

გენეტიკური ალგორითმის გარე ციკლის ყოველი ხვიასათვის სრულდება გარე ციკლი, რომელზედაც ფორმირდება ახალი თაობის (შემდგომი, მიმდინარეს შემდეგ) ეგზემპლარები. არე ციკლიში მეორდება მშობლების არჩევის ოპერატორები, მშობლების ქრომოსომების კროსოვერში მუტაციები, ნაშირეის შეგუებადობის შეფასება, ქრომოსომების სელექცია შემდგომ შთამომავლობაში ჩართვისთვის.

განვიხილოთ ოპერატორების შესრულების ალგორითმი, უბრალო გენეტიკურ ალგორითმში:

**1. მშობლების არჩევა:** ეს ოპერატორი, იმიტაციას უკეთებს, ბუნებრივ ამორჩევას, თუ ამორჩევა მშობლების წყვილის ქრომოსომების სასარგებლო  $F$  ფუნქციის საუკეთესო მნიშვნელობისათვის უფრო ალბათურია. მაგალითად, ვთქვათ  $F$ -ის მინიმიზაცია უნდა

გაკეთდეს, მაშინ ალბათობა  $P_i$  მშობლების ქრომოსომით ამოირჩევა  $C_i$  შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

$$P_i = \frac{F_{\max} - F_i}{\sum_{j=1}^N (F_{\max} - F_j)} \quad (4),$$

სადაც,  $F_{\max}$  – მიზნობრივი  $F$  ფუნქციის ყველაზე უარესი მნიშვნელობაა, მიმდინარე შთამომავლობის ეგზემპლარებს (ნაკრებს) შორის,  $F_i$  –  $i$ -ური ეგზემპლარის მიზნობრივი ფუნქციის მნიშვნელობაა.

ფორმულა (1) უწოდებენ “რულეტკის” ბორბალის ფორმულას. თუ “რულეტკის” ბორბალში პროპორციული მნიშვნელობით  $F_{\max} - F_i$  გამოვყოფთ სექტორებს, მაშინ მათში მოხვედრის ალბათობა არის  $P_i$  გამოსახული (1) ფორმულაში შესაბამისად.

მაგალითი 1:

ვთქვათ  $N=4$ , მნიშვნელობა  $F_i$  და  $P_i$  მოცემულია ცხრილში 1:

$i$	$F_i$	$F_{\max} - F_i$	$P_i$
1	2	5	0.5
2	7	0	0
3	6	1	0.1
4	3	4	0.4
2	7	0	0

ცხრილი 1. მშობლების არჩევა

**2. კროსოვერი (შეჯვარება):** კროსოვერი, ზოგჯერ კროსინგოვერად წოდებული, მდგომარეობს გენების ნაკვეთების (ნაწილების) გადაცემაზე მშობლებიდან შთამომავლობაზე. ჩვეულებრივ (ერთწლიან) კროსოვერზე მშობლების ქრომოსომა იხლინება

რომელიდაც პოზიციაზე, ორივე მშობლისთვის ერთნაირად, გახლეჩის ადგილის ამორჩევა ტოლალბათურია, შემდეგ მშობლების ქრომოსომების ჩამოყალიბებული ნაწილების რეკომბინაცია, როგორც ის მოცემულია ცხრ.2, სადაც გახლეჩა იგულისხმება მეხუთე და მეექვსე ლოკუსებს შორის.

ქრომოსომა	გენი 1	გენი 2	გენი 3	გენი 4	გენი 5	გენი 6	გენი 7	გენი 8
მშობელი A	f	a	c	d	g	k	v	e
მშობელი B	a	b	c	d	e	f	g	h
შთამომავლობა C	f	a	c	d	g	f	g	h
შთამომავლობა D	a	b	c	d	e	k	v	e

ცხრილი 2. მშობლების ქრომოსომების ჩამოყალიბებული ნაწილების რეკომბინაცია

3. **მუტაციები:** მუტაციის ოპერატორი სრულდება ზოგიერთი ალბათობით  $P_m$ , ე.ი.  $P_m$ -ის ალბათობით ხდება ალელის შეცვლა შემთხვევითი მნიშვნელობით, ამორჩეული თანაბარი ალბათობით გენის განსაზღვრის სფეროდან. ზუსტად მუტაციის საშუალებით ფართოვდება გენეტიკური ძეგლის სფერო.
4. **სელექცია:** შთამომავლობის წყვილის გენერაციის ყოველი აქტის შემდეგ, ახალ შთამომავლობაში ერთვება საუკეთესო წყვილის ეგზემპლარი.

შიგა ციკლი მთავრდება, როცა ახალი შთამომავლობის ეგზემპლარების რიცხვი გახდება  $N$ -ის ტოლი.  $G$  გარე ციკლის განვრცობის რაოდენობა უფრო ხშირად განისაზღვრება ავტომატურად პოპულაციის

გადაგვარების ნიშნების გამოჩენისას, მაგრამ სამანქანო დროის მოცემული ლიმიტის გადაჭარბების გარეშე, პირობის დაცვით.

კროსოვერი. მოცემული უბრალო გენეტიკური ალგორითმის (გა) სქემის ანგარიშის გადახრა შესაძლებელია.

პირველ რიგში, მრავალ წერტილიანი კროსოვერის დასაშვები სქემა. უმრავლეს სალიტერატურო წყაროებში განიხილება ერთწერტილიანი, ორწერტილიანი და ერთგვაროვანი გენეტიკური ალგორითმი.

ერთწერტილოვან ალგორითმში, კროსოვერზე, ცალკეული მშობლების ქრომოსომა იყოფა ორ ნაწილად, რომელშიც შემდგომში რეკომბინირდება. ორწერტილოვან ალგორითმში გამოიყენება გახლეჩის ორი წერტილი და დაკვირვებით, ქრომოსომები იყოფა სამ ნაწილად. ერთგვაროვან კროსოვერში შემთხვევითობით გენერირდება სტრიქონი  $B$ , სიგრძით  $D$  გენების ორმაგი მნიშვნელობით, სადაც  $D$  ქრომოსომის სიგრძეა. თუ  $b_i = 0$  ( $b_i \in B, i \in [1, D]$ ), მაშინ გენის  $i$ -ური მნიშვნელობა პირველ შთამომავლობაში აიღება პირველი მშობლისაგან (მეორე შთამომავლობაზე – მეორე მშობლისაგან), თუ  $b_i = 1$ , მაშინ პირველ შთამომავლობას ჩაერთვება გენი მეორე მშობლისა. (მეორე შთამომავლობა – პირველი მშობლიდან).

მეორეს მხრივ, ავნიშნავთ სიტუაციას, როცა ალალების ჯგუფზე დასმულია რომელიმე დამატებითი პირობა. მაგალითად: ვთქვათ, გახლეჩის ამოცანაში, წვეროების რიცხვი ქვეჯგუფში  $A_1$  და  $A_2$  უნდა იყოს  $N_1$  და  $N_2$  და ვთქვათ  $k$ -ალელი ტოლია 1-ის, ნიშნავს, რომ წვერო  $k$  ხვდება  $A_1$ -ში, თუ  $k$ -ალელი ტოლია 0-ის, მაშინ  $A_2$ -ში. ცხადია, რომ ქრომოსომაში რიცხვი – 1 უნდა უტოლდებოდეს  $N_1$ -ს, რიცხვი – 0 კი –  $N_2$ -ს. მაშინ რეკომბინაციისას, ერთ-ერთი მშობლის, ქრომოსომების მარცხენა ნაწილი აიღება შეუცვლელად, ხოლო მარჯვენა ნაწილში (მეორე მშობლისგან) უნდა შეუთანხმოთ 1-იანი  $N_1$ -ს ამა თუ იმ ხერხით.

ერთ-ერთი ამ ხერხიდან –  $PMX$  მეთოდი (Partially Matched Crossover).  $PMX$ -ის ილუსტრაციისათვის განვიხილოთ ამოცანაში ორწერტილოვანი კროსოვერის მაგალითი, როცა ქრომოსომაში უნდა შედიოდეს, ამასთან

მხოლოდ ერთჯერადად, მოცემული ჯგუფებიდან გენების ყველა მნიშვნელობა. ვთქვათ, მაგალითში ეს ჯგუფები შეიცავენ ციფრებს 1-დან 9-მდე.

ცხრ.1-ში პირველი ორი სტრიქონი წარმოადგენს მშობლების ქრომოსომებს. მესამე სტრიქონი შეიცავს ერთ-ერთი შთამომავლის ქრომოსომას, გენერირებული ორწერტილოვანი კროსოვერის გამოყენების შედეგად (მეორე და მესამე ლოკუსის შემდეგ). მიღებული ქრომოსომა არ მიეკუთვნება დასაშვების რიცხვს, რადგან მასში გენების მნიშვნელობა 1, 2, და 9 გვხვდება ორჯერ, ხოლო მნიშვნელობა 3, 4, 5 არ არის. მეოთხე სტრიქონში გვიჩვენებს  $PMX$  გამოყენების შედეგს. ამ მეთოდში გამოიყოფა შეუღლებული ალალების, წყვილების, ერთ-ერთი რეკომბინირებული ნაწილის, ერთნაირ სახელიანი ლოკუსები. ჩვენს შემთხვევაში ეს წყვილებია (3 და 1), (4 და 9), (5 და 2) შთამომავლობის ქრომოსომა განიხილება მარცხნიდან მარჯვნივ. თუ რომელიმე მნიშვნელობა გვხვდება მეორეჯერ, ის იცვლება შეუღლებული მნიშვნელობით. ასე მაგალითად, ლოკუსებში 3, 5 და 9 მეორეჯერ გვხვდება ალალები 1, 2 და 9 შესაბამისად იცვლება მნიშვნელობით 3, 5 და 4.

1	2	.	3	4	5	.	6	7	8	9
3	7	.	1	9	2	.	4	8	6	5
1	2	.	1	9	2	.	6	7	8	9
1	2	.	3	9	5	.	6	7	8	4

ცხრილი 3. შთამომავლობის მატრიცა

მუტაციები: მუტაციებში შეიძლება იყოს წერტილოვანი (ერთ გენში), მაკრო მუტაციები (რამდენიმე გენში) და ქრომოსომული (ახალი ქრომოსომის გამოჩენა). ჩვეულებრივ, ალბათობა, მუტაციის გამოჩენა აღინიშნება საწყის მონაცემთა შორის, მაგრამ მუტაციის რიცხვის ავტომატური რეგენირება შეიძლება მათი რეალიზაციისას მარტო იმ

სიტუაციებში, როცა მშობლების ქრომოსომები განსხვავდებიან არა უმეტეს ვიდრე  $K$ -გენში.

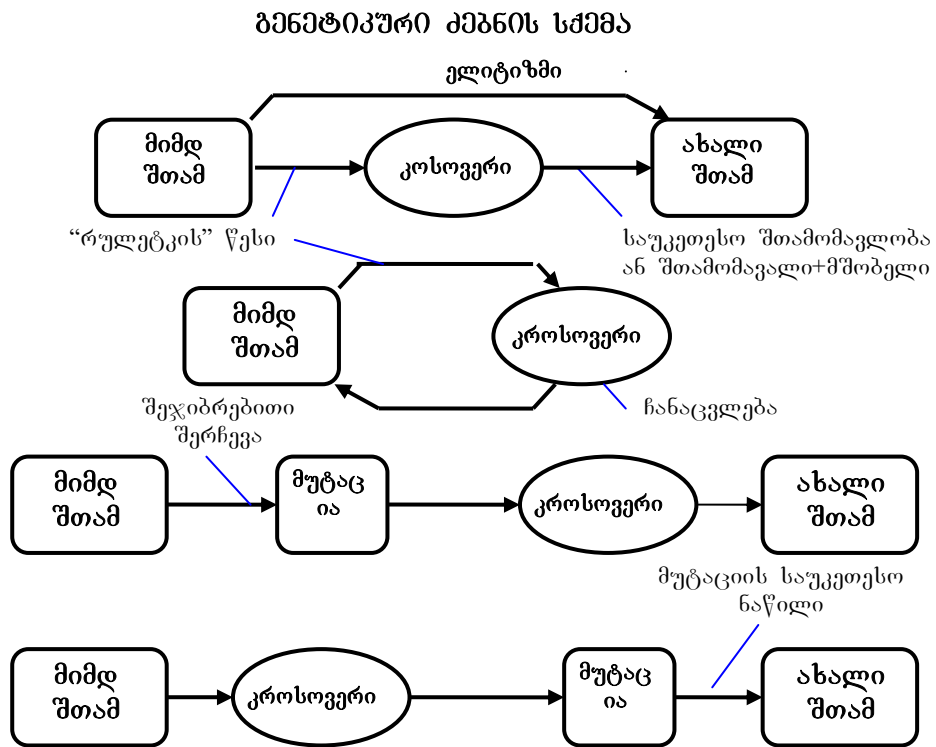
გენების გადალაგება: გარდა ჩამოთვლილი ძირითადი ოპერატორებისა, გამოყენებას პოულობს ზოგიერთი დამატებითიც. მათ რიცხვს მიეკუთვნება ოპერატორი: გენების განლაგება – მათი განაწილების შეცვლა ლოკუსების მიხედვით.

გადალაგების მნიშვნელობა დაკავშირებულია თვისებაზე, რომელიც ატარებს *ეპისტაზის* სახელს. ეპისტაზის აქვს ადგილი, თუ საჭიროების ფუნქცია დამოკიდებულია არა მარტო გენების (ალელების) მნიშვნელობაზე, არამედ მათ პოზიციონირებაზე. ეპისტაზის არსებობა მინზნობრივი ფუნქციის არაწრფივობაზე ლაპარაკობს და არსებითად ართულებს ამოცანის ამოხსნას. მართლაც, თუ ორი გენის ზოგიერთი ალელი ახდენს განსაზღვრულ დადებით ზემოქმედებას მიზნობრივ ფუნქციაზე, რაღაც კავშირის (შაბლონის) წარმოქმნას, მაგრამ ეპისტაზის გამო, კავშირის გაწყვეტის, დროს ეს ალელები უკვე ახდენენ უარყოფით გავლენას საჭიროების ფუნქციაზე, მაშინ ასეთი ასეთი სქემის გახლეჩა არ ღირს. ეს კი ნიშნავს, რომ ეპისტაზის მნიშვნელობით დაკავშირებული გენები, სასურველია, განლაგდეს ერთმანეთთან ახლოს, ე.ი. სქემის სიგრძის არადიდი მნიშვნელობისათვის.

გადალაგებას ოპერატორი ავტომატურად “მოხინჯოს” ისეთი გენების ერთობლიობა (მათ უწოდებენ ქრომოსომულ ბლოკებს ან building blocks) და განაღვოს ისინი ახლო ლოკუსებში.

სელექცია გენეტიკურ ალგორითმში, ძირითადად გენეტიკური ოპერატორებია: სელექცია, კროსოვერი, მუტაცია. სელექციას ჩვეულებრივ მიაკუთნებენ, პირველ რიგში, მშობლების ქრომოსომების სელექციას კროსოვერის შესრულებისათვის და ან მუტაციის, მეორეს მხრივ ქრომოსომების სელექციას კროსოვერისა და მუტაციის შემდეგ შთამომავლობის ფორმირების მიზნით.

ნახ. 20-ზე მოცემულია სელექციის რეალიზაციის ძირითადი ვარიანტები.



1. მშობლების არჩევა “რულეტკის” წესით და ახალ შთამომავლობაში ჩართვა ან საუკეთესო შთამომავალსა და საუკეთესო მშობლებში. პირველ შემთხვაში ამორჩევა წარმოადგენს  $N$ -ჯერას, სადაც  $N$  პრეპარაციის ზომაა, მეორე შემთხვევაში ამორჩევა მეორდება  $N/2$ -ჯერ. “რულეტკის” წესი განსაზღვრავს ქრომოსომების არჩევის ალბათობას მშობლების სახით, ქრომოსომების საჭიროების პროპორციულად, მაგრამ შეიძლება დავალება ამ ალბათობის ქრომოსომების ადგილის უკუპროპორციულია სიაში, დალაგების საჭიროების ფუნქციის მნიშვნელობების მიხედვით [23].

$N$  არის (ქრომოსომების) ამორჩევის შემდეგ, ძველი თაობი იცვლება ახლით. შესაძლებელია ელიტიზმის გამოყენება, რომელიც ნიშნავს, რომ ახალ თაობაში, ყოველთვის შედის საუკეთესო პირი წინა თაობიდან, რაც უზრუნველყოფს ამ წევრების მიერ მოპოვებული დადებითი თვისებების გადაცემას.



ჩვეულებრივ, ელიტიზმი ეხმარება უფრო სწრაფ დამთხვევას ლოკალურ ექსტემუმზე, ამასთან მრავალექსტრემალური სიტუაცია ზღუდავს შესაძლებლობას, მოხვედრისა სხვა ლოკალური ექსტრემუმების სიახლოვეს.

**შენიშვნა1.** ქრომოსომას  $X^*$  ვუწოდებთ ლოკალურ მინიმუმის წერტილს, თუ  $F(X^*) < F(X_i)$  ყველა  $X_i$  ქრომოსომისათვის,  $X^*$ -საგან განსხვავებული ერთადერთი გენის მნიშვნელობით, სადაც  $F(X)$  –  $X$ -წერტილში საჭიროების ფუნქციის მნიშვნელობაა.

2. ალგორითმი Steady State. კროსოვერის მნიშვნელობა (და/ან მუტაციის) მყისიერად ცვლიან ცუდი პირები მიმდინარე თაობაში.

3. შეჯიბრით შერჩევა, განსხვავდება იმით, რომ მშობლები შეირჩევა წინასწარი ფორმირებული რეპროდუქციული ჯგუფიდან  $M$ . მისი ფორმირება მდგომარეობს  $q$  ქვესიმრავლის შექმნით მიმდინარე თაობის შემთხვევით ამორჩეული ქრომოსომებით, რეპროდუქციულ ჯგუფში შეყავთ ყოველი ქვესიმრავლიდან საუკეთესო წარმომადგენლები. მშობლების არჩევა  $M$ -დან სრულდება ტოლი ალბათობით ან ზემოთ ნახსენები 1-ვარიანტის შესაბამისად.

4. რეპროდუქციული ჯგუფი იქმნება თაობასა და მშობლებისაგან, მონაწილეობენ კროსოვერებისა და მუტაციის ოპერატორებში.  $M$ -ში გარკვეული რაოდენობა  $K$ –პირის გამოჩენის შემდეგ,  $K > N$ ,  $N$ -საუკეთესო პირები  $M$ -დან მიიღება ახალი თაობის სახე. ახალი თაობის წევრების ამორჩევა რეპროდუქციული ჯგუფიდან შესაძლებელია პირობით  $F_i < t$ , სადაც  $t$ –საჭიროების ფუნქციის ზღვრული მნიშვნელობაა. ზღვარი შეიძლება ტოლი იყოს ან  $F$  საშუალო მნიშვნელობის მიმდინარე თაობაში, ან  $F$ –პირის მნიშვნელობის, გარკვეული რიგითი ადგილის დაკავებით. ამასთან ამორჩევის სუსტი სქემა – ახალ თაობაში ჩაირთვებიან  $N$  საუკეთესო რეპროდუქციული ჯგუფის წარმომადგენლები. ამორჩევის უხეში სქემა – ახალ თაობაში ეგზემპლარები ჩაირთვებიან ალბათობით  $q_i$

$$q_i = \frac{F_{\max} - F_i}{\sum_{j=1}^{N_r} (F_{\max} - F_j)} \quad (5)$$

სადაც  $N_r$  – რეპროდუქციული ჯგუფის ზომაა.

მშობლების ამორჩევა შესძლებელია ასევე *ინბრიდინგის* ან *აუტბრიდინგის* პრინციპების შესაბამისად. ინბრიდინგის შემთხვევაში მშობლების წყვილის პირველი წევრი აირჩევა შემთხვევით, ხოლო მეორე, ცოტა მანძილზე დაშორებულს პირველიდან, აუტბრიდინგის შემთხვევაში პირიქით – დიდ მანძილზე. ამასთან ქრომოსომებს შორის მანძილი ფასდება არაერთგვაროვანი ალელების გენების რიცხვით.

ინბრიდინგი ხელს უწყობს ძეგნის კონცენტრაციას ლოკალურ კვანძებში, რაც ფაქტიურად არის პოპულაციის გახლენვა ცალკეულ ლოკალურ ჯგუფებად.

აუტბრიდინგი ნაადრევ სტაგნაციას ეწინააღმდეგება.

შაბლონების თეორემა. გენეტიკური ალგორითმები (გ.ა.) გამოხატავენ ქრომოსომების პოპულაციას ევოლუციის საწყისი თაობიდან ექსტრემუმის შემოგარენამდე. ამ მდგომარეობის დასაბუთება ეფუძნება გენეტიკური მოდემის ძირითად თეორემას – შაბლონების თეორემას, აგრეთვე *schemata theorem*, სქემების თეორემად ან ჰოლანდის თეორემად წოდებული. შაბლონების თეორემა ჰოლანდის მიერ მიღებული იქნა ე.წ. კანონიკური გ.ა. პირობების გამოყენებით.

კანონიკური გენეტიკური ალგორითმი ხასიათდება შემდეგი თვისებებით:

- ქრომოსომების მუდმივი სიგრძე;
- პოპულაციის მუდმივი ზომა;
- მთელრიცხვიანი კოდირება;
- სელექცია “რულეტკის” წესით და პოპულაციის ფორმირება მხოლოდ თაობით;
- ერთწერტილოვანი კროსოვერი;
- უბრალო მუტაცია.

ჰოლანდის თეორემაში შემოდის ცნება (სქემები), შაბლონი განისაზღვრება, როგორც განსაზღვრული ლოკუსებში გენების ფიქსირებული მნიშვნელობების ერთობლიობა.

მაგალითად, ქრომოსომაში მეათე გენით, ერთ-ერთი შაბლონიდან  $H$  შემცვლელი ერთეულები მე-4 და მე-8 ლოკუსში და ნული მე-7 ლოკუსში, შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$H = ***1**01** \quad (6)$$

სადაც \* აღნიშნავს პოზიციას, რომელიც არ შედის შაბლონში.

შაბლონის ეგზემპლარების რიცხვი ავლნიშნოთ  $H$ ,  $t$  ნომრით  $K(H, t)$ , ასევე შემოვიტანოთ აღნიშვნები:

$N$  – პოპულაციის ქრომოსომების რიცხვის ზომა;  $Q$  – პოპულაციის წევრების ნომრების სიმრავლე, რომლებიც აქვს შაბლონს  $H$  ქრომოსომებში;  $d(H)$  –  $H$  შაბლონის სიგრძე, ე.ი. დაშორება (პოზიციების რიცხვი) შაბლონების განაპირა ლოკუსებს შორის, როგორც (1)-ის შემთხვევაში გვაქვს  $d(H)=4$ ;  $U(H)$  –  $H$  შაბლონის თანმიმდევრობა (წესი) (ლოკუსების რიცხვი  $H$ -ში). მაგალითად (1)-ით თანმიმდევრობა ტოლია 3-ის;  $D$  – ქრომოსომის სიგრძე.

როცა მინიმიზაციის ამოცანებში, თუ მშობლების არჩევა (ამორჩევა) ხდება “რულეტკის” ბორბლის წესით, მაშინ  $K_p$  შაბლონის  $H$ , გაშუალდებული  $N_{\text{აქტ}}$ -ით მშობლის ამორჩევით, ამოსარჩევი მშობლების ქრომოსომებში ტოლია:

$$K_p = N \frac{\sum_{q \in Q} (F_{\max} - F_q)}{\sum_{i=1}^N (F_{\max} - F_i)} \quad (7)$$

აშკარაა, რომ

$$\sum_{q \in Q} F_{av}(H) = \sum_{i=1}^N (F_{\max} - F_q) / K(H, t) \quad (8)$$

$$F_o = \sum_{i=1}^N (F_{\max} - F_i) / N \quad (9)$$

სადაც  $F_{av}(H)$  არის ეგზემპლარების გაშუალდებული საჭიროებაა  $H$  შაბლონით, ხოლო  $F_o$  – გაშუალდებული საჭიროებაა პოპულაციის ყველა ეგზემპლარების  $t$  – შთამომავლობაში. ამიტომ

$$K_p = K(H, t) F_{av}(H) / F_o \quad (10)$$

უბრალო ერთწერტილოვან კროსოვერებში, შთამომავლის ქრომოსომებში შაბლონი მოხვდება (ე.ი. არ იქნება გახლეჩილი) ალბათობით.

$$P_s = 1 - d(H) / (D - 1) \quad (11)$$

მუტაციას, მოსახდენი ალბათობით  $P_m$  ცალკეული პოზიციისათვის, ალბათობა  $H$  სქემის შენახვის, განსაზღვრული როგორც  $(1 - P_m)^{u(H)}$ , მიახლოებით ტოლია  $1 - u(H)P_m$ , ამიტომ გადარჩენის ალბათობა  $H$  – სქემის ტოლია:

$$P_s = (1 - P_c d(H) / (D - 1)) (1 - u(H) P_m) = 1 - P_c d(H) / (D - 1) - P_m u(H) \quad (12)$$

სადაც  $P_c$  – კროსოვერის ალბათობაა.

საბოლოოდ გვაქვს მიახლოებითი ტოლობა

$$K(H, t + 1) = K(H, t) P_s F_{av}(H) / F_o \quad (13)$$

მაშასადამე, შაბლონების რიცხვი პერსპექტიული მშობლების ქრომოსომებიდან ( $F_{av} > F_o$ ), რომელთაც საჭიროების ფუნქციის საუკეთესო მნიშვნელობა აქვს, უმჯობესდება პოპულაციის გენოტიპებში თაობიდან თაობაში საჩვენებელი კანონის მიხედვით.

$$K(H, t) = K(H, 0) (P_s F_{av}(H) / F_o)^t, \quad (14)$$

ზრდის სიჩქარე  $K(H, t)$  მით მეტია, რაც მეტია  $F_{av}(H)$  და რაც ნაკლებია  $d(H)$ -ის სიგრძე და  $H$ -შაბლონის თანმიმდევრობა  $u(H)$ .

ავლნიშნოთ შემდეგი:

1. გამოსახულება (2) აღწერს მხოლოდ ზრდის  $K(H, t)$  ცალკეულ ტენდენციას, რადგან  $F_{av}(H)/F_o$  იცვლება თაობიდან თაობამდე. ზრდა  $K(H, t)$  მთავრდება, როცა დგება სტაგნაცია, რომლის დროსაც  $F_{av}(H)=F_o$ ;
2. (2)-ში კროსოვერი განიხილება, როგორც ფაქტორი, რღვევის შაბლონი და არ ხდება გათვალისწინება შთამომავლობის შაბლონების ქრომოსომებში ფორმირების შესაძლებლობის, მშობლების ქრომოსომებში გამოკლებულებს. შთამომავლობისათვის ცალკეული საჭირო შაბლონის ფორმირების შესაძლებლობა, ასეთის არ არსებობას მშობლებში, უწოდებენ რეკომბინაციის პოტენციალს.

ევრისტიკის კომბინირების მეთოდი. შესაძლებელია ქრომოსომების ფორმირების ორი მიდგომა (ამოხსნის კოდირებაზე) სტრუქტურული სინთეზისათვის გენეტიკური მეთოდების გამოყენების დროს.

პირველი მათ შორის ეფუძნება გენების სახით საპროექტო პარამეტრების გამოყენებას. მაგალითად, ამოცანაში პლატაზე მიკროსქემების განლაგება ლოკუსებში, შეესაბამება დასარგებ ადგილს პლატაზე, ხოლო გენებს წარმოადგენს მიკროსქემის ნომრები (სახელები). სხვა სიტყვებით  $K$ -ური გენის მნიშვნელობა იქნება მიკროსქემის ნომერი  $K$ -ს პოზიციის. საგნობრივი პარამეტრების მნიშვნელობის სფერო აპროქსიმირდება მთელი რიცხვის სიმრავლით. ხშირად სამართავ პარამეტრების კოდირება ხდება ორობითი რიცხვით, მაშინ ქრომოსომები წარმოდგინდება ბიტური სტრიქონებით, ხოლო პარამეტრები ამ სტრიქონების ნაწილებად.

მეორე მიდგომის დროს გენებს წარმოადგენს არა თვით საპროექტო პარამეტრები, არამედ ევრისტიკის ნომრები, გამოყენებული საპროექტო პარამეტრების განსაზღვრისათვის. ასეთი განლაგების ამოცანისათვის, შეიძლება გამოვიყენოთ რამდენიმე ევრისტიკა. ერთ-ერთი მათგანით

შემდგომი დასარგები ადგილი უნდა მოვათავსოთ მიკროსქემაზე, რომელსაც გააჩნია უფრო მეტი კავშირები უკვე განლაგებული მიკროსქემასთან, მეორეს მხრივ – მინიმუმი კავშირების რაოდენობის მქონე მიკროსქემას ჯერ არ განლაგებულ მიკროსქემასთან და ა.შ.

ამ შემთხვევაში გენეტიკური ძიება არის ევრისტიკის თანმიმდევრობის ძიება, რომელიც უზრუნველყოფს განლაგების ოპტიმალურ ვარიანტს.

მეორე მიდგომა შეეხება გენეტიკურ პროგრამირებას და რეალიზაცია მეთოდებში, ევრისტიკის კომბინირებულ მეთოდად წოდებული (ან მულტიმეთოდურ გენეტიკურ ალგორითმად). ეს მეთოდი მრავალ შემთხვევაში, აღმოჩნდება უპირატესი. მაგალითად, ცხრილის სინთეზის ამოცანაში მოცემულ სამუშაოთა სიმრავლე ნაწილდება დროში და მომსახურე მოწყობილობებს შორის სერვერებზე, ე.ი. ცალკეული სამუშაოებისთვის საპროექტო პარამეტრებად იქნება სერვერის ნომერი და რიგითი ნომერი მომსახურეობის რიგში. ვთქვათ  $N$  – სამუშაოს რიცხვია,  $M$  – სერვერების რიცხვი. თუ გენები შესაბამება სამუშაოების ნომრებს, მაშინ პირველი მიდგომით, ქრომოსომებში უნდა იყოს  $2N$  – გენები და ერთმანეთისაგან განსხვავებული ქრომოსომების საერთო რიცხვი  $W$  შესაბამისად აჭარბებს რიცხვებს  $N!$  და  $M^N$  – ს.

ევრისტიკების კომბინირების მეთოდის თანახმად, გენების რიცხვი ქრომოსომაში ორჯერ ნაკლების, ვიდრე პირველი მიდგომისა და ტოლია  $N$ . ამიტომ თუ გამოყენებული ევრისტიკის რიცხვი ტოლია  $K$  – სი, მასში ქრომოსომების დასაშვები სიმრავლის სიძლიერე უკვე შესამჩნევად მცირეა, კერძოდ  $W = K^N$ .

ცხადია, რომ ქრომოსომების ნაკლებ ზომას მიყვავართ საუკეთესო გამომთვლელ ეფექტურობასთან, ხოლო  $W$  – ნაკლები მნიშვნელობა საშუალებას იძლევა სწრაფად ვიპოვოთ საძიებელი ექსტრემუმის შემოგარენი. ამას გარდა, ევრისტიკის კომბინირებას მეთოდში ყველა ქრომოსომები, გენერირდება კროსოვერში, იქნებიან დაშვებულები.

ამ დროს, ჩვეულებრივი გენეტიკური მეთოდების გამოყენებისას აუცილებელია გამოვიყენოთ  $PMX$  ტიპის პროცედურები გენების კორექტირებისათვის, დამოკიდებულს ნომრებზე რიგში მომსახურეობაზე, რომელიც აგრეთვე ძეხვის ეფექტურობას ამცირებს.

გენეტიკური ალგორითმების ეფექტურობა. გენეტიკური ალგორითმების ეფექტურობა განისაზღვრება მაჩვენებლების სიზუსტის და გამოთვლილი დანახარჯების მოთხოვნის შესრულების ხარისხით. სიზუსტე ხასიათდება მიღებული შედეგის ცდომილებით:

$$\delta(X^*) = (F(X^*) - F(X_{zusti})) / F(X^*) \quad (15)$$

სადაც  $X^*$  – ამოხსნაა, მიღებული გენეტიკური ალგორითმის მეშვეობით,  $X_{zusti}$  – ექსტრემუმის ზუსტი მნიშვნელობაა,  $F(X)$  –  $X$  წერტილში მიზნობრივი ფუნქციის მნიშვნელობაა. რამდენადაც პრაქტიკულად ამოსახსნელ ამოცანაში წერტილი  $X_{zusti}$  უცნობია, სიზუსტის შეფასებას სხვადასხვა ალგორითმებს ასრულებენ ტესტურ ამოცანებზე და  $X_{zusti}$  – ის მაგივრად იღებენ ცნობილი ამოხსნებიდან საუკეთესოს.

გამომთვლელი დანახარჯები შეიცავენ დანახარჯებს პროცესორული დროის და მეხსიერების ამოცანების ამოსახსნელად, ამასთან ძირითადად მნიშვნელობა ენიჭება დროის დანახარჯებს.

თუმცა შაბლონების თეორემიდან გამომდინარე, რომ ქრომოსომების გახლეჩვის რიცხვის ზრდა კროსოვერებში, ფორმირებადი შაბლონების ნგრევას უწყობს ხელს. პრაქტიკულად გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ბევრი ამოცანის ამოხსნისას მრავალწერტილოვანი კროსოვერი უფრო ეფექტური ხდება. ჯ. ჯონგმა და სპირსმა ჯერ კიდევ 1992 წ. შეიტანეს წვლილი, თეორიის და პრაქტიკული შედეგების ასეთი არაშეთანხმებულობის ახსნაში, დაგვანახეს, რომ მრავალწერტილიანი კროსოვერი განსხვავებით ერთწერტილიანის, ეხმარება გრძელი შაბლონების შენახვას, შედგენას ნაწილებისაგან, განლაგებული მარტო ლუწ (ან მარტო კენტ) ნაწილებში გახლეჩილი ქრომოსომის.

სამუშაოში შემოტანილია ცნება გენეტიკური ალგორითმის საძიებო შესაძლებლობა, როგორც შესაძლებლობა ძებნის პროცესში მიიღოს ნებისმიერი მოცემული ქრომოსომა. გამოკვლეულია ქრომოსომების ბინარული კოდირების დროს. გაკეთებულია დასკვნა იმაზე, რომ კროსოვერი დიდი შესაძლებლობების მქონე ქრომოსომის გახლეჩით ეხმარება უფრო სწრაფი შერჩევისა და უფრო აქტიური ძებნისა ქრომოსომის დიდი ნაირსახეობის ხარჯზე, პოპულაციაში. მაგრამ

კითხვა, ერთგვაროვანი კროსოვერის საბოლოო ეფექტურობაზე, როგორც ძალიან დაშლილი ოპერატორი, დარჩა ღიად.

გენეტიკური მეთოდების გამოყენების მაგალითები. ქვემოთ განხილულია მაგალითები ოპტიმიზაციის ამოცანების დასმა და მისი ამოხსნის სტრუქტურულ სინტეზზე გენეტიკური მეთოდებით. ცალკეული ქვემოთ წარმოდგენილი ამოცანების კლასიდან ხელოვნურ ნეირონულ ქსელს მიეცა საშუალება უკეთ მიახლოებოდა ალტერნატიულ ექსტრემუმებს ევრისტიკულ მეთოდთან შედარებით.

შედგენა. შინაარსობრივი არსი შედგენის ამოცანის შეიძლება იყოს სამუშაოების განაწილება შემსრულებლებზე, აღჭურვილობა შენობაში, გამოყენებითი პროგრამული უზრუნველყოფა და ვირტუალური ლოკალური გამომთვლელი ქსელის მონაცემთა ბაზების ქვესიმრავლეებით და სხვა.

განვიხილოთ ამოცანა აღჭურვილობის შედგენით. კერძოდ, ეს შეიძლება იყოს მიკროსქემების განლაგების ამოცანა მოდულების მიხედვით (პლატებად ან შეცვლის ტიპური ელემენტებით), მოდულების პანელებით და სხვა.

ვთქვათ, ამოცანა ხასიათდება შემდეგი საწყისი მონაცემებით:

- $P$  – ელემენტების სიმრავლე (კონსტრუქტივები)  $P_i, i=1 \dots n$ ;
- $B$  – ბლოკების სიმრავლე  $B_j, j=1 \dots m$ ;
- $C$  – კავშირების სიმრავლე, კავშირი  $P_i$  და  $P_k$ ;
- $D$  – მატრიცა ზომით  $n \times n$ , რომლის ელემენტი  $D_{ik}$  ტოლია კავშირების რიცხვისა  $P_i$  და  $P_k$  ელემენტებს შორის.

ავლწეროთ ალტერნატივის  $A$  სიმრავლე. ის წარმოდგინდება მატრიცით  $X$ , ზომით  $m \times n$ , რომლის ელემენტი  $X_{ji}=1$ , თუ კონსტრუქტივი  $P_i$  ჩართულია ბლოკ  $B_j$ , სხვანაირად  $X_{ji}=0$ . ზოგიერთი განაწილება ერთიანების და ნულებისა  $X$  მატრიცის ჯგუფებში წარმოადგენს ერთ კონსტრუქტიულ შედგენას. ე.ი. ერთ პროექტულ ამოხსნას. მაგრამ მხოლოდ ისეთი ვარიანტი 1 და 0 განაწილების  $X$  მატრიცის უჯრებში დასაშვები, რომლებიც აკმაყოფილებს შემდეგ შეზღუდვას:



$$\sum X_{ji}=1 \quad (16)$$

სადაც აჯამვა ხდება  $P_i$  კონსტრუქტივისათვის ყველა  $j$ -ისთვის 1-დან  $m$ -მდე;

$$\sum X_{ji} \leq V_{\max} \quad (17)$$

სადაც აჯამვა ხდება  $B_j$  კონსტრუქტივისათვის ყველა  $i$ -ისთვის 1-დან  $n$ -მდე,  $V_{\max}$  – ერთ ბლოკში შემავალი ელემენტების მაქსიმალური რიცხვია.

პირველი ამ პირობებიდან მეტყველებს იმაზე, რომ მეორე პირობა მოწმობს ბლოკების შეზღუდულ მოცულობაზე.

საერთო ჯამში შედგენის ამოცანებში შეიძლება იყოს რამოდენიმე კრიტერიუმი. კერძო შემთხვევაში გამოიყენება ერთადერთი კრიტერიუმი – ბლოკებს შორის კავშირის რიცხვი. ასეთი კავშირების რიცხვი საჭიროა მინიმუმამდე შემცირდეს.

კრიტერიუმის გამითვლისათვის იყენებენ შემდეგ მოდულს.

ფორმირდება მატრიცები  $Y=X \times P$  და  $W=Y \times X^T$ . მატრიცა  $Y$  ზომით  $m \times n$  არის მატრიცა კავშირების ბლოკებსა და კონსტრუქციებს შორის, ელემენტი  $Y_{ji}$  ამ მატრიცის, ტოლია კავშირის  $j$ -ური ბლოკის რიცხვისა  $i$ -ურ კონსტრუქციოთან. მატრიცა  $W$  აქვს ზომა  $m \times m$ , მისი ელემენტი  $W_{pq}$

ტოლია რიცხვისა ბლოკებს შორის კავშირისა  $B_p$  და  $B_q$ ,  $X^T$ –ტრანსპორტირებული მატრიცისა  $X$ –ის. რადგან ბლოკებს შორის (გარე) კავშირების საერთო რიცხვს გამოკლებული  $K$  რიცხვი, ამიტომ მიზნობრივი ფუნქციის სახით, შეგვიძლია მივიღოთ შიგა კავშირების ჯამური რიცხვის ე.ი. ფუნქცია

$$K(X)=\sum W_{pp}(X) \quad (18)$$

სადაც აჯამება სრულდება  $j$ -ითი 1-დან  $m$ -მდე.

აქედან გამომდინარე, შედგენის ამოცანა წარმოდგენილია, როგორც დისკრეტული . მათემატიკური პროგრამირება მიზნობრივი ფუნქციით (3), შეზღუდვებით (1) და (2) და სამართავი პარამეტრების სიმრავლით –  $X$ .

ანალოგიური სახით, ფორმულირდება სტრუქტურული სინთეზის რიგი სხვა ამოცანებისა. შედგენის ამოცანის გენეტიკური მეთოდით ამოხსნის დროს შეიძლება მიღებულ იქნას ქრომოსომა შემდეგი სტრუქტურით – გენები შეესაბამებიან კონსტრუქციებს,  $i$ -ური გენის მნიშვნელობა არის ბლოკის ნომერი, რომელშიც მოთავსებულია  $i$ -ური კონსტრუქტივი.

ხელოვნური ნეირონული ქსელების გამოყენების შემთხვევაში მთლიანი ამოცანის დეკომპოზიციას მივიყვანთ ლოკალურ ქვეამოცანამდე, ცალკეული მათგანი აირჩევა ერთი, ჯერ კიდევ, არაგანაწილებული კონსტრუქტივიდან და ინიშნება ერთ-ერთი ბლოკი. უნდა ჩამოყალიბდეს წესი  $S_i$  კონსტრუქტივის ამორჩევა ყოველი ქვეამოცანიდან და წესი  $Q_k$  ბლოკის ამორჩევისა ამ კონსტრუქტივისთვის. ყოველი ევრისტიკა შეიცავს თითო წესს  $S_i$  და  $Q_k$ .

წესის ფორმულირება – პასუხსაგები ამოცანაა, რომლის ამოხსნის ხარისხზეა დამოკიდებული ოპტიუმის პოვნის ეფექტურობა.

მაგრამ მისი ამოხსნა  $HCM$ -ით, როგორც ჩანს, მატრიცა, ვიდრე ტრადიციულ ევრისტიკულ მეთოდებში.

ჭეშმარიტად, ტრადიციულ ევრისტიკულ მეთოდებში საჭიროა ერთადერთი კომპლექსური ევრისტიკის ფორმულირება, რომელშიც ზოგიერთი წონით, განსაკუთრებულად გათვალისწინებული იქნება ყველა მოთხოვნა სინთეზირებული ამოხსნისა. მაგრამ ამოხსნის მისაღებად, ოპტიმალურთან მიახლოებულის, ეს წონები უნდა იცვლებოდეს ნაბიჯ-ნაბიჯ (ქვეამოცანიდან ქვეამოცანამდე, ხოლო მონახოს კორექციული ალგორითმი წონების შეცვლა, ჩვეულებრივ ევრისტიკული მეთოდების ფარგლებში შეუძლებელია. წონა მიიღება მუდმივი, ამოხსნა კი – აღმოჩნდება ოპტიმალურიდან შორს.

მეთოდი *HCM* შეიძლება განვიხილოთ, როგორც გენეტიკური მეთოდი წონების თანმიმდევრობის ოპტიმალური განსაზღვრების, მაგრამ კომპლექსური ევრისტიკის ნაცვლად მარტივი და მოსახერხებელია გამოვიყენოთ მარტივი წესების სიმრავლე და წონების შეცვლის მაგივრად განვახორციელოთ წესების გასლის დროს ნაბიჯიდან ნაბიჯამდე, რაც ხორციელდება *HCM*–ში. ასეთი წესების ფორმალიზება არ ზარმოდგენს სიძნელეებს, რადგან არ არის საჭირო წონის დანიშვნა. მთავარია უზრუნველყოთ წესების მრავალფეროვნება, რათა რაციონალური ამოხსნა არ აღმოჩნდეს საძიებელი გარემოს მიღმა.

ოპტიმიზაციის მრავალკრიტერიუმიან ამოცანებში ევრისტიკის ფორმულირების პრობლემა ხშირად იხსნება ძალიან მარტივად: ყოველი წესი უნდა შეესაბამებოდეს ოპტიმალურობის მოცემული კრიტერიუმიდან ერთ-ერთს.

შედგენის ამოცანებში კონსტრუქტივის არჩევის წესების მაგალითები:

- $S_1$ ) აირჩევა კონსტრუქტივი, რომელსაც შეესაბამება მაქსიმუმი ელემენტი მატრიცა  $D$ –ში;
- $S_2$ ) აირჩევა კონსტრუქტივი  $K$  კავშირების მაქსიმალური რიცხვით, სხვა კონსტრუქტივებთან, ე.ი.  $K$ -ური სტრიქონის ელემენტების მაქსიმალური ჯამით  $D$  მატრიცაში (ამ და წინა წესებში სტრიქონები და სვეტები უკვე განაწილებული კონსტრუქტივების მხედველობაში არ მიიღება);
- $S_3$ ) აირჩევა კონსტრუქტივი კავშირების მაქსიმალური რიცხვით უკვე განაწილებული კონსტრუქტივებიდან, ე.ი. კონსტრუქტივი, რომელსაც შეესაბამება სვეტი  $Y$  მატრიცაში ელემენტების მაქსიმალური ჯამით.

ბლოკის ამორჩევის წესების მაგალითები;

- $Q_1$ ) ამორჩევა მინიმალურად დატვირთული ბლოკი;
- $Q_2$ ) ამორჩევა მაქსიმალურად დატვირთული ბლოკი;
- $Q_3$ ) ამორჩევა ბლოკი, კავშირი მაქსიმალური რიცხვის მქონე, განაწილებულ კონსტრუქტივებთან, ე.ი. ბლოკი მაქსიმალური

ელემენტებით  $Y_{ji}$  მიმდინარე მატრიცის  $Y$   $i$ -ურ სვეტში, სადაც  $i$  – განაწილებული კონსტრუქტივის ნომერია.

წესების წყვილს  $S_i$  და  $Q_k$  უწოდებენ ევრისტიკას  $\mathcal{E}_{ik}$ . ზემოთ მოყვანილი წესების მაგალითებიდან გამომდინარე ამოცანების შემთხვევაში გვაქვს  $3 \times 3 = 9$  შესაძლო ევრისტიკა.

კლასტერიზაცია. ზოგჯერ საჭიროა ელემენტების თანაბარი განაწილება ბლოკებს შორის. მაშინ წარმოიშობა კლასტერიზაციის ამოცანა, რომელიც შეიძლება განვიხილოთ, როგორც შედგენის ამოცანის სახესხვაობა, განსხვავებით შეზღუდვების ტიპებით: შეზღუდვის სანაცვლოდ არატოლობის ტიპი შიდა მოცულობისა კლასტერისათვის (ბლოკისათვის) კავშირებში შემოდის შეზღუდვა ელემენტების (კომპონენტების) რიცხვის ტოლობის ტიპ კლასტერებში, ე.ი. შეზღუდვა (2) იღებს სახეს:

$$n_j = \text{ent}(n/m) \text{ ან } n_j = \text{ent}(n/m) + 1 \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^m n_j = n \quad (20)$$

სადაც  $n_j$   $j$ -იურ კლასტერში ელემენტების რიცხვია,  $\text{ent}(n/m)$  – მთლიანი ნაწილი განაყოფი გაყოფისაგან  $n$ -ელემენტების რიცხვის,  $m$  კლასტერების რიცხვზე. სხვა სიტყვებით, საჭიროა ელემენტების თანაბარი განაწილება კლასტერებში, კლასტერებს შორის კავშირის მინიმუმამდე დაყვანა. კერძოდ პლატებზე მიკროსქემების დატანის ზოგიერთ ალგორითმებში, წინასწარ ამოიხსნება ამოცანა დოპოტომური კლასტერიზაციის – მიკროსქემების სიმრავლის დაყოფა ორ მინიმალურად დაკავშირებულ ქვესიმრავლეებად ერთნაირი სიმძლავრით ( $n$ -ის ლუწი მნიშვნელობისათვის).

ცხადია, რომ კლასტერიზაციის ამოცანებში შესაბამისად კორექტირების შემდეგ, შეიძლება გამოვიყენოთ წესი შემდეგი ელემენტების ამორჩევისა და მისი განლაგება ერთ-ერთ კლასტერში, ანალოგიურად, წესების შედგენა ამოცანაში.

ასე რომ, წესში  $Q_1$  კლასტერების ჩატვირთვა შეფასდება მისი შიგა ტრაფიკით (დაკავშირებით), ხოლო მასში განლაგებული ელემენტების რიცხვით, ყველა წესებში  $Q_1$ ,  $Q_2$  და  $Q_3$  შესაძლო კლასტერებ-კანდიდატად შეიძლება იყოს მარტო ის კლასტერი, რომელშიც ჯერ კიდევ არ ამოწურულა განლაგების ლიმიტი. წესები  $S_1-S_3$  გამოიყენება შეცვლის გარეშე. მიზნობრივი ფუნქციის გამოთვლის დროს, ჯარიმების შეზღუდვების დარღვევისათვის არაა გათვალისწინებული, რადგან შეზღუდვების აღრიცხვა შეტანილია ევრისტიკაში.

შესაძლებელია სხვა ვარიანტები ევრისტიკის სიმრავლის. მაგალითად, შესაძლოა გამოვიყენოთ წესი, რომელშიც შემდეგ მოსათავსებელ ელემენტად აირჩევა ელემენტი:

- $S_1$ ) სტრიქონში, რომელიც კავშირების მატრიცის მაქსიმალური ელემენტი;
- $S_2$ ) მაქსიმალური ჯამური კავშირის მქონე ჯერ კიდევ არ განლაგებულ ელემენტებთან;
- $S_3$ ) მინიმალური ჯამური კავშირის მქონე ჯერ კიდევ არ განლაგებულ ელემენტებთან.

უკვე ამორჩეული ერთი იმ წესებიდან  $S_1-S_3$  ელემენტისა  $i$  განისაზღვრება კლასტერი, რომელშიც:

- $Q_1$ ) არის ელემენტი, მაქსიმალურად დაკავშირებული  $i$ -ზე;
- $Q_2$ ) უკვე განლაგებული ელემენტები მაქსიმალურად დაკავშირებულია  $i$ -ზე. (მაქსიმალურად ჯამური კავშირი).

ამ წესებით შეიძლება 6 სხვადასხვა ევრისტიკის კომბინირება და ევრისტიკის დამატება, სადაც დასაწყისში განისაზღვრება  $L$  კლასტერი მინიმალური ჩართვისთვის ნიშნით, ხოლო შემდეგ მისთვის შეირჩევა ელემენტი ნიშნით, მაქსიმალური კავშირით უკვე განლაგებულ  $L$  ელემენტებთან. შეზღუდვა ელემენტების მაქსიმალურად დასაშვებ რიცხვზე კლასტერებში შეყვანილია ევრისტიკები. ცხრილების (განრიგის) სინთეზი. ცხრილების სინთეზის ამოცანები მოითხოვება ამოხსნა მარავალ დანართში, მაგალითად სხვადასხვა საწარმოო პროცედურების დაგეგმვის დროს, რესურსების განაწილება,

პროცესორების რიცხვისა და ტიპების ამორჩევა მრავალპროცესორული სპეციალიზირებული კომპლექსებისათვის და სხვა.

განვიხილოთ ამოცანის ამოხსნის საკითხის დასმა და მიდგომა ერთ-ერთი ძირითადი სხვადასხვაგვარი ცხრილების სინთეზის, აღნიშნული *JSSP*-ით. (Job Shop Scheduling Problem).

საწყისს მონაცემებს მიეკუთვნება:

- სამუშაოს სიმრავლე  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ ;
- შესრულების სიმრავლე, მანქანებად წოდებული (ან სერვერებად)  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ ;
- მატრიცა  $P = [P_{ij}]$ , სადაც  $P_{ij}$  – დროის დანახარჯი სამუშაოს შესრულებისათვის  $i$  მანქანაზე  $j$ ;
- ვექტორი  $C = (C_1, C_2, \dots, C_m)$ , სადაც  $C_j$  – ერთეული დროის  $M_j$  მანქანის სამუშაო ფასია;
- შეზღუდვა სამუშაოს დამთავრების დროზე  $T = (T_1, T_2, \dots, T_n)$ , სადაც  $T_i$   $i$ -ს მუშაობის დამთავრების ზღვრული დროა;
- ჯარიმა  $Q$ , დამატებული საერთო დანახარჯებზე  $Z$ , რომელიმე სამუშაოს შეზღუდვის დარღვევის შესაბამისი დროებით.

მოითხოვება ცხრილის შედგენა, რომლის დროს მინიმიზაცია ხდება დანახარჯების ყველა შესრულებული სამუშაოს ჯარიმის გათვალისწინებით.

ცხრილების სინთეზის სხვა სახეობის ამოცანებში, შეიძლება იყოს ესა თუ ის გართულებული ამოხსნის განსხვავება. განსხვავების მაგალითებად შეიძლება იყოს წარმოდგენილი:

1. მრავალსტადიურობა – რამდენიმე სტადიის ყველა სამუშაოს მომსახურების არსებობა;
2. სამუშაოს დაყოფა რამდენიმე ჯგუფად და მანქანების გადაიარაღებისათვის დამატებითი დანახარჯების გათვალისწინება, სამუშაოების სხვადასხვა ჯგუფების თანამიმდევრული მომსახურების დროს;
3. სამუშაოების ნაწილობრივი მოწესრიგება ე.ი. რამდენიმე წყვილი სამუშაოსათვის  $i, K$  შემოდებული შეზღუდული შედეგის სახით:

$$B_i \geq E_k$$

სადაც  $B_i$   $i$ -ური სამუშაო დაწყების დროა,  $E_k$   $k$ -ური მუშაობის დამთავრების დრო.

ყოველი ევრისტიკა  $HCM$  მეთოდის გამოყენებისას ცხრილის სინთეზისათვის, შეიცავს ორ წესს: ერთი მომდევნო სამუშაოს ამორჩევისათვის, მეორე მანქანის არჩევისათვის, რომელიც მოემსახურება ამ სამუშაოს.

მაგალითად, მრავალსტატიკური ცხრილის სინთეზის მომდევნოს სახით შეიძლება ამოირჩეს სამუშაო:

- ნაკლები  $T_i$ -ით;
- წინა სტადიის მომსახურების დამთავრების ნაკლები დროით  $E_i$  მანქანების შერჩევის (ამორჩევის) წესების მაგალითები:
  1. შეირჩევა მანქანა, რომელზედაც მოცემული სამუშაოს მომსახურება იქნება უფრო იაფი;
  2. შეირჩევა მანქანა, რომელზედაც სამუშაო შესრულებული იქნება მცირე დროში.

სატრანსპორტო საშუალებების მარშრუტიზაცია. სატრანსპორტო საშუალებების მარშრუტიზაციის ამოცანებს შორის, სხვადასხვა ტვირთების გადატანისას, ერთ-ერთ ყველაზე რთულ ამოცანად ითვლება  $VRPTW$  (Vehicle Routing Problem with Time Windows) ამოცანა. სატრანსპორტო საშუალებების მარშრუტიზაცია დროითი ფანჯრებით. დროით ფანჯარას აქ უწოდებენ დროით ინტერვალს, რომელშიც უნდა შესრულდეს გადატანის დაკვეთა. ამოცანაში მოცემულია:

- $n$  – პროდუქციის მომხმარებელთა კვანძების რიცხვი ( $k$ -ურ კვანძში – მომხმარებელი იგივეა  $k$  - შემკვეთთან);
- $Z$  – პროდუქციის კვანძი-წყაროების რიცხვი;
- $m$  – სერვერების რიცხვი (სატრანსპორტო საშუალებების);
- $W$  – კვანძების საერთო რიცხვი;
- $V$  – საწყისი განლაგება მომხმარებლის, წყაროებისა და სერვერების სატრანსპორტო ქსელის კვანძში;
- $D$  – კვანძებს შორის მანძილის მატრიცა;

- $T_{1i}$  და  $T_{2i}$  –  $i$ -ური შეკვეთის დროებითი ფანჯრის ქვედა და ზედა ზღვარი;
- $P$  – პროდუქციის ტიპის რიცხვი.

ამას გარდა, მომხმარებელთა კვანძებსა და წყაროებს შორის მოცემულია მოცულობა, შესაბამისად შეკვეთილი და არსებული პროდუქციის ყოველი ტიპის სერვერისათვის.

– მაქსიმალური მოცულობა გადასაზიდი პროდუქციის, მოძრაობის სიჩქარე, ერთეული დაშორების გარბენის ფასი, ჯარიმა დროის შეზღუდვის დარღვევისათვის, ამასთან ჯარიმები დამოკიდებულია ყოველი ტიპის პროდუქციის ერთეულ ფასზე და შეზღუდვის დარღვევის ხარისხზე.

საჭიროა ევრისტიკა სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობის გრაფიკის, რათა შესრულდეს ყველა შეკვეთა მინიმალური დანახარჯით. ყოველი ევრისტიკა  $HCM$ -ის გამოყენებისას, შეიცავს წესს შეკვეთის (კვანძი-მომხმარებელი), პროდუქციის წყარო-კვანძის და სატრანსპორტო საშუალებები. (არ არის გამორიცხული, რომ კონკრეტული შეკვეთის შესრულებისათვის მოიხილება ერთზე მეტი წყარო და/ან სერვერი).

კვანძში-მომხმარებლის არჩევისთვის შეიძლება გამოვიყენოთ შემდეგი წესები:

- $S_1$ ) უპირატესობა ენიჭება კვანძს შეკვეთილი ჯამური მოცულობით;
- $S_2$ ) შეირჩევა მომხმარებელი შეკვეთილი პროდუქციის მაქსიმალური ფასით;
- $S_3$ ) შეირჩევა მომხმარებელი დროითი ფანჯრის მინიმალური ზრდა ზღვრით.

პროდუქციის წყარო-კვანძის შერჩევის წესებში, უპირატესობა შეიძლება მიეცეს წყაროს:

- $Q_1$ ) მინიმალური დაშორებით კვანძი-მომხმარებლის პირველი ნაწილის არჩევამდე;
- $Q_2$ ) მინიმალური თანხით  $D$  დაშორებით კვანძში-მომხმარებლამდე და უახლოეს კვანძამდე, რომელშიც არის თავისუფალი სერვერი;



- $Q_3$ ) მინიმალური სიდიდით  $h = ((L_1 + L_2)U_0)/U$ , სადაც  $L_1$  და  $L_2$  დაშორებაა შესაბამისად კვანძი-მომხმარებელამდე და უახლოეს კვანძამდე, რომელშიც არის თავისუფალი სერვერი,  $U_0$  – შეკვეთილი პროდუქციის ჯამური მოცულობას,  $U$  – პროდუქციისა წყაროში ჯამური მოცულობაა.

ევრისტიკა შეივსება წესებით, რომელშიც აირჩევა სერვერი:

- $V_1$ ) მინიმალური დაშორებით კვანძი-მომხმარებელიდან;
- $V_2$ ) მინიმალური დროით წინა მომხმარებელიდან განთავისუფლებისა;
- $V_3$ ) მარშრუტის შესრულების მინიმალური დროით.

გადამრთველ ქსელებში მონაცემთა გადაცემის არხების ტოპოლოგიის განსაზღვრის ამოცანები და მათში ტრაფიკის განაწილება ეკუთვნის სტრუქტურული სინთეზის რთული ამოცანების. ამოცანები, მსგავსი ქვემოთ განხილული ამოცანისა, მონაცემთა გადაცემის არხების სინთეზი ქსელში, გვხვდება მრავალ დანართში ქსელის სინთეზისას და მასში განაწილებული მატერიალური, სატრანსპორტო და ინფორმაციული ნაკადები.

განხილება შემდეგი ამოცანა. მოცემულია:

- ქსელის სიმრავლე  $Y$  კვანძების (წვეროების),  $N$  – კვანძების რიცხვი;
- ტრაფიკი, მისი მოცემულობისათვის გამოიყენება ზოგიერთი მატრიცა; ტრაფიკი მოიცემა  $T$  მატრიცის სახით; მისი ელემენტი  $T_{ij}$  არის ტრაფიკი  $i$  და  $j$  კვანძებს შორის.
- მატრიცა  $C$  ღირებულების გაყვანისა და იჯარის (პროგნიზირებადი დროის ექსპლუატაციის) წყვილკვანძებს შორის კავშირის,  $C_{ij}$  – კავშირის ღირებულება  $i$  და  $j$  კვანძებს შორის.
- მომსახურე მოწყობილობს ღირებულება, ღირებულების განისაზღვრება მოწყობილობის ტიპით, ხოლო ტიპი აირჩევა ტრაფიკზე დამოკიდებულებით შესაბამის არხზე.

საჭიროა ქსელის აგებაზე დახარჯული საერთო დანახარჯების მინიმიზაცია, შედგენილი დანახარჯებიდან კავშირის გაყვანისა და მომხმარე მოწყობილობაზე.

ამოცანის ამოხსნა შეიცავს ორ პროცედურას:

1. კავშირის სისტემის შერჩევა – ქსელის კარკასი;
2. კავშირის ტრაფიკის გადატანა, კარკასში არ შემავალი და ქორადად წოდებული ამა თუ იმ კარკასის კავშირზე.

პირველ პროცედურაში განიხილება სრული გრაფიკი  $G=\{Y,S\}$ ,  $S$  – სრული გრაფის გვერდების (კავშირების) სიმრავლეა. კარკასი შეირჩევა ძირითადი ხის სახით, შემდგომში მას შეიძლება დაემატოს ზოგიერთი სხვა კავშირები.

ხის შერჩევის ალგორითმი დაფუძნებულია თანდათანობით მიერთებაზე  $D_1$  მწვერვალების ქვესიმრავლეებთან, უკვე ჩართულ ხეში, შემდეგ წვეროებზე  $D_2$  მწვერვალების ქვესისტემიდან, ჯერ არ ჩართული ხეში. წესი ჩართული მწვერვალის შერჩევისა – მისი მაქსიმალური სიახლოვე, ხესთან, ე.ი. ხეში ჩართვება კავშირი  $(k,l)$  შემდეგი პირობით:

$$C_{kl} = \min_{m \in D_2} W_m \qquad W_m = \min_{j \in D_1} C_{mj} \qquad (21)$$

სადაც ალგორითმის შესრულების დასაწყისში – ჩართვა  $D_1$ -სი ორი მწვერვალი  $k$  და  $l$ , რომელთაც შეესაბამება  $C$  მატრიცის მინიმალური ელემენტი.

პროცედურის დამთავრებისას აღმოიფხვრება ჩამოკიდებული მწვერვალები მათი გაერთიანებით ერთმანეტთან. ამისათვის საკმარისია აიგოს კიდევ ერთი ხე, მაგრამ უკვე გრაფაზე, რომელიც მხოლოდ ჩამოკიდებულ მწვერვალებს შეიცავს. ამრიგად, კარკასი შეიცავს კავშირს ორ აგებულ ხეებს შორის.

მეორე პროცედურის ალგორითმები დაფუძნებულია კავშირების კლასიფიკაციაზე. პირველი რანგის კავშირი – ეს კარკასის კავშირია. მეორე რანგის კავშირი – ეს ისეთი  $(i,j)$  ქორდაა, როდესაც გვაქვს მწვერვალი  $K$  და კავშირები  $(i,k)$  და  $(k,j)$  ჩართულია კარკასში.  $P$ -ეს რანგის ქორდა – ეს ისეთი  $(i,j)$  ქორდაა, როცა გვაქვს  $K$  მწვერვალი და კავშირები  $(i,k)$  და  $(k,j)$  წარმოადგენს კავშირების რანგს  $P$ -ზე ნაკლებ, სადაც ერთ-ერთი მათგანს აქვს რანგი  $P$ -ს.

ქორდების კლასიფიკაციის შედეგები შეადგენს  $U$  მატრიცას, მისი ელემენტი  $U_{ij}=P_{ij}$ , სადაც  $P_{ij}$  არის  $(i,j)$  კავშირის რანგი.

$U$  მატრიცის შევსება ხდება შემდეგი ალგორითმით. დასაწყისში პირველი რიგის ყველა  $(i, j)$  კავშირებს მიენიჭება  $P=1$  რანგი, ე.ი. მივიღებთ  $U_{ij}=1$ , შემდეგ თუ  $U_{ij}=0$  და გვაქვს ისეთი  $k>j$ , რომ  $(U_{ik}=1 \wedge U_{jk}=P) \vee (U_{ik}=P \wedge U_{jk}=1) = \text{ture}$ , მაშინ  $U_{ij}=P+1$ .

ალგორითმის შესრულება ხდება  $P$ -ს თანდათანობითი გაზრდით, სანამ  $U$  არ შეივსება სრულად.

ტრაფიკის გადატანა ქორდებიდან კარკასის კავშირებზე, ხორციელდება ევრისტიკით, შერჩეული გენეტიკური მეთოდებით.

უმაღლესი რანგის კავშირებიდან დაწყებული და დამთავრებული კავშირებით რანგი 2, თანმიმდევრობით  $(i, j)$  ცალკეული კავშირებით, გამოიყენება ერთი შედეგი ევრისტიკიდან.

1. თუ  $(U_{ik}=1 \wedge U_{jk}=P-1)$ , მაშინ ტრაფიკი  $(i, j)$ -კავშირიდან გადადის კავშირში  $(i, k)$  და  $(k, j)$ ;
2. შეირჩევა  $K$ , შესაბამისი მინიმალური ჯამი  $C_{ik}+C_{jk}$ , პირობით  $(U_{ik}=1 \wedge U_{jk}=P-1) = \text{ture}$ , ტრაფიკი  $(i, j)$ -კავშირიდან გადადის კავშირში  $(i, k)$  და  $(k, j)$ ;
3. იგივე, რაც წესი 2, მაგრამ პირობის შეცვლით  $(U_{ik}=P-1 \wedge U_{jk}=1) = \text{ture}$ ;
4. იგივე, რაც წესი 3, მაგრამ ტრაფიკის გადატანა ხორციელდება მხოლოდ, თუ  $C_{ij} > C_{ik} + C_{jk}$ , სხვაგვარად კავშირი მიუერთდება კარკასს.

**ევოლუციური მეთოდების სახესხვაობა.**

გენეტიკური ალგორითმები შეიძლება იყოს პარალელური, ყველაზე ნაკლები, ორი ხერხით.

პირველი ხერხი მიეკუთნება ბაზური გენეტიკური ალგორითმის შიგა ციკლის ოპერაციების პარალელურ შესრულებას. ამ შემთხვევაში ხდება ერთი და იმავე ქრომოსომების პოპულაციის ევოლუციის იმიტაცია. ალგორითმის რეალიზაცია მიზანშეწონილია კომპიუტერზე პროცესორების რიცხვით, არა ნაკლებ პოპულაციის  $N_{\text{პოპულ}}$  ზომისა.

მეორე ხერხი მდგომარეობს ზოგიერთი ევოლუციის იმიტაციაში, პერიოდულად თავის გენოტიპების ერთმანეთში გაცვლით.

ამ ხერხის სახესხვაობა განისაზღვრება პოპულაციებს შორის გაცვლის ცხრილით. ცხრილში მოცემული უნდა იყოს შემდეგი ცნობები:

- ა) ავტონომიური ევოლუციის პერიოდი, გაცვლებს შორის პოპულაციაში შთამომავლობის ცვლის გაზომილი რიცხვით;
- ბ)  $B$  გაცვლის მატრიცა, რომლის ელემენტი  $b_{ij}=1$ , თუ გენური მატერია, პოპულაცია  $i$ -დან გადაეცემა  $j$ -ს, სხვანაირად  $b_{ij}=0$ ;
- ა) გაცვლის შინაარსი, ე.ი. ქრომოსომების სია, გადასაცემი გაცვლის დროს, პოპულაცია  $i$ -დან პოპულაცია  $j$ -ზე. მაგალითად, შესაძლებელია წრიულის გაცვლა ( $b_{ij}=1$ ), მხოლოდ მაშინ  $j=i+1$ , გამოკლებით პოპულაციის მაქსიმალური ნომრით  $j$ , რომლისთვისაც ( $b_{ij}=1$ ).

გენეტიკური ალგორითმი პოპულაციებს შორის გაცვლების მეორე ხერხით პოულობს გამოყენებას ერთ პროცესორიან კომპიუტერზე.

თუ პოპულაციები იცვლიან თავის საუკეთესო წარმომადგენლებს, მაშინ ჩვეულებრივ, რამდენიმე გაცვლის შემდეგ, ყველა პოპულაციაში დომინირებას იწყებენ გენოტიპები, საუკეთესოები შთამომავლობიდან, ე.ი. ხდება გენოფონდის ხარისხის გათანაბრება ყველა პოპულაციაში, პოპულაციებიდან საუკეთესოს დონეზე. სხვა სიტყვებით, პარალელური გენეტიკური ალგორითმის გამოყენების შედეგები მიახლოებით ემთხვევა შედეგებს. არაპარალელური, ჩვეულებრივი ხერხის გამოყენებისას, მაგრამ მიიღება ისინი, რათქმაუნდა, ნაკლები დროის დანახარჯებით.

ოპტიმიზაციის ჰიბრიდულ ალგორითმებს უწოდებენ ალგორითმს, რომელშიც ექსტრემუმების ძიებისათვის გამოიყენება იდეა, ორი ან მეტი ოპტიმიზაციის მეთოდისა. ჰიბრიდული ალგორითმების ტიპურ მაგალითს წარმოადგენს გენეტიკური ალგორითმები ცალკეული გენერირებადი შთამომავლის გაუმჯობესებით, ლოკალური ძებნის მეთოდის დახმარებით. ლოკალური ძებნა სრულდება მაკრომუტაციის საშუალებით. მაკრომუტაციის ზომა, ე.ი. გენების რიცხვი, რომელიც განიცდის მუტაციას, განსაზღვრავს მიმდინარე საძიებო წერტილის

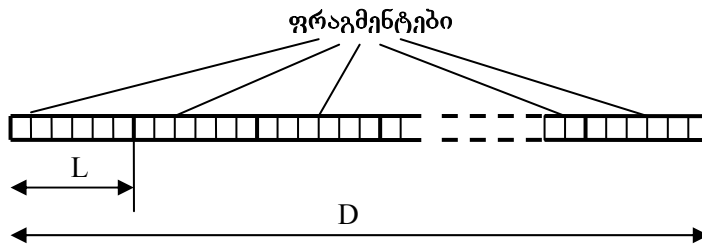
შემოგარენს, რომელშიც იძებნება საუკეთესო წერტილი, ერთი წერტილის პოვნის არაწარმატებული ცდის რიცხვი შეზღუდულია სიდიდით  $K$ . თუ ნაპოვია წერტილი მიზნობრივი ფუნქციის საუკეთესო მნიშვნელობით, მაშინ ხდება გადასვლა ამ წერტილში და კვლავ დაიშვება ძებნა ცდების რიცხვით, ტოლი  $K$ -სი.

როგორც გვიჩვენა ექსპერიმენტის შედეგმა, ჰიბრიდული ალგორითმები არ ფლობენ შესამჩნევ უპირატესობას მიღებული შედეგების სიზუსტით არაჰიბრიდულ გენეტიკურ ალგორითმებთან შედარებით, ამავე დროს დროითი რესურსების დანახარჯი შეიძლება არსებითად გაიზარდოს.

#### **გენეტიკური ალგორითმი ფრაგმენტული კროსოვერით.**

გენეტიკური ალგორითმების გამოყენების პრაქტიკული გამოცდილება მოწმობს მრავალწერტილოვანი კროსოვერის უპირატესობაზე ერთწერტილოვანთან შედარებით. გენეტიკური მეთოდი ფრაგმენტული კროსოვერით, აგრეთვე შერეულ ევოლუციურ მეთოდად წოდებული (*MMEM – Mixed Mode Evolution Method*), წარმოადგენს რეალიზაციის მრავალწერტილოვანი კროსოვერის ერთ-ერთ ხერხს. *MMEM* გამოყენების მიზანს წარმოადგენს გენეტიკური ძებნის ეფექტურობის გაზრდას, მიღწევად *MMEM*–ში ფრაგმენტის ოპტიმალური ზომის შერჩევის ხარჯზე, რომლებზედაც ქრომოსომები იყოფა კროსოვერში. *MMEM* ხასიათდება შემდეგი ორი თვისებით: 1. მრავალწერტილოვანი კროსოვერი; 2. მრავალქრომოსომული რეკომბინაცია, ე.ი. ცალკეული შთამომავლობის ქრომოსომა ფორმირდება ორ მშობელზე მეტი ქრომოსომით.

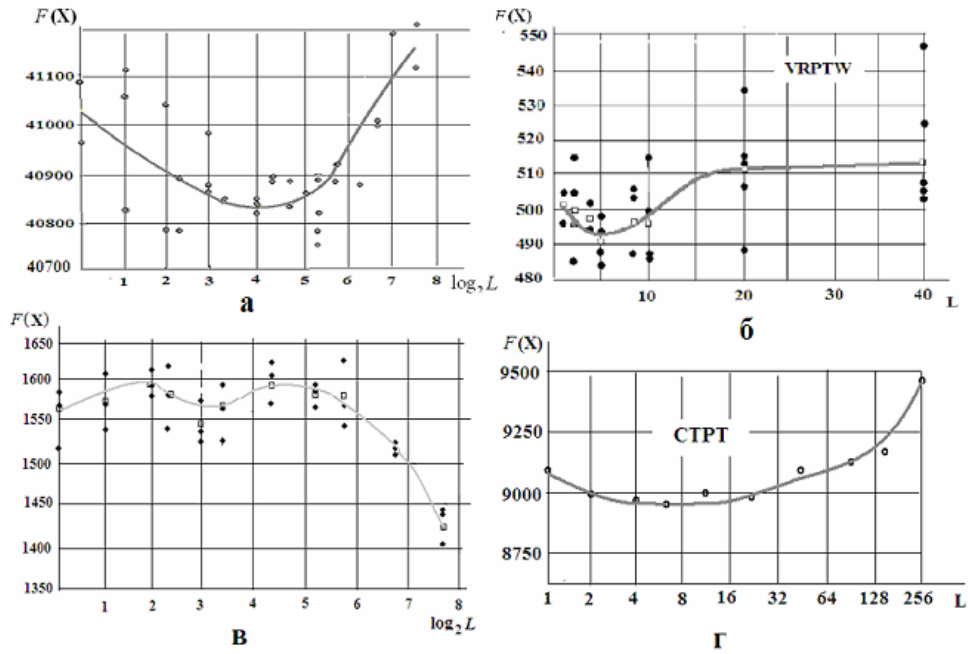
*MMEM*–ში ფრაგმენტებს უწოდებენ ნაკვეთს, რომლებზედაც ქრომოსომა იყოფა კროსოვერში. ცალკეულ ფრაგმენტში სრულდება ოპერაციები მშობლების წყვილის არჩევისა და ერთწერტილოვანი კროსოვერის. მუტაცია და მიზნობრივი ფუნქციის შეფასება ხორციელდება მთლიანი ქრომოსომების ფარგლებში. ქრომოსომის ფრაგმენტაციის ილუსტრაცია წარმოდგენილია ნახ. 21-ზე.



ნახ.21. ფრაგმენტული კროსოვერით

ფრაგმენტული კროსოვერის სფეციფიკაცია ძირითადი სახით გამოხატულია ქრომოსომის ფორმირების ბლოკში, შემდეგი შთამომავლობისათვის. გამოყენებული მეთოდის თავისებურებების დამახასიათებელ პარამეტრებად, ითვლებიან ფრაგმენტების სიგრძეები, რომლებზედაც იყოფა მშობლების ქრომოსომები, რიცხვი “ქრომოსომა-მშობლები” ყველა ფორმირებადი ქრომოსომის [26].

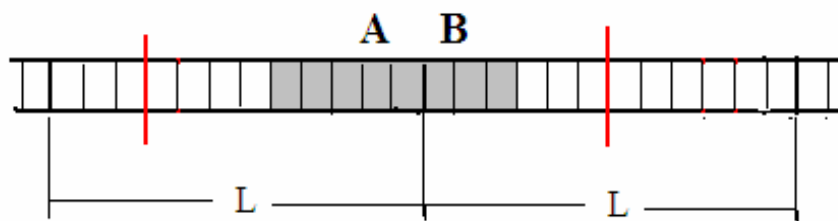
ნახ. 18-ზე წარმოდგენილია შემდეგი რიგი ტექსტური ამოცანის ამოხსნისა ფრაგმენტული კროსოვერით გენეტიკური მეთოდის დახმარებით ფრაგმენტების სიგრძის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს. ქრომოსომების სიგრძეები იყოფოდა დიაპაზონში 40 გენიდან ამოცანაში  $VRPTW$  800-მდე ცხრილის სინთეზის ამოცანაში. რადგანაც, როცა  $L=D$  გვაქვს გენეტიკური ალგორითმი ერთწერტილოვანი კროსოვერით, ხოლო როცა  $L=1$  ერთნაირი კროსოვერით, სადაც  $L$  ფრაგმენტის სიგრძეა (ფრაგმენტში გენების რიცხვი),  $L$  - ქრომოსომის სიგრძე, ნახ. 18-ის შედეგები იძლევა შედარების საშუალებას ამოცანის ამოხსნის სიზუსტისა კროსოვერის წერტილოვანი სხვადასხვა რიცხვის შემთხვევაში.  $MMEM$  -ის შემთხვევაში ყველა ოთხივე ამოცანაში ექსტრემუმებთან მიახლოების ხარისხი (ამოცანებში a), b) c) სრულდება მინიმიზაცია, ხოლო ამოცანა d)-ში მიზნობრივი ფუნქციის მაქსიმიზაცია). იყ ა მაღალი, ვიდრე ერთწერტილოვანი, ორწერტილოვანი ან ერთგვაროვანი კროსოვერში, ერთნაირი გამოთვლითი დანახარჯების დროს.



ნახ.22. ამოცანებში ფრაგმენტის სიგრძეზე მიზნობრივი ფუნქციის ექსტრემალური დამოკიდებულება: ა) ცხრილის სინთეზი; ბ) სატრანსპორტი საშუალებების მარშრუტიზაცია დროითი ფანჯრებით (VRPTW); გ) შედგენა; დ) გამოთვლითი ქსელის ტოპოლოგიის სინთეზი.

ფრაგმენტების სიგრძის მნიშვნელობას, ოპტიუმების არსებობის დასაბუთებისათვის, სიზუსტის თვალსაზრისით, ემსახურება შემდეგი მოსზრებები.

განვიხილოთ ორფრაგმენტიანი ქრომოსომის ნაწილი, მუტაციისა და შიგა ფრაგმენტული კროსოვერის არარსებობის პირობებში (ნახ.19)



ნახ. 23. ქრომოსომის ორფრაგმენტიანი ნაწილი

აღბათობა  $P_{AB}$   $H_{AB}$  შაბლონის შედგენილი  $A$  შემთხვევითი გენერაციის მარცხენა ნაწილისაგან და  $B$  მარჯვენა ნაწილისაგან და ინციდენტურ ორ ფრაგმენტად, საწყის თაობაში  $N \ll K^{u(H_{AB})}$ -ისათვის ტოლია:

$$P_{AB} = N / K^{u(H_{AB})} \quad (22)$$

სადაც,  $N$  – პოპულაციის ზომაა,  $K$  – ქრომოსომის კოდირების ალფაბეტიში სიმბოლოების რიცხვია,  $u(H_{AB})$  –  $H_{AB}$  შაბლონის წესრიგი. ანალოგიურად აღბათობა  $A$  და  $B$  შაბლონების გენერაციის, წესრიგით  $u(A)$  და  $u(B)$  შესაბამისად ფასდება  $N \ll K^{u(A)}$  და  $N \ll K^{u(B)}$  როგორც

$$P_A = N / K^{u(A)} \quad \text{და} \quad P_B = N / K^{u(B)} \quad (23)$$

ბევრ პრაქტიკულ ამოცანებში (ცხრილის სინთეზი მიეკუთვნება მათ რიცხვს) მჭიდრო შაბლონები ახდენენ მეტ გავლენას საჭიროების ფუნქციაზე, ვიდრე შაბლონები დაშორებული ერთმანეთისაგან ლოკუსებით. ამიტომ განხილვა მიზანშეწონილია ჩატარდეს სამაგალითო მჭიდრო შაბლონზე  $d(H_{AB}) = u(H_{AB})$ .

ვთქვათ, შაბლონი  $H_{AB}$  წარმოადგენს საჭიროს და შედის ოპტიმალური ქრომოსომების შემადგენლობაში. არსებობს შაბლონის ზოგიერთი სიგრძე  $d_{nop}$ , რომლისათვისაც  $H_{AB}$ -ს გამოჩნდა საწყისი პოპულაციაში მცირედ შესაძლებელი ხდება და ეს აღბათობა არის  $P_{nop}$ . მაგალითად,  $P_{nop} = 0.02$ ,  $N = 100$  და  $K = 5$  (ბოლო შეიძლება ნიშნავდეს, რომ გამოიყენება 5 სხვადასხვა ევრისტიკა მულტიმეთოდურ ალგორითმში) მივიღებთ:

$$d_{nop} = \lg(50^N) / \lg 5 > 5 \quad (24)$$

$H_{AB}$  შაბლონი გამოჩნდება მიმდინარე პოპულაციაში  $d > d_{nop}$  –ისთვის შეიძლება მხოლოდ მისი გენერაციის შემდგომ (შენახვა



გამორიცხულია). გენერაცია ხდება  $A$  და  $B$  შაბლონების ნაწილის რეკომბინაციის ალბათობით, რომ ტოლია  $P_A P_B$ .

მაშასადამე, აუცილებელია, რომ  $P_A$  და  $P_B$  იყვნენ მეტი  $P_{nop}$ -ზე, რაც ალბათ, სრულდება განხილულ მაგალითში როცა  $d_{nop} = 6$  ან  $7$ -ს.

ნახ-3 სიტუაციაში  $H_{AB}$  გამოჩენილი შაბლონის, არ შეუძლია შენარჩუნდეს და იშლება კროსოვერის შემდეგ აქტში, თუმცა მისი საჭიროების მაღალი შეფასება, მიყვაროთ  $P_A$  და  $P_B$  ალბათობის გაზრდასთან, ე.ი. ალგორითმის გენერაციულ შესაძლებლობასთან. შაბლონებისათვის მცირე საჭიროებით, ვიდრე  $H_{AB}$  შაბლონის საჭიროება შემადგენელი კომპონენტის გენერაციის საშუალებაში ძლიერდება სუსტად ან კიდევ სუსტდება. მაშასადამე, საჭიროა პოპულაციაში საჭირო შაბლონების შენახვის, რადგანაირად მათი გენერაციის საშუალებით გაძლიერება.

პოზიციების რიცხვის გაზრდა, რომელშიც იზრდება ახალი შაბლონების გენერაცია, დახმარებას უწევს საჭირო შაბლონების გამოჩენას ქრომოსომების ნაწილების მეტი რიცხვით, რომელიც თავის მხრივ ხსნის საჭიროების ფუნქციის გაუმჯობესებას და  $L$ -ის შემცირებას, მე-2 გრაფიკზე ფრაგმენტების სიგრძის ოპტიმალური სიგრძის  $L_{opt}$ -ის დროს. როცა  $L = L_{opt}$  იწყება გახლეჩის მოსახდვრე წერტილების სიახლოვე ერთმანეთთან. თუ დაშორება  $L$  ამ წერტილებს შორის ხდება თანაზომადი ან ნაკლები  $d_{nop}$ , საჭირო შაბლონების გენერაციის ინტენსივობა ეცემა, რადგანაც ესეა შაბლონი ფორმირდება უკვე სამი ნაწილისაგან  $A, B, C$  ცალკეული მიეკუთნება სხვადასხვა ფრაგმენტებს და ალბათობა მისი გენერაციის, განისაზღვრება სამი ალბათობის ნაწარმით  $P_A P_B P_C \ll 1$ .

ახალი საჭირო შაბლონის გენერაციის ხასიათი იქნება ანალოგიური განხილულისაგან, თუ გავითვალისწინებთ შიგაფრაგმენტული კროსოვერების წესს, ამასთან ერთად ფრაგმენტების ოპტიმალური სიგრძე უნდა გაიზარდოს მიახლოებით ორჯერ.

$MEM$ -ის პრაქტიკულ ალგორითმებში ევრისტიკის კომბინირებული მეთოდის გამოყენების დროს, ოპტიმალური მნიშვნელობა არის

დიაოაზონში 4–დან 30–მდე. რადგანაც  $L_{\text{კგ}}$ -ის აპრიორული მნიშვნელობა უცნობია, მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ალგორითმი  $L$ -ის ავტომატური ამორჩევა ცალკეული ნაერთიდან, მოცემულს როგორც საწყისი მონაცემები.

ციკლური გენეტიკური მეთოდი გენეტიკური ძებნა შეიძლება შეწყდეს საძიებელი ექსტრემუმების მოშორებით. ამის მიზეზი შეიძლება იყოს პოპულაციის გადაგვარებით (სტაგნაცია) ან ლოკალურ ექსტრემუმებში ჩარჩენა.

სტაგნაციის თავიდან ასაცილებლად ჩვეულებრივ იყენებენ მაკრომუტაციას და/ან მუტაციის ალბათობის გაზრდისათვის, მაგრამ ექსტრემუმის გარშემო მცირე მიახლოებისას (ზუსტად მაშინ დადგა სტაგნაცია) ჩვეულებრივ მაკრომუტაციები ხდება მცირედ ეფექტური. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ მუტირებული ქრომოსომის ფუნქცია  $F(X)$  არის მნიშვნელოვნად ცუდი, ვიდრე პოპულაციის სხვა ქრომოსომების, მუტირებული ქრომოსომა ამოვარდება შესაძლო მშობლების რიცხვიდან და მაშასადამე არ შეუძლია გამოიყვანოს პოპულაცია სტაგნაციის მდგომარეობიდან.

იმისათვის, რომ მაკრომუტაციები იყოს ეფექტურები, აუცილებელია ორი პირობის შესრულება:

1. დაგროვილი გენური მატერიის შენახვა;
2. საწყისი საჭიროება ყველა ქრომოსომის მაკრომუტაციის შემდეგ უნდა იყოს თანაზომადი.

ამ ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო მოთხოვნის შეთავსება შესაძლო გახდა მეთოდში, რომელსაც ჰქვია ციკლური გენეტიკური მეთოდი (ც.გ.მ). ციკლური გენეტიკური მეთოდი შექმნილია შერეული ევოლუციური მეთოდის ჩარჩოში. მის არსს ხსნის ნახ. 24.

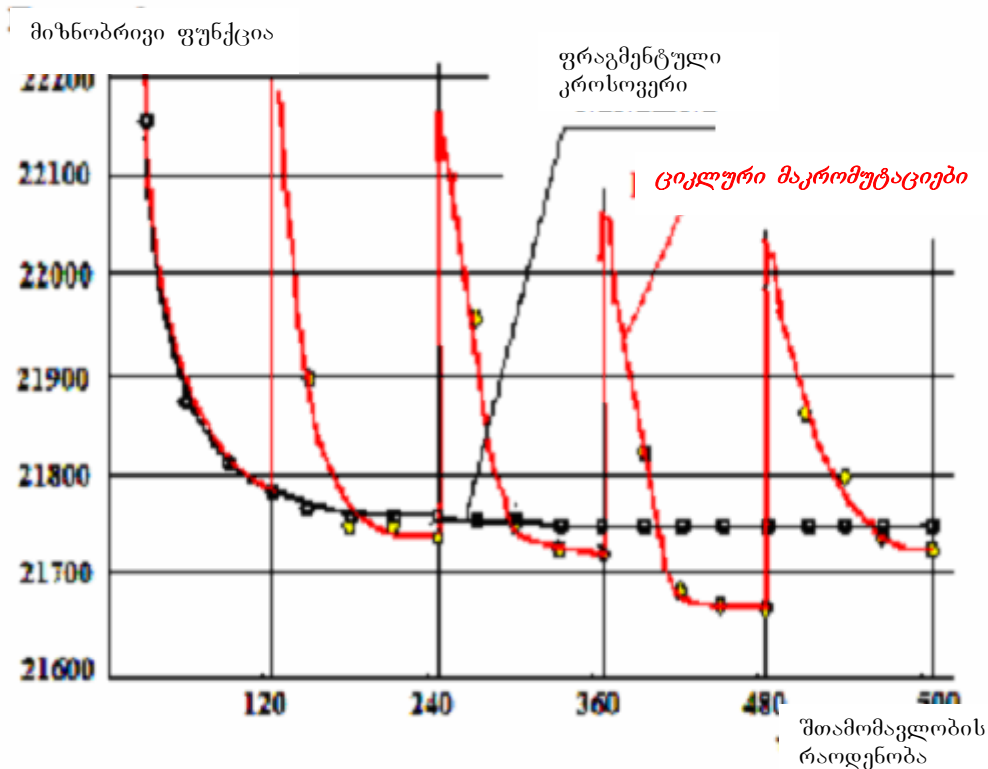


ნახ. 24. მაკრომუტაციები ციკლურ-გენეტიკურ მეთოდში.

ციკლური მეთოდის შესაბამისად, ყველა ქრომოსომას მიმდინარე თაობისა, მაკრომუტაციის დროს, შეუძლია შვას ორი შთამომავალი. პირველი შთამომავლის ქრომოსომაში გადაიწერება არალუწი ფრაგმენტები, ხოლო ლუწი ფრაგმენტების გენები კი – შემთხვევით. იღებენ გენერირებულ ალელებს. მეორე შთამომავლის ქრომოსომაში ინახება მშობლების ფრაგმენტები ლუწი ნომრებით, ხოლო არალუწი (კენტი) ფრაგმენტებში ივსება შემთხვევითი მნიშვნელობებით.

მაკრომუტაციები მეორდება პერიოდულად  $W$  თაობის ცვლის შემდეგ, რომელსაც უწოდებენ ციკლებს, სადაც  $W$  – თაობის ცვლის რიცხვია, რომლის შემდეგაც მოსალოდნელია სტაგნაციის ნიშნების გამოჩენა. რამდენადაც 50% შევსება გენების შემთხვევითი მნიშვნელობებით, მაკრომუტაციის შემდეგ, ქრომოსომების რიცხვი იზრდება ორჯერ, მაკრომუტაციის ოპერაციაში მონაწილეობენ და შემდეგ გამოიყენება წინა თაობის მხოლოდ ნახევარი ქრომოსომები. ამ ნახევარში მიზანშეწონილია ჩაირთოს საუკეთესო პირები.

ცალკეული მაკრომუტაციის შემდეგ, მიზნობრივი ფუნქცია, სწრაფად უარესდება, მაგრამ საჭირო შაბლონების შენახვის ხარჯზე, ახალ ციკლში შეიმჩნევა მისი დაჩქარებული გაუმჯობესება, ამასთან ალბათობა დიდია, რომ ეს გაუმჯობესებამდე მიიყვანს. საძიებელ ტრაექტორიას ექსტრემუმების მცირე გარშემოწირულობამდე (ან უფრო წარმატებული სტაგნაციის დონეზე), ვიდრე ეს იყო წინამდებარე ციკლში.



ნახ. 25. შემ-ის და ცგმ-ის გამოყენების შედეგები

ციკლური გენეტიკური მეთოდების ეფექტურობის გაზრდის ილუსტრაციისათვის იყო შესრულებული ექსპერიმენტები ცხრილის სინთეზის ტექსტური ამოცანების შემდეგი საწყისი მონაცემებით: სამუშაო რიცხვი 105, სტადიების რიცხვი 4, მანქანების რიცხვი სტადიებზე {4,4,4,3} ნახ.2-ზე წარმოდგენილია გათვლების შედეგები – მიზნობრივი ფუნქციის  $F(X)$  დამოკიდებულება, თაობის ნომერთან უბრალო შერეული ევოლუციური მეთოდის გამოყენების დროს და ც.გ.მ მაკრომუტაციებით 120 თაობის შემდეგ. როგორც ნახ.2-დან ჩანს პირველ ოთხ ციკლში ხდებოდა მიზნობრივი ფუნქციის გაუმჯობესება. ამასთან სტაგნაციამ შ.გ.მ-ის გამოყენების შემთხვევაში მიაღწია დონეს  $F(X)=21751$ , ხოლო ც.გ.მ-ის შემთხვევაში, მეორე, მესამე და მეოთხე ციკლში მიაწეულია  $F(X)$ -ის მნიშვნელობები: 21734, 21716, 21676.

ადაპტირებული გენეტიკური ალგორითმები. ცხადია, რომ გენეტიკური ძებნის ეფექტურობა დამოკიდებულია გ.ა-ში გამოყენებული ოპერატორების ტიპზე და ალგორითმის სხვა პარამეტრებზე. ასეთი

პარამეტრების რიცხვს შეიძლება მივაკუთნოთ კროსოვერებისა და მუტაციის ალბათობა, არჩევის ალბათობა ამა თუ იმ ევრისტიკის მეთოდში ევრისტიკების კომბინირება, ქრომოსომების გახლეჩვის წერტილების რიცხვი კროსოვერში და სხვა. როგორც წესი გენეტიკური ოპერატორები და პარამეტრები განისაზღვრება მომხმარებლისაგან აპრიორში, თუმცა ამასთან ერთად დიდია წამგებიანი ვარიანტების გამოყენების საშიშროება და როგორც წესი მნიშვნელოვანი შემცირება გენეტიკური ძეგლის ეფექტურობისა. ამასთან ერთად, გენეტიკური ძეგლის სხვადასხვა ეტაპზე ესა თუ ის ოპერატორები შეიძლება იყოს სხვადასხვა ხარისხის. სიტუაციიდან გამოსავალი – ადაპტირებული გენეტიკური ალგორითმის გამოყენებაა.

ცნობილია რიგი სამუშაოები, მიძღვნილი ადაპტირებული გენეტიკური ალგორითმისადმი. ადაპტაციის იდეა გენეტიკური ალგორითმების მიხედვით გამოითქვა სამუშაო [26]. უფრო მეტი ყურადღება მიექცა (დაეთმო) ალგორითმებს, ადაპტაციის გამოყენებით, ისეთი პარამეტრების, როგორც მუტაციის ალბათობაა. სამუშაოში განხილულია სტრატეგია, რომლის მუტაციის ალბათობა იცვლება ევოლუციის დაწყებიდან და ყველა ქრომოსომების მუტაციის ალბათობა ინდივიდუალურად იმართება.

მეტაგენეტიკური ალგორითმი გენეტიკური ძეგლის გამოყენებით ამოხსნისათვის, როგორც ძირითადი ამოცანა, ისე და დამხმარე ამოცანის პარამეტრების მომართვა ადაპტაცია მოცემულია [24]–ში. ქვემოთ მოყვანილია მისი აღწერა ფსევდოკოდების სახით:

#### **GENETIC ALGORITHM STEP()**

**begin**

**for i = 1 to n {**

**select parent1 and parent2 from population P1;**

**offspring = crossover(parent1, parent2)**

**mutation(offspring)**

**if suited(offspring) then**

**replace(P1, offspring);**

```

}
end
META-GENETIC ALGORITHM
begin
create initial population P1;
create initial population P2;
do{
for i = 1 to n {
select parent1 and parent2 from P2;
offspring = crossover(parent1, parent2)
mutation(offspring)
evaluate(offspring)
add offspring tmpPop
}
meta-population = tmpPop;
}
GENETIC ALGORITHM STEP(select answer from P2)
} until stopping condition
//report the best answer;
end.

```

განიხილება ქრომოსომებისათვის ორი სიმრავლე. ქრომოსომების გენებში პირველ სიმრავლეში ( $P_1$ ) ინახება ევრისტიკის ნომრები სინთეზის ამოხსნის შემდგომი ნაბიჯის შესრულებისთვის. მეორე პოპულაცია ( $P_2$ ) შედგება ქრომოსომებისაგან, რომელთა გენებში ინახება კონფიგურაციული პარამეტრები ძირითადი გენეტიკური ალგორითმებისა.

ყველა ქრომოსომა ( $P_2$ ) პოპულაციიდან ფასდება შემდეგი სახით:

**SIMPLE\_STEP ( P2(ti) )**

**begin**

**P2(ti)->select parent1 and parent2 from population P1;**

**offspring = P2(ti)->crossover(parent1, parent2)**

**P2(ti)->mutation(offspring)**

**return P2(ti)->evaluate(offspring)**

**end**

ყველა კონფიგურაციისათვის (პოპულაცია  $P_2(t_i)$  ყველა ქრომოსომისათვის) სრულდება პროცედურა SIMPLE\_STEP, რომელშიც  $P_1$  პოპულაციიდან ამორჩევა ( $P_2(t_i) \rightarrow Select$ ) მშობლები. მათში შეჯვარების შედეგად ( $P_2(t_i) \rightarrow Crossover$ ) გაჩნდება შთამომავლობა (*Offspring*)—ახალი ქრომოსომა, რომელიც შემდგომში მუტაციას განიცდის ( $P_2(t_i) \rightarrow Mutation$ ). შთამომავლობის შეფასება აგრეთვე წარმოადგენს შეფასებას მოცემული კონფიგურაციისათვის  $P_2(t_i)$ .

მეტაგენეტიკური ალგორითმის შემდეგ (მომდევნო) გენერაციის შემდეგ, სატურნირო სელექციის მეთოდის დახმარებით  $P_2$  პოპულაციიდან ამორჩევა ქრომოსომა, მოცემული კონფიგურაციის ფორმირდება თაობა, ძირითადი გენეტიკური ალგორითმის მეშვეობით.

*Simple GA*—ში საწყისი პოპულაცია გენერირდება შემთხვევითი სახით. შემდგომ გენერირებული პოპულაცია შეფასდება და მისგან  $n$ —ჯერ ამორჩევა ორი ამოხსნა, რომლების შეჯვარებითაც გენერირდება ორი შთამომავალი. შექმნილი ინდივიდულები ექვემდებარება მუტაციას, მოცემული ალბათობით.

ეს ციკლი მეორდება მანამდე, სანამ ახალი პოპულაცია არ შეივსება. როცა ახალი პოპულაცია შეივსება, ძველი შეიძლება ამოგდებული იყოს საუკეთესო ამოხსნის შენახვით.

“ბრბოს მოქმედების” მეთოდი (PSO). *PSO* ალგორითმი პირველყოფისა იყო აღწერილი მათემატიკური ბიოლოგიის ამოცანების მიხედვით 1987 წ.

ცნობა ალგორითმებსა და შედეგებზე *PSO*-ს მეთოდის ამოხსნის საშუალებით, რიგი ოპტიმიზაციის ამოცანებისა მოყვანილია, მაგალითად [23].

*PSO* (Particles Swarm Optimization) მეთოდში იმიტაცია ხდება აგენტების სიმრავლის ქცევისა, რომლებიც მიისწრაფიან შეათანხმონ თავიანთი მდგომარეობა, საუკეთესო აგენტის მდგომარეობას  $i$ -ური აგენტის მდგომარეობა აღიწერება ვექტორით  $X_j = (x_{j1} + x_{j2} + \dots + x_{jn})$ , სადაც  $X_{ji}$   $j$ -იური პარამეტრია  $i$ -ური აგენტის, ხოლო  $i$ -ური აგენტის მდგომარეობა ხასიათდება მიზნობრივი ფუნქციის მნიშვნელობით  $Y_i = F(X_j)$ .

შეთანხმება ხდება მრავალბიჯიანი პროცესით, ყოველ ბიჯზე კორექტირების გზით,  $X_j$  ვექტორის საუკეთესო აგენტის  $X_{ji}$ -ს მდგომარეობის გათვალისწინებით, საკუთარი საუკეთესო მდგომარეობა  $X_j^*$ -ს  $j$ -იურ აგენტის პარამეტრების სივრცისა და ფაქტორების შემთხვევითობის შემდგომი გადაადგილების ტრაქტორიაზე.

ბაზური ალგორითმები *PSO*, უწყვეტი ოპტიმიზაციის ამოცანის შემთხვევაში, მდგომარეობს  $X_j$  - მნიშვნელობის იტერაციულ გამოთვლებში, ფორმულებით:

$$V_j = a_1 V_j + a_2 (X_{g1} - X_j) + a_3 (X_j^* - X_j) \quad (25)$$

$$X_j = X_j + V_j$$

სადაც  $V_j$   $j$ -იური აგენტის კორექტირების ვექტორია,  $a_1$  - აგენტების ქცევის ინერციულობის კოეფიციენტი,  $a_2, a_3$  - შემთხვევითი კოეფიციენტებია, რომელთა პარამეტრების განაწილება შეირჩევა ექსპერიმენტალურად.

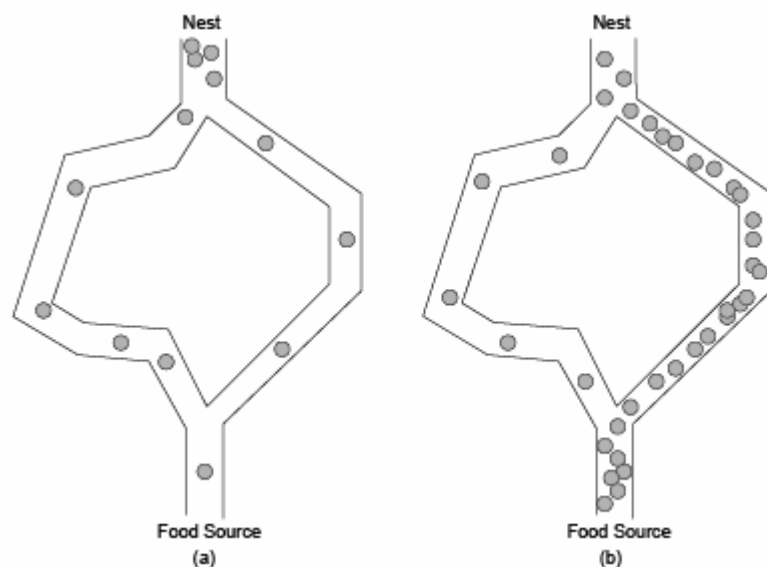
პარამეტრების სივრცის დისკრეტული ოპტიმიზაციის ამოცანებში, ხშირად არმოხნდება, არამეტრიზებული და ფორმულა (1) აღმოხნდა გამოუყენებელი. თუმცა *PSO*-ს იდეის გამოყენება შესაძლებელი ხდება, შემდეგი მეთოდის წყალობით, გენების მნიშვნელობის დისკრეტული შერჩებით: გენი  $X_{ji}$  ფორმირებად ქრომოსომაში  $X_j$



შეირჩევა ერთ-ერთი “ქრომოსომა–მშობელი”  $i$ -ის გენით. კონკრეტული მშობლის შერჩევა ხდება შემთხვევითი სახით. ‘ქრომოსომა–მშობლის’ როლში შეიძლება გამოვიდეს ან მთელი პოპულაციის საუკეთესო ქრომოსომა  $X_{gl}$  ან  $X_j^*$  ქრომოსომა, საუკეთესო ქრომოსომებს შორის ნომრით  $j$  ყველა წინამსწრები თაობის, ან  $j$ -იური ქრომოსომა  $X_j$  წინამდებარე თაობის.

შესაბამისი ალბათობის  $P_1, P_2, P_3$  ერთ-ერთის ამორჩევა ამ ვარიანტებს შორის, ამორჩევა ექსპერიმენტალურად. ამას გარდა, ემატება ვარიანტი  $X_{ji}$ -ს მნისვენელობის შემთხვევითი შერჩევისა ალბათობით  $P_4$ .

ჭიანჭველების კოლონიური მეთოდი (ACO) პირველად ოპტიმიზაციის ამოცანების ამოხსნისათვის, ჭიანჭველების კოლონიური მოქმედების იდეის გამოყენება გამოითქვა 1992 წ. (ACO) მეთოდის გამოყენება ნაჩვენებია კომპიუტერის ამოცანის მაგალითზე, გახსნა და შეფუთვა და სხვა. (ACO) მეთოდების მიმოხილვა მოყვანილია ქვემოთ.



ნახ. 26. ჭიანჭველების კოლონიები

ჭიანჭველების კოლონიური მეთოდი (ACO) დაფუძნებულია ჭიანჭველების ქცევის (მოქმედების) იმიტაციაზე, მინიმუმებული სიგრძე მათი მარშრუტისა გზაზე, ჭიანჭველების ბუდიდან საკვების წყარომდე.

(ACO) მეთოდის განსაკუთრებულობას წარმოადგენს – მრავალწერტილიანი კროსოვერის შემთხვევაში შესაძლებლობა გამოიყენოს ორ მშობელზე მეტი (პოლიგამიურობა)  $i$ -ური გენის მნიშვნელობა, ფორმირებული ქრომოსომების ამორჩევა შესაძლო მნიშვნელობების არსებული კრებულიდან, დაფიქსირებულებს მატრიცაში:  $W=[w_{it}]$ ,  $t=1, 2, \dots, \tau$ ,  $i=1, 2, \dots, n$   $\tau$ -გამოყენებული ალელების რიცხვია,  $n$ -ქრომოსომასი გენების რიცხვია,  $w_{it}$  არის  $i$ -ური გენში  $t$ -ური ალელის გამოყენების საჭიროება, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$w_{it} = \left( k \in \sum_{C_{ii}} Z_k / \sum_{k=1}^N Z_k \right)^\beta \quad (26)$$

სადაც  $Z_k$  არის  $k$ -ქრომოსომის საჭიროება,  $C_{ii}$ -ქრომოსომის ნომრების სიმრავლეა  $i$ -ურ ლოკუსში მქონე დაწოლა  $t$ -ალელზე,  $\beta$ -კოეფიციენტი, ამორჩეული დიაპაზონიდან 1...3,  $N$ -პოპულაციის ზომაა,  $Z_k$  საჭიროება განისაზღვრება როგორც

$$Z_k = b_1(Y_{\max} - Y_{opt}) + (1 - b_1)(Y_{\max} - Y_k) \quad (27)$$

სადაც  $b_1 \in [0, 1]$ ,  $Y_{opt}$  – მიზნობრივი ფუნქციის საუკეთესო მნიშვნელობაა, მოცემულ მომენტში მიღებული ძეგნის,  $Y_k$ -მიზნობრივი ფუნქციის მნიშვნელობის, შესაბამისი  $k$ -ქრომოსომის,  $Y_{\max}$ -მაქსიმალური (უარესი) მნიშვნელობაა მიზნობრივი ფუნქციის ქრომოსომის პოპულაციაში მოცემულ ბიჯზე.

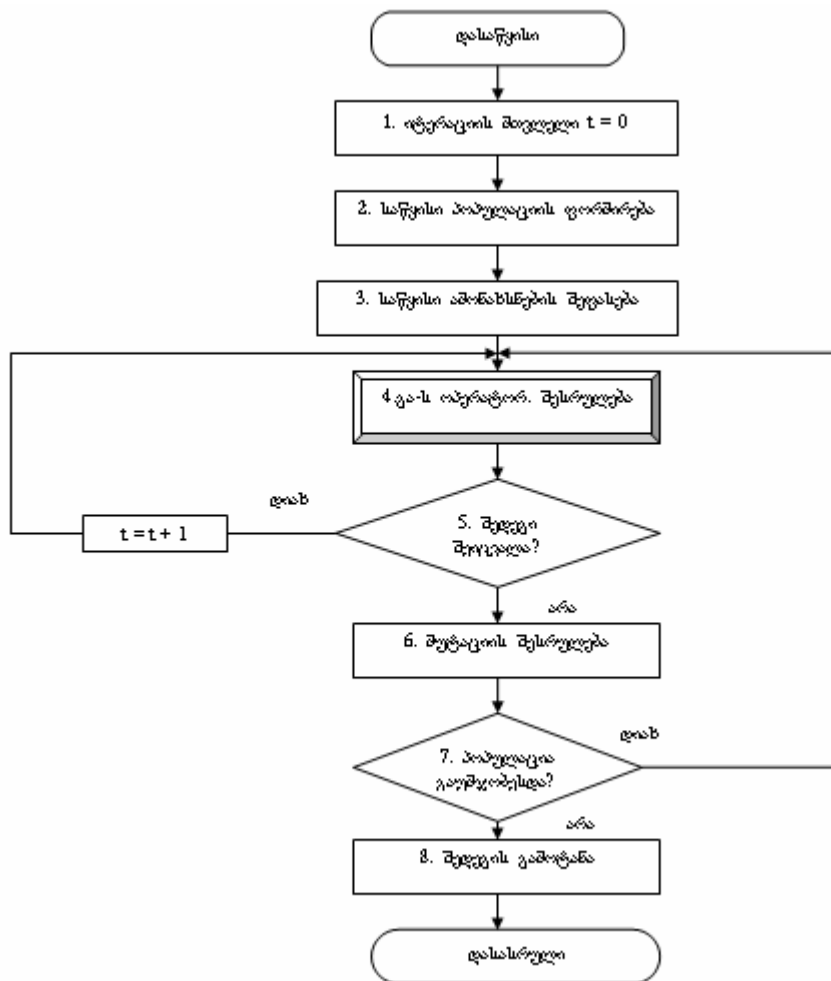
(1)-ის შეაბამისად  $t$ -ური ალელის ამორჩევის ალბათობაა,  $i$ -ურ გენში მომდევნო ბიჯზე

$$P_{it} = w_{it} / \sum_{k=1}^{\tau} w_{ki} \quad (28)$$

### თავი III. ამოცანის გადაწყვეტის მხარდაჭერი სისტემები

#### 3.1. დაგეგმვის ალგორითმის შერჩევა

მოდულიზირებული გენეტიკური ალგორითმი ინარჩუნებს ევოლუციური ოპტიმიზაციის თეორიის ძირითად პრინციპებს, მაგრამ საკმაოდ განსხვავდება ტრადიციული სქემისაგან. იგი შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი ეტაპების სახით [12]:



ნახ. 27. სამუშაოს დაგეგმვის ალგორითმი

1. საწყისი პოპულაციის ფორმირება, ანუ მოცემული ინტერვალიდან აირჩევა საწყისი გენოტიპების შემთხვევითი

მნიშვნელობები. ამავე დროს ცნობილია, რომ  $X$  ცვლადები, ანუ სახეობები,  $[a, b]$  ინტერვალში თანაბრად არიან განაწილებულნი. ბიჯი ტოლია:

$$h = (b - a)/n; \quad X_i = a + h \cdot i; \quad i = \overline{1, N} \quad (29)$$

2. საწყისი ამონახსნების შეფასება. შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ამ ეტაპზე  $t = 1$ . ყოველი სახეობისათვის გამოითვლება ფუნქციის მნიშვნელობა, მიზნობრივი ფუნქციის გამოსახულების შესაბამისად. ეს მნიშვნელობა არის სახეობის შეგუებადობა. იგი განსაზღვრავს სახეობის სიცოცხლისუნარიანობას მომდევნო იტერაციაში.

3. სახეობათა საწყისი დახარისხება. ამ ეტაპზე ჩატარდება სახეობათა სორტირება, რაც გულისხმობს სახეობების დალაგებას კლებით, შეგუების მაჩვენებლის მიხედვით.

4. სახეობათა რანჟირება. რაც ითვალისწინებს სორტირების შედეგების შესაბამისად ყოველი სახეობისათვის რანგის მინიჭებას. რანგი ანუ ადგილი პოპულაციაში აღვნიშნოთ  $r_j$ ; ( $j = \overline{1, M}$ ). შემდგომ გამოითვლება თითოეული სახეობის შეგუებადობის ალბათობა, ფორმულით:

$$P_{sel}(i) = \frac{f(i)}{\sum_{i=1}^n f(i)} \quad (30)$$

ეს არის თითოეული სახეობის შემგუებლობის შეფარდება პოპულაციაში შემავალი ყველა სახეობის ჯამურ შემგუებლობასთან სახეობათა რანჟირების ხარისხის ამადლების მიზნით გამოითვლება:

$$\mu^j(i) = P^j(i) / r_j; \quad (i = \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, M}) \quad (31)$$

და შერჩევის კრიტერიუმი:

$$\mu^t_{Sash} = \sum_{i=1}^N \mu^t(i) / N \quad (32)$$

მოცემული კრიტერიუმი საშუალებას იძლევა მთელი პოპულაცია დაიყოს სამ ნაწილად: მაღალი შემგუებლობის მქონე „ლიდერთა ჯგუფის“ სახეობები, რომლებიც დაექვემდებარებიან კროსოვერის ოპერატორს; დაბალი შემგუებლობის მქონე („აუტსაიდერთა ჯგუფი“) სახეობებად, რომლებიც შემდგომ ევოლუციაში უკვე აღარ განიხილებიან და საშუალო შემგუებლობის მქონე სახეობები, რომლებიც დაექვემდებარებიან მხოლოდ მუტაციის ოპერატორს [13].

5. კროსოვერი. ამ ეტაპზე ხდება ლიდერთა ჯგუფის სახეობათა დაწყვილება სორტირების შესაბამისად, აქ უნდა გავითვალისწინოთ, რომ თუ პოპულაციაში კენტი რაოდენობის წევრებია, მაშინ წყვილი შეივსება საშუალო ჯგუფიდან.

ყოველი წყვილისათვის საუკეთესო წყვეტის წერტილის პოვნის თვალსაზრისით ხდება შიდაწყვილური გადარჩევის  $l-l$  ციკლი, რომლის დროსაც წყვილთა ნაწილები ჯვარედინად შეიცვლება ანუ მიიღება შთამომავლობის შესაძლო ვარიანტები, რომლებიც შეფასდება მიზნობრივი ფუნქციის მიხედვით. შიდა ციკლის შედეგად განისაზღვრება საუკეთესო შეჯვარება და ორი შთამომავალი. თუმცა, თუ შთამომავალთა ფუნქციური შეფასება მშობელთა შეფასებაზე უარესი აღმოჩნდა, მაშინ მათ მიენიჭებათ მშობელთა შეფასება.

6. მუტაცია. საშუალო ჯგუფის თითოეული სახეობისათვის ტარდება  $l-l$  შიდა ციკლი, რომლის დროსაც შერჩეულ პოზიციაში თანრიგის ბიტური მნიშვნელობა შეიცვლება. შიდა ციკლის მეშვეობით გადარჩევის შედეგად განისაზღვრება მუტაცია თითოეული სახეობისათვის.

7. დახარისხება. ჩვენს მიერ ჩატარებული შერჩევა-შეჯვარება-მუტაციის შემდეგ, კვლავ ხდება სახეობათა სორტირება კლების მიხედვით, რომლის დროსაც გამოიკვეთება ლიდერი მაქსიმალური შემგუებლობის უნარით.

8. ალგორითმის დასრულება. მოცემულ ეტაპზე მოწმდება ლიდერის ფუნქციური მნიშვნელობა. თუ მომდევნო იტერაციაზე ლიდერის ფუნქციური მნიშვნელობა. თუ  $f_{lid}^t$  მნიშვნელობა იზრდება, მაშინ  $t=t+1$  და გადავდივართ მომდევნო ეტაპზე. თუ ლიდერის ფუნქციური

მნიშვნელობა აღარ განიცდის ზრდას ან პირიქით იწყებს კლებას, მაშინ გადავდივართ მოცემული სახეობის მუტაციაზე. თუ მუტაციის მეშვეობით მიზნობრივი ფუნქციის მნიშვნელობა არ გაიზარდა, მაშინ ალგორითმი ამთავრებს მუშაობას. რაც ნიშნავს რომ ოპტიმალური ამონახსნი მიღებულია. უნდა აღინიშნოს, რომ რამოდენიმე იტერაციის შემდეგ პოპულაციის წევრები მნიშვნელობათა ერთ არეში განთავსდებიან, ეს არის ოპტიმუმის არე, საიდანაც მოხდება ოპტიმალური ამონახსნის ამორჩევა [13].

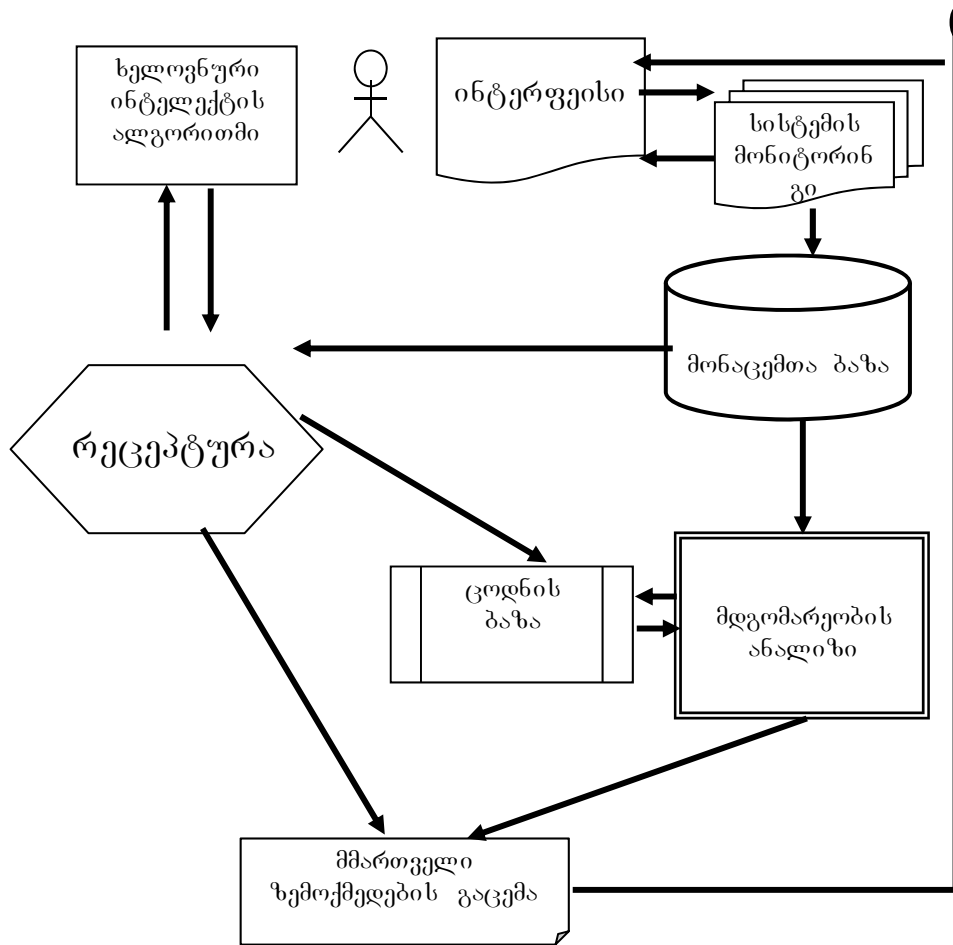
ალგორითმის ღირსებად შეიძლება ჩაითვალოს იტერაციათა მინიმალური რაოდენობა და ამონახსნის მაღალი სიზუსტე. წარმოდგენილი ალგორითმი, რა თქმა უნდა, არ არის თავისუფალი ნაკლოვანებებისაგან, კერძოდ კლასიკურ გა-სთან შედარებით მას აქვს შედარებით დაბალი გამოთვლითი სიჩქარე, რაც განპირობებულია დამატებითი ტარდება  $I-1$  შიდაციკლური გამოთვლების აუცილებლობით საუკეთესო კროსოვერისა და მუტაციის გამოვლინების მიზნით. სამაგიეროდ, აღნიშნული გადარჩევა გარკვეულად განაპირობებს სახეობის მაღალი შეგუებადუნარიანი შაბლონებით აგების ალბათობას.

### ***მართვის სისტემის არქიტექტურა***

კვების პროდუქტების საწარმოო პროცესის მართვის ექსპერტული სისტემის ფუნქციონირება ძირითადად შეიძლება განვიხილოთ როგორც გადაწყვეტილების მიღების პროცესი, სადაც მთავარ საკითხს კონკრეტულ სიტუაციაში გადაწყვეტილების პოვნა წარმოადგენს. ჩვენს მიერ რეალიზებულ მართვის სისტემაში, გადაწყვეტილების მიღების პროცესში სულ უფრო მკაფიოდ იკვეთება ხელოვნური ინტელექტის, როგორც მაღალი დონის მართვის მეთოდების გამოყენების აუცილებლობა. კვების პროდუქტების წარმოების მართვის სისტემის ზოგადი არქიტექტურა წარმოდგენილია ნახ. 24-ზე.

ობიექტის მართვის პროცესში მიმდინარეობს წარმოების უწყვეტი მონიტორინგი, რომლის დროსაც მთელი სისტემის მდგომარეობა და კომპონენტთა მიმდინარე მნიშვნელობები შედის მონაცემთა ბაზაში. წარმოების მიმდინარე პროცესების, კერძოდ ქსელური გეგმის პარამეტრების მნიშვნელობათა გადახრის შემთხვევაში, თუ მოხდა სიტუაციის შეცნობა, მაშინ ექსპერტული სისტემის ცოდნის ბაზიდან

მართვის ფრეიმის შესაბამისი მზა გადაწყვეტილება გაიცემა მმართველი ზემოქმედებისათვის, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს გადაწყვეტილების პროცესის ხანგრძლივობას. იმ შემთხვევაში, თუ წარმოების მიმდინარე მდგომარეობის შეცნობა ანუ მონაცემთა ბაზაში ანალოგის დადგენა არ მოხერხდა, მაშინ უნდა მოხდეს ახალი გადაწყვეტილების



ნახ. 28. პროდუქტების წარმოების მართვის სისტემის არქიტექტურა

ფორმირება, შესაბამისად ქსელური გრაფიკის სტრუქტურის ცვლილება-გადაწყობა და მისი პარამეტრების ოპერატიული გადაანგარიშება ხელონური ინტელექტის ალგორითმების გამოყენებით.

ამგვარად, აღნიშნული ალგორითმების გამოყენებით ხორციელდება უკვე ახალი მმართველი გადაწყვეტილებების გამომუშავება, რაც ცოდნის ბაზის განახლების პროცესთანაც არის დაკავშირებული.

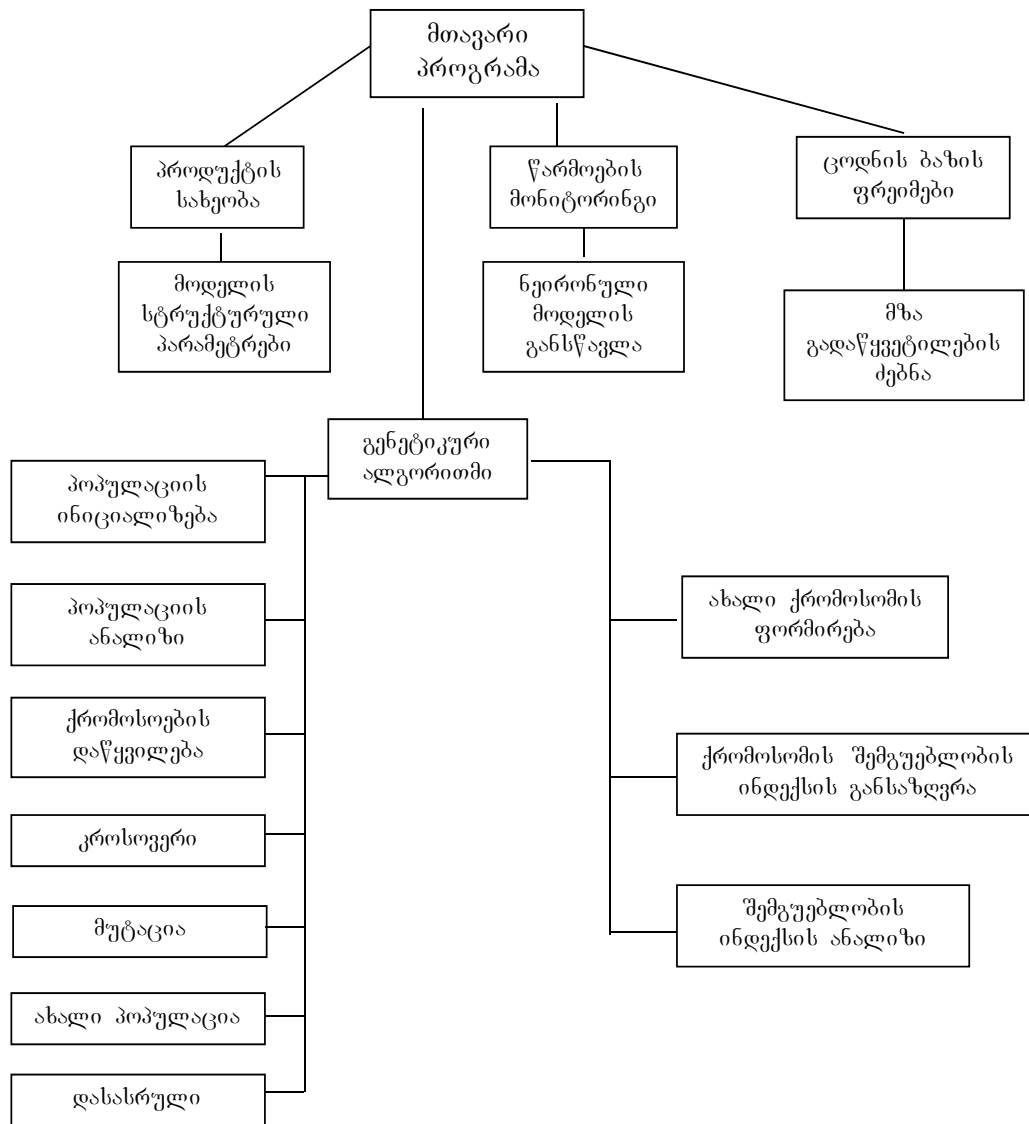
მოცემული სიტუაცია და მიღებული შედეგები ფრეიმის სახით შეიტანება ცოდნის ბაზაში. გარდა ამისა, დაბალ სიცოცხლისუნარიანი ფრეიმები, რომლებიც თითქმის აღარ მეორდებიან, ცოდნის ბაზიდან ამოვარდნას ექვემდებარებიან ანუ ხდება ცოდნის ბაზის განახლება.

კვების პროდუქტების საწარმოო პროცესის მართვის ექსპერტული სისტემის რეალიზებისათვის ძირითადი ყურადღება ეთმობა ხელოვნური ინტელექტის, კერძოდ ევოლუციური ალგორითმების დამუშავებას საწარმოო პროცესის ქსელური მოდელის სტრუქტურისა და პარამეტრების ოპტიმალური მნიშვნელობების დადგენის თვალსაზრისით და მის საფუძველზე სისტემის მართვის ინფორმაციული და პროგრამული უზრუნველყოფის დამუშავებას.

***პროგრამული კომპლექსის სტრუქტურა.***

მართვის სისტემის პროგრამული კომპლექსის სტრუქტურა წარმოდგენილია ნახ. 29-ზე:





ნახ. 29. მართვის სისტემის პროგრამული კომპლექსის სტრუქტურა *მოდულების დანიშნულების აღწერა:*

პროგრამა დაწერილია ვიზუალურ, ობიექტ-ორიენტირებულ პროგრამირების ენაზე C++, პროგრამული მოდულების სახით. ეს ენა მოქნილი და სწრაფქმედია.

მთავარი პროგრამის სახელია MainProgram, რომელიც შედგება შემდეგი მოდულებისაგან:

- წარმოების მონიტორინგი;
- ცოდნის ბაზის ფრეიმები;
- გენეტიკური ალგორითმი;

- მოდელის ადაპტაცია.

1. გენეტიკური ალგორითმი შედგება პროცედურებისაგან:

- ახალი ქრომოსომის ფორმირება;
- ქრომოსომის fitness ინდექსის განსაზღვრა;
- fitness ინდექსის ანალიზი ანუ fitness-ინდექსის შედარება ცოდნის ბაზაში არსებულ fitness-ინდექსებთან;
- საწყისი პოპულაციის ფორმირება;
- პოპულაციის ანალიზი ანუ საწყისი პოპულაციის გადარჩევა;
- ქრომოსომთა დაწყვილება;
- ქრომოსომთა წყვილების კროსოვერი;
- ქრომოსომთა მუტაცია;
- ახალი პოპულაციის ანალიზი;
- ახალ იტერაციაზე გადასვლა ან დასასრული;

2. ცოდნის ბაზის ფრეიმები შედგება პროცედურებისაგან:

- ობიექტში მიმდინარე მდგომარეობის შესაბამისი გადაწყვეტილების ფრეიმის ძებნის პროცედურა;

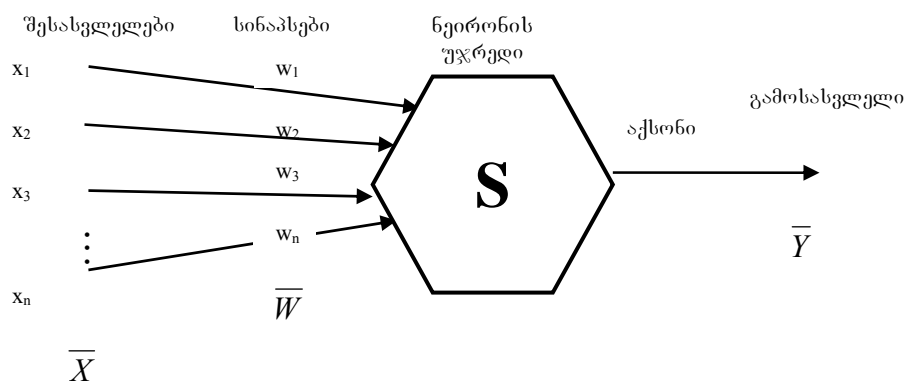
3. მოდელის ადაპტაცია შედგება პროცედურებისაგან:

- მოდელის სტრუქტურული გადაწყობა;
- მოდელის პარამეტრული გადაანგარიშება;

4. წარმოების მონიტორინგი შედგება პროცედურებისაგან:

- ნეირონული მოდელის განსწავლა, რომელიც მოიცავს მუტაციის გზით ობიექტის მიმდინარე მდგომარეობის შეცნობას.

**ხელოვნური ნეირონული ქსელების მოდელი.** მართვის ობიექტის ფუნქციონირების მონიტორინგის პროცესს განვიხილავთ როგორც სახეთა შეცნობის ამოცანას, მაშინ მისი ინტელექტუალიზაციის, კერძოდ კონკრეტული სიტუაციის ოპერატიული იდენტიფიკაციის თვალსაზრისით მიზანშეწონილი უნდა იყოს ხელოვნური ნეირონული ქსელების მეთოდის გამოყენება [17]. ხელოვნურ ნეირონულ ქსელს გააჩნია განსწავლის, ცოდნის შენახვისა და აგრეთვე რეპრეზენტაციის უნარი. ცოდნის შენახვისათვის გამოიყენება სინაპსური კავშირის მახასიათებელი ე.წ. „სინაპსის წონები“, რომელიც ფიზიკური არსით ელექტრული გამტარებლობის ექვივალენტურია. ხელოვნური ნეირონის ზოგადი სახე მოყვანილია ნახ. 30-ზე.



ნახ. 30. ხელოვნური ნეირონის ზოგადი სახე

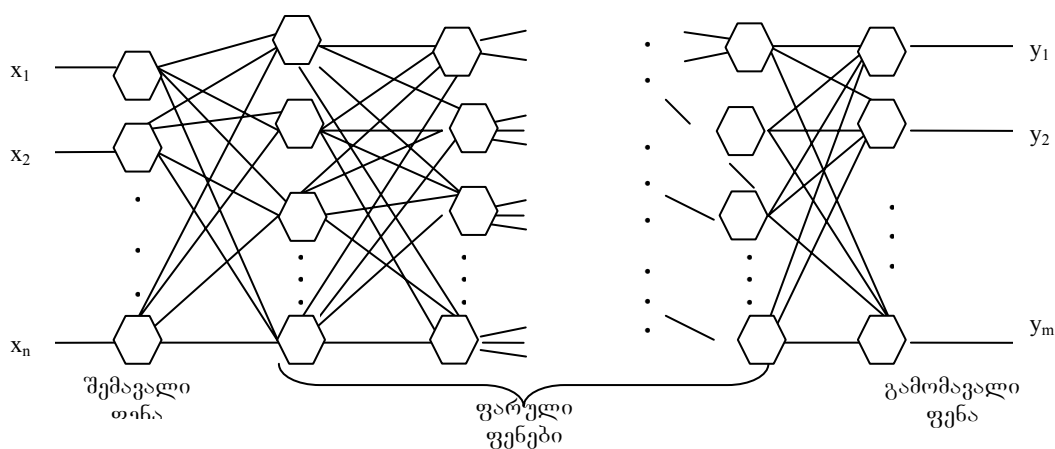
ნეირონის მიმდინარე მდგომარეობა განისაზღვრება როგორც შემავალი სინაპსების წონითი კოეფიციენტების ჯამი:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i \quad (33)$$

ნეირონის გამოსასვლელი არის მისი მდგომარეობის ფუნქცია  $y=f(s)$ .  
შემავალ და გამომავალ პარამეტრებს შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება:

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot w_{ij}\right); \quad j = 1, \dots, m \quad (34)$$

მულტინეირონული პერცეპტრონის ზოგადი სქემა წარმოდგენილია ნახ. 27 -ზე:



ნახ. 31. პერცეპტრონის ზოგადი სქემა

ნეირონულ ქსელში მიმდინარე პროცესი შეიძლება მატრიცული ფორმითაც ჩაიწეროს:

$$Y = F(XW) \quad (35)$$

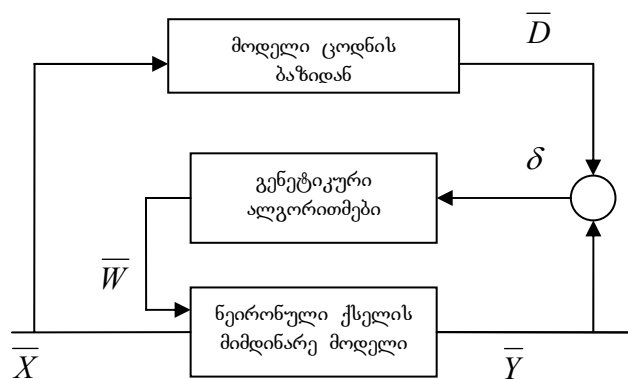
სადაც:  $X$  და  $Y$  შესაბამისად შემავალი და გამომავალი ვექტორებია;

$W$  - სინაპსების წონითი კოეფიციენტების მატრიცა.

ნეირონულ ქსელის მიმდინარე მდგომარეობის განსწავლა წარმოადგენს  $D = (d_1, d_2, \dots, d_m)$  სასურველ (ეტალონურ) გამომავალ ვექტორთან  $Y$  ვექტორის მაქსიმალურ ადაპტაციას ანუ მიახლოებას. ამისათვის გამოითვლება შეცდომა:

$$\delta = |Y - D| \quad (36)$$

ნეირონული ქსელის განსწავლის თვალსაზრისით ხდება „ფარული“ ელემენტების წონითი კოეფიციენტების გამოთვლა-აწყობა. ამ მიზნით ეფექტურად მიგვაჩნია ჰიბრიდული ალგორითმების გამოყენება, სადაც  $W$  წონების ვექტორები ქრომოსომთა რეგისტრებს ქმნიან. ამგვარად, ნეირონული ქსელის განსწავლის პროცესის სქემა მოცემულია ნახ. 28-ზე:



ნახ. 32. ქსელის განსწავლის პროცესის სქემა

წარმოების მონიტორინგის დროს აუცილებელია ობიექტის კომპონენტების მიმდინარე მნიშვნელობების პერმანენტული შეცნობა და შედარება ცოდნის ბაზაში არსებულ ეტალონურ მოდელთან შესაძლო

განთანხმების აღმოჩენის თვალსაზრისით, რაც ქსელური გრაფიკის იმ მონაკვეთის განსაზღვრის საფუძველს ქმნის, სადაც მოხდა სისტემის მუშაობის ნორმალური რეჟიმის დარღვევა.

ცოდნის წარმოდგენის ფრეიმული მოდელი. ობიექტის ოპერატიულ მართვაში ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება ეფუძნება ცოდნის ბაზის წარმოდგენის ფრეიმულ მოდელს [1]. ფრეიმების ფორმალიზაციის ერთ-ერთი კონცეპცია მისი იერარქიული სტრუქტურის ქსელის სახით წარმოდგენას გულისხმობს. ფრეიმების „ზედა დონეები“ ფიქსირებულია და შეიცავს ფაქტებს, რომლებიც ყოველთვის ჭეშმარიტია სავარაუდო სიტუაციაში. „ქვედა დონეები“ შეიცავენ მრავალ ტერმინალს ე.წ. სლოტებს, რომლებიც უნდა შეივსოს კონკრეტული ფაქტებითა თუ მონაცემებით.

აღსანიშნავია, რომ ერთი და იგივე ტერმინალების გამოყენება ხდება სხვადასხვა ფრეიმების მიერ, რაც განსხვავებული წყაროებიდან შეგროვებული ინფორმაციის კოორდინირების საშუალებას იძლევა. მეორეს მხრივ, ურთიერთდაკავშირებული ფრეიმთა ჯგუფები ერთიანდებიან ფრეიმთა სისტემებად, რომლებშიც აისახებიან მოქმედებები, მიზეზ-შედეგობრივი კავშირები და ა.შ [2].

დავუშვათ, რომ უკვე გაგვაჩნია გარკვეული ცოდნა, წარსული მართვის გამოცდილება საწარმო პროცესის მიმდინარეობის თაობაზე ანუ სლოტების სტატისტიკური სიმრავლე და შესაბამისი მიღებული გადაწყვეტილებების, მართვის წესების ანუ ფრეიმების სიმრავლეც. ყოველ საანგარიშო  $t = \overline{1, T}$  პერიოდისათვის ობიექტიდან მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე ტერმინალები ახდენენ სიტუაციის ტიპის იდენტიფიცირებას ან იძლევიან კონკრეტული სიტუაციის პარამეტრებს. მათი ერთობლიობა ქმნის განსაზღვრულ სიტუაციებისაგან ნებისმიერი კონკრეტული სიტუაციის „გაგება-შეცნობის“ საფუძველს. განსაკუთრებულად „გაგების“ პროცესი ნიშნავს მესსიერებაში არსებული შესაბამისი წესების აქტივიზაციას და მის შეთანხმებულობას მიმდინარე სიტუაციის ტერმინალებთან.

წარუმატებლობის შემთხვევაში, მესსიერებიდან „აირჩევა“ უკვე სხვა ფრეიმი, რომლის ტერმინალები აღმოჩნდნენ ერთმანეთს შორის უფრო შესაბამის დამოკიდებულებაში განსახილველი სიტუაციისათვის. სხვა

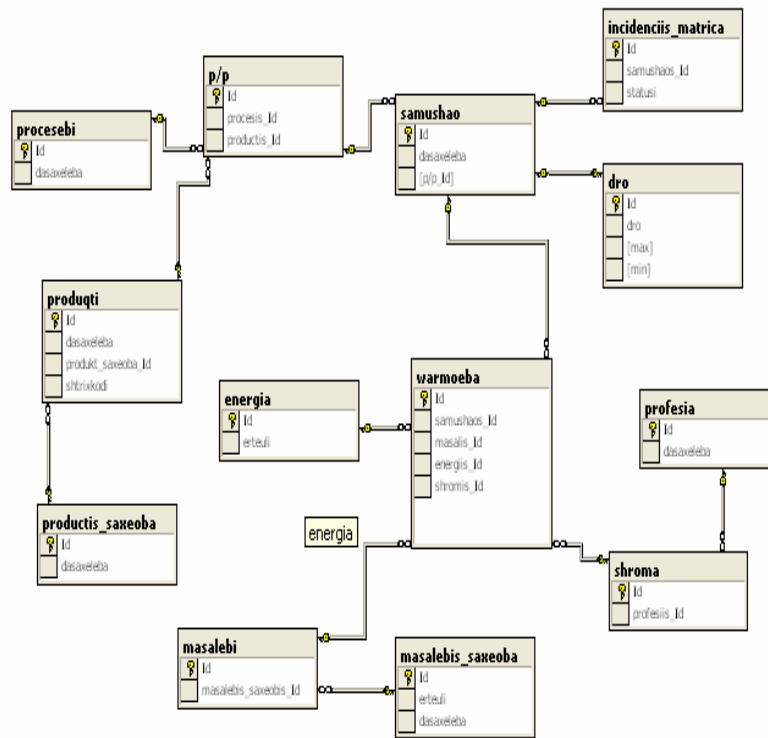
შემთხვევაში ანუ, თუ არსებული ფრეიმებიდან ვერ მოხერხდა მსგავსი ფრეიმის მოძიება, ხდება ახალი წესის (ფრეიმის) ფორმირება მოცემული პირობების შესაბამისად, რაც ცოდნის ბაზის განსწავლა-განახლების პროცესს წარმოადგენს. ერთი ფრეიმის მეორეთი ჩანაცვლება ნათლად ვლინდება ბუნებრივი ინტელექტის შემთხვევაშიც [27].

ცოდნის ბაზის განსწავლა-განახლების პროცესი მეტად ეფექტურად შეიძლება განხორციელდეს გენეტიკური ალგორითმების გამოყენებით, როცა ტერმინალებზე ახალი ინფორმაციის შემოსვლის დროს აღმოჩნდება, რომ არ არსებობს შესაბამისობა არსებულ ფრეიმებს ანუ წესების კრებულსა და მოცემულ რეალობას შორის. ამ შემთხვევაში, გენეტიკური ალგორითმის ამონახსნი ანუ გადაწყვეტილება წარმოადგენს ახალ ფრეიმს. ახალი ფრეიმის სტრუქტურა მიიღება არსებულ ფრეიმებზე გენეტიკური ალგორითმის ოპერატორების გამოყენებით [5].

ახალი ფრეიმის ფორმირების შემდეგ ცოდნის ბაზაში ფრეიმების განმეორების სიხშირის მთვლელის ინდიკატორის მიხედვით ხდება ფრეიმების კლებალობით სორტირება, რაც დაბალ სიცოცხლისუნარიანი ფრეიმების, რომლებიც თითქმის აღარ მეორდებიან, ცოდნის ბაზიდან ამოვარდნის საფუძველი ხდება.

### 3.2. ინფორმაციული უზრუნველყოფა

მონაცემთა ბაზების მოდელის არჩევისას უპირატესობა მიენიჭა რელაციურ მონაცემთა ბაზებს, რომელთაც მოთხოვნების ფორმირების ძლიერი ინსტრუმენტული საშუალებანი გააჩნიათ SQL ენის სახით, აგრეთვე თავსებადი არიან ცოდნის ბაზებთან. მონაცემთა ბაზის სტრუქტურას აქვს შემდეგი სახე (ნახ. 33):



ნახ. 33. მონაცემთა ბაზის სტრუქტურა

მონაცემთა ბაზის შემადგენელი ცხრილების სტრუქტურებია:

dro

3	Id	bigint	8	0
0	dro	datetime	8	1
0	[max]	datetime	8	1

0	[min]	datetime	8	1
---	-------	----------	---	---

energia

3	Id	bigint	8	0
0	erteuli	varchar	30	1

incidenciis matrica

3	Id	bigint	8	0
0	samushaos_Id	bigint	8	0
0	statusi	varchar	30	1

masalebi

3	Id	bigint	8	0
0	masalebis_saxeobis_Id	bigint	8	0

masalis saxeoba

3	Id	bigint	8	0
0	erteuli	varchar	40	1
0	dasaxeleba	varchar	30	1

produqcia\_procesi

3	Id	bigint	8	0
0	proceſis_Id	bigint	8	0
0	productis_Id	bigint	8	0

procesebi

3	Id	bigint	8	0
0	dasaxeleba	varchar	30	1

produqciis saxeoba

3	Id	bigint	8	0
0	dasaxeleba	varchar	30	1



produqti

3	Id	bigint	8	0
0	dasaxeleba	varchar	30	1
0	produkt_saxeoba_Id	bigint	8	0
0	shtrixkodi	varchar	30	1

profesia

3	Id	bigint	8	0
0	dasaxeleba	varchar	30	1

samuSao

3	Id	bigint	8	0
0	dasaxeleba	varchar	30	1
0	[p/p_Id]	bigint	8	0

SromiTi resursebi

3	Id	bigint	8	0
0	profesiis_Id	bigint	8	0

warmoeba

3	Id	bigint	8	0
0	samushaos_Id	bigint	8	0
0	masalis_Id	bigint	8	0
0	energiis_Id	bigint	8	0
0	shromis_Id	bigint	8	0

ქვემოთ მოცემულია მდგომარეობათა და მართვის ფრეიმების პროცედურები:

Unit Frame;  
interface

```

uses Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls,
    Forms, Dialogs, StdCtrls, Buttons;
type
TForm1 = class (TForm).
    ListBox1 : TListBox;
    ListBox2 : TListBox
procedure FormCreate (Sender : TObject);
procedure ListBox1 (Sender: TObject);
procedure ListBox2(Sender : TObject);
. . . . .
Procedure TForm1.ListBox1Click (Sender: TObject);
    var i: integer;
begin
    ListBox1.Clear;
    for i := 0 to Form1.MainMenu1.Items.Count-1 do
        ListBox1.Items.Add(Form1.MainMenu1.Items[i].Caption);
ListBox1.ItemIndex := 0;
. . . . .
Procedure Mdg;
var F1,T1,..Tn,M1,..Mn,W1,..,Wn,P1,..,Pn : LongInt;
V1,..,Vn : Boolean; VP1,..,VPn : Integer;
    Begin
. . . . .
if (F1) and (T1...Tn) and (M1...Mn) and (W1...Wn) and (P1...Pn)
and (V1...Vn) and (VP1...VPn) then PR2;
. . . . .
Procedure Mart;
var F1,P1,..,Pn : Integer;
V1,..,Vn : Boolean;
    Begin
        F1:=f1; P1:=p1;.....,Pn:=pn; V1:=v1,.....,Vn:=vn;

```

```

. . . . .
Procedure TForm2.ListBox2Click(Sender: TObject);
var i: integer; begin
  ListBox2.Clear;
  for i := 0 to Form1.MainMenu1.Items [ListBox1.ItemIndex].Count-1 do
    ListBox2.Items.Add(Form1.MainMenu1.Items[
ListBox1.ItemIndex].Items[i].Caption);
  ListBox2.ItemIndex := 0;
. . . . .

```

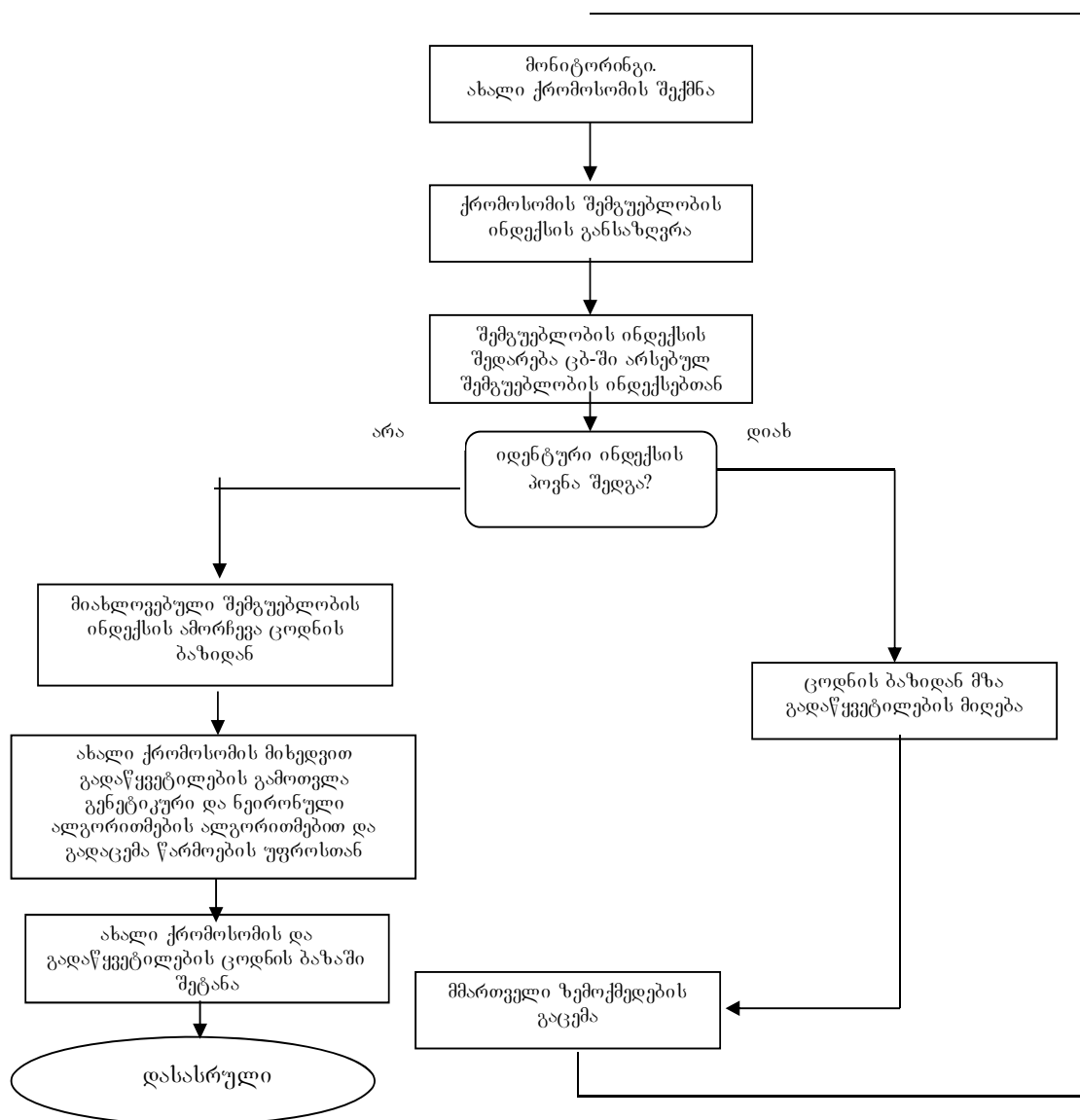
### *3.3. მართვის ექსპერტული სისტემის ალგორითმის ბლოკ-სქემის აღწერა*

დინამიური ექსპერტული სისტემის ფუნქციონირებაში, კერძოდ მართვის პროცესში, გარდა გენეტიკური ალგორითმებისა, განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ხელოვნური ინტელექტის სხვა მეთოდების, კერძოდ ხელოვნური ნეირონული ქსელებისა და ფრეიმების სისტემების გენეტიკურ ალგორითმებთან ერთობლივი გამოყენების აუცილებლობა. ნახ. 34-ზე წარმოდგენილია წარმოების მართვის ზოგადი ალგორითმის ბლოკ-სქემა, სადაც ძირითად ფუნქციურ ბლოკებს შეადგენენ მონიტორინგისა და ოპერატიული მართვის ინტელექტუალური ალგორითმები, რომლებიც მონაცემთა ბაზებთან (სტატისტიკურ მონაცემებთან) ერთად ცოდნის ბაზებისა (Knowledge Bases), ცოდნის წარმოდგენის ფრეიმული მოდელისა და დასკვნების მანქანის (Inference Engine) არსებობას ეფუძნება [11]. ცოდნის ბაზა წარმოდგენილია წესების ერთობლიობის, „სიტუაცია-გადაწყვეტილება“ სტრუქტურის ფრეიმული „ქრომოსომების“ სიმრავლის სახით, სადაც თითოეული ფრეიმის იდენტიფიკატორს წარმოადგენს ე.წ. fitness-ინდექსი, რაც რეალურად მოცემული კონკრეტული წესისათვის

გენეტიკური ალგორითმების „ქრომოსომის“ fitness-ფუნქციის მნიშვნელობის ექვივალენტურია. ამასთან, ცოდნის ბაზაში ფრეიმები სორტირებულია fitness-ინდექსის მიხედვით.

ბლოკი 1. ობიექტის მართვის პროცესის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ეტაპს შეადგენს ქსელის უწყვეტი მონიტორინგი, რაც საკონტროლო ინტერვალით მთელი სისტემის ავტომატურ სკანირებას და კომპონენტთა მიმდინარე მნიშვნელობების მონაცემთა ბაზაში შეტანას უზრუნველყოფს.

თითოეული საანგარიშო  $t = \overline{1, T}$  პერიოდისათვის ქსელიდან მიღებული ინფორმაციული მასივი ქმნის ახალ „ქრომოსომას“, რომლის „გენებს“ წარმოადგენს ქსელის კომპონენტთა მიმდინარე მნიშვნელობები [13].



ნახ. 34. წარმოების მართვის ზოგადი ალგორითმის ბლოკ-სქემა

ბლოკი 2. გენეტიკური ალგორითმების მეშვეობით, ხდება შექმნილი ახალი „ქრომოსომის“ fitness-ინდექსის განსაზღვრა.

ბლოკი 3. მიმდინარეობს ახალი „ქრომოსომის“ fitness-ინდექსის ცოდნის ბაზაში არსებული ფრეიმების fitness-ინდექსებთან შედარება და შესაბამისად, წინასწარ დაგროვილი „ცოდნის“ მიხედვით მოცემული სიტუაციის „შეცნობა“.

ბლოკი 4. განისაზღვრება მოხდა თუ არა იდენტური ინდექსის პოვნა ცოდნის ბაზაში.

ბლოკი 5. თუ მიმდინარე სიტუაციის შეცნობა მოხდა, მაშინ მოცემული fitness-ინდექსის მქონე მართვის ფრეიმის შესაბამისი მზა გადაწყვეტილება (გაიცემა ქსელზე მმართველი ზემოქმედებისათვის).

ბლოკი 6. თუ მიმდინარე სიტუაციის შეცნობა არ მოხერხდა, მაშინ ახალი „ქრომოსომის“ მიხედვით მართვის ალგორითმების (გენეტიკური ალგორითმები, ნეირონული ქსელები და სხვა) გამოყენებით ხორციელდება უკვე ახალი მმართველი გადაწყვეტილებების გამომუშავება. [12]

ბლოკი 7. მოცემული სიტუაცია და მიღებული შედეგები ახალი fitness-ინდექსის მქონე ფრეიმის სახით შეიტანება ცოდნის ბაზაში. გარდა ამისა, ცოდნის ბაზაში, ფრეიმების განმეორების სიხშირის მთავლის ინდიკატორის შესაბამისად, დაბალ სიცოცხლისუნარიანი ფრეიმები, რომლებიც თითქმის აღარ მეორდებიან, ცოდნის ბაზიდან ამოვარდნას ექვემდებარებიან ანუ ხდება ცოდნის ბაზის განახლება.

ბლოკი 8. გამოთვლილი მმართველი გადაწყვეტილებები გაიცემა ობიექტზე.

ბლოკი 9. პარალელურად, უნდა მოხდეს ანომალური სიტუაციის იდენტიფიკაცია, კერძოდ ქსელის იმ მონაკვეთის განსაზღვრა, სადაც მოხდა სისტემის მუშაობის ნორმალური რეჟიმის დარღვევა ან ავარიული სიტუაციის შექმნა. ამ მიზნით ცოდნის ბაზაში ხდება ახალი „ქრომოსომის“ fitness-ინდექსთან მაქსიმალურად მიახლოებული

fitness-ინდექსის მქონე ე.წ. ეტალონური ფრეიმის პოვნა, რომელთანაც განთანხმება მინიმალური იქნება.

ბლოკი 10. ახალი „ქრომოსომის“ განსწავლის მიზნით გამოიყენება ხელოვნური ნეირონული ქსელების მეთოდი, რომლის დროსაც ახალი „ქრომოსომა“ წარმოდგენილია ნეირონული მოდელის სახით. განსწავლის პროცესში მიმდინარეობს  $Y$  ვექტორის მაქსიმალური ადაპტაცია ანუ მიახლოება  $D$  სასურველ (ეტალონურ) გამომავალ ვექტორთან, როცა შეცდომა  $\delta \Rightarrow 0$ , რაც ხდება „ფარული“ ელემენტების წონითი კოეფიციენტების გამოთვლა-აწყოებით გენეტიკური ალგორითმების გამოყენებით, სადაც  $W$  წონების ვექტორები ქრომოსომა რეგისტრებს ქმნიან [13].

„ქრომოსომის“ ნეირონული მოდელის განსწავლის ეტაპები:

**ბიჯი 1.** ინიციალიზაცია: საწყის ეტაპზე მოცემულია „ქრომოსომის“ სიგრძე ე.ი. „გენების“ რაოდენობა  $N$ , „გენის“ ინდექსის საწყისი მნიშვნელობა  $i=0$ , ქსელის კომპონენტების მნიშვნელობათა სიმრავლე  $X=\{x(i)\}$ , ახალი „ქრომოსომა“ წონითი კოეფიციენტების სიმრავლის სახით  $W=\{w(i)\}$ ,  $D$  სასურველი (ეტალონური) გამომავალი ვექტორის მნიშვნელობა, ცარიელი სიმრავლე  $Q=\{q(i)\}$ , მუტაციის კოეფიციენტი  $\lambda$ , „ქრომოსომის“ fitness-ფუნქციის საწყისი მნიშვნელობა  $Y(0)$ .

**ბიჯი 2.** აიღება „ქრომოსომის“  $i=i+1$  „გენის“ მნიშვნელობა.

**ბიჯი 3.** გამოითვლება „ქრომოსომის“ fitness-ფუნქციის მნიშვნელობა  $Y=F(XW)$ .

**ბიჯი 4.** მოწმდება პირობა:  $Y=D$ . პირობის შესრულების შემთხვევაში გადავდივართ ბიჯი 5-ზე. სხვა შემთხვევაში ბიჯი 6-ზე.

**ბიჯი 5.** ნეირონული მოდელის განსწავლა დასრულებულია. გაიცემა „გენების“ ანუ ქსელის კომპონენტთა სიმრავლე  $\{q(i)\}$ , სადაც შეიქმნა ანომალიური სიტუაციები. მიღებული ინფორმაცია მიეწოდება წარმოების უფროსს და იმავდროულად ფიქსირდება მონაცემთა ბაზაში.

**ბიჯი 6.** გამოითვლება შეცდომა  $\delta = |Y - D|$ .

**ბიჯი 7.** მოწმდება პირობა:  $\delta(i) = \delta(i-1)$ . პირობის შესრულების შემთხვევაში გადავდივართ ბიჯი 8-ზე. სხვა შემთხვევაში ბიჯი 10-ზე.

**ბიჯი 8.** მოწმდება პირობა:  $Y > D$ .

**ბიჯი 9.** პირობის შესრულების შემთხვევაში:  $w(i) = w(i) - \lambda$ , ხოლო სხვა შემთხვევაში:  $w(i) = w(i) + \lambda$ ; ანუ  $i$ -ურ „გენში“ სრულდება მუტაციის ოპერატორი. გადავდივართ ბიჯი 3-ზე.

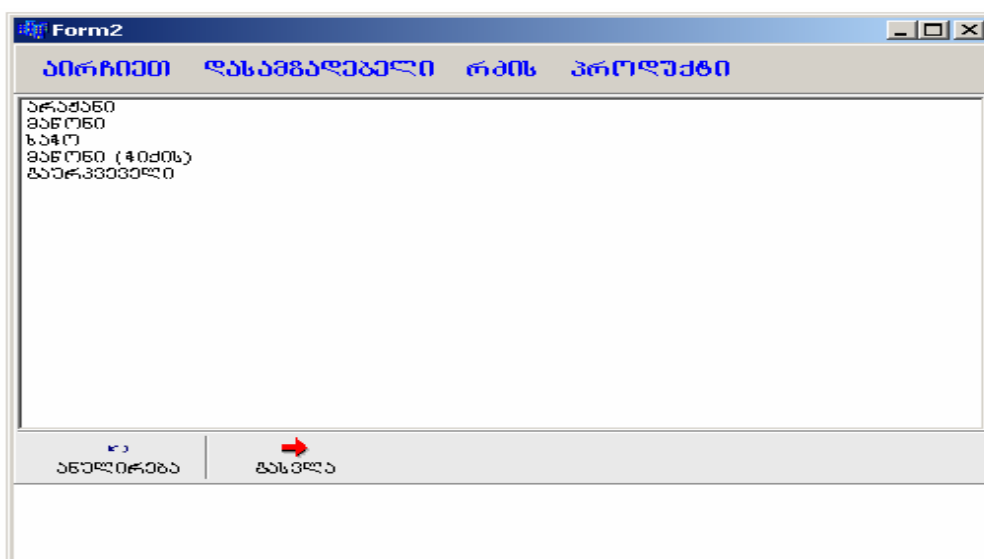
**ბიჯი 10.** მოწმდება პირობა:  $i = N$ . პირობის შესრულების შემთხვევაში გადავდივართ ბიჯი 5-ზე. სხვა შემთხვევაში ბიჯი 11-ზე.

**ბიჯი 11.** Q სიმრავლის ელემენტი:  $q(i) = \delta(i)$ . გადავდივართ ბიჯი 2-ზე. წარმოდგენილი ინტელექტუალური ალგორითმები პრინციპულად ცვლიან პერსონალის ანალიზურ და პროგნოსტულ შესაძლებლობებს, მკვეთრად ამაღლებენ გადაწყვეტილების მიღების ოპერატიულობის ხარისხს, განსაკუთრებით ავარიული სიტუაციების წარმოშობის დროს. გარდა ამისა, საკმაოდ მოსახერხებელია არასრული ინფორმაციის შემთხვევაში მართვის თვალსაზრისით.

## თავი IV. შედეგების პრაქტიკული რეალიზაცია

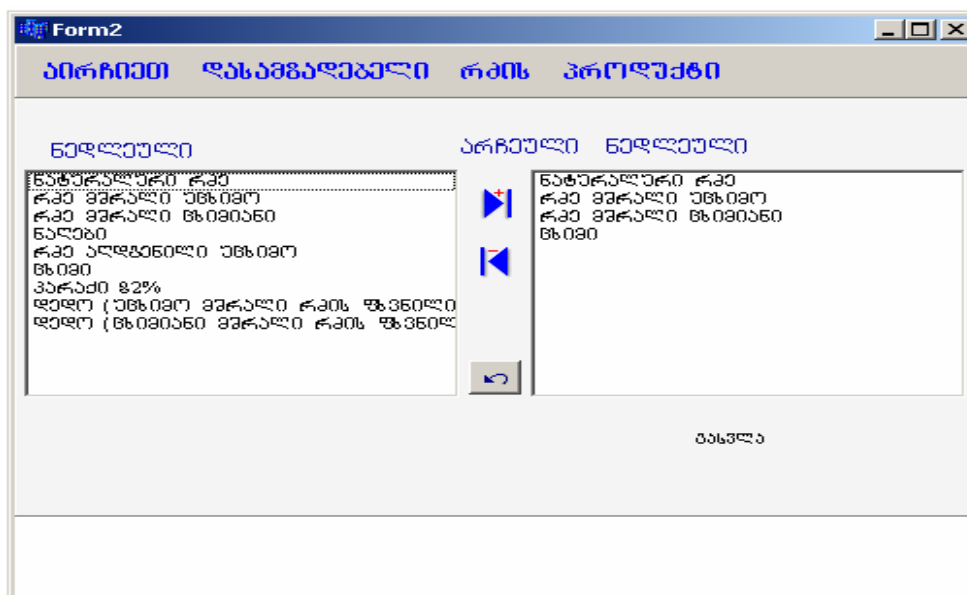
### 4.1. კვების პროდუქტების დასამზადებელი საწარმოს განხილვა რძის კომბინატის მაგალითზე

პროგრამის მთავარი პანელი მოცემულია ნახ. 35-ზე.



ნახ. 35. პროგრამის მთავარი პანელი

ვირჩევთ დასამზადებელ რძის პროდუქტს





საწყობში არსებული ნედლეულის მარაგის გათვალისწინებით ვირჩევთ არჩეული რძის პროდუქტის დასამზადებლად ნედლეულს. თუმცა მოცემულმა (არჩეულმა) ნედლეულმა შეიძლება ვერ უზრუნველყოს პროდუქტის დამზადება.

The screenshot shows a software window titled 'Form1' with a menu bar containing 'რეცეპტარა', 'გეგმვა', 'ნედლეული', and 'სტატისტიკა'. The main area is titled 'არაქანი' and contains the following data:

**არაქანი**

რაოდენობა მცობი % სომი %

2000 15 10

საბიბ. სომი - 132  
საბიბ. მცობი - 268

**ნედლეული**

არაქანი

მთავარი კომპონენტი

მთავარი კომპონენტი	რაოდენობა	მცობი %	სომი %
ნატურალური რძე	1000	3.2	6.8
რძე მშრალი უხვი	0	0	96
რძე მშრალი მცობი	0	25	71
მცობი	0	100	0

ამ კონკრეტულ შემთხვევაში დასამზადებლად არჩეულია არაქანი. გვინდა დავამზადოთ 2000 კგ. (2 ტონა). ცხიმთანობით 15% და რძის მშრალი ნარჩენით 10%. (პროგრამა უნივერსალურია და მოცემული მოთხოვნები შეიძლება ვცვალოთ). ნედლეულის კომპონენტებიდან კი არჩეულია ნატურალური რძე, რძე მშრალი უცხიმო, რძე მშრალი ცხიმოვანი, ცხიმი. ყველა ეს კომპონენტი ხასიათდება ცხიმის და მშრალი რძის ნარჩენის გარკვეული შემადგენლობით. მას სისტემა ინახავს თავის ცოდნის ბაზაში. თუმცა ეს მახასიათებლებიც შეგვიძლია ვცვალოთ. თუ რომელიმე კომპონენტის რაოდენობა ფიქსირებულად გვაქვს მოცემული, მაგ. რძე 1000 ლიტრი (პრაქტიკამ აჩვენა რომ ნატურალური რძის მარაგი გარკვეულად წინასწარ უკვე ფიქსირებულია, იგი მიღებული რაოდენობით განისაზღვრება, თანაც მალეფუჭებადია და არ ინახება), ან მარაგი შეზღუდული გვაქვს, ამიტომ შეგვიძლია მოცემული კომპონენტის რაოდენობა დავაფიქსიროთ. ინფორმაციული მომზადების შემდეგ, ღილაკით „ინფორმაციის ანალიზი ვიწყებთ ინფორმაციის დამუშავებას.“

ქვემოთ მოყვანილი პანელები ამის მაჩვენებელია.

The screenshot shows a software window titled 'Form1' with a menu bar containing 'რეცეპტურა', 'გეგმვა', 'ნაღველი', and 'სერვისი'. The main area is titled 'არაქანი' and contains input fields for 'რაოდენობა' (2000), 'ბ.090 %' (15), and 'ს.090 %' (10). A modal dialog box titled 'Receptura' is open, displaying a warning icon and text in Georgian. The dialog lists 'ნაღველის რაოდენობის შემცირება გეგმვას' and 'ფარგინილის შესაბამის მონულობას' with corresponding values for 'კგ.', 'ბ.090%', and 'ს.090%'.

ნატარალარი რაბ	რაბ გერალი უბ.090	რაბ გერალი ბ.090	ბ.090	დირაბელება
1000.00 / 550.00	2.72 / 13.59	182.24 / 1129.89	222.44 / 560.55	2254.03
1000.00 / 550.00	10.65 / 53.23	171.52 / 1063.42	225.12 / 567.30	2233.96
1000.00 / 550.00	18.58 / 92.88	160.80 / 996.96	227.80 / 574.06	2213.89
1000.00 / 550.00	26.50 / 132.52	150.08 / 930.50	230.48 / 580.81	2193.82
1000.00 / 550.00	34.43 / 172.16	139.36 / 864.03	233.16 / 587.56	2173.75
1000.00 / 550.00	42.36 / 211.80	128.64 / 797.57	235.84 / 594.32	2153.68
1000.00 / 550.00	50.29 / 251.44	117.92 / 731.10	238.52 / 601.07	2133.62
1000.00 / 550.00	58.22 / 291.08	107.20 / 664.64	241.20 / 607.82	2113.55
1000.00 / 550.00	66.14 / 330.72	96.48 / 598.18	243.88 / 614.58	2093.48
1000.00 / 550.00	74.07 / 370.37	85.76 / 531.71	246.56 / 621.33	2073.41
1000.00 / 550.00	82.00 / 410.01	75.04 / 465.25	249.24 / 628.08	2053.34
1000.00 / 550.00	89.93 / 449.65	64.32 / 398.78	251.92 / 634.84	2033.27
1000.00 / 550.00	97.86 / 489.29	53.60 / 332.32	254.60 / 641.59	2013.20
1000.00 / 550.00	105.79 / 528.93	42.88 / 265.86	257.28 / 648.35	1993.13
1000.00 / 550.00	113.72 / 568.58	32.16 / 199.39	259.96 / 655.10	1973.07
1000.00 / 550.00	121.64 / 608.22	21.44 / 132.93	262.64 / 661.85	1953.00
1000.00 / 550.00	129.57 / 647.86	10.72 / 66.46	265.32 / 668.61	1932.93
1000.00 / 550.00	137.50 / 687.50	0.00 / 0.00	268.00 / 675.36	1912.86
1000.00 / 550.00	137.50 / 687.50	0.00 / 0.00	268.00 / 675.36	1912.86
1000.00 / 550.00	136.13 / 680.63	1.86 / 11.53	267.54 / 674.19	1916.34
1000.00 / 550.00	134.75 / 673.75	3.72 / 23.05	267.07 / 673.02	1919.82
1000.00 / 550.00	133.38 / 666.88	5.58 / 34.58	266.61 / 671.85	1923.30

Form1

კანონმდებელი | შრომისათვის | ნაშრომისათვის | სტრუქტურა

კოდი	ნაშრომისათვის აღსანიშნავი	სტრუქტურა %-ში	სტრუქტურა %-ში	1 კვ. მთლიანი
1	ნაშრომისათვის კაპიტალი	3.2	6.8	0.55
2	კაპიტალი შრომისათვის	0	96	5
3	კაპიტალი შრომისათვის	25	71	6.2
4	ნაშრომისათვის	30	6	1.3
5	კაპიტალი შრომისათვის	3.2	6.7	0.55
6	სტრუქტურა	100	0	2.52
7	კაპიტალი 82%	82	0	5.7
8	შრომისათვის (სტრუქტურა შრომისათვის კაპიტალი შრომისათვის)	0	11.2	0.55
9	შრომისათვის (სტრუქტურა შრომისათვის კაპიტალი შრომისათვის)	3	8.86	0

კოდი	სტრუქტურის აღსანიშნავი	სტრუქტურა %-ში	სტრუქტურა %-ში
1	სტრუქტურა	10	15
2	სტრუქტურა	10.6	3.2
3	სტრუქტურა	11	8
4	სტრუქტურა (40000)	10.8	3.2
5	სტრუქტურა	10.9	3.7

Form1

კანონმდებელი | შრომისათვის | ნაშრომისათვის | სტრუქტურა

სტრუქტურის გამოთვლა

სტრუქტურისათვის ნაშრომისათვის
  სტრუქტურა
  სტრუქტურა

$$\frac{0}{4} + 2 + 0,225 * 0 = 0$$

კაპიტალი ნაშრომისათვის შრომისათვის გამოთვლა

კაპიტალი ნაშრომისათვის შრომისათვის (%) :

შრომისათვის შრომისათვის კაპიტალი ნაშრომისათვის :  სტრუქტურა - %

---

კაპიტალი ნაშრომისათვის შრომისათვის შრომისათვის :  გამოთვლა =

## 4.2. ოპერაციების დაგეგმვის ალგორითმი

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, კვების პროდუქტების საწარმოო პროცესების კალენდარული დაგეგმვის ამოცანის გადასაწყვეტად, ოპერაციათა დიდი რაოდენობიდან გამომდინარე, აგრეთვე დროითი პარამეტრებისათვის არსებული შეზღუდვების გამო, შერჩეულ იქნა მოდიფიცირებული გენეტიკური ალგორითმი, რომელიც დიდი განზომილების ამოცანების შემთხვევაშიც სავსებით ეფექტურია ანუ კვაზიოპტიმალურ ამონახსნს იძლევა.

დროითი დამოკიდებულების შემთხვევაში ოპერაციათა თანმიმდევრობა შეიძლება წარმოვიდგინოთ  $G(V,E)$  ორიენტირებული აციკლური გრაფის სახით, სადაც ყოველ  $n_i \in V, i=1...N$  მწვერვალს შეესაბამება ელემენტარული ოპერაცია, ხოლო ყოველ  $e \in E$  რკალს დროითი დამოკიდებულების შეზღუდვა.

განიჩვენებთ ოპერაციის დაწყებისა და დამთავრების შეზღუდვები. განვიხილოთ ორი მწვერვალი:  $n_i$  და  $n_j$ . თუ  $n_j$  არის დაგეგმილი არა უგვიანეს  $d_a$  ციკლისა  $n_i$  მწვერვალის შემდეგ, მაშინ ამ ორ მწვერვალს შორის ოპერაციის დამთავრების დრო განისაზღვრება ფორმულით:

$$t(n_j) \geq t(n_i) + d_a \quad (37)$$

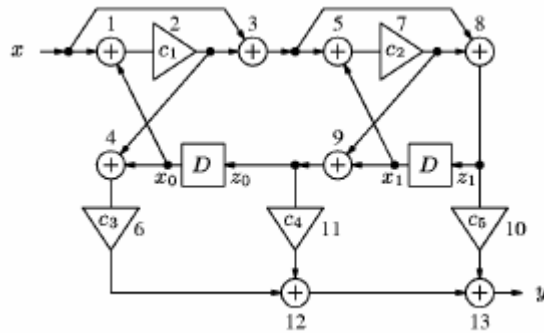
თუ  $n_j$ -ის შესაძლო უგვიანესი დრო არის  $d_b$  ციკლისა  $n_i$  მწვერვალის შემდეგ, მაშინ ორ მწვერვალს შორის ოპერაციის დაწყების დრო განისაზღვრება ფორმულით:

$$t(n_j) \leq t(n_i) + d_b \quad (38)$$

ამგვარად, ყოველი რკალი ასოცირდება ორ წონასთან:  $d_a$  და  $d_b$ .

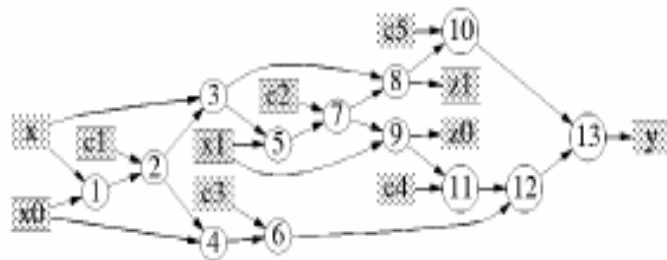
წონითი შეზღუდვების ცნება საშუალებას იძლევა განვიხილოთ თითოეული გზა წონითი გაანგარიშების საშუალებით ოპერაციათა შორის ხანგრძლივობის მინიმიზაციის თვალსაზრისით.

წარმოების დაგეგმვის პროცესის საილუსტრაციოდ, მაგალითისათვის განვიხილოთ 52 მწვერვალიანი გრაფი, ხოლო შემდგომი მსჯელობისათვის შემოვიტანოთ ე.წ. მეორე რიგის მესერული ფილტრი (ნახ. 36.)



ნახ. 36. მეორე რიგის მესერული ფილტრი

და შესაბამისად დროითი დამოკიდებულების გრაფი (ნახ. 37), სადაც ყველა რკალისათვის არის მიხნეული შემდეგი წონები:  $d_a = 1$  და  $d_b = \infty$ .



ნახ. 37. დროითი დამოკიდებულების გრაფი.

კალენდარული დაგეგმვის ამოცანა მდგომარეობს თითოეული  $n \in V$  მწვერვალისათვის  $t(n)$  დროის განაწილებაში. ამგვარად, დროითი დამოკიდებულების შეზღუდვა ყოველი  $t_i$  ციკლისათვის უნდა იქნას გათვალისწინებული. აგრეთვე ყველა მწვერვალისათვის უნდა იქნას დაკმაყოფილებული შემდეგი პირობა:  $n_i \in V | t(n_i) = t_i$ .

გარდა ამისა, ყოველი  $n_i$  მწვერვალისათვის უადრესი  $t_s(n_i)$  და უგვიანესი  $t_f(n_i)$  დროები შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი გამარტივებული მატრიცის მეშვეობით

$t$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_5$	$n_6$	$n_7$	$n_8$	$n_9$	$n_{10}$	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{13}$
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

შესაბამისი ფორმულის მიხედვით:

$$P = (P_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{for } t_s(n_j) \leq i \leq t_l(n_j) \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

სადაც  $P$  –ს სტრიქონების რაოდენობა განსაზღვრავს გეგმის სიგრძეს.

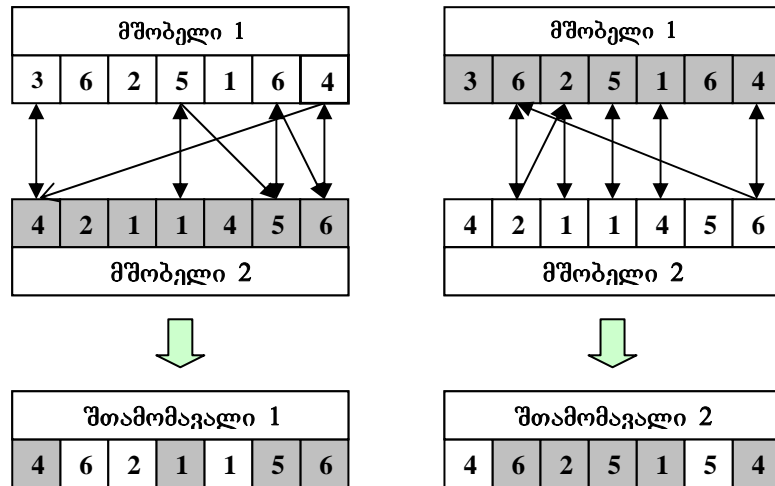
დაგეგმვის ამოცანის გადაწყვეტა წარმოადგენს  $s = (s_1, s_2, \dots, s_N)^T$  ვექტორს, სადაც  $s_i = t(n_i)$  წარმოადგენს  $n_i$  მწვერვალისათვის საგეგმო დროს.

როგორც ცნობილია, გენეტიკური ალგორითმების თეორია ეფუძნება ე.წ. *Fitness Function* – ის ცნებას. საწარმოო პროცესების კალენდარული დაგეგმვის ამოცანაში *Fitness Function* შეიცავს დროითი დამოკიდებულების შეზღუდვებსა და რესურსების შეზღუდვებს. ამგვარად, განიხილება აგრეთვე დანახარჯების  $c = (c_1, c_2, \dots, c_N)^T$  ვექტორი, სადაც  $c_i$  ელემენტი წარმოადგენს  $n_i$  მწვერვალთან ასოცირებულ დანახარჯებს. დროითი დამოკიდებულების გრაფისათვის  $n_i$  და  $n_j$  მწვერვალებს შორის რკალის დანახარჯები განისაზღვრება როგორც:

$$c_i = c_j = (s_i - s_j + d_a)\sigma(s_i - s_j + d_a) + (S_j - S_i - d_b)\sigma(S_j - S_i - d_b) \quad (39)$$

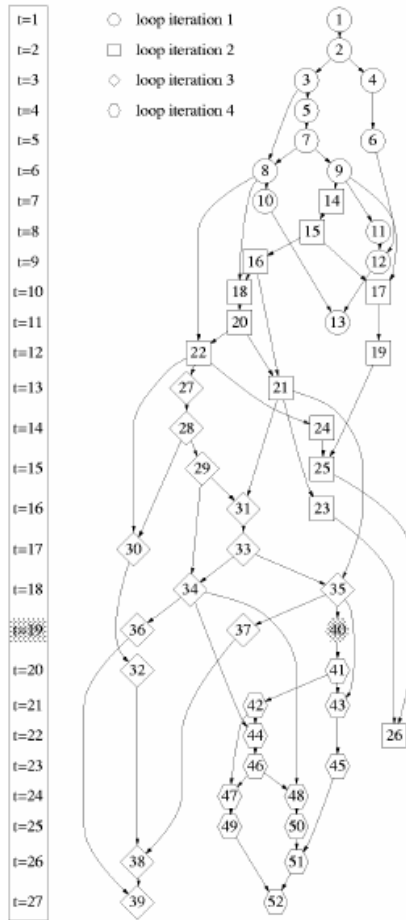
სადაც:  $\sigma(x) = \frac{1}{2}(1 + \text{sign}(x))$  არის ჰევისაიდის ფუნქცია.

გენეტიკური ალგორითმების ბაზისურ ოპერატორებად გამოყენებულია კროსოვერი და მუტაცია. ნახ. 38-ზე წარმოდგენილია კროსოვერის სქემა გრაფის ფრაგმენტისათვის, სადაც მწვერვალების რიცხვი  $N=7$ .



ნახ. 38. კროსოვერის სქემა გრაფის ფრაგმენტისათვის

განხილული მაგალითისათვის (52 მწვერვალიანი გრაფი) საძიებელი არე ანუ შესაძლო ვარიანტების რიცხვი შემცირდა  $3 \cdot 10^{74}$ -დან  $6 \cdot 10^{23}$ -მდე. რანდომიზებული საწყისი პოპულაცია იქნა აღებული 50-ის ტოლი, ხოლო 100 შეიღობილი ქრომოსომა იქნა გენერირებული, რის შემდეგაც გენეტიკური ოპერატორების გამოყენებით მიღებულ იქნა დაგეგმვის შემდეგი გადაწყვეტილება.



ნახ. 39. 52 მწვერვალიანი გრაფი.

განხილულმა მაგალითმა ცხადყო შერჩეული ალგორითმის სწრაფი კრებადობა და შესაბამისად მაღალი ეფექტურობა კვების პროდუქტების წარმოების კალენდარული დაგეგმვის ამოცანის გადასაწყვეტის საქმეში, რაც თავის მხრივ მართვის ექსპერტული სისტემის საფუძველს ქმნის.



## 1. დასკვნა

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

- დამუშავებულია საწარმოს მართვის მოდელი ხელოვნური ნეირონული ქსელებისა და ევოლუციური მეთოდების გამოყენებით;
- დამუშავებულია მენეჯერის მიერ გადაწყვეტილების მიღების ალგორითმი არსებული ინფორმაციის საფუძველზე;
- დამუშავებულია საწარმოს ოპერატიული მართვის სისტემის ინფორმაციული და პროგრამული უზრუნველყოფა MS SQL Server, MS Access ობიექტ-ორიენტირებული სისტემების ბაზაზე;
- დამუშავებულია მართვის სისტემის პროგრამული უზრუნველყოფა სს “ამალთეას” მაგალითზე.

## გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა

1. ჩოგოვაძე გ., გოგიჩაიშვილი. გ., სურგულაძე გ., შეროზია თ., შონია თ., მართვის ავტომატიზებული სისტემების დაპროექტება და აგება, ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი 2001, 742 გვ.
2. შონია თ., სურგულაძე გ., მაისურაძე გ., განაწილებული კომპიუტერული სისტემების აგება და რესურსების ეფექტური მართვის მოდელი, უწყვეტ ტანტა მექანიკურ პრობლემებზე საერთაშორისო სიმპოზიუმის შრომები, თბილისი, სტუ, 1997.
3. Г.Г.Гогичаишвили «Автоматизация принятия решений в системах управления» 1985 г.
4. გოგიჩაიშვილი. შესავალი ხელოვნური ინტელექტის სისტემებში, სტუ, თბილისი 2008.
5. საგანგებო სიტუაციების მართვის სისტემის ანალიზური ბირთვი, საერთაშორისო კონფერენცია “ინფორმაციული ტექნოლოგიები 2008”, შონია თ., კაიშაური თ., ელგენდარაშვილი ც., მაისურაძე გ.
6. Методы анализа, Информация при построенной экспертной системы учебного процесса. Международный научный журнал «Проблемы прикладной механики». 2001 М1(2), Шония О., Майсурадзе Г., Почовян С.
7. Проектирование базы данных. Учебное пособие 2008 г. Майсурадзе Г., Почовян С.
8. Теория рациональных зависимостей и проектирование логической схемы баз данных. Чоговадзе Г., Качибаия В., Сургуладзе Г. Тбилиси, Гос Универ., 1988 г.
9. Уотерман Д. Руководство по экспертным системам. Пер.с англ. М.:Мир, 1989 г.
10. Экспертные системы: Состояние и перспективы.Сб.науч.тр. Пospelов Д.А., М.:наука, 1989 г.
11. Искусственный интеллект, стратегии и методы решения сложных проблем, Джордж Ф.Люгер, Москва 2003 г.
12. ჯანელიძე გ., მეფარიშვილი ბ., მრავალექსტრემალური ოპტიმიზაციის ევოლუციური ალგორითმი, სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“ №1(24), თბილისი, 2006. გვ. 119-122.
13. ჯანელიძე გ., მეფარიშვილი ბ., ცოდნის წარმოდგენის ადაპტური ალგორითმი ნაკადების მართვაში, სტუ შრომები, მართვის ავტომატიზებული სისტემები №1, თბილისი 2006. გვ. 98-101.
14. ჯიბლაძე ნ., თოფჩიშვილი ა., სტატიკური ოპტიმიზაციის რიცხვითი მეთოდები, თბილისი, 2001.
15. Гудман С., Хидетниеми С. Введение в разработку и анализ алгоритмов.-М.: Мир, 1981. 368 с.
16. Кузин Л.Т., Основы кибернетики: В 2-х. Т. 2. Основы кибернетических моделей. Учеб. пособие для вузов,-М.: Энергия, 1979.- 584с.
17. Никлас Карл Дж. Компьютер моделирует эволюцию растений. В мире науки, № 5,1986, с. 50-58.
18. Оуен, Б. Гун, Ричард П. Турко. Полярные стратосферные облака и разрушение озонового слоя. В мире науки, № 8,1991, с. 34-41.
19. Смоллы Р. Модель молекулы Бакминстерфуллера. В мире науки, № 3, 1991, с. 12-15.
20. Форсайт Р.Стратегии обучения машин. М., Радио и Связь,1987,с.152-165.

21. Хант. Э. Искусственный интеллект, М.: Мир, 1978. 558 с.
22. Forsyth. R. "Expert Systems". Polytechnic of North London. 1987.
23. Goldberg D.E. (1989).- Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison Wesley, Reading, Mass.
24. Th. Zeitlhofer, B. Wess, Operation Scheduling for parallel functional units using genetic algorithms. INTHFT, Vienna University of Technology.
25. N. GREGORY MANKIWI PRINCIPLES OF EKONOMIKS