

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მარინე ქაშიბაძე

## ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მოდელირება და ტექნიკურ-ეკონომიკური ოპტიმიზირება

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: მანქანათმცოდნეობა, მანქანათმშენებლობა  
და საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები შიფრი 0408

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2019 წელი

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მარინე ქაშიბაძის მიერ შესრულებულ სამაგისტრო ნაშრომს დასახელებით: „ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მოდელირება და ტექნიკურ-ეკონომიკური ოპტიმიზირება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის საგამოცდო კომისიაში მის განხილვას მაგისტრის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი:

პროფესორი,

თამაზ მჭედლიშვილი

რეცენზენტები:

ტ.მ.დ., პროფესორი

გიორგი ჯაფარიძე

ტ.მ.კ.

ბელა ნავროზაშვილი

ხარისხის უზრუნველყოფის

სამსახურის უფროსი:

პროფესორი

მ. მოისწრაფიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2019 წელი

მარინე ქაშიბაძე

ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მოდელირება და ტექნიკურ-  
ეკონომიკური ოპტიმიზირება

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და  
მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
ივლისი 2019 წელი

ინდივიდუალური პიროვნების ან ინსტიტუტის მიერ, ზემოთმოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით, მოთხოვნის შემთხვევაში, მისი არაკომერციული მიზნით კოპირების და შემდეგში 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 მიღებული აქვს შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიკურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

წარმოების ეფექტურობის და გამოშვებული პროდუქციის ხარისხის ამაღლების პრობლემა დამახასიათებელია თანამედროვე მანქანათმშენებლობისთვის, რომელიც მაღალი ტექნიკური მახასიათებლების მქონე ცალკეული მანქანების და მანქანათა სისტემათა შექმნასთან და მათი გამოყენების სფეროს გაფართოებასთან ერთად, პირველ რიგში, ეფუძნება წარმოების ფაქტორებს: შრომის მწარმოებლობის და ყველა სახის საქმიანობის ეკონომიკური ეფექტურობის ამაღლებას, საშუალებების, რესურსების და შრომის იარაღების ეკონომიას. იგი, თავის მხრივ, პირდაპირ კავშირშია საწარმოო პროცესების თვითღირებულების მაჩვენებელთა შემდგომ სრულყოფასთან.

აღნიშნულიდან გამომდინარე ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ავტომატიზებული საჩარხო სისტემათა (ავტომატიზებული ჩარხების, საჩარხო ხაზების და კომპლექსების), ფუნქციონალური და სტრუქტურული ანალიზი, საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემათა საწარმოო პროცესების ტექნიკურ - ეკონომიკურ მაჩვენებელთა ოპტიმიზაციური გაანგარიშებების, ამ სისტემათა ავტომატიზებული მოთვალთვალე ამძრავთა დინამიკური მოდელირების და ოპტიმიზაციური კვლევის მეთოდების შემუშავება, რომელიც მიმართულია საპროექტო გადაწყვეტილების ხარისხის და სამეცნიერო დასაბუთების ეფექტურობის ამაღლებისაკენ.

დასახული მიზნის მიღწევისათვის კვლევის ამოცანებში ჩართულია:

- არსებული ავტომატიზირებული და ავტომატური ტექნოლოგიური მანქანების სისტემათა შედგენლობის და სტრუქტურის ანალიზი, წაყენებული მოთხოვნების და ფუნქციონირების ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლების გამოვლენა;
- თანამედროვე ჩარხების და საჩარხო პროექტირების პროცესის სისტემური მიდგომის ხარისხობრივი ანალიზი მათი მექანიზმებისა და ამძრავთა სისტემების პროექტირებასთან და მათ დინამიკურ გამოკვლევასთან დაკავშირებული არსებული ნაშრომების მიმოხილვა;
- ძირითად კანონზომიერებათა გამოვლენა და მრავალსაიარაღო საჩარხო სისტემათა და ავტომატური ხაზების მიერ განხორციელებული საწარმოო პროცესების თვითღირებულებების მაჩვენებლებთან და მჭრელი იარაღების, მექანიზმების და მოწყობილობათა მუშაობის საიმედოობასთან დაკავშირებული ფუნქციონირების მათემატიკური მოდელების აგება;
- ტექნოლოგიური პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდების და მეთოდების შემუშავება მინიმალური თვითღირებულების პირობიდან გამომდინარე სისტემებისთვის, სადაც გამოიყენება მჭრელი იარაღების, მექანიზმების და მოწყობილობათა მწყობრიდან გამოსვლის მომენტთან დაკავშირებული მომსახურების სქემები;

- საკვლევი ავტომატიზებული მოთვალთვალე ამძრავების ცალკეულ ფუნქციონალურ ელემენტებთან მათემატიკური მოდელების ანალიზი და ამის საფუძველზე მთლიან სისტემათა დინამიკური მოდელირებისა და კვლევის მეთოდების შემუშავება.

ნაშრომის სამეცნიერო ღირებულება მდგომარეობს:

- მრავალსაიარაღო საჩარხო ტექნოლოგიური ავტომატური ხაზების და სისტემათა მიერ, განხორციელებულ საწარმოო პროცესებთან მიმართებაში, თვითღირებულების მაჩვენებლების მჭრელი იარაღების, მექანიზმების და მოწყობილობების საიმედოობის პარამეტრებთან დაკავშირებული მათემატიკური მოდელის აგება და მისი გამოყენებით კვლევის ამოცანების გადაჭრასთან დაკავშირებული, ორიგინალური მეთოდოლოგიური მიდგომები.
- საკვლევ ამძრავთა ავტომატიზებულ მოთვალთვალე სისტემებთან მიმართებაში დინამიკის მათემატიკური მოდელირების, მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ორიგინალურ მეთოდებში სასურველი პროცესების ფორმირებისა და სინთეზირებადი პარამეტრების ძიების ახალ მეთოდოლოგიურ მიდგომებში.

ნაშრომის პრაქტიკულ ღირებულებას წარმოადგენენ გამოსაკვლევი ტექნოლოგიურ სისტემათა და მათი ავტომატიზებულ ამძრავთა დინამიკური ანალიზის, სინთეზის მეთოდები და მეთოდიკები, კვლევის შედეგები, რომელიც მიმართულია განხილვადი სისტემების ხარისხისა და ეფექტურობის ამაღლებისკენ.

შესავალ ნაწილში დასაბუთებულია სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალურობა, ჩატარებულია პრაქტიკაში ფართოდ გამოყენებული ავტომატური და ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მიმოხილვა.

განხილულია მათი ფუნქციონალური და სტრუქტურული აგების თავისებურებები და მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზის საფუძველები, კერძოდ ნაკეთობათა ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები და ხარისხის მაჩვენებლების საკითხები. გაანალიზებულია მექანიზმების, ამძრავთა სისტემების და მთლიანობაში ტექნოლოგიური მანქანების პროექტირებისა და დინამიკური კვლევის აქტუალური საკითხები.

ნაშრომის ძირითად ნაწილში გაანალიზებულია სისტემების მიდგომები ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების პროექტირებისადმი.

აღნიშნულია, რომ ტექნოლოგიური მოწყობილობების ტექნიკური და ექსპლუატაციური მახასიათებლები შემდგომი სრულყოფა მრავალ წილად განპირობებულია მათ მიერ რეალიზებული პროცესების მწარმოებლურობის და თვითღირებულების მახასიათებლებით, რომლებიც თავის მხრივ მრავალ წილად დაკავშირებულნი არიან ტექნოლოგიური სისტემების საიმედოობასთან. გაანალიზებულია საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების საიმედოობის თეორიის საფუძველები, ტექნოლოგიური სისტემების მტყუნებათა და უმტყუნებო მუშაობის ალბათობათა გათვლის მეთოდიკები.

მიღებული იქნა თვითღირებულების, მზადყოფნის კოეფიციენტებისა და მწარმოებლურობის გამოსახულებები ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების მიმართ, რომლებიც ახორციელებენ მრავალსაიარაღო დამუშავების

ტექნოლოგიურ პროცესების ორგანიზაციას მომსახურების სქემებისათვის, რომლებშიც ხორციელდება იარაღების და მექანიზმების მომსახურება მათი მწყობრიდან გამოსვლის შესაბამისად.

აგრეთვე ჩამოყალიბებული იქნა მეთოდოლოგია, მიმართული პარამეტრული საწარმოო პროცესის ოპტიმიზაციისაკენ მინიმალური თვითღირებულების კრიტერიუმის მიხედვით. მიღებული დამოკიდებულების გამოყენებით ნაშრომში ჩატარებული იქნა კომპრეტული საანგარიშო გამოკვლევები. შემდგომში განიხილებიან ჩარხების და რობოტექნიკური სისტემების კინემატიკურ ჯაჭვებში ფართო გამოყენებულ ამპრავთა მოთვალთვალე ელექტრომექანიკურ სისტემების კვლევებთან დაკავშირებული ამოცანები. ამ სისტემათა ხარისხობრივი მაჩვენებლები დიდ ზემოქმედებას ახდენს საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების მუშაობის ეფექტურობაზე.

ცალკეული ელემენტების მოდელების გათვალისწინებით აგებულ იქნა საკვლევი სისტემების დინამიკური მოდელები, სტრუქტურული სქემები, გადამცემი ფუნქციები დრეკადი კავშირების გათვალისწინებით სისტემათა მექანიკურ ნაწილში. კვლევის მეთოდების თვალსაზრისით ჩამოყალიბებულია კვლევის ორიგინალური მეთოდოლოგიები მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით მთლიანი და არამთლიანი დამკვირვებლობის შემთხვევებისათვის. პირველი შემთხვევისათვის კვლევის მეთოდოლოგია აგებულია პარამეტრების შერჩევაზე გამომდინარე სასურველი და რეალიზებული სისტემების მახასიათებელი ტოლობიდან.

მეორე შემთხვევისათვის სინთეზის პროცესი აგებულია გარდამავალი პროცესების ინტეგრალ მიახლოებაზე სინთეზირებად და სასურველ სისტემებში.

შემდგომი კვლევებისათვის მიღებული იქნა მათემატიკური დამოკიდებულებები, ჩაწერილნი სამიებელ პარამეტრებთან მიმართებაში. მახასიათებელ განტოლებათა ტოლობაზე აგებული სინთეზის მეთოდოლოგიის პრაქტიკული. აპრობაციის თვალსაზრისით ჩატარებული იქნა საინჟინრო გამოკვლევები გარკვეული საწყისი პარამეტრების მქონე სისტემებისათვის, რომლებმაც გვიჩვენეს შემუშავებული თეორიის პრაქტიკული ეფექტურობა.

## Abstract

Modern mechanical engineering is characterized by the problem of improvement efficiency of production and the quality of manufactured product that together with the development of having improved technical characteristics individual machines and machine systems and the expansion of their application scope are based primarily on intensive factors of production: labor productivity and improvement of economic efficiency and all kinds of economic activities, saving of means, resources and labor tools. This is in direct connection with further improvement of the manufacturing processes prime cost indicators.

**In connection with this work is aimed** on the automation machine tools systems (automated machine tools, machine tool lines and complexes), functional and structural analysis, optimization calculation of technical-economic indicators of the machine tool technological systems in the manufacturing processes, development of these automated follow-up drive systems dynamic modeling and methodologies, design solutions aimed at the quality and increasing the effectiveness of scientific justification.

**The aim of the research is to achieve the objectives:**

- Analysis of composition and structure of existing automatic and automated technological machine systems, revealing arising requirements and functioning of the technical and economic characteristics of;
- Qualitative analysis of systemic approach to the modern machine tools and machine tool lines, reviewing works related to their mechanisms and drive systems design and dynamic research;
- Identifying the main regularities and construction of mathematical models for prime cost indicators of performed by multi-tool machine tool systems and automated lines manufacturing processes and related for functioning of reliability of the cutting tools, mechanisms and equipment operation;
- Development of methods and methodologies for calculation of technological parameters based on the minimum prime cost for systems, in that the scheme of service related to failure of cutting tools, mechanisms and equipment is applied;
- Analysis of mathematical models of individual functional elements of the automated follow-up drive and development of dynamic modeling and cutting methods of the entire system.

The scientific value of the work is:

- Development of mathematical modeling related to performed by cutting tools, mechanisms and equipment multi-tool machine tool technological systems and automated production lines industrial processes prime cost reliability parameters and using their research to solve tasks related to the original methodological approach to it;
- new methodological approaches for the mathematical modeling of automated follow-up drives under study mathematical models of dynamics, in the formation of desired processes in the original methods of synthesis and the synthesizing parameters according to the transitional processes.

**The practical value of the thesis** is to analyze and synthesize methods and methodologies of researching and synthesis of the study results and their automated drives to improve the quality and efficiency of the reviewed systems.

**In the introduction part** is justified the actuality of the dissertation work, the review of the widely applied in practice automatic and automated machine tool systems is carried out.

The features of their functional and structural construction and the basics of their technical and economic analysis are considered, in particular the main indicators of the quality of the products and the quality indicators. Is analyzed actual issues of mechanisms, drive systems and overall technological machines design and dynamic research.

**In the main part of the work** are analyzed systems approaches to the design of machine tools and machine tool systems.

Is mentioned that technical and exploitative characteristics of technological equipment are further improved in many areas due to the productivity and cost characteristics of their implementation processes, which in turn are significantly related to the reliability of technological systems. Are analyzed the basics of reliability theory of technological systems, methodologies for calculating probability of failures of technological systems and probabilities of running order operation.

Are obtained the dependencies related to prime cost, preparedness coefficients and productivity for machine tools and machine tool systems that carry out multi-tool processing technological processes organization for service schemes in which maintained of cutting tools and mechanisms operation in accordance with their failures.

The methodology was also formulated to optimize the parametric production process according to the minimum prime cost criterion. Using the methodology of the study, the specific design researches were conducted in the work. The tasks related to research of follow-up drives electromechanical systems widespread in kinematic chains of machine tools and robotics systems are further considered. The qualitative indicators of these systems have a significant impact on the effectiveness of machine tools technological systems.

With taking into account the models of individual elements were constructed structural schemes and transfer functions dynamic models of the systems under study with consideration of elastic constraints in the mechanical parts of the systems. In terms of research methods, the original methodology of research is based on the transitional processes for cases of total and non-monitored observer. For the first case, research methodology is constructed from selection of parameters due the characteristics of the desired and realized systems.

In the second case, the synthesis process is built on the integration of the transition processes into synthesized and desirable systems.

Mathematical dependencies have been obtained for further studies, with respect to search parameters. Practical of synthesis methodology was based on the equality of characteristic equations. In terms of approbation, engineering studies have been conducted for systems with certain initial parameters that have demonstrated practical effectiveness of the developed theory.



## შინაარსი

შესავალი .....	12
1. ლიტერატურული მიმოხილვა	
1.1. საჩარხო სისტემების და მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზის საფუძვლები .....	19
1.1.1. საჩარხო სისტემების ანალიზი .....	19
1.1.2. ნაკეთობათა ხარისხის მაჩვენებელთა სისტემა .....	28
1.1.3. მექანიზმების და ამძრავთა სისტემების პროექტირებისა და კვლევის საკითხები .....	35
2. შედეგები და მათი განსჯა	
2.1. სისტემური მიდგომა საჩარხო სისტემების პროექტირებისადმი .....	39
2.2. ხარისხის მაჩვენებლები და ეკონომიკური ეფექტურობის განსაზღვრის მეთოდები .....	41
2.3. ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების საიმედოობის თეორიის საფუძვლები .....	58
2.4. ავტომატიზებული ჩარხების და საჩარხო სისტემების საწარმოო პროცესების თვითღირებულების მოდელირება და პარამეტრული ოპტიმიზაცია .....	69
2.4.1. საწარმოო პროცესების თვითღირებულების მოდელირება მრავალსაიარაღო ჩარხებზე და საჩარხო კომპლექსებზე .....	69
2.4.2. საწარმოო პროცესის თვითღირებულების პარამეტრული ოპტიმიზაცია .....	85
2.5. ოპტიმიზაციური მიდგომები საჩარხო კომპლექსების ამძრავთა სისტემების კვლევისადმი .....	91
2.6. საჩარხო ელექტრომექანიკური მოთვალთვალე ამძრავის დინამიკური მოდელირება და ოპტიმიზაციური კვლევის მეთოდოლოგიის შემუშავება .....	96
2.6.1. დრეკადრგოლებიან მექანიკური ნაწილის დინამიკური მოდელების შემუშავება .....	96
2.6.2. სისტემის მათემატიკური მოდელი, გადამცემი ფუნქციები და დინამიკური სინთეზი მახასიათებელი განტოლებების გამოყენებით .....	105
2.7. სინთეზი გარდამავალი მოდელების გამოყენებით .....	115
3. დასკვნები .....	126
გამოყენებული ლიტერატურა .....	131

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. საბაზისო ჩარხების მონაცემები .....	55
ცხრილი 2. ტექნოლოგიური პროცესების საწყისი მონაცემები .....	88
ცხრილი 3. საანგარიშო მონაცემები .....	88
ცხრილი 4. მჭრელი იარაღებით აღჭურვილი ციკლური მოქმედების მექანიზმების მონაცემები .....	89
ცხრილი 5. საანგარიშო მონაცემები .....	89
ცხრილი 6. მჭრელი იარაღების დახასიათებები .....	90
ცხრილი 7. საანგარიშო მონაცემები .....	90

## ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. ავტომატური ხაზების კომპანება:	
ა - მიმდევრობითი მოქმედების ერთნაკადიანი;	
ბ - პარალელური მოქმედების ერთნაკადიანი;	
გ - მრავალნაკადიანი; დ - შერეული .....	23
ნახ. 2. ნაკეთობის ხარისხის მაჩვენებელთა სისტემა .....	32
ნახ. 3. საჩარხო სისტემის იერარქიული დონეები .....	40
ნახ. 4. მანქანის მაჩვენებლების ხარისხის ფორმირება დაპროექტებისას	42
ნახ. 5. შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების ექსპერიმენტული ფუნქცია .....	60
ნახ. 6. განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია .....	61
ნახ. 7. ექსპონენციალური განაწილების ფუნქციები .....	64
ნახ. 8. უეცარი და თანდათანობითი მტყუნებების ერთობლივი მოქმედება, სადაც $P(t)$ ასახავს უეცარი მტყუნებების მრუდს .....	66
ნახ. 9. ობიექტის მდგომარეობათა გრაფი .....	67
ნახ. 10. თვითღირებულებისა და ჭრის სიჩქარისშორისი დამოკიდებულების მრუდი .....	91
ნახ. 11. რეგულირების ოპტიმალური სისტემის სქემა .....	96
ნახ. 12. სისტემის სტრუქტურული სქემა .....	105
ნახ. 13. სინთეზის შედეგად მიღებული დამოკიდებულებები:	
ა) $1 - K_{\phi_1}(K_B)$ ; $2 - K_{\Delta\phi}(K_B)$ ; $3 - K_{\phi_2}(K_B)$ .....	114
ნახ. 14. გარდამავალი პროცესების მრუდები:	
$1 - K_B = 296$ ; $2 - K_B = 230$ ; $3 - K_B = 183$ .....	115
ნახ. 15. სისტემის სტრუქტურული სქემა .....	117
ნახ. 16. გარდაქმნილი სტრუქტურული სქემა .....	118
ნახ. 17. გამსხვილებული სტრუქტურული სქემა .....	118
ნახ. 18. შიგა კონტურის სტრუქტურული სქემა .....	120

## შესავალი

თანამედროვე მანქანათმშენებლობისთვის დამახასიათებელია: წარმოების ეფექტურობის და გამოშვებული პროდუქციის ხარისხის ამაღლების პრობლემა, რომელიც ამაღლებული ტექნიკური მახასიათებლების მქონე ცალკეული მანქანების და მანქანათა სისტემების შექმნასთან და მათი გამოყენების სფეროს გაფართოებასთან ერთად, პირველ რიგში ეფუძნება, წარმოების ინტენსიურ ფაქტორებს: შრომის მწარმოებლურობის და ყველა სახის საქმიანობის ეკონომიკური ეფექტურობის ამაღლებას, საშუალებების, რესურსების და შრომის იარაღების ეკონომიას, რაც თავის მხრივ პირდაპირ კავშირშია, საწარმოო პროცესების თვითღირებულების მაჩვენებლების შემდგომ სრულყოფასთან.

ახალი ტექნიკის შექმნისათვის დანახარჯების სიდიდე, ერთის მხრივ, დამოკიდებულია კონსტრუქციის ტექნიკურ პარამეტრებსა და ხასიათზე, რომლებიც მთლიანობაში საექსპლუატაციო თვისებებს განსაზღვრავს, მეორე მხრივ – საწარმოო-ტექნოლოგიურ ფაქტორებზე, რომელთა ჩამონათვალი და ხასიათი დამოკიდებულია პროდუქციის კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიურ სირთულეზე, ტექნოლოგიის პროგრესულობაზე, აღჭურვილობასა და სხვ. ეს დანახარჯები აისახება წარმოების სფეროში ხარჯების მაჩვენებლების სახით.

თანამედროვე განვითარების ეტაპზე ტექნოლოგიური პროცესის ერთ - ერთი დამახასიათებელი თავისებურებაა, ავტომატიზაციის ფართო დანერგვა საწარმოო პროცესის ყველა ელემენტში.

საწარმოო პროცესების ავტომატიზაცია წარმოადგენს ტექნოლოგიური პროცესების შემუშავების, შრომის მწარმოებლურობის უწყვეტად ზრდის და უზრუნველყოფი მაღალმწარმოებლური ავტომატურად მოქმედი წარმოების საშუალების დანერგვის ღონისძიებათა ერთობლიობას. გაიზარდა და აგრძელებს გაზრდას მრავალინსტრუმენტალური ჩარხების; ჩარხი - ავტომატების; ნახევრადავტომატების, ავტომატური ხაზების და სხვადასხვა სახის დიდი

რაოდენობის იარაღების აღჭურვილი პროგრამული მართვის ჩარხების და ხაზების რაოდენობა.

სამეცნიერო - ტექნიკური პროგრესის თანამედროვე დონეზე წარმოების მნიშვნელოვანი ფორმაა, კომპლექსურად ავტომატიზებული და მაღალმექანიზირებული წარმოება.

მანქანათა სისტემების შექმნა დაკავშირებულია აგრეთვე თანამედროვე ადამიანის საწარმოო მოღვაწეობის ყველა სფეროსთან; იგი მოიცავს მანქანათა პროექტირებასთან მათი ფუნქციონირებისა და მართვის გამოკვლევებთან და ტექნოლოგიათა შემუშავებასთან დაკავშირებულ მრავალ საკითხს. უაღრესად მნიშვნელოვანია, აგრეთვე არსებული მოწყობილობების სწორი და სისტემური გამოყენების მისი რაციონალური დატვირთვის, შეთანწყობილი ფუნქციონირების და ეფექტური ექსპლუატაციის ორგანიზაციული პრობლემები.

საწარმოო-ტექნოლოგიური დანახარჯების მნიშვნელოვან მაჩვენებლებს შრომატევადობა, მასალათევადობა, ენერგოტევადობა, ფონდის მოცულობა და როგორც განმაზოგადებელი მაჩვენებლები – ნაკეთობის წარმოების თვითღირებულება.

ამგვარად, მისი შექმნისა ახალ ტექნიკაში, ჩადებული საექსპლუატაციო მაჩვენებლებმა ამ ტექნიკის ექსპლუატაციის დროს უნდა უზრუნველყოფს განსაზღვრული ეკონომიკური ეფექტი, შეესაბამებოდეს სამამულო და საზღვარგარეთული ტექნიკის საუკეთესო ნიმუშებს. კონკრეტულ ნაკეთობათა კონსტრუქციაში ამ საექსპლუატაციო მაჩვენებლების რეალიზაცია განსაზღვრავს დანახარჯი მაჩვენებლის სიდიდეს მოცემული ნაკეთობის თვითღირებულებისა და ფასის სახით. ამიტომ, ახალი ტექნიკის საექსპლუატაციო და საწარმოო-ტექნოლოგიური დანახარჯების მაჩვენებლების რაოდენობრივმა მნიშვნელობამ უნდა განსაზღვროს მოცემული ნაკეთობის ხარისხი, ხოლო მათმა პროგრესულმა ურთიერთდამოკიდებულებამ – ექსპლუატაციის პროცესში ნაკეთობის ეკონომიკური ეფექტურობა.

ამ პრობლემათა გადაჭრას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, რაც გამოიხატება იმაში, რომ შესაძლოა აიგოს მოცემული მახასიათებლის, ოპტიმალური სტრუქტურისა და კომპანიების მქონე სისტემები; ამოიხსნას საჭირო ელემენტებისა და კავშირების მოძიების ამოცანები, რომელიც მიმართული იქნება მოცემული მიზნის ფუნქციონირებისაკენ.

ამასთან დაკავშირებით, მანქანათა სისტემათა ელემენტები აიგებიან კონსტრუქციის, ენერჯისა და ინფორმაციის ჰარმონიული ერთობლიობის პრინციპებზე – შეთანწყობურ გადასვლაზე ფუნქციებიდან მანქანათა სქემებზე, მახასიათებლებზე და პარამეტრებზე. თანამედროვე დროში ტექნოლოგიურ მანქანების სისტემათა განვითარება განიცდის დაყოვნებას, მათი პროექტირების და რეალიზაციის სირთულით. მათ მიმართ საიმედოობის და სიზუსტის თვალსაზრისით წაყენებული მაღალი მოთხოვნებით, მართვის სისტემების სირთულით.

გრძელდება თანამედროვე მანქანათა და მანქანათა კომპლექსების უმნიშვნელოვანესი სტრუქტურული შემადგენელი ნაწილების - ამძრავთა ავტომატიზებული სისტემების შემდგომი სტრუქტურული და პარამეტრული სრულყოფა, შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ თანამედროვე მანქანების ტექნიკური დონის ამაღლება, მნიშვნელოვან წილად დაკავშირებულია, მათში გამოყენებული ამძრავთა სისტემების ფუნქციონალური შესაძლებლობებისა და მახასიათებლების სრულყოფასთან.

**ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს** ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების (ავტომატიზებული ჩარხების; საჩარხო ხაზებისა და კომპლექსების), ფუნქციონალური და სტრუქტურული ანალიზის, საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების საწარმოო ექსპლუატაციის ოპტიმიზაციური გაანგარიშებების, ამ სისტემათა ავტომატიზებული მოთვალთვალე ამძრავების დინამიკური მოდელირების და ოპტიმიზაციური კვლევისა და მეთოდის შემუშავება, რომელიც

მიმართულია საპროექტო გადაწყვეტილებების ხარისხისა და სამეცნიერო დასაბუთებულობის ეფექტურობის ამაღლებისკენ.

დასახული მიზნის მიღწევისთვის, კვლევის ამოცანებში ჩართული არის:

- თანამედროვე ჩარხების და საჩარხო პროექტირების პროცესის სისტემური მიდგომის ხარისხობრივი ანალიზი მათი მექანიზმების და ამძრავთა სისტემების პროექტირებასთან და დინამიკურ კვლევებთან დაკავშირებული ნაშრომების მიმოხილვა.
- არსებული ავტომატიზებული და ავტომატური ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემების შემადგენლობის და სტრუქტურის ანალიზი, წყენებული მოთხოვნების და ფუნქციონირების ტექნიკურ - ეკონომიკური მახასიათებლების გამოვლენა.
- ძირითადი კანონზომიერების გამოვლენა და მრავალსაიარაღო საჩარხო სისტემების და ავტომატური ხაზების მიერ განხორციელებული საწარმოო პროცესების, თვითღირებულებების მაჩვენებლებთან და მჭრელი იარაღებისა, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მუშაობის საიმედოობასთან დამაკავშირებელი ფუნქციონირების მათემატიკური მოდელების აგება.
- ტექნოლოგიური პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდების შემუშავება, მინიმალური თვითღირებულების პირობიდან გამომდინარე სისტემებისათვის, რომლებშიც გამოიყენება მჭრელი იარაღებისა, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მწყობრიდან გამოსვლის მომენტებთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა.
- საკვლევი ავტომატიზებული მოთვალთვალე ამძრავების ცალკეული ფუნქციონალური ელემენტების მათემატიკური მოდელების ანალიზი, მათ საფუძველზე მთლიანი სისტემის დინამიკური მოდელების შემუშავება, მექანიკურ ნაწილში დრეკადრგოლებიანი მოდელების გათვალისწინებით.
- საკვლევ სისტემათა დინამიკური სტრუქტურული სქემების, გადამცემი ფუნქციის და რეგულირებად კოორდინატთა გამოსახულებების

აგებაშემუშავებული მოდელების გამოყენებით, როგორც სისტემის დასამუშავებელი მეთოდების შემადგენელი ნაწილისა.

- შესამუშავებელი მეთოდის ძირითადი კანონზომიერებების გამოვლენა და სინთეზის ალგორითმების აგება მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით; სისტემებისთვის, სისტემათა კოორდინატების მიმართ როგორც მათ, აგრეთვე არამთლიან დამკვირვებლობებთან;
- შემუშავებული მეთოდებისა და სისტემების თავისებურებების და ეფექტურობის ხარისხის გამოვლენა, კონკრეტული მოთვალთვალე სისტემების კვლევა.

ნაშრომის სამეცნიერო ღირებულება მდგომარეობს:

- ავტომატური ხაზებისა და მრავალსაიარაღო საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების განხორციელებულ საწარმოო პროცესებთან მიმართებაში, თვითღირებულებების მაჩვენებლების მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების საიმედოობის პარამეტრებთან დამაკავშირებელი მათემატიკური მოდელების აგებასთან და მათი გამოყენებით კვლევის ამოცანების გადაჭრასთან დაკავშირებულ ორიგინალურ მეთოდოლოგიურ მიდგომებში;
- საკვლევ ამძრავთა ავტომატიზებულ მოთვალთვალე სისტემებთან მიმართებაში, დინამიკის მათემატიკური მოდელირების, მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ორიგინალურ მეთოდებში სასურველი პროცესების ფორმირებისა და სინთეზირებადი პარამეტრების ძიების ახალ მეთოდოლოგიურ მიდგომებში.

ნაშრომის პრაქტიკულ ღირებულებას წარმოადგენს საკვლევ ტექნოლოგიური სისტემებისა და მათი ავტომატიზებული ამძრავების დინამიკური ანალიზისა და სინთეზის მეთოდები და მეთოდიკები და კვლევის შედეგები, მიმართული განხილვადი სისტემების ეფექტურობის და ხარისხის ამაღლებისაკენ.



სამეცნიერო ღირებულებების, დასკვნების და რეკომენდაციების უტყუარობა უზრუნველყოფილია ოპტიმიზაციური სინთეზის და მათემატიკური მოდელირების მეცნიერულად დასაბუთებული მეთოდების გამოყენებით.

- თანამედროვე ჩარხებისა და საჩარხო კომპლექსების მექანიზმებისა და ამძრავთა სისტემების პროექტირებასთან და დინამიკურ გამოკვლევებთან დაკავშირებული ნაშრომების მიმოხილვა;
- ძირითადი კანონზომიერებების გამოვლენა და მრავალსაიარაღო საჩარხო სისტემების და ავტომატური ხაზების მიერ განხორციელებული საწარმოო პროცესების მწარმოებლურობის მაჩვენებლებთან და მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მუშაობის საიმედოობასთან დამაკავშირებელი არის მათემატიკური მოდელების აგება. ფუნქციონირების როგორც ტექნოლოგიური, აგრეთვე საწარმოო - ტექნიკური მომსახურების სქემების გათვალისწინებით;
- მწარმოებლურობის ამსახველი ძირითადი მათემატიკური დამოკიდებულებების გამოვლენა, ფუნქციონირების მოდელების აგება, კვლევის მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება. მჭრელი იარაღების, მექანიზმების და მოწყობილობების საიმედოობის მახასიათებლებთან ფუნქციონალურ კავშირში სისტემებისათვის, რომლებშიც მჭრელი იარაღების მიმართ გამოიყენება პროფილაქტიკური და მექანიზმებისა და მოწყობილობების მიმართ კი მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა;
- დინამიკის მათემატიკური მოდელირება და სინთეზის მეთოდოლოგიის შემუშავება მოცემული გარდამავალი პროცესის მიხედვით. დრეკად-რგოლებიანი მექანიკური ნაწილის შემცველ ელექტრომექანიკურ მოთვალთვალე ამძრავებში;
- ამძრავთა მოთვალთვალე ელექტრომექანიკური სისტემის მათემატიკური მოდელირება და კვლევა დრეკადობის გათვალისწინებით ამძრავთა მექანიკურ ნაწილში.

ნაშრომის სამეცნიერო ღირებულება მდგომარეობს:

- მრავალხარისხიანი საჩარხო სისტემების მიერ განხორციელებული საწარმოო პროცესების მწარმოებლურობის მაჩვენებლებთან და მჭრელი იარაღების, მექანიზმების და მოწყობილობების მუშაობის საიმედოობასთან დაკავშირებული ფუნქციონირების მათემატიკური მოდელების აგებასთან და მათი გამოყენებით ოპტიმიზაციური კვლევის ამოცანები გადაჭრასთან მიმართებაში გამოყენებულ ორიგინალურ მეთოდოლოგიურ მიდგომებში. ისეთ სისტემებთან მიმართებაში, რომლებიც მჭრელი იარაღების მიმართ გამოიყენება ტექნიკური მომსახურების პროფილაქტიკური და მექანიზმების და მოწყობილობების მიმართ კი მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემები;
- ცალკეული მათემატიკური მოდელების, ცალკეული პროცედურების და მეთოდების ანალიზთან, დრეკადრგოლებიანი მექანიკური ნაწილის მქონე საჩარხო ამძრავთა მოთვალთვალე ელექტრომექანიკურ სისტემებთან მიმართებაში დინამიკის მათემატიკური მოდელების და მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდში სასურველი პროცესების ფორმირების და სინთეზირებადი პარამეტრების ძიების მეთოდების აგების მეთოდოლოგიურ მიდგომებში.

**ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულებაა** მრავალსაიარაღო ჩარხების და საჩარხო კომპლექსების მწარმოებლურობის და მათი ცალკეული ამძრავთა მოთვალთვალე სისტემების ოპტიმიზაციური გაანგარიშებისა და კვლევის ორიგინალური მეთოდები და მეთოდები.

**სამეცნიერო ღირებულებების,** დასკვნების და რეკომენდაციების უტყუარობა უზრუნველყოფილია მათემატიკური მოდელირების და ოპტიმიზაციური სინთეზის მეცნიერულად დასაბუთებული მეთოდების გამოყენებით.

# 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

## 1.1. საჩარხო სისტემების და მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზის საფუძვლები

### 1.1.1. საჩარხო სისტემების ანალიზი

თანამედროვე საწარმოებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს ავტომატიზებულმა და ავტომატურმა ტექნოლოგიურმა მანქანებმა და მანქანათა სისტემებმა.

ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემა წარმოადგენს საწარმოო პროცესის სარეალიზაციო სატრანსპორტო და ტექნოლოგიური მანქანების ერთობლიობას. ტექნოლოგიურ პროცესში ხდება გადამუშავება ურთიერთდამოკიდებული ინფორმაციული, მატერიალური და ენერგეტიკული ნაკადებისა. ტექნოლოგიური მანქანები გადამამუშავებენ საწყის, მატერიალურ ნაკადებს ნამზადების მასალების და ნახევარფაბრიკატების სახით, იყენებენ ენერგიის ნაკადებს, რომლებიც საჭირო ინფორმაციის გამოყენებით, შემოედინება ენერგეტიკული მანქანებისაგან. სატრანსპორტო მანქანები დამამუშავების ობიექტის მდებარეობის ცვლილებას ახორციელებენ დროში და სივრცეში. ტექნოლოგიურ მანქანებს მიეკუთვნებიან წნეხები, ჩარხები და სამწყობო და სხვა მანქანები. სატრანსპორტო მანქანები უზრუნველყოფენ კავშირს ტექნოლოგიურ მანქანებს შორის [1].

ნამზადების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესის ორგანიზაციის ფორმა დამოკიდებულია ტექნოლოგიური ნამზადის რაოდენობაზე, ოპერაციების შესრულების თანმიმდევრობაზე, მოწყობილობების განლაგებაზე და დამზადების პროცესში მათი მოძრაობის მიმართულებებზე [2].

არსებობს ტექნოლოგიური პროცესის ორგანიზაციის ორი ფორმა, ნაკადური და ჯგუფური.

ტექნოლოგიური პროცესების ორგანიზაციის ჯგუფურ ფორმას ახასიათებს სამუშაო ადგილების სპეციალიზაციით ნამზადების ნიშნების

კონსტრუქციულ - ტექნოლოგიური ერთგვაროვნება. დამუშავებისათვის, ნამზადთა ჯგუფები უნდა აიწყოს გამოშვების მოცულობის დამუშავების შრომატევადობისა და გათვალისწინებით.

ჯგუფური ტექნოლოგიური პროცესი უნდა შედგებოდეს ჯგუფური ტექნოლოგიური ოპერაციების კომპლექსისაგან, რომლებიც შემუშავებულია სპეციალიზირებულ სამუშაო ადგილებზე ტექნოლოგიური მარშრუტის თანმიმდევრობით შესასრულებლად [2].

ჯგუფური ტექნოლოგიური პროცესის და ტექნოლოგიური მოწყობის ნამზადთა ერთობლივი დამუშავებისათვის საერთო საშუალებების შერჩევის საფუძველს წარმოადგენს კომპლექსური ნაკეთობა [2].

კომპლექსური ნაკეთობის დამზადებისას უნდა აღინიშნოს, რომ კონსტრუქცია უნდა შეიცავდეს ჯგუფის ყველა ნაკეთობის დამუშავებისათვის განკუთვნილ ძირითად ელემენტებს. კომპლექსური ნაკეთობა შეიძლება იყოს ერთ - ერთი დეტალი, რომელიც რეალურად არსებობს, მაგრამ არ არის ჯგუფში, ან ხელოვნურად შექმნილია, ე.ი. პირობითია [2].

გამოშვებული პროდუქციის ხარისხის ამაღლება და წარმოების ინტენსიფიკაცია, რაც დამახასიათებელია თანამედროვე მანქანათმშენებლობისათვის, ითხოვენ გადასვლას ცალკეული მანქანებისა და აგრეგატების შექმნიდან, მანქანების სისტემების შემუშავებაზე, რაც აუცილებლობას იწვევს შეთანხმებულ იქნეს დამამუშავებელ დანადგართან, ყოველ სამუშაო ადგილზე ტექნოლოგიის მოთხოვნილება, დამამზადებელი და მექანიკურად დამამუშავებელი წარმოების ტექნოლოგიური ნაკადის მთლიანი სტრუქტურით, აღნიშნული საწარმოს მიერ ნაწარმოები ნამზადის მთელი ნომენკლატურის გათვალისწინებით. ასეთი მიდგომა საშუალებას იძლევა განხილული იქნას მანქანათა ტექნოლოგია და სისტემა მისი რეალიზაციისათვის, როგორც მისი დამზადების, შემუშავების და მომხმარებელზე მიწოდების ერთიანი ობიექტი [3].

ამ ობიექტმა მიიღო „დანადგარების კომპლექსი“ – ს დასახელება. ის შეიცავს, ლითონდამუშავებასთან მიმართებაში, სხვადასხვა დონის ავტომატიზაციის მქონე დამამზადებელ და ლითონდამამუშავებელ საწარმოების სამჭედლო - საპრეს ლითონდამამუშავებელ, მაკონტროლებელ და სხვა დანადგარებს, აგრეგატებს, სტენდების მოწყობილობებს, რომლებიც ტექნოლოგიური პროცესის ყველა ოპერაციის შესრულებას უზრუნველყოფენ. კომპლექტი შეიძლება იყოს სრული ან არასრული.

დატვირთვა-გადმოტვირთვის და დამუშავებაში მყოფი დეტალების ტრანსპორტირება სერიულ პროდუქციაზე დამოკიდებულებით, ტექნოლოგიურ აგრეგატებს შორის და ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემის მართვის ფუნქცია შეიძლება წარმოადგენდეს ავტომატიზებულ ხაზს.

უფრო ფართო მოსაზრებით, თანამედროვე წარმოდგენით, მანქანათა ტექნოლოგიური სისტემა არის ტექნოლოგიურად გადამზდილი აგრეგატების ჯგუფი, განკუთვნილი აწყობისათვის, დამუშავებისათვის ან ნამზადის და მისი ნაწილების კონტროლისათვის.

კომპლექტურობის პრინციპის მიხედვით მოქნილი ავტომატიზებული სისტემები ოთხი სახის შეიძლება იყოს: ოპერაციული – განკუთვნილი დეტალების დამუშავების მხოლოდ ზოგიერთი ოპერაციის შესასრულებლად; საგნობრივი, რომლებიც უშვებენ სრულად დამზადებულ დეტალებს, კომპლექტური, რომლებიც უშვებენ დეტალების კომპლექტს ასაწყობად და საკვანძო, რომლებიც უშვებენ მზა კვანძს.

მექანიკურად დამამუშავებელი მოქნილი საწარმო სისტემების შექმნის კონცეფციის შესაბამისად, საწარმო სისტემების მოქნილობა იკრიბება ოპერაციული და სტრატეგიული მოქნილობისაგან.

სისტემის ოპერაციული მოქნილობა ხასიათდება დროისა და საშუალებების დანახარჯით, რაც აუცილებელია ერთი გამოშვებიდან მეორეზე გამოშვებაზე გადასვლისათვის, დასმული ნომენკლატურის და საწარმოო პროგრამის ფარგლებში. სტრატეგიული მოქნილობა, რაც ს

მოქნილი საწარმოო სისტემის ექსპლუატაციის ეფექტურ ვადას განსაზღვრავ, ხასიათდება საშუალებების და დროის დანახარჯებით, რაც არაგეგმიური პროდუქციის გამოშვებაზე გადასასვლელად არის აუცილებელი.

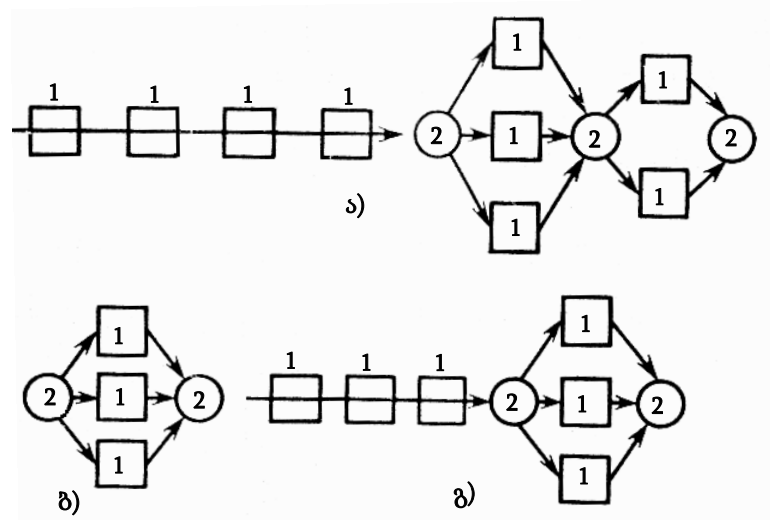
ავტომატური ხაზი არის მანქანების სისტემა, დამხმარე და ძირითადი მოწყობილობების კომპლექსი.

საჩარხო სისტემებში ტექნოლოგიურ მანქანებს შეიძლება მიეკუთვნოს ასევე მაკონტროლებელ - გასაზომი მოწყობილობები. საჩარხო სისტემებში სატრანსპორტო მანქანების როლს ასრულებენ სხვადასხვა ტიპის სატრანსპორტო ურიკები, კონვეიერები, რობოტები, და ა.შ. განსაკუთრებულ ჯგუფს ქმნიან შემგროვებლები და საწყობები. მათ ხშირად, ფორმალიზაციისას მიაკუთვნებენ სატრანსპორტო ან გადაგვარებულ ტექნოლოგიურ მანქანებს. [4-6].

ავტომატიზებული ხაზის მომსახურე პერსონალის ფუნქციაში შედის კონტროლი აგრეგატების მუშაობაზე, მათი მართვა, რემონტი და აწყობა. ის ხაზები, რომლებიც საწარმოო ოპერაციის შესასრულებლად ადამიანის უშუალო ჩარევას ითხოვენ, არის ნახევარავტომატური. ბევრი დამხმარე ოპერაცია - ავტომატურ ხაზებზე გამომუშავების აღრიცხვა, წარმოების ნარჩენების მოცილება, პროდუქციის ხარისხის კონტროლი, მექანიზირებულია და ავტომატიზებულია. ბევრ ხაზზე ხორციელდება მუშა ორგანოების ავტომატური გადაადგილება, ავტომატურად რეგულირდება ტექნოლოგიური პროცესის პარამეტრები, მოწყობილობის აწყობა და გადაწყობა [2].

დამუშავების პროცესში, ნაკეთობის ტრანსპორტირების ხასიათით, ხაზები იყოფა სტაციონარულსა და როტორულზე. დეტალები დამუშავების პროცესში, სტაციონარულ ხაზზე თავიანთ მდებარეობას არ იცვლიან ჩარხის მიმართ, მხოლოდ დამუშავების დასრულებისას გადაადგილდებიან შემდეგ პოზიციაზე. დეტალები როტორულ ხაზზე გადაადგილდებიან უწყვეტად, ტრანსპორტირება და დამუშავება

ნაწილობრივ ან სრულად შეთავსებულია. როტორულ ხაზებს პროექტირების თავისი სპეციფიკა აქვთ, ამიტომ შემდეგში განხილული იქნება მხოლოდ სტაციონარული ხაზები.



ნახ. 1. ავტომატური ხაზების კომპანება:  
 ა - მიმდევრობითი მოქმედების ერთნაკადიანი; ბ - პარალელური მოქმედების ერთნაკადიანი; გ - მრავალნაკადიანი; დ - შერეული.

ავტომატური ხაზების სტრუქტურული. გაერთმთლიანება დამოკიდებულია ტექნოლოგიური პროცესის მწარმოებლობასა და ხასიათზე (ნახ. 1). ხაზები.

არსებობენ პარალელური და მიმდევრობითი მოქმედების, ერთნაკადიანი და მრავალნაკადიანი, შერეულ - განშტოებული ნაკადით ხაზები. პარალელური მოქმედების, ავტომატური ხაზებს იყენებენ ერთი ოპერაციის შესასრულებლად, როდესაც ხანგრძლივობა გაცილებით მეტია გამოშვების აუცილებელ ტემპზე. მრავალნაკადიანი ავტომატური ხაზები არის ავტომატურ ხაზებისგან შემდგარი სისტემა. იგი რამდენიმე ოპერაციის შესასრულებლად გამოიყენება, ყოველი მათგანი ხანგრძლივობით გამოშვების არსებულ ტემპზე მეტია. ერთიან სისტემაში შეიძლება გავაერთიანოთ რამდენიმე, მიმდევრობითი და პარალელური მოქმედების ხაზი. მათ ავტომატური უბნები, საამქროები და საწარმოები ეწოდებათ [2].

მუშაობის პრინციპით ხაზები იყოფიან სინქრონულ და არასინქრონულ ხაზებად. ნამზადები სინქრონულ ხაზზე გადაადგილდება უშუალოდ ერთი ჩარხიდან მეორეზე.

ასინქრონული ხაზები შედგება ჩარხებისაგან, რომლებიც აღჭურვილია მაგროვებლით, რომელიც საჭიროა დეტალის შესანახად და ავტომატური დამტვირთავ-გადამტვირთავი მოწყობილობით. გამოიყენება ჩიხური და ტრანზიტული სახის მაგროვებლები.

სინქრონული, რომელსაც ხისტს უწოდებენ, ხაზები უფრო მარტივია სტრუქტურის პროექტირებისა და დამზადების მიხედვით. მათ უნდა ჰქონდეთ, შემავალი ელემენტების მაღალი საიმედოობა, ე.ი. ნებისმიერი, მწყობრიდან გამოსვლა აფერხებს მთელი ხაზის მუშაობას. ამ მიზეზით, უფრო მეტ გავრცელებას ჰპოვებენ, არასინქრონული ხაზები. არსებობს ხაზები, რომლებიც იყოფა ავტომატურ ხაზების სინქრონულ უბნად. არასინქრონული ხაზებისათვის, მწყობრიდან გამოსული ჩარხი, შეიძლება შეიცვალოს სათადარიგო მაგროვებლებით – [7].

არასინქრონულ და სინქრონულ ხაზებს აპროექტებენ, როგორც სამარჯვებით, აგრეთვე მათ გარეშე. სამარჯვები იტვირთება, და იცლება ხაზის საწყის პოზიციაზე, ხელით. ავტომატურ ხაზს, თანამგზავრების დასაბრუნებლად საწყის პოზიციაზე, აქვს სპეციალური ტრანსპორტიორი, რომელიც შეიძლება, მოთავსდეს ქვემოდან, გვერდიდან, ან მაღლიდან მუშა ტრანსპორტიორზე.

ავტომატური ხაზები, შეიძლება შედგებოდნენ, ერთი და მრავალ-პოზიციური ჩარხებისაგან, გამჭოლი, და არაგამჭოლი ტრანსპორტიორებით. არასინქრონული ხაზების, სინქრონულ, ან არასინქრონულ უბნებს, აპროექტებენ არაგამჭოლი ტრანსპორტიორით იმ შემთხვევაშიც კი, თუ ჩარხების კონსტრუქცია ნაკეთობის გამჭოლად ტრანსპორტირების საშუალებას გვაძლევს. ამ ხაზების ნაკლი არის ის, რომ, ყოველ მუშა პოზიციას ქონდეს თავისი დამტვირთავი და გადამტვირთავი



მოწყობილობა. ხაზზე, რომელზეც არის მაგროვებლები, ყველა ჩარხს და ყველა უბანს აქვს თავისი სატრანსპორტო სისტემა.

რთული კორპუსული, ნაკეთობის დამუშავებისთვის ოთხი-ექვსი მხრიდან, ავტომატური . ხაზები იყოფა, უბნებად. თითოეულ, უბანზე მუშავდება დეტალის. გარკვეული; მხარე. უბნებს შორის, განთავსდება, მოწყობილობები, რომლებიც, აბრუნებენ დეტალს.– მბრუნავი მაგიდები და საბრუნები [8].

შრომატევადი და რთული დეტალების დასამუშავებლად კომპლექსური ავტომატური ხაზები გამოიყენება, სადაც ლითონდამამუშავებელი მოწყობილობის გარდა ჩაიდგმევა – გამოსაწრთობი აგრეგატები, სარეცხი და საშრობი მანქანები, თანმხლები დამხმარე მოწყობილობა, შემფუთავი, მანქანები მაკონტროლებელი ავტომატები, და ა.შ. [9].

კორპუსული დეტალების დასამუშავებლად, ფართო გავრცელება პოვა ავტომატურმა ხაზებმა, რომელიც შედგება აგრეგატული ჩარხებისგან. ასევე ხაზებმა, სპეციალური ჩარხებისგან, განკუთვნილი რთული ფორმის, საფეხურიანი ლილვების, დგუშების, საკისრების, კვილა თვლების დამუშავებისთვის [10]. ავტომატური ხაზების კონსტრუქციების ნიმუშები მოყვანილია სამუშაოებში [11-13].

მოქნილი საწარმოო მოდული – ეს არის ტექნოლოგიური მოწყობილობის ერთეული; რომელიც ავტონომიურად ფუნქციონირებს და ავტომატურად, ახორციელებს დეტალის, დამზადებასთან დაკავშირებულ ყველა – ფუნქციას. მას აქვს საშუალება ჩაიდგას – მოქნილ საწარმოო სისტემაში [14, 26].

მოქნილი ავტომატური ხაზები არის მოქნილი საწარმოო სისტემა, რომელშიც ტექნოლოგიური, მოწყობილობა განლაგებული არის ტექნოლოგიური ოპერაციების შედეგად მიღებული თანმიმდევრობით და ტრადიციული ავტომატური ხაზებისაგან (მ.ა.ხ), განსხვავდება გადაწყობის შესაძლებლობებით დეტალების გამოშვებისას. მ.ა.ხ.-ის – გადაწყობა ხდება

ჩარხების აწყობით, ტექნოლოგიური აღჭურვილობის, ცალკეული ელემენტის შეცვლით ან რეგულირებით. გადაწყობის პროცესის ავტომატიზაციისთვის მ.ა.ხ., ცალკეული ინსტრუმენტისა და მრავალშპინდელიანი, თავების ავტომატური შეცვლის, ავტომატური მოწყობილობით და სხვა მექანიზმებით აღიჭურვება. მ.ა.ხ.-ის – გადაწყობა ხშირად სრულდება მომსახურეთა მონაწილეობით. მ.ა.ხ.-ის – მოცდენის ხანგრძლივობა გადაწყობისთვის შეადგენს 1–2 საათს, გადაწყობა ხდება თვეში 2–4– ჯერ [27].

ძირითადად, მ.ა.ხ. გამოყენება ხდება მსგავსი დეტალების ჯგუფების დასამუშავებლად, მაგალითად ცილინდრის ბლოკების, 6, 8, 10 რიგის და იგივე მოდიფიკაციის, ერთი ტიპის ძრავისთვის. ხოლო სხვადასხვა ტიპის დეტალების და მუშავდება მ.ა.ხ–ზე ხდება რიგრიგობით.

მ.ა.ხ–ის მოწყობილობა, როგორც – ტრადიციული ავტომატური ხაზების მოწყობილობა, ტექნოლოგიური პროცესის მიხედვითაა განლაგებული. მ.ა.ხ.-ის – სტრუქტურულ – კომპონირებადი სქემის, საფუძვლად, დამუშავების, ჯგუფური ტექნოლოგიური პროცესია მიღებული [16].

ხაზების უმრავლესობაში დამუშავების მარშრუტი არის, ხისტი, ე.ი. დეტალი გაივლის, მიმდევრულად დამუშავების ყველა პოზიციას. სხვადასხვა დეტალი ინსტრუმენტების, სხვადასხვა კრებულით შეიძლება დამუშავდეს. არსებობს მ.ა.ხ თავისუფალი მარშრუტით დამუშავების პროცესი [28], მაშინ დეტალს შეუძლია გამოტოვოს როგორც დამუშავების, ცალკეული პოზიციები, ასევე ხაზები, რომლებსაც განტოტებული ნაკადები აქვს სადაც, ცალკეულ განშტოებაზე სხვადასხვა დეტალების დამუშავება.

ყველაზე მეტად გამოიყენება მ.ა.ხ, რომელიც ამუშავებს ბრუნვითი სხეულის ტიპის და კორპუსული ტიპის დეტალებს [27].

კორპუსული დეტალის დასამუშავებლად გამოიყენება ორი ტიპის მ.ა.ხ.:

ხდება ანალოგიურად აწყობა ავტომატური ხაზის აგრეგატულ-  
მოდულური მოწყობილობების ბაზაზე. ჩარხები ერთმანეთთან  
დაკავშირებულია ტრანსპორტიორით ან ტრანსპორტიორის სისტემით.  
ტრადიციულად ავტომატური ხაზისგან განსხვავებით გამოიყენება ხელის  
ავტომატური გადაწყობის სპეციალური მექანიზმები: შპინდელური თავები,  
შესაცვლელი, ძალური თავები და შპინდელური საცმები, მოძრავი  
დერძული ან რადიალური მიმართულებით, ინსტრუმენტების შეცვლის  
მექანიზმით, ინსტრუმენტების მაღაზიები, და ა. შ. სარეზერვო, მუშა  
პოზიციების გათვალისწინებით. ასეთი მაგალითები მოყვანილია  
სამუშაოებში [10, 14, 29].

მეორე ტიპის მოქნილი ავტომატური ხაზების აგება ხდება  
მრავალმიზნობრივი ჩარხების და მოქნილი საწარმო მოდულების ბაზაზე,  
რომელიც დაკავშირებულია არაგამჭოლი ტრანსპორტიორებით,  
დეტალების დამაგრება ხდება სამარჯვ თანამგზავრზე და ასეთი ტიპის  
მოქნილი ავტომატური ხაზებში პირველზე უფრო ძვირია; მაგრამ  
მოქნილია და ფართოა დასამუშავებელი, დეტალების ნომენკლატურა და  
უფრო ჩქარა, გადაიწყობიან. ამ ტიპის მოქნილი ავტომატური ხაზების  
ნიმუშები მოყვანილია, სამუშაოებში [14, 19, 21, 28].

მოქნილი ავტომატური ხაზებში ბრუნვითი სხეულის ტიპის  
დეტალების დამუშავებისათვის ხდება უნივერსალური და  
სპეციალიზირებული ჩარხებისაგან, რომლებიც აღჭურვილია რობოტებით.  
ასეთი ხაზების სატრანსპორტო სისტემას წარმოადგენენ რობოტები და  
სატრანზიტო მაგროვებლები. ისინი გამოიყენება როგორც პორტალური;  
ჩარხში ჩამონტაჟებული რობოტები, არასრული. როგორც ერთისატაციან,  
ასევე ორსატაციან ერთ რობოტს შეუძლია მოემსახუროს რამოდენიმე ჩარხს.  
ასეთ სისტემას ეწოდება რობოტიზებული ტექნოლოგიური ხაზები (რ.ტ.ხ).  
რობოტიზებული ტექნოლოგიური ხაზები რობოტიზებული და  
ტექნოლოგიური ხაზების ერთობლიობაა, რომელიც ერთმანეთთან  
დაკავშირებულია მართვის სისტემებით და სატრანსპორტო საშუალებით.

ტექნოლოგიურ მოწყობილობაში, რამდენიმე ერთეულის ტექნოლოგიური მომსახურება ხდება ერთი ან რამდენიმე საწარმოო რობოტით, ოპერაციების შესრულებსთვის საჭირო თანმიმდევრობით.

რობოტიზებული ტექნოლოგიური ხაზებში გამოიყენება სხვადასხვა, სტრუქტურის რობოტოტექნიკური კომპლექსები [30-36].

აღჭურვილი სხვადასხვა სახის სატრანსპორტო საშუალებით [37-41].

### 1.1.2. ნაკეთობათა ხარისხის მაჩვენებელთა სისტემა

საზოგადოებრივი წარმოების ეფექტურობის ამაღლების თანამედროვე მოთხოვნები ქვეყნის მანქანათმშენებლების წინაშე აყენებს უმნიშვნელოვანეს ამოცანას, რათა უზრუნველყოს ქვეყნის ეკონომიკის დარგები მაღალეფექტური, მწარმოებლური, ზუსტი და ეკონომიური მანქანებით. ამ ამოცანის გადაწყვეტაში მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება შესაქმნელი მანქანების სისტემურ ტექნიკურ-ეკონომიკურ ანალიზს, რომელიც საშუალებას იძლევა საინჟინრო გადაწყვეტის მრავალვარიანტულობის პირობებში მივაღწიოთ ოპტიმიზაციას ახალი ტექნიკის ისეთი სამომხმარებლო თვისებების არჩევასა და რეალიზაციაში, რომლებიც უზრუნველყოფს მანქანების მაქსიმალურ ეფექტურობას ექსპლუატაციის დროს. მუშაობის პროცესში ტექნიკის სახის და სარგებლიანობის ხარისხის განმსაზღვრელი სამომხმარებლო თვისებების ერთობლიობა ასახავს მისი ხარისხის მაჩვენებლების სისტემას [42].

ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზის მეთოდების გამოყენებით ახალი ტექნიკის ხარისხის დონის შეფასებისა და მისი ფორმირების პროცესის მართვისთვის, უპირველეს ყოვლისა, აუცილებელია სამომხმარებლო თვისებების ისეთი მაჩვენებლების სწორად შერჩევა და რაოდენობრივად განსაზღვრა, რომლებიც ყველაზე სრულად ახასიათებს ახალი ტექნიკის გავლენას ქვეყნის ეკონომიკაში საზოგადოებრივი შრომის ამაღლების თვალსაზრისით.

პრაქტიკაში ხშირად გვხვდება შემთხვევები, როცა მანქანის ხარისხის შეფასებისა და მოწყობილობისათვის სამომხმარებლო თვისების მაჩვენებლები მონაცვლეობს ტექნიკური ეფექტის მახასიათებელი ნებისმიერად აღებული პარამეტრების გვერდით. ასე, რომ ლითონსაჭრელი ჩარხის ხარისხის შეფასებისათვის ხშირად წინ წამოიწევა ისეთი პარამეტრები, როგორცაა ვიბრომდგრადობა, სტატიკური სიხისტე, ამძრავის სიმძლავრე, დანაკარგები ამძრავის მექანიზმებში, ბრუნვის სიხშირის მიწოდების საზღვრები. ძნელი არ არის იმის შემჩნევა, რომ ყველა ჩამოთვლილი პარამეტრი გამოვლინდება სამომხმარებლო თვისებების შესაბამისი მაჩვენებლების საშუალებით. ბევრ შემთხვევაში ისინი ასახავენ ნაწილობრივ და შუალედურ ტექნიკურ შედეგებს. სირთულეები წარმოიქმნება ასეთი პარამეტრების ეკონომიკური დასაბუთებისას და შედეგად, მათი შერჩევა გაუმართლებელია. ამიტომ, ახალი მანქანების შექმნის დროს ჩატარებული ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზის პირველი ეტაპია ამ მანქანების ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლების დასაბუთება.

ნაკეთობის, როგორც ექსპლუატაციის ობიექტის ხარისხის მახასიათებელ მაჩვენებლებს შორის შეიძლება გამოვყოთ საექსპლუატაციო მაჩვენებლების შემდეგი ჯგუფები:

ძირითადი დანიშნულების მიხედვით, ნაკეთობის ტექნიკური შესაძლებლობის ამსახველი და მისი გამოყენების რაციონალური სფეროს განმსაზღვრელი მაჩვენებლები; ნაკეთობის სიზუსტისა და მუშაობის ერთგვარობის მაჩვენებლები;

მაქსიმალური გამოყენების დროს ნაკეთობის მწარმოებლობის ტექნიკური მაჩვენებლები დროის ერთეულში;

ნაკეთობის ექსპლუატაციის ეკონომიურობის მაჩვენებლები, რომლებიც ექსპლუატაციის დროს განისაზღვრება პროდუქციის ან მუშაობის ერთეულზე დანაკარგებით დროის ერთეულში;

ეკოლოგიური მაჩვენებლები;

კონსტრუქციის ერგონომიკული და ესთეტიკური ხასიათის მაჩვენებლები.

ხარისხის საექსპლუატაციო მაჩვენებლებს აქვს ორმაგი საფუძველი: ერთი მხრივ, ასახავს მუშაობის პროცესში ნაკეთობის სარგებლიანობას, მეორე მხრივ წარმოადგენს ნაკეთობის ხასიათის და მისი ფუნქციური ელემენტების ტექნიკური პარამეტრების მრავალფაქტორიან ფუნქციას. ნაკეთობის ხარისხის მაჩვენებლებსა და მის სხვადასხვა ტექნიკურ პარამეტრებს შორის დამოკიდებულება არ შეიძლება იყოს ხანგრძლივი და მით უმეტეს, მუდმივი. ტექნიკური პროგრესი ზუსტად იმაში მდგომარეობს, რომ ხდება შემოქმედებითი ძიება დეტალების, კვანძების, მექანიზმების, აგრეგატებისა და ნაკეთობების ამორჩევა-რეალიზაციის პროცესში, რაც უზრუნველყოფს ტექნიკურ პარამეტრებსა და ხარისხის მაჩვენებლებს შორის ახალი ხარისხობრივი და რაოდენობრივი დამოკიდებულების წარმოშობას. მათ შორის საერთო მხოლოდ ის არის, რომ ყველა მრავალრიცხოვანი ტექნიკური პარამეტრი, გამონაკლისის გარეშე გამოვლინდება მხოლოდ ნაკეთობის ექსპლუატაციის დროს ხარისხის მაჩვენებლების საშუალებით. ამიტომ, არა ცალკეული სუბიექტურად გამოყოფილი კონსტრუქციულ-ტექნიკური პარამეტრები განსაზღვრავს მის ხარისხს, არამედ ძირითადი დანიშნულების შესაბამისობის ხარისხი, გამომხატული სისტემური მაჩვენებლებით.

ახალ ტექნიკას, განხილული სამომხმარებლო თვისებების გარდა, აქვს კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი თვისება, სახელდობრ ის, რომ მისი შექმნის დროს იხარჯება ამ ტექნიკის მომხმარებლის კაპიტალდაბანდების სიდიდის განმსაზღვრელი ცოცხალი და განივთებული შრომა. თუ მუშაობის პროცესში ნაკეთობის შესაძლებლობის გამომხატველი სამომხმარებლო თვისებები ახასიათებს მას, როგორც ექსპლუატაციის ობიექტს, სამაგიეროდ მომხმარებლის კაპიტალდაბანდების სიდიდე ამ ნაკეთობას ახასიათებს, როგორც მანქანათმშენებელი ქარხანადამამზადებლის წარმოების ობიექტს.

ახალი ტექნიკის შექმნისათვის დანახარჯების სიდიდე, ერთის მხრივ, დამოკიდებულია კონსტრუქციის ტექნიკურ პარამეტრებსა და ხასიათზე, რომლებიც მთლიანობაში საექსპლუატაციო თვისებებს განსაზღვრავს, მეორე მხრივ – საწარმო-ტექნოლოგიურ ფაქტორებზე, რომელთა ჩამონათვალი და ხასიათი დამოკიდებულია პროდუქციის კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიურ სირთულეზე, ტექნოლოგიის პროგრესულობაზე, აღჭურვილობასა და სხვ. ეს დანახარჯები აისახება წარმოების სფეროში ხარჯების მაჩვენებლების სახით.

საწარმო-ტექნოლოგიური დანახარჯების მნიშვნელოვან მაჩვენებლებს მიეკუთვნება შრომატევადობა, მასალათევადობა, ენერგოტევადობა, ფონდის მოცულობა და როგორც განმაზოგადებელი მაჩვენებელი – ნაკეთობის წარმოების თვითღირებულება.

ამგვარად, მისი შექმნისას ახალ ტექნიკაში, ჩადებული საექსპლუატაციო მაჩვენებლებმა ამ ტექნიკის ექსპლუატაციის დროს უნდა უზრუნველყოფს განსაზღვრული ეკონომიკური ეფექტი, შეესაბამებოდეს სამამულო და საზღვარგარეთული ტექნიკის საუკეთესო ნიმუშებს. კონკრეტულ ნაკეთობათა კონსტრუქციაში ამ საექსპლუატაციო მაჩვენებლების რეალიზაცია განსაზღვრავს დანახარჯი მაჩვენებლის სიდიდეს მოცემული ნაკეთობის თვითღირებულებისა და ფასის სახით. ამიტომ, ახალი ტექნიკის საექსპლუატაციო და საწარმო-ტექნოლოგიური დანახარჯების მაჩვენებლების რაოდენობრივმა მნიშვნელობამ უნდა განსაზღვროს მოცემული ნაკეთობის ხარისხი, ხოლო მათმა პროგრესულმა ურთიერთდამოკიდებულებამ – ექსპლუატაციის პროცესში ნაკეთობის ეკონომიკური ეფექტურობა. ნახ-ზე 2 გაერთიანებული სახით წარმოდგენილია მანქანათმშენებლობის პროდუქციის ხარისხის მაჩვენებელთა ტიპური სისტემა მათ აბსოლუტურ და ურთიერთმიმართებით გამოხატულებაში.

ნაკეთობის ხარისხის აბსოლუტური მაჩვენებლებია საექსპლუატაციო და საწარმო-ტექნოლოგიური დანახარჯები, რომლებიც რაოდენობრივად გამოხატავს თვისებათა აბსოლუტურ მნიშვნელობებს ნატურალური ფორმით და საბაზისო მაჩვენებლებთან შედარებით ანალიზთან ერთობლიობაში განსაზღვრავს ხარისხის აბსოლუტურ დონეს.

ხარისხის ფარდობითი მაჩვენებლები, როგორც წესი, ახასიათებს წარმოებისა და ნაკეთობის ექსპლუატაციის შედარებით ხვედრით ეკონომიკურობას. ყველა, მხოლოდ აბსოლუტური მაჩვენებლებისგან ფორმირდება განსაზღვრული ურთიერთობის სახით და უკანასკნელს ავსებს ახალი ტექნიკის ობიექტების სრულყოფილების გამოხატულებამდე მათი ერთმანეთთან და საუკეთესო საზღვარგარეთულ ნიმუშებთან შეპირისპირებით.

ეკონომიკური ეფექტურობა არის ხარისხის საბოლოო მაჩვენებელი, მიღებული როგორც წარმოებისა და ექსპლუატაციის სფეროს აბსოლუტური და ფარდობითი მაჩვენებლების ურთიერთმოქმედების შედეგი.





წარმოებული პროდუქციის დამახასიათებელი თავისებურებებიდან, დანიშნულებიდან, გამოყენების სფეროდან, მოთხოვნებიდან ექსპლუატაციის წინაპირობებიდან გამომდინარე, ახალი ტექნიკა შეიძლება დახასიათდეს თავისი საექსპლუატაციო მაჩვენებლების ერთობლიობით, ზოგიერთი მათგანით ან მათი კომბინაციით. ამავე მიზეზით, საექსპლუატაციო მაჩვენებლების განმსაზღვრელი ტექნიკური პარამეტრების სხვადასხვა შემადგენლობა და ნომენკლატურა, ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში ტექნიკის სხვადასხვა სახისათვის შეიძლება სხვადასხვა იყოს.

მაჩვენებელმა „ნაკეთობის ტექნიკური შესაძლებლობები ძირითადი დანიშნულების მიხედვით“ მომხმარებელს უნდა დაანახოს ის ტექნიკური შესაძლებლობები, რომლებითაც მოცემული ტექნიკა ადგილს დაიმკვიდრებს რაციონალურ სფეროში. უნივერსალური ლითონსაჭრელი დაზგებისთვის ეს არის დასამუშავებელი დეტალის (მუშა ზონის) მაქსიმალური გაბარიტები, სატრანსპორტო საშუალებებისათვის – ტვირთამწეობა მიძღები რადიოაპარატურისათვის – მიღების დიაპაზონი, მგრძნობიარობა დიაპაზონებში, ბგერითი სიხშირის აღწარმოების ზოლი. ერთი მიზნისთვის განკუთვნილი ტექნიკისათვის (ტურბინები, გენერატორები და სხვა) მაჩვენებელი „მანქანის ტექნიკური შესაძლებლობები“ შეიძლება მაჩვენებლით გამოიხატოს „მანქანების მწარმოებლობა დროის ერთეულში“ ანუ ამ მანქანების სიმძლავრით. მაჩვენებელი „ნაკეთობის სიზუსტე და ერთგვაროვნება“, როგორც წესი, გამოიყენება ზოგიერთი სახის ტექნიკური აღჭურვილობის საკონტროლო-საზომი მოწყობილობებისა და სხვათა დახასიათებისთვის.

სხვადასხვა სახის და ჯგუფის წარმოებული პროდუქციის ხარისხის მაჩვენებელთა შემუშავებული სისტემა ახასიათებს ამ პროდუქციის ტექნიკურ და ტექნიკურ-ეკონომიკურ დონეებს, რომლებიც თავისი დანიშნულების მიხედვით უნდა განსაზღვრავდეს მისი სრულყოფილების ხარისხს თანამედროვე ტექნიკის შესაძლებლობების, ტექნოლოგიისა და ქვეყნის ეკონომიკის მოთხოვნების თვალსაზრისით.

ტექნიკური დონე, პირველ რიგში, უნდა გულისხმობდეს მოცემული ტექნიკისათვის განმსაზღვრელ საექსპლუატაციო მაჩვენებლებს, რომლებსაც მომხმარებლისათვის აქვს გადამწყვეტი და პრინციპული მნიშვნელობა. როგორც წესი, მანქანების, მოწყობილობების ტექნიკური დონის შეფასებისთვის ასეთია აბსოლუტური საექსპლუატაციო მაჩვენებლები, ვინაიდან სწორედ მათი რაოდენობრივი მნიშვნელობები თავის ერთობლიობაში კანონზომიერებით განსაზღვრავს ახალი ტექნიკის პროგრესულობისა და ხარისხის დონეს.

ახალი ტექნიკის სრულყოფილებისა და ეფექტურობის ხარისხის გამოსავლენად და სამამულო და საზღვარგარეთულ საუკეთესო ნიმუშებთან შესადარებლად, აგრეთვე გამოიყენება შეფარდებითი (ხვედრითი) მაჩვენებლები. ტექნიკურ-ეკონომიკური დონის მაჩვენებლები ფორმირდება საექსპლუატაციო და საწარმო-ტექნოლოგიური დანახარჯების ხარისხის აბსოლუტური მაჩვენებლებით და მათი ხვედრითი განზომილებებით; მაგალითად, შიგაწვის ძრავა ხასიათდება ხვედრითი მასით (კგ/კვტ), სათბობის ხვედრითი დანახარჯით (გ/კვტ.სთ), ელექტროძრავა – ხვედრითი მასით (კგ/კვტ) და ასე შემდეგ.

ახალი ტექნიკის შექმნის დროს სერიოზული მნიშვნელობა აქვს პერსპექტიულ ტექნიკურ დონეს, რომელიც უნდა ასახავდეს: ქვეყნის ეკონომიკის იმ დარგების პერსპექტიულ განვითარებას, რომელთათვის არის განკუთვნილი მოცემული ტექნიკა; მოცემული ტექნიკის შექმნის სფეროში სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის ტენდენციებს. მან უნდა გაითვალისწინოს ახალი ტექნიკის დაპროექტების და ათვისების ვადები.

### **1.1.3. მექანიზმების და ამძრავთა სისტემების პროექტირებისა და კვლევის საკითხები**

სამანქანო სისტემების აგებისთვის, ამა თუ იმ დასახული ამოცანის გადაწყვეტა იწყება რაციონალური და კინემატიკური სქემის მქონე მექანიზმების ფორმირებით.

ლ.ვ. ასურმა და ა.გ. მალიშვემა ნაშრომებში პირველად განიხილეს მექანიზმების სტრუქტურასთან დაკავშირებული საკითხები, ხოლო მექანიზმების კლასიფიკაცია ასახულია ი.ი. ართობოლევსკის, ვ.ვ. დობროვოლცკის – [43-48] რ. ფრანკეს [49], ნაშრომებში.

ბრტყელი მექანიზმების სინთეზის საკითხები, და მათი მრავალრგოლიანი სახსროვანი მექანიზმების კვლევები, განხილულია ნ.ი. ლევიტსკის [50-51] – და ს.ა. ჩერკუდინოვის [52] შრომებში.

დ.ს. თავხელიძის, გ.ა. ჯაბუას და ო.ს. ეზიკაშვილის – [53, 54] შრომებში განხილულია ბრტყელი, მექანიზმების კვლევის საკითხები.

კბილანური და რთული პლანეტარული მექანიზმების და მექანიზმების კვლევის და პროექტირების საკითხები, კინემატიკური კვლევები მოცემულია გ.პ. ბარანოვის ნაშრომებში – [55].

რხევების თეორიის საფუძვლები, სისტემების საკუთარი, სიხშირის განსაზღვრის მეთოდები განხილულია ს.პ. ტიმოშენკოს; დ.ხ. იანგის; უ. უივერის, ფ.მ. ცზას; ი.ე. მორზეს, პ.ტ. ხინკპას ნაშრომებში – [57-58].

ს.ნ. კოჟენიკოვის წიგნში – [56] აღწერილია სტრუქტურული და კინემატიკური ანალიზების – საკითხები; მექანიზმების სტრუქტურის დადგენა, რგოლების ცალკეული წერტილების ტრაექტორიების, სიჩქარეების და აჩქარებების განსაზღვრა და ა. შ.

პერიოდული რხევების, რეგულირება და მანქანების გაწონასწორების ამოცანები და მასთან დაკავშირებული საკითხები განხილულია ვ.ა. იუდინისა და ლ.ვ. პეტროკასას ნაშრომებში.

ვ.ა. კუდინოვის ნაშრომში – [59] შემოთავაზებულია, ჩარხის დინამიკური ხარისხის მაჩვენებლის სისტემა და მოცემულია მათი შეფასების საკითხები, თეორიული თუ ექსპერიმენტული ანალიზის ჩატარების მეთოდები.

სიმძლავრის ტექნოლოგიური წნევები განისაზღვრება მიწოდების რაციონალური სიჩქარეებით, მაღალი და დაბალი ხარისხის და დამუშავების სიზუსტით, ოპტიმალური წარმადობით; გაწყობის მეთოდებით. ყველა ეს საკითხი განხილულია ფ.მ. მანჟოსის ნაშრომში [60].

ვ.ლ. ბიდერმანის წიგნში – [61] განხილულია სამანქანათმშენებლო კონსტრუქციების, დინამიკური გათვლისთვის საჭირო მეთოდების გამოყენება და წრფივი, არაწრფივი, მექანიკური სისტემების რხევების, თეორიის საფუძვლები.

სხვა მრავალ ნაშრომში განხილულია მექანიკური ტრანსმისიების დინამიკის საკითხები – [62-72].

რთულ არაწრფივ სისტემებს, ძირითადად მიეკუთვნებიან თანამედროვე მანქანების ამძრავთა, ჯაჭვებში გამოყენებული რეალური მიმყოლები. სხვა შემთხვევებში, კი – არასტაციონარულ სისტემებს, რითაც მნიშვნელოვნად რთულდება მათი გაანგარიშების და დაპროექტების საკითხები [73-77].

ა.მ. ლიაპუნოვის, მოძრაობის მდგრადობის შესახებ, ფუნდამენტურ თეორიებზე დაფუძნებულია გადამცემი ფუნქციის განსაზღვრებაზე, თავისუფალი და იძულებითი რხევების ანალიზის, აგრეთვე სტრუქტურის გეომეტრიულ აგებასთან დაკავშირებული ტიპოლოგიურ მეთოდებზე და მეთოდიკებზე და ა. შ. [78-80], რომლის შედეგადაც მკაცრად დასაბუთებული შედეგები, ძალიან რთულია დასაპროექტებელი სისტემების სტრუქტურის და პარამეტრების შერჩევის პროცესი და ინჟინრული გათვლების პრაქტიკაში გამოყენება. პრაქტიკაში გამოიყენება ანალიზის ზუსტად მეთოდებთა ერთად მიახლოებითი მეთოდები რომლებიც ხასიათდება პარამეტრების შერჩევის პროცესში, მარტივი და ზუსტი მეთოდების გამოყენების დაზუსტებით. ხშირად მეთოდების პრაქტიკული გამოყენების სიმარტივე უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე მაღალი სიზუსტის. ეს იმით აიხსნება, რომ ნებისმიერი ხარისხის, არაწრფივ სისტემაში დინამიკური პროცესის ზუსტი და დეტალური კვლევა, ელექტრონული სამოდელო მოწყობილობებით და გამომთვლელი მანქანებით შეიძლება განხორციელდეს.

პროცესების მიახლოებითი კვლევისთვის არაწრფივ სისტემაში ფართო გამოყენება პოვა ჰარმონიული გაწრფივებისა და მასთან

დაკავშირებული ჰარმონიული ბალანსის, მცირე პარამეტრების და სხვა მეთოდიკებმა [79-84].

ი.ა. ორურკის, ვ.ი. სტანკევიჩის, ი.ი. კრინეცკის, სხვათა ნაშრომებში [82-85], განხილულია არაწრფივი სისტემის მიახლოებითი გათვლის მეთოდიკები, ფუნქციები მოიცავენ ყველა უბანზე წრფივ მახასიათებლების მქონე არაწრფივ ფუნქციებს. ამასთან ერთად, აღნიშნული მეთოდები საშუალებას გვაძლევს, ვაწარმოთ სისტემის გაანგარიშება, რომელიმე ერთი სისტემის დინამიკური თვისებისთვის დამახასიათებელი კონკრეტული კრიტერიუმის პირობიდან.

ეგმ-ის და სამოდელო მოწყობილობს გამოყენება დასაპროექტებელი სისტემებისთვის, სქემებისა და პარამეტრების არჩევა დაფუძნებულია უამრავ მეთოდზე, რომელიც შემუშავებულია სქემების პარამეტრების შერწყმისას. რადგანაც სისტემის ელემენტების პარამეტრების შეთანწყობა, მრავალგვარია, ხოლო სტრუქტურული სქემების რიცხვი დიდია, ამიტომ ყველაზე მარტივი ხერხის მოძებნა მოითხოვს დროის დიდი დახარჯვას [73].

სტრუქტურულად რთული სისტემის ეფექტურ მეთოდებს, შორის, რომლებიც ხასიათდებიან, როგორც სტრუქტურული, აგრეთვე პარამეტრული სინთეზის მიხედვით, წარმოადგენს მოცემული გარდამავალი პროცესებით განსაზღვრული სინთეზის მეთოდები. მათ შორის, აღსანიშნავია წრფივი სისტემების რეგულირების, სინთეზის მახასიათებლის გამოყენებით მიღებული პროცესები [85-90].

თანამედროვე, ავტომატიზებული ელექტროამპრავის თეორიაში და პრაქტიკაში უპირატესობა ენიჭება, დაქვემდებარებული რეგულირების კონტურებიანი ტირისტორულ ელექტროამპრავის შექმნას და მათ ფართო დანერგვას სამრეწველო დანადგარებზე, როცა საჭირო იქნება სიჩქარეების ფართო დიაპაზონის რეგულირება.

## 2. შედეგები და მათი განსჯა

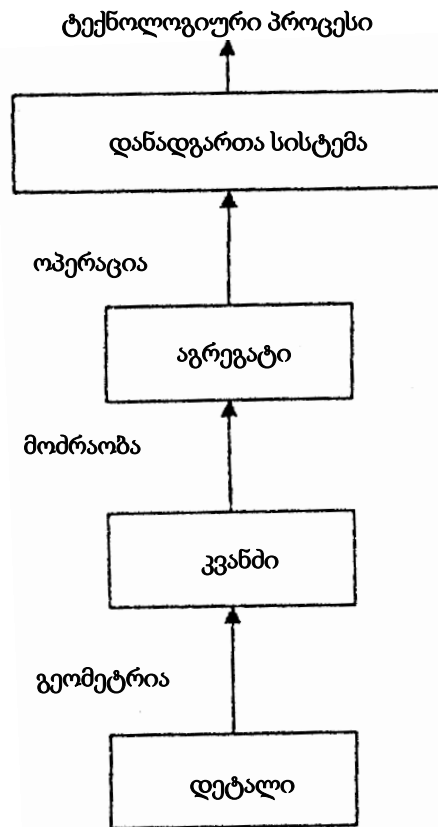
### 2.1. სისტემური მიდგომა საჩარხო სისტემების პროექტირებისადმი

ბლოკურ – იერარქიული მიდგომა არის გამოყენებული ტექნოლოგიური მანქანების, ავტომატიზებული სისტემების შემუშავებისათვის [40]. როდესაც საჩარხო სისტემა წარმოდგენილია, როგორც ოთხდონიანი, იერარქიული სისტემა: საჩარხო სისტემა, აგრეგატი; კვანძი და დეტალი (ნახ. 3). საჩარხო სისტემა, მაღალი დონის ელემენტი, ჩარხის დეტალი მიეკუთვნება უმცროს დონეს. გეომეტრია, კვანძიდან გამომავალი გარკვეული ოპერაციის შესრულებით დეტალების ძირითადი მახასიათებელია. საჩარხო სისტემის მახასიათებელია აგრეთვე გარკვეული ტექნოლოგიური პროცესის რეალიზაცია. საჩარხო სისტემა იყოფა დაახლოებით 4 დონედ. შესაძლოა განვიხილოთ დამატებითი ქვედონეები. მაგალითად, ერთ–ერთ ქვედონედ შეიძლება წარმოდგენილი იყოს საჩარხო მოდულის დონე, ჩარხის კვანძები იყოფა ქვეკვანძებად (მექანიზმებად) [41]. პროექტირების ამოცანები დგება ბლოკურ - იერარქიული მიდგომით ყველა დონის მიმართ. რითაც მარტივდება ამოცანის ზოგადი დასმა, რაც პროექტირების კომპლექსური ავტომატიზაციისას უაღრესად აქტუალურია, რომლის დროსაც რთული სისტემა მუშავდება ნაწილ - ნაწილ [94].

ყველა დონეს შეესაბამება ცალკეული მათემატიკური მოდელი, ამოცანათა ცალკეული წრე და ამოხსნის მეთოდები [95].

ტექნოლოგიური მანქანების, სისტემათა შემუშავებისას და ტექნოლოგიური გადაწყობისას შეიძლება წარმოიშვას ორი ტიპის ამოცანა:

1) საწარმოო სისტემებთან მიმართებაში გარკვეული კრიტერიუმების და მოთხოვნების გათვალისწინებით განსაზღვრული იქნას ისეთი მახასიათებლები, როგორცაა მოწყობილობათა შედგენლობა, სატრანსპორტო სისტემის ტიპები, სტრუქტურა, მოწყობილობათა განლაგება, მართვის ალგორითმი და ა.შ.;



ნახ. 3. საჩარხო სისტემის იერარქიული დონეები

2) ელემენტების და ქვესისტემების, მოცემული ტექნიკური მახასიათებლების გამოყენებით, განვსაზღვროთ მთლიანობაში საწარმოო სისტემის ის მაჩვენებლები, როგორცაა მთლიანი მწარმოებლობა, მოწყობილობების დატვირთვათა ხარისხი, „ვიწრო ადგილების“ არსებობა და ა.შ. [96].

პირველი ტიპის ამოცანების ამოხსნა ხდება ტექნოლოგიური მანქანების სისტემათა, პროექტირებისას. ზოგადად ესაა სტრუქტურული სინთეზის ამოცანა [97].

მეორე ტიპის ამოცანების ამოხსნა ხდება დეტალიზებულ მოდელთა სისტემების ფუნქციონირების ტექნოლოგიური პარამეტრების, ოპტიმალური, ხშირად კვაზიოპტიმალურ მნიშვნელობათა განსაზღვრის გათვალისწინებით.

ამასთან დაკავშირებით, დგება საწარმოო სისტემების ფუნქციონირების, მეტად დეტალიზებული მოდელების, პარამეტრული ოპტიმიზაციის საკითხი ღრმა კვლევის დროს პროექტირების ცალკეული



ეტაპების დეტალიზებული, ანალიზი ხდება ტექნიკური საშუალებების და სატრანსპორტო სისტემათა ცდომილებების ნაკადის ალბათობების მახასიათებლების გათვალისწინებით.

ავტომატური ხაზებისა და მოქნილი ავტომატიზებულ სისტემათა დეტალური კვლევისას იყენებენ ამოცანათა ამოხსნის ალბათობით-თეორიულ - მიდგომებს, ზოგადად იყენებენ საიმედოობის თეორიის და მასიური მომსახურების და ა.შ. ძირითად [98, 99] დებულებებს.

ტექნოლოგიურ მოწყობილობათა ტექნიკური და ექსპლუატაციური მაჩვენებლების ამაღლების თვალსაზრისით, ოპტიმიზაციურ კონსტრუირებასთან მიმართებაში, უფრო დიდ მნიშვნელობას იძენს ავტომატიზებული ამძრავებისა და მექანიკური დამუშავების პროცესის მართვის ავტომატიზირებული სისტემის სრულყოფის ამოცანები, რომლიც თავის მხრივ, წარმოადგენს ტექნიკურ მოწყობილობათა და მათი მუშაობის ეფექტურობის ამაღლების საფუძველს [5, 6, 100, 101].

## **2.2. ხარისხის მაჩვენებლები და ეკონომიკური ეფექტურობის განსაზღვრის მეთოდები**

ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში, ხარისხის მაჩვენებელთა ტიპების სისტემის, როგორც მეთოდოლოგიური საფუძვლის გამოყენების დროს, აუცილებელია მეცნიერულად დავასაბუთოთ ახალი ტექნიკის როგორც საექსპლუატაციო მაჩვენებლების არჩევანი, ასევე მისი ფუნქციური ელემენტების ტექნიკური პარამეტრებისა და მახასიათებლების ერთობლიობა. ნახაზ 4-ზე მოცემულია დასაპროექტებელი მანქანის ხარისხის მაჩვენებელთა ფორმირების სქემა ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზის მეთოდების ზემოქმედების დროს. ტექნიკური დავალების შემუშავების სტადიაში მტკიცდება ახალი ტექნიკის საექსპლუატაციო მაჩვენებლები, რომელთა რაოდენობრივმა მნიშვნელობამ მთლიანობაში უნდა უზრუნველყოს მათი რეალიზაციის დროს აუცილებელი



წარმოადგენს სხვადასხვა მაჩვენებელთა ერთმანეთთან მჭიდროდ დაკავშირებულ რთულ ერთობლიობას. მხოლოდ ერთ მაჩვენებელში შეტანილი ხარისხობრივი ცვლილებები სხვადასხვა ხარისხით აისახება თითოეულზე და მთლიან ერთობლიობაზე. ნაკეთობის საექსპლუატაციო მაჩვენებლებს შორის ურთიერთკავშირი ხშირად ატარებს წინააღმდეგობრივ ხასიათს. ცალკეულ შემთხვევებში ერთი მაჩვენებლის გაუმჯობესებას მივყავართ სხვების გაუარესებამდე, რაც მთლიანობაში ამცირებს ნაკეთობის ეფექტურობას და ხარისხს. ამიტომ, ახალი ტექნიკის დაპროექტებისას, მისი ცალკეული მაჩვენებლების მიმართ გაზრდილი მოთხოვნების გარდა, მკაფიოდ უნდა იყოს დაფიქსირებული დანარჩენის მიმართ წაყენებული მოთხოვნები, მათ ოპტიმალურ მნიშვნელობამდე მიღწევის ტექნიკურ საშუალებებიდან გამომდინარე; მაგალითად, დროის ერთეულში მანქანის მწარმოებლობის ამაღლების ამოცანის დასმა ყოველთვის უნდა შეიცავდეს კონკრეტულ ტექნიკურ და ეკონომიკურ საზღვრებს სხვა მაჩვენებლების მიმართ, ანუ ამაღლებული მწარმოებლობის მანქანის შექმნის დაწყებისას აუცილებელია ჩატარდეს ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზი და საფუძვლიანად დამტკიცდეს, როგორი უნდა იყოს სხვა მაჩვენებლების მნიშვნელობები, რომლებიც ახასიათებს მანქანის მუშაობის შეუფერხებლობას, მუდმივობას, ეკონომიურობას და სხვა.

ცალკეულ შემთხვევაში ახალმა ნაკეთობამ ზოგიერთი მაჩვენებლებით ობიექტური მიზეზების გამო შეიძლება დაუთმოს საბაზისო მოდელს, მაგრამ მთლიანობაში ახალი მოდელის ეფექტურობა და ხარისხი უნდა იყოს უფრო მაღალი.

პროექტის შემდგომი დამუშავების მიხედვით (ესკიზის, ტექნიკური და მუშა პროექტი) განისაზღვრება შესაქმნელი ნაკეთობის ფუნქციური შემადგენლობა, ფორმირდება ტექნიკური პარამეტრები, მახასიათებლები და მოთხოვნები მის შემადგენლობაში შემავალ ცალკეულ ფუნქციურ ელემენტებზე. მისაღები საინჟინრო გადაწყვეტილების ეფექტურობის ამაღლებისათვის დამმუშავებელმა უნდა ჩაატაროს დაწვრილებითი ანალიზი და ამოარჩიოს ისეთი ვარიანტი, რომელიც ერთი მხრივ

უზრუნველყოფს მოცემული საექსპლუატაციო მაჩვენებლის აუცილებელ ტექნიკურ ეფექტს, ხოლო მეორე მხრივ შეძლებს წარმოებაში რეალიზებული იყოს მინიმალური დანახარჯები, რომელიც მიიღწევა კონსტრუქციის ტექნოლოგიურობის გაუმჯობესების, პროგრესული მასალების გამოყენების და სხვა გზით.

წარმოების ტექნოლოგიური მომზადების სტადიაზე ხდება ახალი ტექნიკის საექსპლუატაციო მაჩვენებლების შემდგომი გარდაქმნა საწარმოო-ტექნოლოგიური დანახარჯების მაჩვენებლებად. აქ შესაქმნელი ტექნიკის კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური თავისებურებების, გამოშვების მოცულობის, ქარხანა-დამამზადებლის ტექნოლოგიური აღჭურვილობის და სხვათა გათვალისწინებით მიმდინარეობს მასალათმწოდობის, შრომატევადობისა და შემდეგ მოცემული ტექნიკის თვითღირებულების ნორმების დეტალური ოპერაციული გათვლა.

ამგვარად, მანქანა ფლობს საექსპლუატაციო თვისებებს, რომელთა რაოდენობრივი გამოხატულება მისი ხარისხის მაჩვენებელთა სისტემას განსაზღვრავს; მაგრამ თავის მხრივ წარმოადგენს რთულ, ურთიერთდაკავშირებული ფუნქციური ელემენტებისგან (მოდულებისგან, აგრეგატების, ბლოკების, მექანიზმებისგან და სხვა) შედგენილ ტექნიკურ სისტემას, რომლებიც ურთიერთქმედებს, როგორც ერთი მთლიანი. ამასთან, ფუნქციური ელემენტების თვისებებისა და მახასიათებლების შემადგენლობა პრინციპულად განსხვავდება მთელი ტექნიკური სისტემის თვისებებისგან.

რაც უფრო რთულია ტექნიკური სისტემა, მით მეტია მისი დაყოფის იერარქიული დონეები. ტექნიკური სისტემის თითოეული დონის ფუნქციური ელემენტი ფლობს სპეციფიკურ თვისებებს, რომლებიც თავის მხრივ განსხვავდება მაღალი რანგის ფუნქციური ელემენტების თვისებებისგან. დაპროექტების პროცესში, რომელიც მიმდინარეობს, როგორც წესი, მაღალი რანგიდან დაბლისაკენ, ტექნიკური პარამეტრების, კრებითი ერთეულებისა და დეტალების მახასიათებლების მიმართ მოთხოვნები ფორმირდება მაღალ დონეებზე ფორმირდება კონკრეტული

მაჩვენებლების სახით. ერთი ან რამდენიმე ფუნქციური ელემენტებისათვის ამ მაჩვენებლების გადამეტებამ ყველა შემთხვევაში არ შეიძლება გამოიწვიოს უმაღლესი რანგის ელემენტისა და მით უმეტეს, მთლიანი ტექნიკური სისტემის თვისებათა გაუმჯობესება. ამიტომ, ტექნიკური სისტემის ფუნქციური ელემენტების კონსტრუირებისას მწარმოებლის ძირითადი ამოცანაა ტექნიკური პარამეტრებისა და მახასიათებლების მოცემული მნიშვნელობის მატერიალური, ენერგეტიკული და შრომითი რესურსების მინიმალური დანახარჯებით მკაცრი უზრუნველყოფა ნაკეთობის კონსტრუქციაში მათი რეალიზაციის დროს. პირველ რიგში ამისკენ უნდა იყოს მიმართული შემმუშავებლის შემოქმედებითი ძიება საინჟინრო გადაწყვეტის ოპტიმალური ვარიანტის არჩევისას.

ექსტრაპოლაციის მეთოდი დაფუძნებულია ანალოგიური ტექნიკის წარმოებისა და ექსპლუატაციის გამოცდილების შესწავლაზე, მისი ძირითადი მაჩვენებლების ხასიათისა და ცვლილებების კანონზომიერების გამოვლინებაზე, იმის გათვალისწინებით, რომ ეს კანონზომიერება პერსპექტიულ პერიოდში დაცულია. რადგან მოცემული მეთოდი ყოველთვის მთელი მოცულობით არ ითვალისწინებს სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის პერსპექტივებს, საჭიროა მისი გამოყენება განსაზღვრული საექსპერტო დამატებით. უნდა აღინიშნოს, რომ ხარისხის მაჩვენებელთა მნიშვნელობების პროგნოზირება მიიღება განსაზღვრულ დიაპაზონში, ამასთან ბოლო მნიშვნელობებიდან ერთ-ერთს ემსახურება ექსტრაპოლაციის მეთოდით მიღებული მნიშვნელობა.

ეკონომიკურ-მათემატიკური მოდელირების მეთოდით დანახარჯი საწარმოო-ტექნოლოგიური მაჩვენებლები (მასალატევადობა, შრომატევადობა, ენერგოტევადობა და თვითღირებულება) განისაზღვრება როგორც ფუნქცია, რომლის არგუმენტაცია ნაკეთობის ძირითადი საექსპლუატაციო მაჩვენებლები, მისი ფუნქციური ელემენტების ტექნიკური პარამეტრები და მახასიათებლები, წარმოების საწარმოო-ტექნოლოგიური პირობები.

მოდელების შემუშავებისთვის იყენებენ სტატისტიკურ მასალებს, ტექნიკურ და ტექნოლოგიურ ფუნქციურ კანონზომიერებებს, ნორმატიულ-საცნობარო მონაცემებს და სხვა, რომელთა მეშვეობით განისაზღვრება რაოდენობრივი დამოკიდებულება ჩამოთვლილ არგუმენტებსა და დანახარჯების მაჩვენებლებს შორის.

ნაწარმოები პროდუქციის ეკონომიკური ეფექტურობა წარმოადგენს მისი ხარისხის დონის განმაზოგადებელ გამოსახულებას, ვინაიდან ახალი ტექნიკა შეიძლება ეფექტურად ჩაითვალოს იმ შემთხვევაში, როცა მისი გამოყენება ზოგავს მეტ აუცილებელ საზოგადოებრივ შრომას, ვიდრე გახარჯულია მოცემული ტექნიკის დამზადებაზე. რაც მეტია ეს სხვაობა, მით მაღალია შექმნილი ტექნიკის ხარისხის დონე.

მანქანების და აპარატების, ხელსაწყოების და მოწყობილობების, მასალების და ტექნოლოგიური პროცესების, წარმოების ორგანიზაციის ღონისძიებების ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზის დროს კონსტრუქტორს, ტექნოლოგს უხდება მიღებული გადაწყვეტილებისათვის ეკონომიკური შეფასების მიცემა, შეპირისპირებული გაანგარიშების ჩატარება ტექნიკის უფრო მეტად ეფექტური ვარიანტის შერჩევის მიზნით.

ეკონომიკური ეფექტურობის გაანგარიშება ეფუძნება მიღებული გადაწყვეტილების განხორციელებისთვის აუცილებელი დანახარჯების და მისი გამოყენებით მიღებული ეფექტის შეპირისპირებას.

ასხვავებენ კაპიტალური დაბანდებების ეფექტურობის ორ სახეს-საერთოს (აბსოლუტური) და შეფარდებითს.

საერთო (აბსოლუტური) ეკონომიკური ეფექტურობა თავის მხრივ წარმოადგენს ეფექტის დამოკიდებულებას მოცემული ეკონომიკური ეფექტის მიღების უზრუნველყოფი კაპიტალური დაბანდების ჯამთან. საერთო ეკონომიკური ეფექტურობის გაანგარიშება ძირითადად ტარდება ქვეყნის ეკონომიკის განვითარების პერსპექტიული გეგმების დამუშავების, მსხვილი გამოგონების, ტექნიკის ახალი სახეების დანერგვის დროს.

მისი დახასიათებისთვის ცალკეული საწარმოებისა და ღონისძიებების მიხედვით გაიანგარიშებენ დანახარჯების ეფექტურობის კოეფიციენტს,

რომელიც, თავის მხრივ, ასახავს წლიურ ნამატსა და კაპიტალურ დაბანდებას შორის დამოკიდებულებას, ხოლო, სადაც არ განისაზღვრება ფასები და გამოიყენება პროდუქციის თვითღირებულების შემცირების მაჩვენებელი – პროდუქციის თვითღირებულების შემცირებით მიღებული ეკონომიის ამ ეკონომიის გამომწვევ კაპიტალურ დაბანდებასთან დამოკიდებულებას.

საერთო ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასებისთვის იანგარიშებენ დანახარჯების ამოგების ვადას, რომელიც წარმოადგენს ეფექტურობის კოეფიციენტის შებრუნებულ სიდიდეს. ამოგების ვადა გვიჩვენებს პერიოდს, რომლის განმავლობაში მიღებული შემოსავალი ან თვითღირებულების შემცირებაზე გაწეული ეკონომია მიაღწევს დახარჯული საშუალების ოდენობას.

კაპიტალური დაბანდების საერთო ეკონომიკური ეფექტურობის უფრო სრული შეფასებისთვის აუცილებელია სხვა მაჩვენებლების გაანგარიშება, კერძოდ: შრომის მწარმოებლობის, ფონდუკუგების, ახალი მანქანების ათვისების ვადების, შრომითი და მატერიალური დანახარჯების.

მაგრამ კონსტრუქტორული, ტექნოლოგიური, ორგანიზაციული გადაწყვეტების, მათ შორის ოპტიმიზაციის ამოცანების გადაწყვეტების, ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზის დროს უხდებათ ძირითადად შეფარდებითი ეკონომიკური ეფექტურობის გაანგარიშებების ჩატარება, რაც გულისხმობს ვარიანტების შეპირისპირების აუცილებლობას; ის გვიჩვენებს ერთი ვარიანტი რამდენად სარგებლიანია მეორეზე.

ეკონომიკურ ანალიზში შედის საწარმოო რესურსების განსაზღვრა, თითოეული ვარიანტის განხორციელებით გამოწვეული საზოგადოებრივი შრომის დანახარჯების განსაზღვრა, დაპროექტებული ვარიანტის დამატებითი კაპიტალური დაბანდების ეკონომიკური ეფექტურობის განსაზღვრა საბაზისო, დაპროექტებული ტექნიკის შექმნისა და ქვეყნის ეკონომიკაში გამოყენების შედეგად მიღებულ წლიურ ეკონომიკურ ეფექტთან შედარებით.

ახალი ტექნიკის დანერგვა უპირველეს ყოვლისა უნდა აკმაყოფილებდეს საზოგადოებრივი შრომის, მატერიალური და ფულადი საშუალებების, პროდუქციის გამოშვების გაზრდის, მისი ხარისხის ამაღლებისა და თვითღირებულების შემცირების, შრომის მწარმოებლობის გაზრდის, მუშის შრომის პირობების შემსუბუქებისა და გაჯანსაღების მოთხოვნებს.

ანალიზის დროს შეფარდებითი ეკონომიკური ეფექტურობის გაანგარიშება წარმოებს სხვადასხვა ღონისძიებით, რომლებიც დაკავშირებულია ახალი ტექნიკის დანერგვასა და გამოყენებასთან, მათ შორის:

ახალი სახეობების შექმნის და გამოშვებული მანქანების კონსტრუქციების სრულყოფის;

გამოყენებული მოწყობილობების მოდერნიზაციის;

მასალების, სათბობის, ენერჯის ახალი სახეობების შექმნის;

პროდუქციის ფიზიკური და ქიმიური თვისებების და პარამეტრების გაუმჯობესების;

პროდუქციის უნიფიცირების და სტანდარტიზაციების;

ახალი ტექნოლოგიური პროცესების, მუშაობისა და პროცესების მექანიზაციის, წარმოების ორგანიზაციის ახალი მეთოდების სრულყოფის და დანერგვის დასაბუთების.

ახალი ტექნიკის შექმნის, გამოყენებისა და დანერგვასთან დაკავშირებული ღონისძიებების ეკონომიკური ეფექტურობის გაანგარიშებისას გათვალისწინებული უნდა იყოს რამდენიმე უმნიშვნელოვანესი მოთხოვნა.

გაანგარიშების დროს უზრუნველყოფილი უნდა იყოს ეკონომიკური მიდგომა, ანუ აღრიცხვა კაპიტალდაბანდებისა და ეფექტისა არა მხოლოდ იმ დარგებში, საამქროებსა და უბნებში, სადაც ტარდება ღონისძიება, არამედ მომიჯნავე დარგებში, საამქროებსა და უბნებში, სადაც მოცემული ღონისძიება პოვებს ასახვას. ეს ნიშნავს, მაგალითად, რომ მანქანების დაპროექტებული კონსტრუქციების ანალიზის დროს ეფექტურობის



განგარიშება უნდა ჩატარდეს არა მხოლოდ ქარხანა-დამამზადებლისთვის, არამედ ამ მანქანების ყველა მომხმარებლისთვის.

ნაკეთობის დამზადების ახალი ტექნოლოგიის დანერგვისას ერთ საამქროში გასათვალისწინებელია სხვა საამქროების ეკონომიკური შედეგები და დანახარჯები.

ტექნიკის ვარიანტების შედარება უნდა ჩატარდეს ერთი და იგივე სასარგებლო შედეგის მიღების გაანგარიშებისას დანახარჯების მიხედვით, ანუ შედარება ხორციელდება შედეგების იგივეობის საფუძველზე. ეს ნიშნავს, რომ უზრუნველყოფილი უნდა იყოს შესადარებელი ვარიანტების შეპირისპირება წარმოების ყველა ფაქტორისა და ტექნიკის გამოყენების მიხედვით; გამოშვებული პროდუქციის მიხედვით; გამოშვებული პროდუქციის მოცულობის მიხედვით; ხარისხის პარამეტრების (ტექნიკის მომსახურების ვადის და ხარჯის, საიმედოობის, არაავარიულობის და სხვა), დანახარჯების დროში განაწილება, ტექნიკის წარმოებისა და გამოყენების სოციალური ფაქტორების მიხედვით, გარემომცველ გარემოზე გავლენის ჩათვლით.

ეკონომიკური ეფექტურობის გარდა, რომელიც ვლინდება რესურსების დანახარჯების ეკონომიაში, შემოსავლის გაზრდაში, შრომის მწარმოებლერობის ამაღლებაში, ხოლო ქვეყნის ეკონომიკის მასშტაბით – ნაციონალური შემოსავლის გაზრდაში, გაანგარიშდება სოციალური და ეკოლოგიური ეფექტები.

სოციალური ეფექტი, როგორც აღინიშნა [2]-ში, პირველ რიგში გამოვლინდება პროფესიული დაავადების თავიდან აცილებით, შრომის უსაფრთხოების ამაღლებითა და პირობების გაუმჯობესებით, შრომის შემოქმედებითი შინაარსის განვითარებით. ამის ძირითადი შედეგები გამოიხატება კადრების დენადობის შემცირებაში, ტრავმატიზმითა და პროფესიული დაავადებით გამოწვეული დანაკარგების შემცირებით, შრომის მძიმე და საზიანო პირობების კომპენსაციასთან დაკავშირებული დანაკარგების შემცირებით.

ეკოლოგიური ეფექტი გამოვლინდება ტექნიკის გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების შემცირებით და მისი მდგომარეობის გაუმჯობესებით, რასაც მივყავართ ხალხის ცხოვრების დონის და საზოგადოებრივი წარმოების ეფექტურობის ამაღლებამდე.

ეკონომიკური ეფექტის გაანგარიშება სოციალური და ეკონომიკური შედეგების გათვალისწინებით, დაპროექტების თითოეულ სტადიაზე შესაძლებლობას ქმნის მივიღოთ უფრო მეტად პროგრესული, რაციონალური, კონსტრუქტორული, ტექნოლოგიური და ორგანიზაციული გადაწყვეტილება, გამოვავლინოთ მათი გამოყენების არეების რაციონალური საზღვრები.

შედარებითი ეკონომიკური ეფექტურობის მაჩვენებლების ანალიზს ახორციელებენ ნატურალური მაჩვენებლების, ძირითადი, დამატებითი და განზოგადებული მაჩვენებლების გამოყენებით.

ძირითადი მაჩვენებლების რიცხვს მიაკუთვნებენ: ღონისძიების განხორციელებისთვის აუცილებელ კაპიტალურ დაბანდებას, პროდუქციის თვითღირებულებას, შრომის მწარმოებლობას, პროდუქციის შრომატევადობას, პროდუქციის წლიურ გამოშვებას. დამატებითი მაჩვენებლების რიცხვს მიაკუთვნებენ: პროდუქციის ხარისხის მაჩვენებლებს, მასალების, მოწყობილობებისა და ფართობის გამოყენების კოეფიციენტებს, პროდუქციის ენერგოტევადობის შემცირებას, მწარმოებლური ციკლის სიდიდეს და სხვა.

მიღებული დამატებითი მაჩვენებლები უნდა შეესაბამებოდეს იმ ღონისძიების სპეციფიკას, რომლისთვისაც ტარდება შეპირისპირებული ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშება.

შედარებითი ეფექტურობის განზოგადებულ მაჩვენებლებად მიღებულია: დაყვანილი დანახარჯები, შედარებითი ეკონომიკური ეფექტურობის კოეფიციენტი, დამატებითი კაპიტალური დაბანდების ამოგების ვადა, წლიური ეკონომიკური ეფექტი.

ეკონომიკური ეფექტურობის განსაზღვრის დროს მნიშვნელოვანია ტექნიკური გადაწყვეტის განხორციელებისკენ მიმართული კაპიტალური

დაბანდების მოცულობის სწორად განსაზღვრა. ამ მაჩვენებლის განსაზღვრა აუცილებელია კაპიტალური დაბანდების ამოგების ვადის გაანგარიშებისთვის, ფონდტევადობისა და ფონდუკუგებისთვის, პროდუქციის თვითღირებულებაში შემავალი საამორტიზაციო ანარიცხების ოდენობისათვის და სხვა.

ახალი ტექნიკის დანერგვის სხვადასხვა ვარიანტების შედარებისას უპირისპირებენ საერთო და კუთრ კაპიტალურ დაბანდებებს, პროდუქციის ერთეულის თვითღირებულებას. მაგრამ, როგორც პრაქტიკა უჩვენებს, პროდუქციის ერთეულის მეტად დაბალი თვითღირებულება ხშირად უზრუნველყოფილია მეტად მაღალი კაპიტალური დაბანდების ხარჯზე. ამ შემთხვევაში ანგარიშობენ შედარებითი ეფექტურობის კოეფიციენტს ან დამატებითი კაპიტალური დაბანდების ამოგების ვადას და დაყვანილ დანახარჯებს.

შედარებითი ეკონომიკური ეფექტურობის კოეფიციენტი წარმოადგენს პროდუქციის წლიური გამოშვების თვითღირებულების სხვაობის ( $S'$  ფ.ერთ./წელი) დამოკიდებულებას შესადარებელი ვარიანტების კაპიტალური დაბანდების სხვაობასთან ( $K'$ , ფ. ერთ.):

$$E = (S'_1 - S''_2) / (K'_2 - K'_1). \quad (1)$$

დამატებითი კაპიტალური დაბანდების ამოგების ვადას გვიჩვენებს დრო, რომლის განმავლობაში უფრო კაპიტალტევადი ვარიანტის დამატებითი კაპიტალდაბანდება ამოიგება ეკონომიით, რომელიც მიიღება პროდუქციის უფრო დაბალი თვითღირებულების შედეგად.

მისი სიდიდე წარმოადგენს შედარებითი ეკონომიკური ეფექტურობის კოეფიციენტის შებრუნებულ სიდიდეს

$$T_0 = (K'_2 - K'_1) / (S'_1 - S''_2). \quad (2)$$

თუ  $E \geq E_6$  (სადაც  $E_6$  არის დამატებითი კაპიტალური დაბანდების შედარებითი ეკონომიკური ეფექტურობის ნორმატიული კოეფიციენტი) ან  $T_0 \leq T_6$  (სადაც  $T_6 = 1/E_6$ ), მაშინ დამატებითი კაპიტალური დაბანდება ეფექტურია. ახალი ტექნიკის გამოყენების ეფექტურობის შეფასების დროს

„ახალი ტექნიკის, გამოგონებისა და რაციონალიზატორული წინადადების ქვეყნის ეკონომიკაში გამოყენების ეკონომიკური ეფექტურობის მეთოდის (ძირითადი მდგომარეობით)“ შესაბამისად იყენებენ ეფექტურობის ერთიან ნორმატიულ კოეფიციენტს  $E_6 = 0,15$ .

შესაძლებელია ფორმულების შემადგენლობაში შემავალი მაჩვენებლები  $K'$  და  $S'$  შეუძლიათ გამოიყენონ როგორც სრულ თანხაში, ასევე პროდუქციის ერთეულსა და პროდუქციის ერთეულის თვითღირებულებაზე კუთრი კაპიტალური დაბანდების სახით. კუთრი კაპიტალური დაბანდება  $K$  წარმოადგენს  $K'$  კაპიტალური დაბანდების საერთო მოცულობის დამოკიდებულებას მზა პროდუქციის (ნატურალურ ან ღირებულებით გამოსახულებაში) წლიურ  $N_6$ . გამოშვებაზე, რომელიც უზრუნველყოფილია წარმოებული კაპიტალური დაბანდებით.

$$K = K' / N_6 . \quad (3)$$

შედარებითი ეკონომიკური ეფექტურობის უმნიშვნელოვანესი მაჩვენებელია დაყვანილი დანახარჯები. იგი წარმოადგენს ჯამს მიმდინარე დანახარჯებისა (თვითღირებულება) და ერთგვაროვან განზომილებაზე დაყვანილი კაპიტალური დაბანდების, ეფექტურობის ნორმატიული მაჩვენებლების შესაბამისად:

$$B_{\text{დაყ.წ.ი}} = S'_i + E_6 K'_i ; B_{\text{დაყ.წ.ი}} = K'_i + T_6 S'_i , \quad (4)$$

სადაც  $B_{\text{დაყ.წ.ი}}$  არის დაყვანილი დანახარჯი წლიურ გაანგარიშებაში;  $S'_i$  – მიმდინარე დანახარჯი ვარიანტის მიხედვით;  $K'_i$  – კაპიტალური დანახარჯი საწარმოო ფონდებში იმავე ვარიანტის მიხედვით;  $B_{\text{დაყ.წ.ი}}$  – დაყვანილი დანახარჯი ამოგებულის ნორმატიული ვადის გაანგარიშებისას.

ოპტიმალური გადაწყვეტისას კონსტრუქციების, ტექნოლოგიური და ორგანიზაციული გადაწყვეტის ანალიზისას იყენებენ შედარებითი ეკონომიკური ეფექტურობის კრიტერიუმებს. კრიტერიუმის არჩევა დამოკიდებულია საინჟინრო გადაწყვეტის ხასიათზე, მაგრამ შედარებითი

ეფექტურობის ვარიანტის ძირითად კრიტერიუმს წარმოადგენს დაყვანილი დანახარჯები.

დაყვანილი დანახარჯების კრიტერიუმად გამოყენების დროს ოპტიმალური ვარიანტი ხასიათდება მათი მინიმალური სიდიდით.

დაყვანილი დანახარჯების მაჩვენებლის გამოყენება იძლევა განუსაზღვრელი რაოდენობის ვარიანტის შედარებისა და მინიმუმის კრიტერიუმის მიხედვით დაყვანილი დანახარჯების ყველაზე უფრო ეფექტურის გამოვლენის საშუალებას. ვარიანტების განსაზღვრული რაოდენობის დროს ოპტიმალურის ამორჩევა მათი წყვილ-წყვილად შედარების გზით შეიძლება კაპიტალური დაბანდების ამოგების ვადის საფუძველზე.

გადასაწყვეტი ამოცანებიდან გამომდინარე, კრიტერიუმად სხვა მაჩვენებლების გამოყენებაც შეიძლება. იმ ამოცანების გადაწყვეტისას, რომელთა რეალიზაცია არ არის დამოკიდებული კაპიტალური დაბანდების ცვლილებასთან, მაგრამ იწვევს მიმდინარე დანახარჯების შეცვლას, ეკონომიკური ეფექტურობის კრიტერიუმად შეიძლება მიღებულ იქნეს პროდუქციის თვითღირებულება შედარებული ვარიანტების მიხედვით, მაგალითად, ერთი მასალის მეორეთი შეცვლისას, დეტალების დამზადების ტექნოლოგიის ცვლილებისას გამოყენებული მოწყობილობის შეცვლის გარეშე. ამ შემთხვევაში ამოცანა დაიყვანება იქამდე, რომ პროდუქციის წლიური გამოშვების მოცემული მოცულობისას, არჩეული იყოს მისი მინიმალური თვითღირებულების უზრუნველმყოფი ვარიანტი ან ვარიანტებიდან თითოეულისთვის გამოვლინდეს გამოყენების უკეთესი არე, ვარიანტების მიხედვით პროდუქციის წლიური გამოშვების თვითღირებულების ტოლობიდან გამომდინარე.

ტექნიკური გადაწყვეტიდან ყველაზე ეფექტური ვარიანტის განსაზღვრის დროს აუცილებელია შედარებისთვის საწყისი ბაზის სწორი არჩევის უზრუნველყოფა. ამ არჩევას, პირველ რიგში, აწარმოებენ კაპიტალური დაბანდებისა და მიმდინარე დანახარჯის (თვითღირებულება) გაანგარიშებისას, რომელზეც დაფუძნებულია შედარებითი ეკონომიკური

ეფექტურობის გაანგარიშება. საწყისი მაჩვენებლის შედარებისთვის პრინციპული მნიშვნელობა აქვს ბაზის სწორ არჩევას, ვინაიდან ამ მაჩვენებლების სიდიდე განსაზღვრავს მიღებული ეკონომიის ზომას. რაც უფრო დაბალია საბაზისო მაჩვენებლები, მით მაღალია დაპროექტებული ვარიანტის ეფექტურობა და პირიქით.

ეფექტურობის მაჩვენებლების შედარებისას ბაზის არჩევა დამოკიდებულია ახალი ტექნიკის დამუშავების ფაზაზე. დაპროექტების და ათვისების ფაზაში, როცა წყდება ახალი ტექნიკის შექმნის მიზანშეწონილობის საკითხი, შედარების ბაზად იღებენ უკეთესი ტექნიკის მაჩვენებლებს და დაყვანილ უმცირეს დანახარჯებს ამ ტექნიკის მეშვეობით გამოშვებული ერთეული პროდუქციის (მუშაობის) გაანგარიშებისას. საპროექტო დამუშავების არარსებობის და საზღვარგარეთული გამოცდილების გამოყენების შეუძლებლობისას შედარებისთვის ბაზად იღებენ სამამულო წარმოებაში არსებული საუკეთესო ტექნიკის მაჩვენებლებს.

პრინციპულად ახალი კონსტრუქციის მანქანა თუ არ ჰყავს პროტოტიპი არც სამამულო და არც საზღვარგარეთულ პრაქტიკაში, ანალიზის დროს იგი უნდა შეადარონ ანალოგიური სამუშაოს შესრულებისთვის განკუთვნილ (პროექტში არსებულ ან მოქმედ) კონსტრუქციას. ამგვარად, დაპროექტებული სატვირთო მანქანის ეკონომიკური დასაბუთების დროს შედარებისთვის ბაზად იღებენ იმავე კლასის, უფრო მეტად სრულყოფილ, სასურველია მახლობელი ფორმულის, ტვირთამწეობის ერთნაირი ტიპის ძრავის ავტომობილებს; მაგრამ ანალოგების არარსებობის დროს, მაგალითად, უკიდურესი ჩრდილოეთის პირობებისათვის საჭირო ბალიშზე დასაპროექტებელი მანქანის შედარება საჭიროა ვაწარმოთ ვერტმფრენით, ყველგანმავალით ან ტექნიკის სხვა სახეობებით, რომლებიც ტვირთის ტრანსპორტირებას უზრუნველყოფენ იმავე პირობებში.

პროგრესული ტექნოლოგიის, წარმოების ორგანიზაციის ახალი ხერხების, ახალი მანქანების, მოწყობილობათა დანერგვის ეტაპზე შედარებისთვის, ბაზად მიიღება შესაცვლელი ტექნიკა. ცკმ-ის ახალი

ჩარხების დაპროექტებისა და ათვისებისას მათი ეკონომიკური ეფექტურობის გაანგარიშებისათვის რეკომენდებულია შემდეგი საბაზისო ჩარხები (ცხრ. 1).

ცხრილი 1

საბაზისო ჩარხების მონაცემები

ახალი ცკმ ჩარხები	საბაზისო ჩარხები
ჩარხები, რომლებიც განკუთვნილია სერიულად გამოშვებული ჩარხების შესაცვლელად	ათვისებული ცკმ ჩარხებიდან საუკეთესო (ჩარხების ქარხანა-დამამზადებლების მიერ)
ჩარხები, რომლებიც აფართოებენ ათვისებული ცკმ ჩარხების პარამეტრულ რიგს	საუკეთესო უნივერსალური ჩარხები, რომლებიც ახალი ცკმ ჩარხების გამოშვებამდე ასრულებდნენ ანალოგიურ ოპერაციებს; ცალკეულ შემთხვევაში -ცკმ ჩარხები ანალოგიური ძირითადი პარამეტრებით.
პრინციპულად ახალი ჩარხები პირველად ათვისებული, რომელთაც კონსტრუქციის მიხედვით არა აქვს ანალოგი.	საუკეთესო ჩარხები, რომლითაც სარგებლობენ მანქანათმშენებლობაში ანალოგიური ოპერაციების შესასრულებლად, ხელით დამუშავების მეთოდების გამოყენებით.
მრავალპერაციული ჩარხები ცკმ და იარაღის მაღაზიით	სხვადასხვა ჯგუფის საუკეთესო ცკმ მრავალპერაციული ან ოპერაციული ჩარხები, რომლებიც ათვისებულია ქარხანა-დამამზადებლების მიერ

ტექნიკის მოდერნიზაციის დროს მაჩვენებლებს ადარებენ მოდერნიზაციამდე და მის შემდეგ.

თუ ახალი კონსტრუქციის შრომის საშუალებები (მანქანა, მოწყობილობა, ინსტრუმენტი) უფრო უნივერსალურია და მათ მიერ შესრულებული სამუშაოები (ოპერაციები) ადრე იწარმოებოდა შესაბამისი საშუალებების კომპლექსით, შედარებისთვის ბაზად საჭიროა მთელი ამ კომპლექსის მიღება.

ცალკეულ შემთხვევებში, პირველად წარმოებული ტექნიკის ახალი სახეობებისთვის, როცა შედარებისთვის ბაზის შერჩევა არ ხერხდება, ასეთი ტექნიკის პირველ ნიმუშებზე ეფექტურობის გაანგარიშება არ იწარმოება.

კაპიტალური დაბანდებებისა და ახალი ტექნიკის ეკონომიკური ეფექტურობის გაანგარიშებისას დროს შესაძარებელი ვარიანტები, როგორც უკვე ითქვა, მიყვანილი უნდა იყოს შესაპირისპირებელ სახემდე ყველა ნიშნის მიხედვით: გამოშვებული პროდუქციის მოცულობის, მისი შემადგენლობის, ხარისხის, დამზადების ვადის, აგრეთვე სოციალური ეფექტის, გარემოს დაცვის მიხედვით; ახალი ტექნიკის დანერგვისას ითვალისწინებენ აგრეთვე საბაზისო და ახალი ტექნიკის მწარმოებლობის, მომსახურების ვადებისა და სხვა ხარისხობრივი პარამეტრების თანაფარდობას.

თუ შეპირისპირებული ვარიანტებიდან რომელიმეს მიხედვით ვერ ხერხდება წარმოების შედეგების ერთნაირი შემადგენლობის (პროდუქციის, მუშაობის, მომსახურების) მიღების უზრუნველყოფა, მაშინ ამ ვარიანტის მიხედვით აუცილებელია დამატებითი შრომითი რესურსების, მოწყობილობის, ფართობის გათვალისწინება, რაც უზრუნველყოფს ნაკეთობის იმ სახეობის წარმოებას, რომლებიც აკლიათ. დასამზადებელი ნაკეთობების ვარიანტების ერთნაირ შემადგენლობამდე მიყვანის აუცილებლობა ჩნდება, მაგალითად, მრავალსაგნიანი მექანიზებული და ნაკადის ხაზების დაპროექტებისას. ერთი და იმავე ტიპ-ზომის ნაკეთობების დამზადების ვარიანტების შეპირისპირებისას პროდუქციის ერთი და იმავე შემადგენლობამდე მიყვანის ამოცანა არ წამოიჭრება.

თუ ხდება ვარიანტების შედარება, რომლებიც ხასიათდებიან პროდუქციის წლიური გამოშვების სხვადასხვა მოცულობით (მუშაობა), მაშინ კაპიტალური დაბანდება (შეუღლების ჩათვლით) და საბაზისო ვარიანტის პროდუქციის თვითღირებულება უნდა გაიანგარიშონ წარმოების მოცულობაზე დაპროექტებული ვარიანტის მიხედვით. საბაზისო ვარიანტის მიხედვით საერთო კაპიტალური დაბანდება, კორექტირებული წარმოების მოცულობაზე დაპროექტებული ვარიანტის მიხედვით, განისაზღვრება შემდეგი წესით:

$$K'_{1კორ} = (K'_1/N_{\nabla 1})N_{\nabla 2} = K_1N_{\nabla 2}, \quad (5)$$



სადაც  $K'_1$  არის საბაზისო ვარიანტის კაპიტალური დაბანდების ჯამი;  $N_{\text{წ1}}$ ,  $N_{\text{წ2}}$  – პროდუქციის წარმოების მოცულობა საბაზისო და დაპროექტებული ვარიანტების მიხედვით;  $K_1$  – საბაზისო ვარიანტის კუთრი კაპიტალური დაბანდება.

პროდუქციის თვითღირებულების კორექტირებისას საჭიროა გავითვალისწინოთ, რომ ხარჯების სხვადასხვა სტატიები სხვადასხვანაირად იცვლება წარმოების მოცულობის ცვლილებიდან გამომდინარე. პროდუქციის წლიური გამოშვების თვითღირებულება შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს შემდეგი სახით:

$$S' = S'_{\text{ცვ}} + S'_{\text{ა.ა}}, \quad (6)$$

სადაც  $S'_{\text{ცვ}}$  – წლიური გამოშვების თვითღირებულების ცვლადი ნაწილია,  $S'_{\text{ა.ა}}$  – წლიური გამოშვების თვითღირებულების პირობით-მუდმივი ნაწილი.

საბაზისო ვარიანტის პროდუქციის წლიური გამოშვების თვითღირებულება კორექტირებული დანერგილი ვარიანტის წარმოების მოცულობაზე

$$S'_{\text{ბ.კორ}} = S'_{\text{ცვ.ბ}} (N_{\text{წ.ბ.}} / N_{\text{წ.ბ.}}) + S'_{\text{ა.ა.ბ}}. \quad (7)$$

საბაზისო ვარიანტის ერთეული პროდუქციის თვითღირებულება კორექტირებული დაპროექტებული ვარიანტის წარმოების წლიურ მოცულობაზე

$$S_{\text{ბ.კორ}} = S_{\text{ცვ.ბ}} / N_{\text{წ.ბ.}} + S_{\text{ა.ა.ბ}} / N_{\text{წ.ბ.}}$$

კაპიტალური დაბანდების კორექტირებული მნიშვნელობების, საბაზისო და დაპროექტებული ვარიანტების პროდუქციის თვითღირებულების შეპირისპირება ხდება ერთმანეთს შორის.

პროდუქციის ხარისხით განსხვავებული ვარიანტების შედარების უზრუნველსაყოფად აუცილებელია განისაზღვროს დანახარჯები დამატებით ოპერაციებზე, მოწყობილობაზე, აღჭურვილობაზე, რომელთა გამოყენება აგვაცილებს განსხვავებას ხარისხის დონეში; ამასთან საჭიროა ტექნიკის ექსპლუატაციის სფეროში პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესების გათვალისწინება.

აუცილებელია, რომ საბაზისო და საპროექტო ტექნიკის მუშაობის მაჩვენებელთა შედარების დროს ვარიანტები ერთნაირ პირობებში იყოს დღე-ღამეში სამუშაო საათების რაოდენობის, წარმოების სერიულობისა და შრომის დაცვის პირობების მიხედვით.

დანერგვის ღონისძიების შესადარებელი ვარიანტები დროში უნდა თანხვდებოდნენ საბაზისო ტექნიკის მუშაობის მაჩვენებლების გაანგარიშებას. თუ ახალი ტექნიკის დაპროექტება, დანერგვა და ათვისება გათვალისწინებულია რამდენიმე წლის განმავლობაში, აუცილებელია პროდუქციის ერთეულის თვითღირებულებისა და შრომის მწარმოებლობის კორექტირება საბაზისო ვარიანტის მიხედვით, ამ პერიოდში მათი შესაძლო ცვლილების გათვალისწინებით. როგორც პრაქტიკა აჩვენებს, ნახსენები მაჩვენებლები უმჯობესდება, თუ ამ უბანზე არც ინერგება არავითარი ორგანიზაციულ-ტექნიკური ღონისძიებები. გაუმჯობესება ხდება გამოყენებული ტექნიკის ათვისების, მუშათა კვალიფიკაციის ამაღლებისა და მათი შრომითი უნარ-ჩვევების დაგროვების ხარჯზე.

### **2.3. ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების საიმედოობის თეორიის საფუძვლები**

როგორც ცნობილია ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების ეფექტურობის განსაზღვრის უმნიშვნელოვანესი მაჩვენებლებია მათი წარმოების და მათ მიერ შესრულებული საწარმოო პროცესების მწარმოებლურობა და თვითღირებულება [42].

თავის მხრივ აღსანიშნავია, რომ მანქანა-მოწყობილობების და საწარმოო ტექნოლოგიური სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობა მრავალ წილად განპირობებულია მათ მიერ რეალიზებული მწარმოებლურობის და თვითღირებულების მახასიათებლებით, რომლებიც თავის მხრივ მნიშვნელოვან კავშირში არიან ტექნოლოგიურ სისტემათა საიმედოობასთან.

მწარმოებლის მათემატიკურ საფუძველს შეადგენს განტოლებები, რომელიც აკავშირებს მანქანათა და მწარმოებლობას და შრომის

მწარმოებლობას მოწყობილობათა კონსტრუქციულ, სტრუქტურულ და სხვა მაჩვენებლებთან. ამის მეშვეობით, მწარმოებლობის თეორიის მეთოდები იძლევა საშუალებას არა მარტო გავთვალთ რაოდენობრივად, მანქანების მწარმოებლობა ან მათი დანერგვის ეკონომიკური ეფექტურობა, არამედ გავაანალიზოთ ავტომატიზებულ მოწყობილობათა სხვადასხვა ვარიანტი, შევარჩიოთ ოპტიმალური პარამეტრები, რომლიც განსაზღვრავს მაქსიმალურ მწარმოებლობას ან უმაღლეს ეკონომიკურ ეფექტს [101].

მწარმოებლობის თეორიის ძირითადი დებულებები ფორმულირებულია ჯერ კიდევ 1932-1933 წლებში, გ. შაუმიანის მიერ. რის შემდეგაც ეს სამეცნიერო მიმართულება იქცა მუდმივად ვითარდება წარმოების სხვადასხვა დარგში. დასრულებული ფორმით მწარმოებლობის თეორიის ძირითადი დებულება წარმოდგენილია [6, 104] ნაშრომებში.

მეთოდის არსი, რომელიც გ. შაუმიანის მიერ არის შემოთავაზებული, შედგება იმისგან, რომ მათემატიკურად პირდაპირ დაკავშირებულია ერთმანეთთან ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლებით. ისინი, მწარმოებლობის და ეფექტურობის მხრივ, ერთობლიობაში წარმოადგენს ავტომატების და ავტომატური ხაზების მათემატიკურ მოდელს.

მწარმოებლობის თეორიის მათემატიკური მოდელების გამოყენებით შესაძლოა გაანალიზებული იყოს, როგორ მოქმედებს ტექნოლოგიის და კონსტრუირების ესა თუ ის მიმართულება ტექნიკურ პროგრესზე. ე.ი. შეიძლება დადგენილი იქნეს ავტომატიზაციის მიმართულებათა პერსპექტიულობა.

თავის მხრივ, ტექნოლოგიური პროცესის მწარმოებლობა და თვითღირებულება საკვლევი სისტემის საიმედოობასთან არის დაკავშირებული.

ზოგადი მიდგომით, საჩარხო სისტემის და ტექნოლოგიური კომპლექსების საიმედოობა, როგორც მექანიზმების და მოწყობილობათა, აგრეთვე მჭრელი იარაღების საიმედო მუშაობით განისაზღვრება.

განვიხილოთ, საიმედოობის მათემატიკური თეორიის ზოგიერთი ძირითადი ფორმულა [105, 106].

ვთქვათ,  $X$  – არის უწყვეტი შემთხვევითი სიდიდეა და  $P(a < X < b)$  – შემთხვევითი სიდიდის მნიშვნელობათა მოხვედრაა ინტერვალზე  $(a, b)$ . შემთხვევითი დიფერენციალური ფუნქციის  $X$  – სიდიდის განაწილება განისაზღვრება ტოლობით:

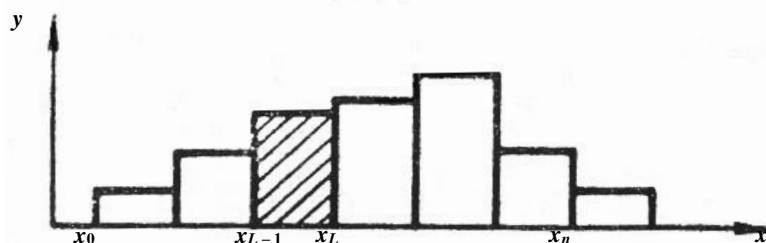
$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P(x < X < x + \Delta x)}{\Delta x} = f(x). \quad (8)$$

ფუნქცია  $f(x)$   $X$  სიდიდის ალბათობის სიმჭიდროვა. შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$P(x < X < x + \Delta x) \approx f(x)\Delta x. \quad (9)$$

მრუდის –  $y = f(x)$  წარმოქმნის გეომეტრიული პროცესი, იძლევა აიხსნას შემდეგი მიდგომებით. განვიხილოთ ინტერვალი, რომლის გარეთაც შემთხვევითი სიდიდის მნიშვნელობების წარმოშობა პრაქტიკულად შეუძლებელია. დავყოთ მოცემული ინტერვალი მწარმოებლური წერტილებით  $x_0, x_1, \dots, x_n$ ,  $\Delta x_{l-1} = x_l - x_{l-1}$  სიგრძის მცირე ინტერვალებად, სადაც  $P(x < X < x + \Delta x)$  მივიღებთ მხოლოდ საფეხუროვანი ტეხის  $l_n$  ხაზით ზემოდან შემოსაზღვრულ ფიგურას (ნახ. 5).

ვთქვათ, ეს პროცესი უსასრულოა. დიფერენციალური მრუდი ის სასაზღვრო მრუდია, რომელიც უახლოვდება  $l_n$   $n$  – ის ცვლილების დროს  $n \rightarrow \infty$ .



ნახ. 5. შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების ექსპერიმენტული ფუნქცია

ალბათობა  $P(\alpha < X < \beta)$  იმისა, რომ შემთხვევითი სიდიდის მნიშვნელობა მოხვდება ინტერვალში  $(\alpha, \beta)$  და განისაზღვრება ფორმულით: (ნახ. 6)

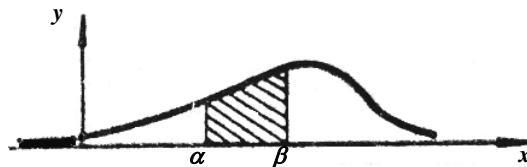
$$P(\alpha < X < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx$$

თუ შემთხვევითი სიდიდის ყველა მნიშვნელობა მოთავსებულია ინტერვალში  $(\alpha, \beta)$ , მაშინ:

$$\int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx = 1.$$

თუ, შესაძლო მნიშვნელობების ინტერვალი არის  $(-\infty, +\infty)$ , მაშინ

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \quad (10)$$



ნახ. 6. განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია

როცა გავითვალისწინებთ, რომ  $f(x)$  – ფუნქცია განისაზღვრება ინტერვალზე  $(-\infty, +\infty)$ , მაშინ როცა ამოცანის არსიდან გამომდინარეობს, რომ ფუნქცია  $f(x)$  თავსდება ზღვრულ ინტერვალზე  $(\alpha, \beta)$ , მაშინ ჩავთვალოთ, რომ იგი განსაზღვრადია  $(-\infty, +\infty)$  ინტერვალზე, ოღონდ  $(\alpha, \beta)$  ინტერვალის გარეთ:

$$f(x) \equiv 0$$

განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია განსაზღვრავს შემთხვევით სიდიდეს.

შემდეგ ფუნქციას განაწილების ინტეგრალური ფუნქცია ეწოდება

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$$

მას, აგრეთვე, განაწილების ფუნქციას ან განაწილების ინტეგრალურ კანონს უწოდებენ. ფუნქცია –  $F(x)$ –ის განმსაზღვრელი ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ  $x$ –ის მოცემული მნიშვნელობისას, განაწილების ფუნქცია, რიცხობრივად უტოლდება განაწილების მრუდით, აბსცისთა ღერძით და მოთავსებულ წერტილში  $X$ –ზე გატარებული ორდინატის მარცხენა მხარეს.

სიდიდე  $F(x)$  – არის ალბათობა იმისა, რომ შემთხვევითი სიდიდის მიღებული მნიშვნელობა, არ აღემატება ამ მნიშვნელობას. სიდიდე  $X$  – ის მოხვედრის ალბათობა მოცემულ ინტერვალში  $(\alpha, \beta)$ , ტოლია ინტეგრალური ფუნქციის ნამატისა ამ ინტერვალზე:

$$P(\alpha < X < \beta) < F(\beta) - F(\alpha)$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია –  $f(x)$  და ინტეგრალური ფუნქცია  $F(x)$  ერთმანეთთან დაკავშირებულია თანაფარდობით:

$$F'(x) = f(x)$$

ხშირად, შემთხვევითი სიდიდის ხარისხში ფიგურირებას იწყებს უმტყუნო მუშაობის დრო, მუშაობის დაწყებიდან, ინსტრუმენტის მწყობრიდან გამოსვლამდე. შემთხვევითი სიდიდე განისაზღვრება  $(0, +\infty)$  ინტერვალზე. ამიტომ განაწილების ინტეგრალური ფუნქცია იქნება შემდეგი სახის:

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx$$

$F(t)$  არის იარაღის და მოწყობილობის მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობა დროის ინტერვალში  $(0, t)$ .

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(x) dx \quad (11)$$

ამ ფუნქციას ეწოდება მოცემული იარაღის საიმედოობის ფუნქცია. მოცემული  $t$  მნიშვნელობისთვის –  $P(t)$  ტოლია იარაღის და მოწყობილობის უმტყუნო მუშაობის ალბათობისა დროის  $t$  მონაკვეთში.

$n$  იარაღების და მოწყობილობების სისტემა უმტყუნოდ მუშაობს ინტერვალში  $(0, t)$ , და მაშინ როცა ყველა ელემენტი ამ ინტერვალში არ უმტყუნებს. თუ  $P(t)$  – ს მეშვეობით, აღვნიშნავთ ჩარხის უმტყუნო მუშაობას, ინტერვალში  $(0, t)$  და  $p_i(t)$  –ის,  $i=1,2,\dots,n$  ხოლო  $i$ -ური იარაღის უმტყუნო მუშაობა, ასევე ინტერვალში  $(0, t)$ , რადგანაც იარაღები და მოწყობილობები არის დამოუკიდებელი.

მივიღებთ:

$$P(t) = p_1(t)p_2(t)\dots p_n(t) \quad (12)$$

უმტყუნო მუშაობის დროის განაწილების კანონი ჩატარებული ექსპერიმენტიდან ხშირად, იარაღის უმტყუნო მუშაობის დროის განაწილების კანონით განისაზღვრება.

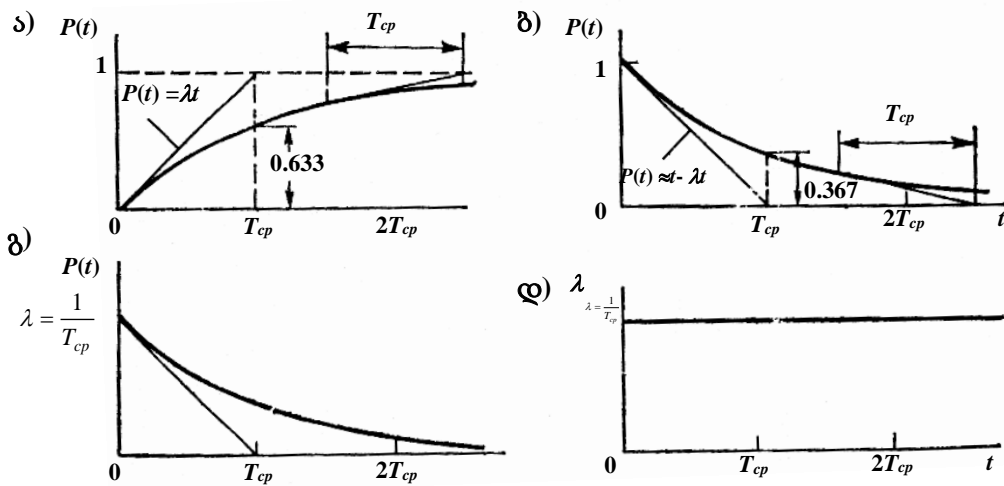
საინჟინრო გამოთვლებში შემთხვევითი მნიშვნელობათა ნორმალურმა ლოგარითმულმა, ნორმალურმა ექსპონენციალურმა და ვეიბულის განაწილების კანონებმა [105-107] ფართო გამოყენება პოვის..

ნორმალური განაწილება. განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$f(x) = -\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-T_{cp})^2}{2\sigma^2}} \quad (13)$$

სადაც:  $T_{cp}$  – შემთხვევითი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობაა; ხოლო  $\sigma$  – შემთხვევითი სიდიდის საშუალო კვადრატული გადახრაა.

მექანიზმების, მოწყობილობათა და მართვის ელემენტების დროის მიახლოებითი გამოსახვისთვის, რიგ შემთხვევაში, იყენებენ ექსპონენციალურ განაწილებას (ნახ. 7, ა) რომელიც გამოითვლება ინტენსივობის ერთი  $\lambda$  პარამეტრით.



ნახ. 7. ექსპონენციალური განაწილების ფუნქციები

$\lambda$  პარამეტრი არის ცდომილების ინტენსივობა. დროის ერთეულში წარმოქმნილ ცდომილობათა საშუალო რიცხვს ცდომილობის ინტენსივობა ეწოდება. ცდომილობის მუდმივი ინტენსივობის დროს, მათ წარმოქმნას აქვს ექსპონენციალური განაწილება და შებრუნებითი მტყუნებების წარმოქმნა დროის ექსპონენციალური განაწილების დროს. მათი ინტენსივობა მუდმივი უეცარი მტყუნების მუდმივი ინტენსივობა, ნორმალური ექსპლუატაციის პერიოდში, უცვლელი გარე პირობის დროს, წარმოადგენს მრავალი შემთხვევითი ფაქტორის ზემოქმედების შედეგს, როცა ობიექტის ცვეთის და დამველების მოვლენა იმდენად მცირედაა გამოსახული, რომ შეგვიძლია უგულვებევლყოთ.

ინტეგრალური ფუნქციის დამატება,  $T$  გამოისახება შემდეგნაირად:

$$P(t) = \exp(-\lambda t) = \exp(-t/T_{cp}) \quad (14)$$

სადაც:  $t$  – დროის ინტერვალია, რომლისათვისაც გამოითვლება საიმედოობის მაჩვენებელი,  $\lambda = 1/T_{cp}$  – განაწილების პარამეტრში მუდმივი დადებითი სიდიდეა, ხოლო  $T_{cp} = T$  შემთხვევითი მნიშვნელობის საშუალო მნიშვნელობაა.



ინტეგრალური ფუნქცია ექსპონენციალური განაწილების (14) ფორმულიდან უდრის (ნახ. 7, ა):

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) = 1 - \exp(-t/T_{cp}) \quad (15)$$

(22) ფორმულის თანახმად, ექსპონენციალური განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია ტოლია (ნახ. 5, გ):

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) = \frac{1}{T_{cp}} \exp\left(-\frac{t}{T_{cp}}\right) \quad (16)$$

ცდომილობის ინტენსივობა (23) ასე გამოისახება:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \lambda = \frac{1}{T_{cp}}$$

ექსპონენციალური განაწილების დროს ცდომილობის ინტენსივობა არის მუდმივი სიდიდე და ჰემმარიტა ექსპონენციალური განაწილების დროს.

შემთხვევითი სიდიდის (მათემატიკური ლოდინი) საშუალო მნიშვნელობა ექსპონენციალური კანონის დროს, გამოითვლება ფორმულით:

$$T_{cp} = \langle T \rangle = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} t \lambda \exp(-\lambda t) dt = \frac{1}{\lambda}$$

უეცარი და თანდათანობითი მტყუნების დროს, ნაწარმის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა  $t$  პერიოდში. თუ მან იმუშავა  $T$  დროის განმავლობაში, ალბათობების გადამრავლების თეორემის თანახმად, ტოლია:

$$P(t) = P_g(t)P_n(t)$$

სადაც  $P_g(t) = e^{-\lambda t}$  და  $P_n(t) = P_n(T+t)/P_n(T)$  – უეცარი და თანდათანობითი მტყუნების არსებობის ალბათობებია.

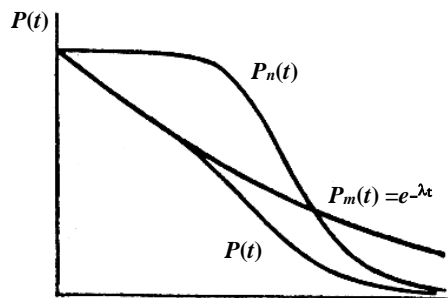
მიმდევრობითი ელემენტების შეერთებებაზე აგებული სისტემისთვის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა  $t$  პერიოდში ტოლია:

$$P_{cm}(t) = e^{-t \sum \lambda_i} \prod \frac{P_{ni}(T+t)}{P_{ni}(t)} \quad (17)$$

სადაც,  $\Sigma$  და  $\Pi$  – აღნიშნავენ ჯამს და გამრავლებას.

ახალი ნაწარმისთვის  $T = 0$  და  $P_{ni}(T) = 1$

ნახ. 8 ნაჩვენებია უეცარი მტყუნების, თანდათანობითი მტყუნებისა და უმტყუნო მუშაობის ალბათობის მრუდები, უეცარი და თანდათანობითი მტყუნების ერთდროული მოქმედებისას.



ნახ. 8. უეცარი და თანდათანობითი მტყუნებების ერთდროული მოქმედება, სადაც  $P(t)$  – უეცარი მტყუნებების მრუდია

თავიდან, როცა თანდათანობითი მტყუნების ინტენსივობა დაბალია, მრუდი შეესაბამება –  $P_e(t)$  მრუდს, შემდეგ მკვეთრად იცვლება.

თანდათანობითი მტყუნების პერიოდში მათი ინტენსივობა, როგორც წესი, ბევრად მაღალია, ვიდრე უეცარი მტყუნების დროს.

აღდგენილი ობიექტის ექსპლუატაციის პერიოდში, ობიექტის მზადყოფნა საიმედოობის კომპლექსური მაჩვენებელია, რადგან ახასიათებს ორ ძირითად თვისებას: უმტყუნობის და აღდგენადობის თვისებას. ობიექტის სამედოობა, ფასდება სრული მუშაუნარიანობის აღდგენით. საიმედოობის მაჩვენებელს წარმოადგენს ობიექტის მზადყოფნის კოეფიციენტი, როცა ობიექტის მუშაუნარიანი მდგომარეობის ალბათობა, აღდგენადობის დროის გათვალისწინებით [107] არ ხდება დროის ნებისმიერ მომენტში.

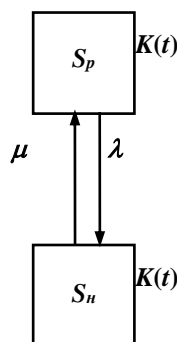
ობიექტის ექსპლუატაციის მოდელი მოცემული ფუნქციების შესრულებისთვის გამოიყენება, აღდგენადობის სასრული დროით. დროის ნებისმიერ მომენტში, ითვალისწინებს მუშაობის და მუშაუნარიანობის აღდგენის მომენტებს.

ობიექტის მუშაუნარიანობის აღდგენის დრო ექსპონენციალური განაწილებისას დამოკიდებულია მუდმივი  $\mu$  ინტენსივობით. ამ ობიექტის მუშაუნარიანი მდგომარეობა აღდგება ძველ დონემდე, მტყუნების შემდეგ.

აღდგენადი ობიექტის ექსპლუატაციის პროცესის დროს ობიექტი ნახტომისებრ გადადის მუშა მდგომარეობიდან არამუშა მდგომარეობაში, მტყუნების შემდეგ კი ობიექტი ნახტომისებრ გადადის არამუშა მდგომარეობიდან – მუშა მდგომარეობაში, და ა.შ. ეს პროცესი, შეიძლება გრძელდებოდეს ხანგრძლივად, მანამ სანამ ობიექტის მოდელში მას გააჩნია მხოლოდ ორი შესაძლო მდგომარეობა: მუშაუნარიანი და არამუშაუნარიანი, მაგრამ ზოგადი სახით, შესაძლოა სხვა მდგომარეობებიც იყოს.

აღდგენადი ობიექტის ექსპლუატაციის პროცესი, შეიძლება განხილული იყოს, როგორც შემთხვევითი, როდესაც ობიექტის გადასვლას – ერთი მდგომარეობიდან – მეორეში განვიხილავთ, როგორც განხორციელებადს. მტყუნების და მუშაუნარიანობის აღდგენადობის ზემოქმედებათა მეშვეობით – [107].

ობიექტის (სისტემის), მდგომარეობების მონიშნული გრაფიკი ნაჩვენებია ნახ. 9, სადაც  $S_p$  – ობიექტის მუშაუნარიანი მდგომარეობაა, ხოლო  $S_n$  – ობიექტის არამუშაუნარიანი მდგომარეობა.



ნახ. 9. ობიექტის მდგომარეობათა გრაფიკი

მუშაობის დროს, ექსპონენციალური განაწილება, მტყუნებების და აღდგენადობის დროებს შორის, საშუალებას გვაძლევს ობიექტის მუშაუნარიანი და არამუშაუნარიანი მდგომარეობა მარკოვის შემთხვევითი პროცესების მათემატიკური აპარატის გამოყენებით განისაზღვროს.

ობიექტის მუშაუნარობის აღდგენადობის დროის ექსპონენციალური კანონი და მუშაობის დროის ექსპონენციალური განაწილება, ნორმალურ ექსპლუატაციის პერიოდში ძირითადი პირობებია, რომელთა გარდა შემთხვევითი პროცესები, ექსპლუატაციის სისტემაში მარკოვის არ იქნება.

მარკოვის პროცესი, ფიზიკურ სისტემაში – დისკრეტული მდგომარეობა უწყვეტი დროით, შეიძლება გამოისახოს ჩვეულებრივი დიფერენციალური განტოლებით, რომელშიც მდგომარეობათა ალბათობები უცნობ ფუნქციებს წარმოადგენს.

სისტემის მდგომარეობათა ალბათობები. ისინი წარმოადგენენ სისტემის მოქმედების მნიშვნელოვან მახასიათებელს.  $S$  ფიზიკური სისტემა მდგომარეობების თვლითი სიმძლავრით –  $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_j, \dots, s_n$ ,  $t$  დროს ნებისმიერ მომენტში, შეიძლება ამ მდგომარეობათა შორის ალბათობიდან იყოს ერთ-ერთში:

$$P_1(t), P_2(t), \dots, P_i(t), \dots, P_j(t), \dots, P_n(t) \quad (18)$$

მათ ეწოდება სისტემის მდგომარეობების ალბათობები. აქ –  $P_i(t)$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) – სისტემა  $S$  – ის მდგომარეობის ალბათობაა  $s_i$  დროს  $t$  მომენტში, ე.ი.  $P_i(t) = P\{S(t) = s_i\}$ .

სისტემის მდგომარეობების ალბათობების ჯამი, დროის ნებისმიერი მომენტისთვის ტოლის ერთს:

$$P_1(t) + P_2(t) + \dots + P_i(t) + \dots + P_j(t) + \dots + P_n(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) = 1. \quad (19)$$

მდგომარეობების ალბათობათა ერთობლიობა (18), პროცესის ამომწურავ მახასიათებელს არ წარმოადგენს.

სისტემაში მოქმედ შემთხვევით პროცესზე, მთლიან წარმოდგენას იძლევა სისტემის მდგომარეობების ალბათობა, დამოკიდებული დროზე,

რომლებიც შეიძლება იყოს მიღებული წრფივი დიფერენციალური განტოლებების სისტემათა ამონახსნებიდან.

სისტემის მდგომარეობების ალბათობათა დიფერენციალური განტოლებები (კოლმოგოროვის განტოლებები [90]), ზოგადი მიდგომით არის:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n \lambda_{ji}(t)P_j(t) - P_i(t) \sum_{i=1}^n \lambda_{ij}(t)$$

$$(i = 1, 2, \dots) \quad (j = 1, 2, \dots) \quad (20)$$

ნაკადების  $\lambda_{ij}(t)$  – ინტენსივობები შეიძლება იყოს დროზე დამოკიდებული, ან არადამოკიდებულნი.

მოსახერხებელია, დიფერენციალურ განტოლებათა შედგენა, მდგომარეობების მონიშნული გრაფიკის მიხედვით და შემდეგი მნემომიური ხერხით: ყველა მდგომარეობათა, ალბათობის წარმოებული ტოლია ალბათობათა ყველა ნაკადის ჯამისა, რომელიც მოდის მოცემული სხვა მდგომარეობიდან მინუს მოცემული მდგომარეობიდან, სხვა მდგომარეობაში წასული ალბათობის ნაკადის ჯამი.

## 2.4. ავტომატიზებული ჩარხების და საჩარხო სისტემების საწარმოო პროცესების თვითღირებულების მოდელირება და პარამეტრული ოპტიმიზაცია

### 2.4.1. საწარმოო პროცესების თვითღირებულების მოდელირება მრავალსაიარაღო ჩარხებზე და საჩარხო კომპლექსებზე

დასამუშავებელი ნაწარმის თვითღირებულების გაანგარიშებისას გავითვალისწინებთ როგორც ტექნოლოგიური ოპერაციის შესრულების ღირებულებას, აგრეთვე ამორტიზაციულ დანახარჯებს ძირითადი მოწყობილობებიდან.

იარაღზე გაწეული დანახარჯების გათვლისას ვხელმძღვანელობთ შემდეგი მიდგომით [109-112]. თუ დავუშვებთ, რომ მჭრელი იარაღის მუშაობის დროს, როდესაც უკანასკნელი გადაიღესება  $i_u$ -ჯერ და ამის შემდეგ  $(i_u + 1)$  გაჩერებაზე იცვლება ახლით, მაშინ დანახარჯები იარაღზე შეგვიძლია გამოვსახოთ დამოკიდებულებით:

$$g = \frac{i_u v + \mu}{i_u + 1}, \quad (21)$$

სადაც:  $v$  – გადაღესვის ღირებულება,

$\mu$  – იარაღის ღირებულება.

ასეთ შემთხვევაში ტექნოლოგიური ოპერაციის დრო იარაღის მუშაობის  $T$  დროის მონაკვეთში მექანიზმებზე და მოწყობილობებზე გაწეული დანახარჯების გათვალისწინების გარეშე შეგვიძლია გამოვსახოთ დამოკიდებულებით:

$$g_r = \frac{i_u v}{i_u + 1} + g_u + \frac{\mu}{i_u - 1} + g_s, \quad (22)$$

სადაც:  $g_u$  – გაცვეთილი იარაღის შეცვლის ღირებულება;  $g_s$  – ხელფასის ოდენობა გამო გამოშვებულ დეტალებზე.

თავის მხრივ:

$$g_u = (1 + \eta) P a_u,$$

$$v = (1 + \eta)Pt_{nu};$$

$$g_g = (1 + \eta)P \frac{t_s}{N_t};$$

$$t_s = t_{on}\chi;$$

$$K_s = \frac{t_0}{T};$$

$t_s$  – დამუშავების ცალობითი დრო;

$$\chi = (1 + 0,01K_{ot});$$

$t_{on}$  – ოპერატიული დრო;

$$t_{on} = t_0 + \tau,$$

$t_0$  და  $\tau$  – შესაბამისად ძირითადი ტექნოლოგიური და დამხმარე დრო;

$a_u$  – დრო იარაღის შეცვლაზე;  $t_{nu}$  – დრო იარაღის გადალესვაზე;  $p$  მუშის ხელფასი ერთი წუთის მუშაობის განმავლობაში.

დამოკიდებულების (21) გამოყენებით შეგვიძლია გადავიდეთ ერთ დეტალზე მოსული ტექნოლოგიური ოპერაციის (მექანიზმებისა და მოწყობილობების მომსახურების გარეშე) ღირებულებაზე

$$q_t = \frac{g_t}{N_t}, \quad (23)$$

სადაც:  $N_t$  – იარაღის რიცხვი, დამუშავებული დეტალების მედეგობის დროს. უკანასკნელთან დაკავშირებით გვექნება:

$$q_t = \frac{g_t R}{TV_p}, \quad (24)$$

სადაც:  $R$  და  $V_p$  – შესაბამისად იარაღის დასამუშავებელ ზედაპირთან კონტაქტის წერტილის გზის სიგრძე და ჭრის სიჩქარე განსახილველ ოპერაციაზე.

მრავალსაიარაღო დამუშავების დროს გვექნება:

$$q_t = \sum_{i=1}^n q_{tu} = \sum_{i=1}^n g_1 B_i V^{m_i - 1} + \sum_{i=1}^n g_{ui} \frac{R_i}{TV_i} + g_g \frac{R}{TV} + (1 + \eta)pt_s, \quad (25)$$

სადაც:

$$B_i = \frac{k_i R_i A_i^{\frac{1}{m_i}}}{T_{io} V_{10}^{\frac{1}{m_i}}},$$

$i$  – მჭრელი იარაღის რიგითი ნომერი;  $k_i$  – პროპორციულობის კოეფიციენტი  $-i$ -ური ოპერაციის სამანქანო დროის შეფარდება რომელიმე განმსაზღვრელი ოპერაციის დროსთან [109-110];  $V$  – ჭრის სიჩქარე განმსაზღვრელ ოპერაციებზე;  $A_i$  – პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$A_i = \frac{V_i}{V};$$

$T_{io}$  და  $V_0$  – ცხრილებიდან აღებული მნიშვნელობები.

ნაშრომის [6, 9] თანახმად ერთ დეტალზე მოსული ამორტიზაციული დანახარჯები განისაზღვრებიან ფორმულით

$$q_c = \frac{Q(R + \tau V)}{k_g MV}, \quad (26)$$

სადაც:  $M$  – ჩარხის (კომპლექსის) ამოგების ვადა წუთებში;

$k_g$  – საკვლევი ტექნოლოგიური სისტემის მზადყოფნის კოეფიციენტი [10].

შემდგომში დამუშავების თვითღირებულების მთლიანი სურათისათვის საჭიროა გავითვალისწინოთ დანახარჯები სხვადასხვა მექანიზმების რეგულირებაზე, გამართვაზე და მიმდინარე რემონტზე [6, 9, 113, 114].

ნაშრომის [110] თანახმად დროის დანახარჯები მექანიზმების მომსახურებაზე გამოითვლებიან  $t_{\omega j}$  და  $t_{\varphi \gamma}$ , სადაც:  $j$  და  $\gamma$  – მექანიზმების აღნიშვნები, შესაბამისად მხოლოდ დამხმარე ( $j$ ) და დამხმარე და ძირითად ტექნოლოგიურ ( $\gamma$ ) დროების ფარგლებში:

$t_{\omega j}$  – დროის მონაკვეთები დამხმარე დროის ფარგლებში;

$t_{\varphi \gamma}$  – დროის მონაკვეთები როგორც დამხმარე, ასევე ძირითადი დროის მონაკვეთებში:

$$t_{\varphi \gamma} = \tau_{*1\gamma} + \tau_{*2\gamma};$$



$\tau_{*1\gamma}$  და  $\tau_{*2\gamma}$  – შესაბამისად დროის მონაკვეთები  $\tau_\gamma$  და  $j_{o\gamma}$  -ის ფარგლებში:

$$\tau_{*2\gamma} = \frac{R_\gamma}{A_\gamma V} = \frac{K_{\tau^*\gamma}}{V}.$$

ამკარაა, რომ  $T_{obj}$  და  $T_{o\gamma}$  დროთა ფარგლებში დამუშავებული იქნება

$$\frac{T_{o\gamma j}}{t_{\pi j}} \text{ и } \frac{T_{o\gamma \gamma}}{t_{\pi \gamma}}$$

რაოდენობის დეტალები, საიდანაც ერთ დეტალზე მექანიზმებისა და მოწყობილობების მომსახურებაზე მოსული დანახარჯების გამოსახულება ჩაიწერება ასე:

$$q_{o\gamma j} = p_1 a_{o\gamma j} \frac{t_{\pi j}}{T_{o\gamma j}} \quad (27)$$

და

$$q_{o\gamma \gamma} = p_q a_{o\gamma \gamma} \frac{t_{\pi \gamma}}{T_{o\gamma \gamma}}, \quad (28)$$

სადაც:  $p_1$  – მუშის ხელფასის მუშაობის ერთი წუთის განმავლობაში;  $a_{o\gamma j}$  და  $a_{o\gamma \gamma}$  – მექანიზმების გამართვისათვის საჭირო საშუალო დრო;  $T_{o\gamma j}$  და  $T_{o\gamma \gamma}$  – უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დრო.

საბოლოოდ დამუშავების თვითღირებულება გამოისახება დამოკიდებულებით

$$E = \sum_{i=1} q_{ti} + \frac{Q}{M\Pi_n} + \sum_{j=1} p_1 a_{o\gamma j} \frac{t_{\pi j}}{T_{obj}} + \sum_{\gamma} p_1 a_{o\gamma \gamma} \frac{t_{\pi \gamma}}{T_{o\gamma \gamma}}, \quad (29)$$

სადაც:  $\Pi_n$  – ციკლური მწარმოებლურობა.

გაშლილი სახით გვექნება:

$$E = \sum_{i=1} g_{1ti} B_i V^{\frac{1}{m_i}-1} + \sum_{i=1} g_{ui} \frac{R_i}{T_i A_i V} + (1+\eta) p \chi \left( \frac{R}{V} + \tau \right) + \frac{Q}{MN_n} + \sum_{j=1} p_1 a_{o\gamma j} + \frac{t_{\pi j}}{T_{o\gamma j}} + \sum_{\gamma} \frac{p_1 \tau_{*1\gamma} a_{i\gamma}}{T_{o\gamma \gamma}} + \sum_{\gamma} \frac{p_1 a_{o\gamma \gamma} K_{\tau^*\gamma}}{T_{o\gamma \gamma} V}, \quad (30)$$

სადაც:

$$N_n = \frac{V}{R + \tau V + \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}} + V \sum_q \frac{t_{\pi q} \cdot a_{o\gamma j}}{T_{o\gamma j}} + V \sum_j \frac{\tau_{*1\gamma} a_{o\gamma \gamma}}{T_{o\gamma j}} + V \sum_{\gamma} \frac{K_{\tau^*\gamma} a_{o\gamma \gamma}}{T_{o\gamma \gamma} V}}, \quad (31)$$

$$D_i = \frac{a_i k_i R}{T_{io}} \left( \frac{A_i}{V_{io}} \right)^{\frac{1}{m_i}}.$$

ამის შემდეგი ამოცანაა  $V$  სიჩქარის მნიშვნელობის გამოთვლა, შესაძლებელია ფორმულით:

$$\frac{\partial E}{\partial V} = 0 \quad (32)$$

შედგებიდან.

ზოგადად, ავტომატური მოწყობილობების (ჩარხი – ავტომატების და ავტომატური ხაზის) მწარმოებლობა შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი დამოკიდებულებით [101, 115-116]

$$Q_n = \frac{1}{T_u + \sum_i^m t_{ui} + \sum_j^n t_{0Bj}}, \frac{\text{დქტ.}}{\text{წთ}} \quad (33)$$

სადაც  $T_u$  – მუშა ციკლის ხანგრძლივობაა;  $\sum t_u + \sum t_{0\sigma}$  – გაცდენები მიზეზით  $\sum t_u$  – მჭრელი იარაღების გაწყობაზე შეცვლაზე და რეგულირებაზე;  $\sum t_{0B}$  – კი დანაკარგები მექანიზმების და მოწყობილობათა გაწყობაზე, რეგულირებაზე და რემონტზე, განხორციელებული ციკლის ხანგრძლივობის პერიოდში.

ეს პოტენციური მწარმოებლობა, გამოსახება განხილვადი ტექნოლოგიური სისტემების მზადყოფნისთვის  $K_g$  კოეფიციენტის საშუალებით:

$$Q_n = K_g \Pi_y \quad (34)$$

სადაც  $Q_c$  – არის ციკლური მწარმოებლობა,  $Q_c = \frac{1}{T_c}$ , და

$$K_r = \frac{1}{1 + \frac{1}{T_y} + \sum_i^n t_u + \frac{1}{T_y} \sum_q^m t_{0B}}. \quad (35)$$

$K_g$  კოეფიციენტის გაანგარიშებისთვის საჭიროა დავადგინოთ განსახილველი ტექნოლოგიური სისტემათა ფუნქციონალური ელემენტთა მუშაობის ალბათობითი კანონზომიერებები.

თუ ჩვენ განვიხილავთ  $m$  მუშა კვანძისგან (მექანიზმებისგან და მოწყობილობებისგან) და  $n$  ინსტრუმენტებით შემდგარი ბლოკირებული, საჩარხო სისტემის მუშაობას, ამიტომ სისტემის ყველა ელემენტი, საიმედოობის თვალსაზრისით, შეერთებულია მიმდევრობით და ნებისმიერი ელემენტის მტყუნება გამოიწვევს მთელი სისტემის მტყუნებას. ასეთ შემთხვევაში, სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა, მისი ელემენტის უმტყუნო მუშაობის ალბათობების ნამრავლით განისაზღვრება [117, 118–120]:

$$P_{\Pi}(t) = \prod P_{\text{III}}(t) P_{\text{no}}(t) \quad (36)$$

სადაც  $P_{\Pi}(t)$  – მთლიანი სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობაა  $P_{\text{III}}(t)$  და  $P_{\text{no}}(t)$  – შესაბამისად, მჭრელი იარაღების და მოწყობილობათა უმტყუნო მუშაობის ალბათობაა.

შესაბამისად

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{III}}(t) &= \prod_i^n P_{ni}(t), \\ P_{\text{no}}(t) &= \prod_i^m P_{noj}(t). \end{aligned} \right\} \quad (47)$$

იარაღის უმტყუნო მუშაობის, დროის განაწილების დიფერენციალური ფუნქციები, ხშირად კარგად აღიწერება განაწილების ნორმალური კანონით, მაგრამ ზოგიერთ შემთხვევებში მიზანშეწონილია ვეიბულის ან ლოგარითმული ნორმალური [6]–ის, გამოყენება. თავის მხრივ, მოწყობილობების უმტყუნო მუშაობის ალბათობები –  $P_{ob}(t)$ , როგორც მექანიზმებისა და მოწყობილობათა –  $F_{BO}(t)$ , აგრეთვე იარაღების –  $F_{Bu}$  აღდგენადობის ალბათობები აპროქსიმირდებიან ექსოდენციალური კანონზომიერებით [115]:

$$P_{ob}(t) = e^{-\lambda_{ob}t}, \quad F_{BO}(t) = e^{\mu_{ob}t},$$

$$F_{Bu}(t) = e^{-\mu_u t},$$

სადაც  $\lambda_{OB}$  – მოწყობილობათა მტყუნების ნაკადებია;

შესაბამისად,  $\mu_{OB}$  და  $\mu_u$  – მოწყობილობათა და იარაღების აღდგენადობის ნაკადებია;

$$\lambda_{os} = \frac{1}{T_0}; \quad \mu_u = \frac{1}{T_{uB}}; \quad \mu_{os} = \frac{1}{T_{osB}}$$

$T_0$  – მოწყობილობის უმტყუნო მუშაობის საშუალო დროა; ხოლო  $T_{uB}$  და  $T_{osB}$  – იარაღის და მოწყობილობის აღდგენადობების საშუალო დროა.

თუ შერჩეულია განაწილების ნორმალური კანონი, მაშინ:

$$P_{nu}(t) = 1 - \int_0^{k_i t} f_i(x) dx, \quad (38)$$

სადაც,  $f_i(x)$  – შემთხვევითი სიდიდის განაწილების დიფერენციალური ფუნქციაა;  $k_i$  – პროპორციულობების კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება ცალკეული ოპერაციის სამანქანო დროის შეფარდებით, განმსაზღვრელი ოპერაციის სამანქანო დროსთან [117], რომელიც თავის მხრივ, წარმოადგენს  $i$ -ური ოპერაციის სიჩქარეთა ფუნქციას.

რაც შეეხება, მექანიზმების და მოწყობილობათა მუშაობას, მათი მუშაობის დრო, დამუშავების ციკლის ფარგლებში, განისაზღვრება:

1) დროის მონაკვეთით –  $t_w$  განსაზღვრული ოპერაციის, დამხმარე  $\tau$  დროის ფარგლებში

2) დროის მონაკვეთი –  $t_p = \tau_{*1} + \tau_{*2}$

აქ,  $\tau_{*1}$  და  $\tau_{*2}$  შესაბამისად, დამხმარე  $\tau$  და სამანქანო  $T_{მანქ}$  დროის ფარგლებში, მექანიზმების მიერ მუშაობის დროის მონაკვეთებია. ნაშრომი [117] – ის თანახმად

$$\tau_{*2} = \frac{R_i}{V_i}$$

სადაც,  $R_i$  და  $V_i$  – შესაბამისად, იარაღის დამამუშავებელ დეტალებთან კონტაქტის წერტილების გზის სიგრძეა,  $i$ -ური იარაღის ჭრის სიჩქარეა. თავის მხრივ, თუ გავითვალისწინებთ,  $V_i$ -სა და  $V$  -ის თანაკავშირს

$$V_i = A_i V,$$

სადაც  $V$  – ჭრის სიჩქარეა განმსაზღვრელ ოპერაციაზე ჩაიწერება ფორმულა:

$$\tau_{*2} = \frac{R_i}{A_i V} = \frac{K_{\tau^*}}{V}. \quad (39)$$

აქედან გამომდინარეობს:

$$P_{no\delta}(t) = \prod_q P_{no1q}(t) \prod_\gamma P_{no2\gamma}(t), \quad (40)$$

სადაც

$$P_{no1q} = e^{-k_{oq}\lambda_q t};$$

$$P_{no2q} = e^{-k_{o\gamma}\lambda_\gamma t};$$

$$k_{oq} = \frac{t_{\tau pq}}{T_{\ddot{u}}},$$

$$k_{o\gamma} = \frac{\tau_{*1\gamma} + \tau_{*2\gamma}}{T_{\ddot{u}}} = \frac{\tau_{*1\gamma} + k_{\tau^*\gamma} \frac{1}{V}}{T_{\ddot{u}}},$$

$T_{\ddot{u}}$  – განსახილველი ტექნოლოგიურ სისტემათა მუშაობის დროის ხანგრძლივობაა.

ზემოთ აღნიშნულის თანახმად

$$\sum_i t_u = \sum_i \frac{a_i T_c}{T_{pi}}, \quad (41)$$

$$\begin{aligned} \sum_j t_{os} &= \sum_q t_{osq} + \sum_\gamma t_{os\gamma} = \sum_q \frac{t_{\omega q} a_{osq}}{T_{osq}} + \sum_\gamma \left( \frac{\tau_{*1\gamma} + K_{\tau^*\gamma} \frac{1}{V}}{T_{os\gamma}} \right) a_{os\gamma} = \\ &= \sum_q \frac{t_{\omega q} a_{osq}}{T_{osq}} + \sum_\gamma \frac{\tau_{*1\gamma} a_{os\gamma}}{T_{os\gamma}} + \sum_q \frac{a_{os\gamma} K_{\tau^*\gamma}}{T_{os\gamma} V}, \end{aligned} \quad (42)$$

სადაც  $T_{pi}$  –  $i$ -ური იარაღის უმტყუნო მუშაობის დროა;  $a_i$  – აღდგენის საშუალო დროა;  $T_{osq}$  და  $T_{os\gamma}$  – უმტყუნო მუშაობის საშუალო დროებია, ხოლო –  $a_{osq}$  და  $a_{os\gamma}$  – აღდგენის საშუალო დროა.

მაშინ, როდესაც საქმე გვაქვს ავტომატურ ხაზებთან [101, 116, 120] მწარმოებლურობის ოპტიმიზაციის ამოცანა, შეიძლება გაწყობილი იქნას ამოხსნილი  $V_j$  ( $j$  – ჭრის სიჩქარეების გაწყობის მექანიზმების რაოდენობა) სიჩქარეების მნიშვნელობის ვარიაციის საფუძველზე.

თუ განვიხილავთ ავტომატურ ხაზს, სადაც ყველა ელემენტარული ოპერაცია ხორციელდება ცალკეულ ჩარხზე, ამ შემთხვევაში გვექნება  $j=i$  და მწარმოებლობა გამოისახება დამოკიდებულებით, სადაც  $i$ -ს მაგივრად გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები  $j$ .

ამ შემთხვევაში, შეიძლება ვიხელმძღვანელოთ მწარმოებლობის ზემოთ მიღებული გამოსახულებით, რომელშიც ვარირებადად წარმოდგენილი იქნება პარამეტრები  $V$  და  $k_j$ , რომლის მეშვეობითაც  $V_j$  პარამეტრზე გადასვლა ხორციელდება შემდეგი ფორმულით

$$V_j = A_j V = A_* \frac{1}{k_j} V. \quad (43)$$

სინთეზის შემდგომი პროცედურის ჩატარებისათვის ვწერთ საწყის ტოლობებს

$$\frac{\partial \ln Q_n}{\partial V} = 0; \quad (44)$$

$$\frac{\partial \ln Q_n}{\partial k_1} = 0; \quad (45)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\frac{\partial \ln Q_n}{\partial k_{n_1}} = 0, \quad (46)$$

სადაც  $1, \dots, n_1$  – არის  $j$ -ს მნიშვნელობების არე.

შემდგომი პროცედურის ჩატარებისთვის საჭიროა  $Q_n$  გამოვსახოთ ფუნქციონალური ფორმულით [101]:

$$Q_n = f(V, k_j).$$

ამიტომ ვწერთ

$$D_j = \frac{a_j k_j R}{T_{j0}} \left( \frac{A_* \frac{1}{k_j}}{V_{j0}} \right)^{\frac{1}{m_j}} = \frac{a_j R}{T_{j0}} \left( \frac{A_*}{V_{j0}} \right)^{\frac{1}{m_j}} k_j^{1 - \frac{1}{m_j}} = B_{j*} k_j^{-n_j}, \quad (47)$$

სადაც

$$A_* = \frac{d_j L_j s}{d L s_j}; \quad (48)$$

$$n_j = \frac{1}{m_j} - 1, \quad (49)$$

$$B_{j*} = \frac{a_j R}{T_{j0}} \left( \frac{A_*}{V_{j0}} \right)^{\frac{1}{m_j}}. \quad (50)$$

ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით

$$Q_n = \frac{V}{R + rV + \sum_j B_{*j} k_j^{-n_j} v^{\frac{1}{m_j}} + v \sum_q \frac{t_{xq} a_{OBq}^*}{T_{obq}^*} + V \sum_j \frac{\tau_{*1j} a_{OBj}}{T_{OBj}} + V \sum_j \frac{a_{OBj}}{T_{OBj}} \cdot K_{\tau^*}}. \quad (51)$$

გაშლილი სახით

$$K_{\tau^*} = \frac{R_j k_j}{A_{*j}}$$

აქედან გამომდინარე, შეგვიძლია დავწეროთ

$$\sum_{\gamma} \frac{a_{OBj} R_{\gamma}}{T_{IBj} A_{*}} k_j = \sum_{\gamma} E_j K_j,$$

სადაც  $E_j = \frac{a_{OBj} R_{\gamma}}{T_{IBj} A_{*}}.$

გამოსახულება (51)-ის ლოგარითმით ვიღებთ

$$\ln Q_n = \ln V - \ln \left[ R + \tau V + \sum_j B_j k_j^{-n_j} V^{\frac{1}{m_j}} + V \sum_q \frac{t_{xq} a_{OBq}}{T_{OBq}} + \right. \\ \left. + V \sum_k \frac{\tau_{*1} a_{OBj}}{T_{OBj}} + \sum_j E_j k_j \right]. \quad (52)$$

ამის შემდეგ შეგვიძლია მივიღოთ, რომ ხაზი შედგება  $V_{\gamma}$  ჩარხისგან.

გვეყენება:

$\gamma = I$  –ის ფარგლებში – ოპერაციები  $j = 1$  და  $2$ -ს;

$\gamma = II$ -ის ფარგლებში – ოპერაციები  $j = 3$  და  $4$ ;

$\gamma = III$ -ის ფარგლებში – ოპერაცია  $j = 5$ ;

$\gamma = IV$ -ის ფარგლებში – ოპერაციები  $j = 6$  და  $7$ ;

$\gamma = V$ -ის ფარგლებში – ოპერაცია  $j = 8$ ,

და ვარიაციის დააქვემდებარებიან პარამეტრები  $V_j$ .

ყოველი ჩარხისათვის ვირჩევთ  $j$ , განმსაზღვრელ ოპერაციას:

$\gamma = I$ -ისათვის განმსაზღვრელი იქნება  $j = 1$ ;

$\gamma = II$ -ისათვის განმსაზღვრელი იქნება  $j = 3$ ;

$\gamma = III$ -ისათვის განმსაზღვრელი იქნება  $j = 5$ ;

$\gamma = \text{IV}$ -ისათვის განმსაზღვრელი იქნება  $j=7$ ;

$\gamma = \text{V}$ -ისათვის განმსაზღვრელი იქნება  $j=8$ .

ყოველი  $j$ -ს შიგნით ვსაზღვრავთ შიგა  $k_{ji}$ -ებს.

ჩვენს შემთხვევაში გვექნება:

$$\gamma = \text{I} \begin{cases} k_{I1} = 1, \\ k_{I2} = \frac{T_{m2}}{T_{m1}}; \end{cases}$$

$$\gamma = \text{II} \begin{cases} k_{II2} = 1, \\ k_{II4} = \frac{T_{m4}}{T_{m3}}; \end{cases}$$

$$\gamma = \text{III} - k_{III} = 1;$$

$$\gamma = \text{IV} \begin{cases} k_{IV7} = 1, \\ k_{IV6} = \frac{T_{m6}}{T_{m7}}; \end{cases}$$

$$\gamma = \text{V} - k_{V8} = 1.$$

გამომდინარე ბოლო დამოკიდებულებებიდან შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$Q_n = \frac{T_c}{T_c + F_{ul} + F_{ull} + F_{ulll} + F_{ulV} + F_{uV} + F_{o6}}, \quad (53)$$

სადაც

$$F_{ul} = \frac{T_{m1}}{T_1} a_1 + \frac{k_{I2} T_{m1}}{T_2} a_2;$$

$$F_{ull} = \frac{T_{m3}}{T_3} a_3 + \frac{k_{II4} T_{m3}}{T_4} a_4;$$

$$F_{ulll} = \frac{T_{m5}}{T_5} a_5;$$

$$F_{ulV} = \frac{T_{m7}}{T_7} a_7 + \frac{k_{IV6} T_{m6}}{T_6} a_6;$$

$$F_{uV} = \frac{T_{m8}}{T_8} a_8;$$

$F_{o6}$  – მექანიზმებისა და მოწყობილობების საიმედოობებით განსაზღვრული წევრები.



შემდგომ გადავდივართ  $V_j$  განსაზღვრაზე პირობებიდან:

$$\frac{R_1}{V_I} + \tau_1 = \frac{R_3}{V_{II}} + \tau_3; \quad (54)$$

$$\frac{R_5}{V_{III}} + \tau_5 = \frac{R_3}{V_{II}} + \tau_3; \quad (55)$$

$$\frac{R_7}{V_{IV}} + \tau_7 = \frac{R_3}{V_{II}} + \tau_3, \quad (56)$$

$$\frac{R_8}{V_V} + \tau_8 = \frac{R_3}{V_{II}} + \tau_3. \quad (57)$$

ჩაწერთა გამარტივებისთვის განმსაზღვრელი ოპერაციების  $V_{II}$  სიჩქარეს აღინიშნება სიმბოლოთი  $V$ .

გარდაქმნების შედეგად გვექნება – [101]:

$$V_I = \frac{R_1}{\frac{R}{V} + \Delta\tau_I}; \quad (58)$$

$$V_{II} = V_3 = V; \quad (59)$$

$$V_{III} = \frac{R_5}{\frac{R}{V} + \Delta\tau_{III}}; \quad (60)$$

$$V_{IV} = \frac{R_7}{\frac{R}{V} + \Delta\tau_{IV}}; \quad (61)$$

$$V_V = \frac{R_8}{\frac{R}{V} + \Delta\tau_V}, \quad (62)$$

სადაც

$$\Delta\tau_I = \tau - \tau_1; \quad \Delta\tau_{III} = \tau - \tau_3;$$

$$\Delta\tau_{IV} = \tau - \tau_7; \quad \Delta\tau_V = \tau - \tau_8.$$

მიღებული დამოკიდებულების გათვალისწინებით შეგვიძლია დავწეროთ:

$$T_1 = T_{10} \left( \frac{V_{10}}{V_I} \right)^{\frac{1}{m}},$$

$$T_3 = T_{30} \left( \frac{V_{30}}{V_{II}} \right)^{\frac{1}{m}},$$

$$T_5 = T_{50} \left( \frac{V_{50}}{V_{III}} \right)^{\frac{1}{m}},$$

$$T_7 = T_{70} \left( \frac{V_{70}}{V_{IV}} \right)^{\frac{1}{m}},$$

$$T_8 = T_{80} \left( \frac{V_{80}}{V_V} \right)^{\frac{1}{m}}.$$

ასევე:

$$T_2 = T_{20} \left( \frac{V_{20}}{V_2} \right)^{\frac{1}{m}} = T_{20} \left( \frac{V_{20}}{A_{21} V_I} \right)^{\frac{1}{m}},$$

$$T_4 = T_{40} \left( \frac{V_{40}}{V_4} \right)^{\frac{1}{m}} = T_{40} \left( \frac{V_{40}}{A_{24} V_{II}} \right)^{\frac{1}{m}},$$

$$T_6 = T_{60} \left( \frac{V_{60}}{V_6} \right)^{\frac{1}{m}} = T_{60} \left( \frac{V_{60}}{A_{76} V_{IV}} \right)^{\frac{1}{m}}.$$

დამოკიდებულებიდან (58-62) გამომდინარეობს  $Q_n$  გამოსახულების მნიშვნელის წევრები, რომელიც დაკავშირებულია იარაღების მუშაობასთან, ჩაიწერება ასე:

$$F_u = \left( \frac{\frac{R_1}{V_1} \cdot V_I^{\frac{1}{m}}}{T_{10} \cdot V_{10}^{\frac{1}{m}}} a_1 + \frac{k_{I2} \frac{R_1}{V_1} A_{21} V_I^{\frac{1}{m}}}{T_{20} \cdot V_{20}^{\frac{1}{m}}} a_2 \right) + \left( \frac{\frac{R_1}{V_1} \cdot V_I^{\frac{1}{m}}}{T_{10} \cdot V_{10}^{\frac{1}{m}}} a_1 + \frac{k_{I2} \frac{R_1}{V_1} A_{21} V_I^{\frac{1}{m}}}{T_{20} \cdot V_{20}^{\frac{1}{m}}} a_2 \right) +$$

$$+ \frac{\frac{R_5}{V_{III}} V_{III}^{\frac{1}{m}}}{T_{50} \cdot V_{50}^{\frac{1}{m}}} a_5 + \left( \frac{\frac{R_7}{V_{IV}} V_{IV}^{\frac{1}{m}}}{T_{70} V_{70}^{\frac{1}{m}}} a_7 + \frac{k_{IV6} \frac{R_7}{V_{IV}} A_{76} V_{IV}^{\frac{1}{m}}}{T_{60} \cdot V_{60}^{\frac{1}{m}}} a_6 \right) + \frac{\frac{R_8}{V_V} V_V^{\frac{1}{m}}}{T_{80} \cdot V_{80}^{\frac{1}{m}}} a_8. \quad (63)$$

ახ

$$F_u = \left( \frac{R_1}{T_{10} V_{10}^{\frac{1}{m}}} a_1 + \frac{k_{I2} R_1 A_{21}}{T_{20} V_{20}^{\frac{1}{m}}} a_2 \right) V_I^{\frac{1}{m}-1} + \left( \frac{R_1}{T_{10} V_{10}^{\frac{1}{m}}} a_1 + \frac{k_{I2} R_1 A_{21}}{T_{20} V_{20}^{\frac{1}{m}}} a_2 \right) V_I^{\frac{1}{m}-1} +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{R_5 a_5}{T_{50} V_{50}^{\frac{1}{m}}} V_{III}^{\frac{1}{m}} + \left( \frac{R_7}{T_{70} V_{70}^{\frac{1}{m}}} a_7 + \frac{k_{IV6} R_7 A_{76}}{T_{60} V_{60}^{\frac{1}{m}}} a_6 \right) V_{IV}^{\frac{1}{m}-1} + \frac{R_8 a_8}{T_{80} V_{80}^{\frac{1}{m}}} V_V^{\frac{1}{m}} = \\
& + B_I V_I^{\frac{1}{m}-1} + B_{II} V_{II}^{\frac{1}{m}-1} + B_{III} V_{III}^{\frac{1}{m}-1} + B_{IV} V_{IV}^{\frac{1}{m}-1} + B_V V_V^{\frac{1}{m}-1}. \quad (64)
\end{aligned}$$

ამის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\begin{aligned}
F_{os} &= \sum_q \frac{t_{\omega q} a_{os\gamma}}{T_{osq}} + \sum_\gamma \frac{\tau_{*1\gamma} a_{os\gamma}}{T_{os\gamma}} + \frac{a_{osI} R_1}{T_{osI} V_I} + \frac{a_{osII} R_3}{T_{osII} V_{II}} + \frac{a_{osIII} R_5}{T_{osIII} V_{III}} + \frac{a_{osIV} R_7}{T_{osIV} V_{IV}} + \\
& + \frac{a_{osV} R_8}{T_{osV} V_V} = F_{osq} + F_{os\gamma_0} + \frac{d_I}{V_I} + \frac{d_{II}}{V_{II}} + \frac{d_{III}}{V_{III}} + \frac{d_{IV}}{V_{IV}} + \frac{d_V}{V_V}. \quad (65)
\end{aligned}$$

$F_{os}$ -ს ფორმულასთან მიმართებაში ვსარგებლობთ საწყისი დამოკიდებულებით:

$$\tau_{*2\gamma} = \frac{R_\gamma}{V_\gamma}; \quad (66)$$

კონკრეტულად გვექნება:

$$\begin{aligned}
\tau_{*2I} &= \tau_{*21} = \frac{R_1}{V_I}; \\
\tau_{*2II} &= \tau_{*31} = \frac{R_3}{V_{II}}; \\
\tau_{*2III} &= \tau_{*51} = \frac{R_5}{V_V}; \\
\tau_{*2IV} &= \tau_{*71} = \frac{R_7}{V_{IV}}; \\
\tau_{*2V} &= \tau_{*81} = \frac{R_8}{V_V}.
\end{aligned}$$

აქედან [101]:

$$\begin{aligned}
Q_n &= \frac{T_c}{T_c + B_I V_I^{\frac{1}{m}-1} + B_{II} V_{II}^{\frac{1}{m}-1} + B_{III} V_{III}^{\frac{1}{m}-1} + B_{IV} V_{IV}^{\frac{1}{m}-1} + B_V V_V^{\frac{1}{m}-1} +} \\
&= \frac{1}{F_{osq} + F_{os\gamma} + \frac{d_I}{V_I} + \frac{d_{II}}{V_{II}} + \frac{d_{III}}{V_{III}} + \frac{d_{IV}}{V_{IV}} + \frac{d_V}{V_V}},
\end{aligned}$$

სადაც:

$$T_c = \frac{R_3 + \tau V_3}{V_3} = \frac{R_3 + \tau V_{II}}{V_{II}} + \frac{R_3 + \tau V}{V} + \frac{R + \tau V}{V}. \quad (67)$$

დამოკიდებულება (66) –ს გათვალისწინებით ვწერთ

$$\frac{d_I}{V_I} = \frac{a_{osI} \left( \frac{R}{V} + \Delta \tau_I \right)}{T_{osI}}; \quad (68)$$

$$\frac{d_{III}}{V_{III}} = \frac{a_{osIII} \left( \frac{R}{V} + \Delta \tau_{III} \right)}{T_{osIII}}; \quad (69)$$

$$\frac{d_{IV}}{V_{IV}} = \frac{a_{osIV} \left( \frac{R}{V} + \Delta \tau_{IV} \right)}{T_{osIV}}, \quad (70)$$

$$\frac{d_V}{V_V} = \frac{a_{osV} \left( \frac{R}{V} + \Delta \tau_V \right)}{T_{osV}}. \quad (71)$$

$$B_I V_I^{\frac{1}{m}-1} = B_I R_1^{\frac{1}{m}-1} \cdot \left( \frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_I} \right)^{\frac{1}{m}-1} = B_I^* \left( \frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_I} \right); \quad (72)$$

$$B_{II} V_{II}^{\frac{1}{m}-1} = B_{II} V_1^{\frac{1}{m}-1}, \quad (73)$$

$$B_{III} V_{III}^{\frac{1}{m}-1} = B_{III} R_5^{\frac{1}{m}-1} \cdot \left( \frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{III}} \right)^{\frac{1}{m}-1} = B_{III}^* \left( \frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{III}} \right); \quad (74)$$

$$B_{IV} V_{IV}^{\frac{1}{m}-1} = B_{IV} R_7^{\frac{1}{m}-1} \cdot \left( \frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{IV}} \right)^{\frac{1}{m}-1} = B_{IV}^* \left( \frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{IV}} \right); \quad (75)$$

$$B_V V_V^{\frac{1}{m}-1} = B_V R_8^{\frac{1}{m}-1} \cdot \left( \frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_V} \right)^{\frac{1}{m}-1} = B_V^* \left( \frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_V} \right). \quad (76)$$

საბოლოოდ, მწარმოებლურობის გამოსახულება გამოითვლება ასე:

$$Q_n = \frac{\frac{R + \tau V}{V}}{\frac{R + \tau V}{V} + B_1^* \left( \frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_I} \right) + B_{II} V^{\frac{1}{m} - 1} + B_{III}^* \left( \frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{III}} \right) + B_{IV}^* \left( \frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{IV}} \right) + B_V^* \left( \frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_V} \right) + F_{osq} + F_{os\gamma 0} + F_{osv}(V)}, \quad (77)$$

#### 2.4.2. საწარმოო პროცესის თვითღირებულების პარამეტრული ოპტიმიზაცია

ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულებიდან გამომდინარე გაშლილი სახით შეგვიძლია ჩავწეროთ [109, 110, 121, 122]:

$$q_{cm} = \frac{Q}{M \Pi_n} = \frac{Q \left[ \frac{R}{V} + \tau_1 + R \sum_{i=1}^n \frac{a_i k_i}{T_{io}} \left( \frac{A_i V}{V_{io}} \right)^{\frac{1}{m_i}} + q_M \frac{1}{V_1} \right]}{M}, \quad (78)$$

სადაც

$$\frac{q_M}{V} = \sum_q \frac{t_{\omega q} a_{osq}}{T_{osq}} + \sum_j \frac{\tau_{*1\gamma} a_{os\gamma}}{T_{os\gamma}} + \frac{1}{V} \sum_\gamma \frac{K_{\gamma*\gamma} a_{os\gamma}}{T_{os\gamma}}, \quad (79)$$

თავის მხრივ დამუშავების თვითღირებულება გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$E = \sum_i^n q_{ii} B_i V_i^{\frac{1}{m_i} - 1} + \sum_{i=1}^n g_{ui} \frac{R_i}{T_i A_i V} + \frac{Q}{M} \left[ \frac{R}{V} + \tau + \sum_{i=1}^n a_i B_i V_i^{\frac{1}{m_i} - 1} \right] + (1 + \eta) p \chi \left( \frac{R}{V} + \tau \right) + \left( \frac{Q}{M} + p \right) \sum_j \frac{t_{\omega q} a_{osj}}{T_{osj}} + \left( \frac{Q}{M} + p \right) \sum_j \frac{\tau_{*1\gamma} a_{osj}}{T_{osj}} + \frac{1}{V} \left( \frac{Q}{M} + p \right) \sum_\gamma \frac{a_{op\gamma} K_{\tau*\gamma}}{T_{os\gamma}}. \quad (80)$$

გარდაქმნილი სახით გვექნება:

$$E = \frac{Q}{M} \frac{R}{V} + \frac{\theta\tau}{M} + \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{M} a_i + q_{ii} \right) B_i V^{m_i^{\frac{1}{-1}}} + (1+\eta)p\chi \frac{R}{V} + (1+\eta)p\chi\tau +$$

$$+ \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n g_{uc} \frac{R_i}{T_i A_i} + \frac{1}{V} \left( \frac{Q}{M} + p \right) \sum_{\gamma} \frac{a_{op\gamma} K_{\gamma^*\gamma}}{T_{o\delta\gamma}} + \left( \frac{Q}{M} + p \right) \left( \sum_j \frac{t_{\omega q} a_{o\delta j}}{T_{o\delta j}} + \sum_{\gamma} \frac{\tau_{*1\gamma} a_{o\delta\gamma}}{T_{o\delta\gamma}} \right).$$

ანდა გამსხვილებულად:

$$E = \frac{L_1}{V} + L_2 + \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{M} a_i + g_{ii} \right) B_i V^{m_i^{\frac{1}{-1}}}, \quad (81)$$

სადაც:

$$L_1 = \frac{Q}{M} + (1+\eta)p\chi R + \sum_{i=1}^n g_{ui} \frac{R_i}{T_i A_i} + \left( \frac{Q}{M} + p \right) \sum_{\gamma} \frac{a_{op\gamma} K_{\tau^*\gamma}}{T_{o\delta\gamma}}; \quad (82)$$

$$L_2 = \frac{Q\sum}{M} + (1+\eta)p\chi R + \left( \frac{Q}{M} + p \right) \left( \sum_{\gamma} \frac{\tau_{\omega q} a_{o\delta j}}{T_{o\delta j}} + \sum_{\gamma} \frac{\tau_{\tau^*\gamma} a_{o\delta\gamma}}{T_{o\delta\gamma}} \right). \quad (83)$$

$V$  სიჩქარის ოპტიმალური მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის გადავდივართ დამოკიდებულებაზე:

$$\frac{\partial E}{\partial V} = -L_1 \frac{1}{V^2} + \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{M} a_i + g_{ii} \right) \left( \frac{1}{m_i} - 1 \right) B_i V^{m_i^{\frac{1}{-2}}}. \quad (84)$$

უკანასკნელით ნულთან გათანაბრებით, ტოლობის პირველი წევრის მარჯვენა ნაწილში გადატანით და ტოლობის ორივე ნაწილის გამრავლებით  $V^2$ -ზე დავდივართ დამოკიდებულებაზე:

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{M} a_i + a_{ii} \right) B_i \left( \frac{1}{m_i} - 1 \right) V^{m_i^{\frac{1}{-1}}} = L_1. \quad (85)$$

ამ ტოლობიდან ვსაზღვრავთ  $V_{omn}$  ოპტიმალურს და შემდგომ დამოკიდებულების

$$V_{i\ omn} = A_i V_{omn}$$

დახმარებით გადავდივართ კონკრეტული ოპერაციების სიჩქარეთა მნიშვნელობებზე.

ტოლობა (85)-ის ამოხსნას ვაწარმოებთ გრაფიკული წესით, რომელშიც ჭრის სიჩქარის საწყისი მნიშვნელობის სახით შეგვიძლია გამოვიყენოთ სიჩქარე  $V_0$  განმსაზღვრელ ოპერაციაზე.

პირველი მიახლოებით  $V_{omn}$  განსაზღვრისათვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ დამოკიდებულება

$$V_{omn} \approx V_0 + \Delta V. \quad (86)$$

ამ შემთხვევაში  $\Delta V$  განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\Delta V = \frac{B_v}{B_{1v}}, \quad (87)$$

სადაც:

$$B_v = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{M} a_i + a_{ii} \right) B_i \left( \frac{1}{m_i} - 1 \right) V_0^{\frac{1}{m_i}}; \quad (88)$$

$$B_{1v} = L_1 - \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{M} a_i + a_{ii} \right) B_i \left( \frac{1}{m_i} - 1 \right)^2 V_0^{\frac{1}{m_i}-1}. \quad (89)$$

ჩატარებული კვლევების თანახმად მიღებულია საწყისი მათემატიკური დამოკიდებულებები, მიმართული ჭრის მინიმალური თვითღირებულების კრიტერიუმია გამომდინარე ოპტიმალური სიჩქარეების განსაზღვრისათვის მრავალსაიარაღო საჩარხო სისტემებთან მიმართებაში.

ჩვენს ამოცანაში  $\gamma = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ .

პრაქტიკული გაანგარიშებების რეალიზაციისათვის განვიხილავთ დეტალის დამუშავებას 4-მპინდელიან ჰორიზონტალურ ავტომატზე, რომელზედაც ხორციელდება შემდეგი ოპერაციები:

1. გარე გაჩარხვა გამავალი საჭრისით დიამეტრამდე 30 მმ.
2. ღარის არხის შეჭრა.
3. ღარის არხის შეჭრა.
4. ნახვრეტის გაბურღვა  $\varnothing 15$  მმ;
5. ნახვრეტის ზენკირება  $\varnothing 30$  მმ;
6. დეტალის მოჭრა.

ჩვენი მაგალითის მიმართ ჩასატარებელი გაანგარიშებების საჭირო მონაცემები მოყვანილი ცხრ. 3 და 4 აქ:

$L_1, L_2, \dots, L_6$  – ყოველი იარაღის დამუშავების ჯამური სიგრძე, მმ;

$d_1, d_2, \dots, d_6$  – დასამუშავებელი ზედაპირების დიამეტრები, მმ;

$s_1, s_2, \dots, s_6$  – მიწოდებები, მმ/ზრ;

$m_1, m_2, \dots, m_6$  – შესაბამისი დამუშავების და იარაღის მედეგობის მაჩვენებლები;

$v_{10}, v_{20}, \dots, v_{60}$  – ცხრილიდან მიღებული სიჩქარეები,  $\frac{მ}{წთ}$ ;

$T_{10}, T_{20}, \dots, T_{60}$  – ცხრილიდან მიღებული მედეგობები, წთ;

$a_1, a_2, \dots, a_6$  – იარაღების შეცვლისათვის საჭირო დროები, წთ.

## ცხრილი 2

ტექნოლოგიური პროცესების საწყისი მონაცემები

$N, j$	$L, მმ$	$d, მმ$	$s, მმ/ზრ$	$m$	$v_0, მ/წთ$	$T_0, წთ$	$a, წთ$
1	50	30	0,2	0,125	66,6	60	10
2	4	30	0,1	0,125	17	120	10
3	3	30	0,1	0,125	17	120	10
4	45	15	0,2	0,2	38	40	3
5	40	17	0,4	0,2	38	120	3
6	15	30	0,05	0,125	48	60	10

ტექნოლოგიურ გადასვლა 6 ვირჩევთ განმსაზღვრელი გადასვლის როლში, შემოგვაქვს გრაფა  $i$  და მასში ვახორციელებთ შემდეგი პარამეტრების განსაზღვრას

$$k_i = \frac{T_{im}}{T_{1m}};$$

$$A_i = \frac{d_i L_i s_i}{d_1 L_1 s_1 k_1};$$

## ცხრილი 3

საანგარიშო მონაცემები

$i$	$j=\gamma$	$k_i$	$A_i$	$R_i$
1	6	1	0,45	23,4
2	5	0,24	0,135	2,76
3	4	0,46	0,37	2,84
4	3	0,27	0,71	10,17
5	2	0,38	0,81	5,35
6	1	0,6	1,025	27,2



ანალოგიურად ცხრილებში 4 და 5 მოცემულია მჭრელი იარაღების და მჭრელი იარაღებით აღჭურვილი ციკლური მექანიზმების საანგარიშო მონაცემები.

#### ცხრილი 4

მჭრელი იარაღებით აღჭურვილი ციკლური მოქმედების მექანიზმების მონაცემები

$i$	$K_{\tau*i}$	$T_{obi}$ , წთ	$a_{obi}$ , წთ	$E_i$	$\tau_1^*$
1	0,52	980	20	3,7	0,1
2	2,76	980	20	5,4	0,1
3	6,7	980	20	5,4	0,1
4	14,3	980	20	3,7	0,1
5	16,6	980	20	3,7	0,1
6	26,2	980	20	3,7	0,1

აღნიშნულ მექანიზმებთან გარდა  $\xi$  რიგითი ნორმებით აღნიშნული პროცესში მონაწილეობენ აგრეთვე მექანიზმები, რომლებიც არიან აღჭურვილნი მჭრელი იარაღებით. ესენი კერძოდ არიან:

$\xi = 1$  – მობრუნებადი სისტემა;

$\xi = 2$  – მუშა ელექტრომოწყობილობები;

$\xi = 3$  – გაცივება;

$\xi = 4$  – დეტალის დამაგრება ნულოვან პოზიციაში.

აღნიშნული მექანიზმების და მოწყობილობების საწყისი საანგარიშო მონაცემები მოცემულია ცხრილში 5.

#### ცხრილი 5

საანგარიშო მონაცემები

$q$	$a_{ob}$ , წთ	$T_{ob}$ , წთ	$t_{ob}$ , წთ
1	20	1000	0,1
2	15	15000	$T_c$
3	15	2500	$T_c$
4	15	2500	0,13

ამასთან ერთად ცხრილ 6 მოცემულია მჭრელი იარაღების დახასიათებები.

ჩარხის ფასი – 6000 ლ, მუშის საშუალო ხელფასი წუთებში იქნება 4,8...6 თეთრი წუთში, ირიბი საამქროს დანახარჯები  $\eta = 3,8$ , მომსახურების კოეფიციენტი  $K_{ob} = 3,5\%$ .

$M$  – ჩარხის მუშაობის გეგმიური დრო მოცემულია შემდეგი ცხრილით.

### ცხრილი 6

მჭრელი იარაღების დახასიათებები

№	იარაღები		გადაღესვა	
	დასახელება	$\mu$ , ფასი, ლ	რაოდენობა, $i_u$	$\eta$ ფასი, ლ
6	გამავალი საჭრისი	1,5	5	0,1
5	ლარაკისი	2	2	0,1
4	საჭრისი	2	2	0,1
3	ბურღი	1,8	8	0,1
2	ზენკერი	2	–	–
1	გადამჭრელი იარაღი	1	3	0,1

### ცხრილი 7

საანგარიშო მონაცემები

მუშაობის პირობები	მუშაობა, წთ		
	ერთსმენიანი	ორსმენიანი	სამსმენიანი
$M$ , წთ	124800	249000	371400

ფორმულა 10 გამოყენებით განსაზღვრული იქნა  $V$  სიჩქარე, რომელიც უზრუნველყოფს დამუშავების მინიმალურ თვითღირებულებას:

ერთსმენიან მუშაობისას

$$V_{on} = 35 \text{ მ/წთ.}$$

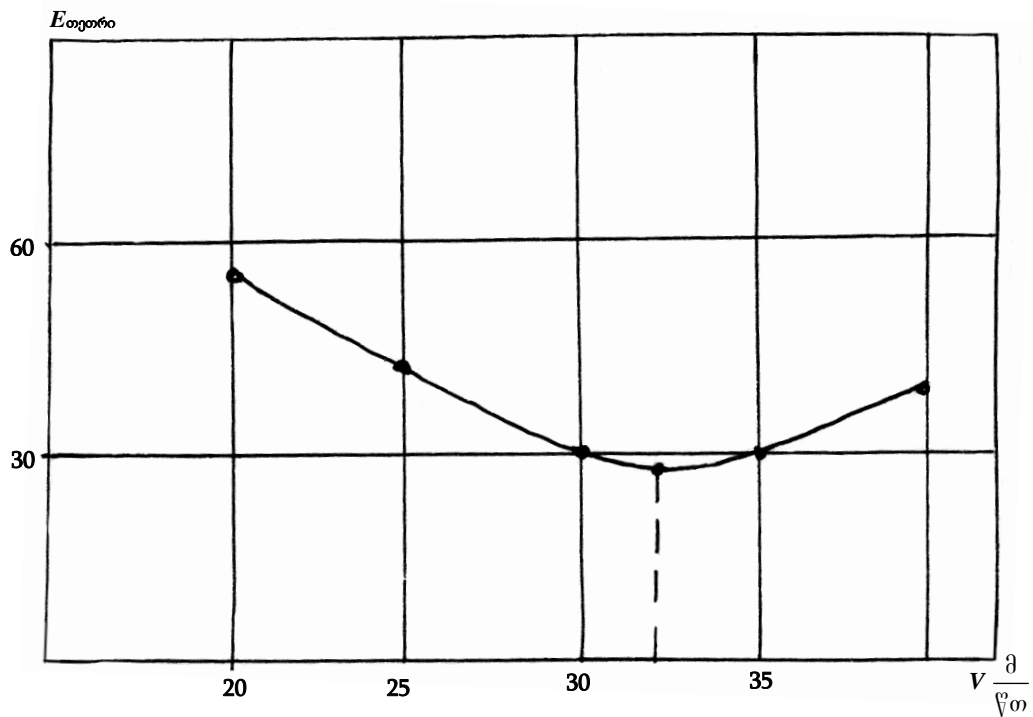
ორსმენიან მუშაობისას

$$V_{on} = 32 \text{ მ/წთ.}$$

და სამსმენიანის დროს

$$V_{on} = 30 \text{ მ/წთ.}$$

აქვე მოცემულია თვითღირებულების გრაფიკი  $V$  -სთან კავშირში.



ნახ. 10. თვითღირებულებისა და ჭრის სიჩქარისშორისი დამოკიდებულების მრუდი

## 2.5. ოპტიმიზაციური მიდგომები საჩარხო კომპლექსების ამძრავთა სისტემების კვლევისადმი

ავტომატიზებული საჩარხოსისტემის ოპტიმიზაციური კვლევის მნიშვნელოვანი ამოცანაა - ავტომატიზებული ჩარხების მთავარი მოძრაობისა და მიწოდებათა კინემატიკურ ჯაჭვებში ფართოდ გამოყენებული ელექტრომექანიკური სისტემების ოპტიმიზაციური და დინამიკური კვლევა. ამ სისტემათა ხარისხობრივი მაჩვენებლები ახდენენ მნიშვნელოვან ზემოქმედებას საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების მუშაობის ეფექტურობაზე.

აღნიშნული ამძრავთა სისტემების კვლევისას საქმე გვაქვს მექანიკურ ტრანსმისიებთან [123-125], როგორც ეს ნაჩვენებია იყო ზევით. აპროქსიმაციული მოდელების აგებისა და მექანიკური სისტემების მოდელირების დინამიკური ანალიზის საკითხები განხილულია ნაშრომებში

[126-128], რომელთა გამოყენებითაც შეგვიძლია მთლიან დინამიკურ სისტემაში ოპტიმალურად გამოსაყენებელი მექანიკური ნაწილის დინამიკური მოდელების შერჩევა

რაც შეეხება ნაშრომებში [128] ფართოდაა მოცემული ამძრავთა სისტემებში გამოყენებული გადამწოდების, გამაძლიერებლებისა და შემსრულებელი ელემენტების აღმწერი განტოლებები ასევე, დინამიკური კვლევის საკითხებთან დაკავშირებულია ნაშრომები [129, 130].

სინთეზის მეთოდი მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვითწარმოდგენილიანაშრომებში [125, 130], რომელიც წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების გამოყენებაზე აგებული.

ამ მახასიათებელთა გამოყენების საფუძველს წარმოადგენს ის გარემოება, რომ სიხშირეთა მნიშვნელოვან არეში მახასიათებლების საკმაოდ ზუსტ დამთხვევას შეესაბამება ორიგინალების დამთხვევა [130-132].

$f(t)$  წარმოსახვით სიხშირეთაორიგინალის მახასიათებელს მივიღებთ, თუ  $F(p) \doteq f(t)$  გამოსახულების არგუმენტს, სადაც  $p$  – არის ლაპლასის ოპერატორი, მოვანიჭებთ რაღაც საგნობრივ  $p = \delta$  მნიშვნელობებსდა  $\delta$ -ს განვიხილავთ როგორც წარმოსახვით სიხშირედ  $\omega = -j\delta$ .

წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების, სიახლოვის პირობიდან გამომდინარე, ორიგინალების მიახლოებითი განსაზღვრის მეთოდიარის აგებული ორიგინალების სიახლოვის პრინციპზე.

ზოგადი მიდგომით წარმოსახვით სიხშირეთა მათპროქსიმირებელი მახასიათებლები, აიგებიან განუსაზღვრელი  $a_i$  და  $b_i$  კოეფიციენტების შემცველი შემდეგი სახის გამოსახულებათა გამოყენების ბაზაზე.

$$F^\circ(p) = \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^3}{a_0 + a_1 p + a_2 p^3 + p^3}; \quad (90)$$

$$F^\circ(p) = \frac{b_0 + b_1 p}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2}. \quad (91)$$

პირველ რიგში ეს მახასიათებლები უნდა ითვალისწინებდნენ მახასიათებლების  $F^\circ(o)$  და  $F^\circ(\sim)$  ზღვრულ მნიშვნელობებს.

$a_i$  და  $b_i$  კოეფიციენტები მოცემულნი არიანსინთეზის პერიოდში და მიეკუთვნებიან გამოსაკვლევს. სინთეზირებადი სისტემის რეგულირებადი კოორდინატის-  $F(p)$  გამოსახულებაში წარმოდგენილი კოეფიციენტები, სინთეზირებადი და სასურველი კოორდინატის გამოსახულებები შესაძლოა ჩაიწეროს ასე:

$$F(p, \sigma_j) = \frac{M(p) + \sum_{j=1}^s \sigma_j M_j(p)}{N(p) + \sum_{j=1}^s \sigma_j N_j(p)} = x(t) \quad (92)$$

და

$$F^\circ(p) = \frac{M^\circ(p)}{N^\circ(p)} = x^\circ(t), \quad (93)$$

სადაც  $M^\circ, M, N^\circ$  და  $N - p$ , - გარკვეული პოლინომებია, ხოლო  $\sigma_j$  - სინთეზირებადი კოეფიციენტი.

პროცესების ინტეგრალური მიახლოება ჩაიწერება

$$(p, \sigma_j) \cong F^\circ(p) . \quad (94)$$

გაშლილი სახით მიიღებს შემდეგ სახეს

$$M^\circ(p) \sum_{j=1}^n \sigma_j N_j(p) - N^\circ(p) \sum_{j=1}^n \sigma_j M_j(p) = N^\circ(p) M(p) M^\circ(p) N(p). \quad (95)$$

მიღებული (95) გამოსახულების თანახმად, ჩაიწერება პირობითი განტოლება  $p = \delta$  აპროქსიმაციათა  $l$  კვანძებისათვის.

ნაშრომში[130] რეკომენდირებულია მოცემული გეომეტრიული პროგრესიის  $\delta_v$  სიხშირეთა განთავსება

$$\delta_v = \delta_0 q^{-v}, \quad v = 0, \dots, k-1.$$

რომლის მნიშვნელი  $q = 2$  .

პირობითი განტოლებები მრავლდება  $\lambda_v(\delta_v)$  ნამრავლზე.

ნაშრომში [130] მოყვანილია აგრეთვეამ ნამრავლების (წონითი კოეფიციენტების) განსაზღვრისათვის საჭირო თეორიული მიდგომები და მათემატიკური გამოსახულებები.

წარმოსახვით სინთირეთა გამოყენებაზე დაფუძნებული, სინთეზის მეთოდის ეტაპს წარმოადგენს სინთეზირებადი სისტემის გაანგარიშებით დინამიკური მდგრადობის დამაკმაყოფილებელი პირობის შემოტანა, რომელიც ხორციელდება ორი ვარირებადი პარამეტრის ვარიაციის მეშვეობით.

რეგულირების არაწრფივი სისტემების სინთეზის მეთოდიწარმოდგენილიანაშრომებში [129, 130] მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით. ამ ნაშრომებში არაწრფივი სისტემის ინტეგრალური მიახლოების მათემატიკური აპარატის თვალსაზრისით გამოყენებულია -  $\Phi_g$  ფუნქციონალები არაწრფივი რგოლების ამონახსნების მიხედვით [130]

$$\Phi_g = \int_0^{\tau_g} \varphi_g^2[\bar{x}_i(t); \bar{\varepsilon}(t)]at, \quad (96)$$

სადაც,  $\bar{\varepsilon}_i(t)$  და  $\bar{x}_i(t)$  –სასურველი პროცესებია, არაწრფივი დიფერენციალური განტოლებათა, ხოლო  $\tau_g$  – დროის ინტერვალი, რომლებზედაც რეალიზდება ინტეგრალური მიახლოების პროცესები.

აღნიშნულ ნაშრომებში განხილულია შემდეგი სახის ამოცანები: 1) სასურველი პროცესების მოცემის; 2) ფუნქციონალური ურთიერთკავშირის განსაზღვრისა სინთეზირებად პარამეტრებსა და სასურველ პროცესებთან შორის; 3) სინთეზირებად სისტემაში მდგრადობის პირობის შემოტანა.

სინთეზირებადი რეგულირების სისტემის  $i$ -ური არაწრფივი რგოლების სასურველი შემავალი -  $\bar{\varepsilon}(t)$  და გამომავალი -  $\bar{x}(t)$  კოორდინატების განსაზღვრისათვის, არაწრფივ სისტემასთან შემოდის კონკრეტული დროში ფიქსირებული პარამეტრების შემცველი განსაზღვრული სასურველი პროცესის წრფივი სისტემა. ასეთი მიდგომისას-  $\bar{\varepsilon}_i(t)$  - ს და -  $\bar{x}_i(t)$  -ს წარმოადგენენ სასურველი პროცესის წრფივი სისტემის  $i$ -ური რგოლების შემომავალი და გამომავალი კოორდინატები.

ნაშრომი [124]-ის თანახმად განსახილველ სინთეზის მეთოდში მდგრადობის პირობის შემოტანა რეალიზდება, სასურველ პროცესებში შემოტანილი კომპლექსური  $z_m$  - დროის მასშტაბური კოეფიციენტის ვარიაციის მეშვეობით, ამასთან დაკავშირებით შემავალი და გამომავალი კოორდინატები განიხილება შემდეგი სახით:

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}_i \left( \frac{1}{z_m}, t \right) \\ \bar{e}_i \left( \frac{1}{z_m}, t \right) \end{aligned} \right\} \quad (97)$$

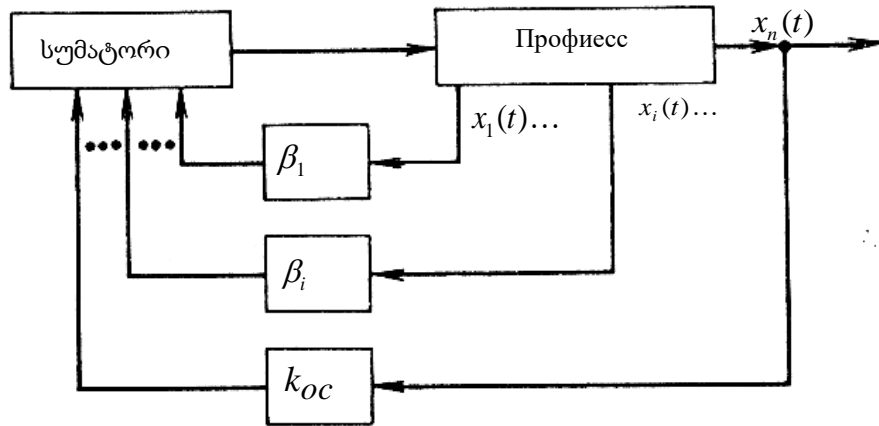
წარმოდგენილი მეთოდი იძლევა სინთეზის პროცედურის განხორციელების საშუალებას, გარდამავალი პროცესების გარკვეული მაჩვენებლების დაკმაყოფილებას მთელი რიგი ზემოქმედებების დროს.

პარამეტრული სინთეზის ამოცანები ასეთივე გადაჭრილია ნაშრომებში [133-135] ელექტრომექანიკურ სისტემებთან მიმართებაში.

შესამუშავებელი სისტემების ეფექტურობის ამაღლების შემდგომი ტენდენციები მოითხოვენ დინამიკური კვლევების მეთოდებისა და მეთოდიკების შემდგომ სრულყოფას, რომელიც მიმართულია ოპტიმიზაციური დინამიკური სინთეზისაკენ და აგრეთვე აგებულს სისტემათა როგორც პარამეტრულ, ასევე სტრუქტურულ ვარიაციაზეც.

ავტომატური რეგულირების სისტემის სტრუქტურა ზოგადი მიდგომით მოიცავს, გამომავალი კოორდინატის მიმართ უკუკავშირებით შემოწვდომ რეგულატორს და რეგულირების ობიექტს. ამასთან ერთად სისტემაში შეიძლება არსებობდეს სისტემის შემაჯამებელ მოწყობილობაში შემავალი უკუკავშირები - დამატებითი კოორდინატების მიმართ [136-138].

აქედან გამომდინარე ნახ. 11-ზე ნაჩვენებია დამატებითი სინთეზირებადი  $\beta_i(t)$  ( $i=1, \dots, n$ ) უკუკავშირის მეშვეობით ოპტიმალური კანონის რეალიზაციის მართვის ცნობილი ბლოკ-სქემა. ნახაზზე უკუკავშირების 1 რაოდენობა უდრის სისტემა 2-ის რიგს. სისტემის ზომვად კოორდინატებს წარმოადგენენ უკუკავშირების სიგნალები.



ნახ. 11. რეგულირების ოპტიმალური სისტემის სქემა

უკვე აღვნიშნავთ, რომ ასეთი სქემით აიგება ჩაკეტილი სისტემის გადამცემ ფუნქციაში პოლუსების მოცემული განაწილების განმახორციელებელი სინთეზის მეთოდი, რომელმაც მიიღო სტანდარტული კოეფიციენტებისა და მოდალური მართვის დასახელება.

## 2.6. საჩარხო ელექტრომექანიკური მოთვალთვალე ამძრავის დინამიკური მოდელირება და ოპტიმიზაციური კვლევის მეთოდოლოგიის შემუშავება

### 2.6.1. დრეკადრგოლებიან მექანიკური ნაწილის დინამიკური მოდელის შემუშავება

პროგრამული მართვის ჩარხებში მოთვალთვალე ამძრავებმა ფართო გამოყენება ჰპოვეს, რომლებიც მოიცავენ მექანიკურ სისტემას – მექანიკურ რგოლებს, რედუქტორისა და გადაცემას ხრახნი-ჭანჭიკი. ცნობილია, რომ განსახილველი სისტემის დინამიკის მოდელირებისათვის ასევე დიდი მნიშვნელობა აქვს მექანიკური გადამცემი რგოლების დრეკადი თვისებების გათვალისწინებას.

ამძრავთა სისტემების კვლევისას, როგორც ზემოთაა ნაჩვენები საქმე გვაქვს მექანიკურ ტრანსმისიებთან [139–142].

კვლევებისათვის აუცილებელია მანქანათა სქემების მოყვანა დაყვანილი სახით. კვლევის მიზნიდან დამანქანათა კონსტრუქციიდან



გამომდინარე მოცემულისქემები შეიცავენ ერთ მასას ან ერთმანეთთან დაკავშირებულ რამოდენიმე მასათა სისტემასდრეკადი რგოლებით:ორი, სამი, ხანდახან ოთხიც, ან კიდევ ნაწილდებიან განსაზღვრულ მონაკვეთთა ზღვრებში.

დაყვანილი მასათა სიდიდე როგორც მუდმივი ასევე ცვლადიც შეიძლება იყოს. საერთოდ, დრეკადი რგოლების სიხისტე და შიდა ძალები წარმოადგენენ ცვლად სიდიდეებს, რომლებიც დამოკიდებული არიან სისტემის მდგომარეობასა და წამყვანი ელემენტის სიჩქარეზე. შიდა ძალები განსხვავებულ შემთხვევებში გამოისახება დროის ფუნქციით.

დაყვანის წერტილებს როგორც წესი ირჩევენ, მექანიზმთა ძირითადი მასების მდებარეობის ადგილებში. დაყვანილი მასების მნიშვნელობებს, რომლებიც მდებარეობს დრეკადი ელემენტის ერთ მხარეს, ხოლო რომლისთვისაც განისაზღვრება გათვლითი დატვირთვა, მას შეკრებენ. მაგალითად: კარდანული გადაცემის გაანგარიშებისათვის ორმასიანი სქემის შედგენისას, ერთი წყვილი წამყვანი თვლებისათვის მასების დაყვანას ახორციელებენ ლილვის ბოლოებზე.

ერთ-ერთი მოყვანილი მასა შესაძლოა შედგებოდესმქნევარას მასებისაგან, ძრავში მოძრავი ნაწილების მასათა მოცემული მნიშვნელობისაგან, ლილვებისაგან, სიჩქარის გადაცემათა კოლოფის მოძრავი ელემენტებისაგან; მეორე – წამყვანი თვლებისაგან, მანქანის ძარის მასაზე არსებული ტვირთით მოყვანილი მასების მნიშვნელობისაგან, , ნახევარ ღერძისაგან და ა.შ. ამყოლი მასაშეიძლება მიჩნეულ იქნას, როგორც კარდანული ლილვის მასა. ამ შემთხვევაში მომდევნო გაანგარიშებები გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ შესაძლო უდიდესი დატვირთვა განხილველ ელემენტზე.

განვიხილოთ მატრიცულ ფორმაში ჩაწერილი გამარტივებული საანგარიშო სქემის თავისუფალი რხევების განტოლება:

$$J\ddot{\Phi} + C\Phi = 0, \quad (98)$$

სადაც,  $J$  – სისტემის ინერციის დიაგონალური მატრიცაა;  $C$  – სისტემის სიხისტის სიმეტრიული მატრიცაა;  $\Phi$  – კუთხურიკოორდინატაა, ხოლო  $n$  – ზომური ვექტორი, რომლის ყოველი კომპონენტი წარმოადგენს მოხვევის კუთხის  $i$  – იური მასის მიმდინარე მნიშვნელობას;

შემობრუნებულ მატრიცაზე  $J^{-1}$ , განტოლების (98) მარცხნიდან გამრავლებით მივიღებთ:

$$\ddot{\Phi} + C\Phi = 0, \quad (99)$$

სადაც:  $A$  – განსახილველი დინამიკური სისტემის მატრიცაა, რომელიც გამარტივებულ საანგარიშო სქემასშეესაბამება:

$$A = J^{-1}C. \quad (100)$$

$A$  მატრიცის საკუთარი რიცხვები  $\lambda (i=1,2,\dots,n)$  წარმოადგენენ საკუთარ სიხშირეთა  $\omega_i$  კვადრატებს, ყოველ საკუთარ  $\lambda_i$  რიცხვს შეესაბამება საკუთარი ვექტორები  $\mu_i - \omega_i$  სიხშირეზე გამარტივებული საანგარიშო სქემის თავისუფალი რხევათა ფორმებით. საწყისი საანგარიშო სქემის გამარტივების ამოცანა დაიყვანება ისეთი  $A$  მატრიცის პოვნის ამოცანამდე, საიდანაც, შემდეგში შესაძლებელი იქნება გამარტივებული საანგარიშო სქემის პარამეტრების განსაზღვრა.

გამარტივებული და საწყისი საანგარიშო სქემის ინერციის ჯამური მომენტების ტოლობის პირობის შესრულებისას, საკუთარ რიცხვთა  $\lambda_i$  და საკუთარ  $\mu_i$  ვექტორთა კომპონენტების სიახლოვით ფასდებამათი დაახლოების ხარისხი.

$$A\mu_i = \lambda_i \mu_i. \quad (101)$$

მატრიცათა თეორიის “საუკუნის” განტოლების გამოყენებისას და  $A$  მატრიცისათვის განზომილების მინიჭებით, შესაბამისად საკუთარ რიცხვთა  $\lambda_i$  და ვექტორთა  $\mu_i$  კომპონენტთა სახით საკუთარი რიცხვებისა  $\lambda_{i(\text{საწ.})}$  და ვექტორის კომპონენტები  $\mu_{i(\text{საწ.})}$ , სადაც  $i=1,2,\dots,n$ , მივიღებთ  $A$  მატრიცის ელემენტთა მიმართ შემდეგ განტოლებას:

$$A\mu_{i(\text{საწ.})} = \lambda_{i(\text{საწ.})} \mu_{i(\text{საწ.})}. \quad (102)$$

გამარტივებული საანგარიშო სქემების  $n$  რიგი ყოველთვის მცირეა საწყის  $N$  რიგზე, ამიტომ ვექტორთა კომპონენტების სახით  $\mu_{i(\text{საწ.})}$

გამოიყენება საწყისი საანგარიშო სქემის  $i$ -ურ საკუთარ ვექტორთა  $n$  კომპონენტები. უმეტესწილად კი, აპროქსიმირებადი საწყისი საანგარიშო სქემების  $i$ -ურ ფორმის რხევათა სახე.

მრავალმასიანი მოდელების გამარტივების მეთოდებიდან დღეისათვის შეიძლება გამოვყოთ შემდეგი მეთოდები, რომლებიც შემუშავებულია ა.პ. ჩერევეკოვის, ე.ი. რივინის, ს.ა. კაზაკის და ლ.ა. ბანახის [140-142].

ამ პარაგრაფში ასევე შემოთავაზებულია ორიგინალური თეორიული მიდგომა აპროქსიმაციული მოდელების ასაგებად.

ნაშრომებში [143, 144–146] განხილულია აპროქსიმაციული მოდელების განხილვის საკითხები.

მექანიკური სისტემის განტოლებათა სისტემა გარე ძალების ზემოქმედების დროს შეიძლება ჩაიწეროს ასეთი სახით:

$$A_*(p)\varphi(t) + f_H(t), \quad (103)$$

სადაც;

$$A_*(p) = I_* p^2 + B_* p + C, \quad (104)$$

$P$  – დიფერენცირების ოპერატორი;

$\varphi(t)$  – კუთხურ კოორდინატთა ვექტორი;

$q(t)$  – შემავალ ზემოქმედებათა ვექტორი;

$I^*$  – სისტემის ინერციის მატრიცა;

$B^*$  – ბლანტი წინააღმდეგობის მატრიცა;

$A^*$  – განსახილველი მექანიკური სისტემის მატრიცა;

$f_H(t)$  – შემაშფოთებელ ზემოქმედებათა ვექტორი.

ფორმულა (104)-ის გათვალისწინებით მექანიკური სისტემის კოორდინატთათვის გადამცემი მატრიცა ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\Phi(s) = A_*^{-1}(s) = \frac{1}{A_*(s)} \tilde{A}(s), \quad (105)$$

სადაც,  $\tilde{A}(s) = [A_{ik}]^T$  ნაჩვენებია შემაერთებელი მატრიცა, ხოლო  $A_{ik}, A_*$  მატრიცის  $a_{ik}$  ელემენტის ალგებრული დამატებაა და  $S$  – ლაპლასის გარდამქმნელი ოპერატორი.

ანალოგიურად შეიძლება განისაზღვროს  $\Phi(s)$  გადამცემი მატრიცა შემაშვოთებელი ზემოქმედებებითმექანიკური სისტემის გამომავალი კოორდინატათვის.

შესაბამისად, გადამცემ მატრიცას გააჩნია შემდეგი სახე:

$$\Phi(s) = \begin{bmatrix} W_{11}(s) & W_{12}(s) & \dots & W_{1n}(s) \\ W_{21}(s) & W_{22}(s) & \dots & W_{2n}(s) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{m1}(s) & W_{m2}(s) & \dots & W_{mn}(s) \end{bmatrix}. \quad (106)$$

ანალოგიურად ჩაიწერება გადამცემი მატრიცასაც  $\Phi'(s)$ .

ზოგადი სახით:

$$W_{ik}(s) = \frac{\dot{\phi}_i(s)}{G_k(s)}, \quad (107)$$

$$W'_{ik}(s) = \frac{\dot{\phi}'_i(s)}{F_r(s)}, \quad (108)$$

სადაც,  $i=1,2,\dots,n$ ,  $k=1,2,\dots$ ,  $r=1,2,\dots,m$ .

ცალკეულ კოორდინატა დინამიკური მახასიათებლების გამოკვლევისათვისმომავალშიგამოვიყენებთ შემდეგი სახის დამოკიდებულებებს.

$$\varphi_k(s) = W_{ik}(s) \cdot G_k(s), \quad (109)$$

თავის მხრივ

$$W_{ik}(s) = \frac{A_{ik}(s)}{B_{ik}(s)}; \quad (110)$$

$$A_{ik}(s) = \sum_{k=1} a_{ik}(s); \quad (111)$$

$$B_{ik}(s) = \sum_{k=1} b_{ik}(s). \quad (112)$$

ხოლო  $a_{ik}(s)$  და  $b_{ik}(s)$  – ოპერატიული მრავალწევრებია.

შებრუნებული ფორმით ოპერატორები  $A_{ik}(s)$  და  $B_{ik}(s)$  შესაძლოა ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} B_{ik}(s) &= b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_2 s^2 + b_1 s + b_0; \\ A_{ik}(s) &= a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_2 s^2 + a_1 s + a_0; \end{aligned} \quad (113)$$

$m = 1, 2, 3, \dots$

$n = 1, 2, 3, \dots$

საწყისი საანგარიშო სქემიდან გამარტივებულზე გადასვლისათვის ბევრ შემთხვევაში იყენებენ არადემპფირებადი საანგარიშო სქემების ანალიზს, შემდეგში (ა.ს.ს).

მრავალმასიანი საანგარიშო სქემიდან, გამარტივებულ სქემაზე გადასვლა განისაზღვრება, როგორც საკმარისი პირობა კვლევის საწარმოებლად არა მარტო განსახილველ დიაპაზონებში - თავისუფალ რხევათა ფორმებისა და შესაბამისი საკუთარი სიხშირეთა განსაზღვრა ხარისხობრივი მიახლოების გზით, არამედ საწყისი და გამარტივებული სქემათა ინერციის ჯამური მომენტებითაც.

ზოგადი სახით  $n$ -საზომი დრეკად-ინერციული სისტემა ჩაიწერება მატრიცული განტოლებით.

$$I\ddot{\varphi} + C\dot{\varphi} = 0, \quad (114)$$

სადაც,  $I$  და  $C$  – ინერციული და დრეკადი მატრიცაა.

ტოლობა (113) შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\ddot{\varphi} + A^* \dot{\varphi} = 0, \quad (115)$$

სადაც,

$$A^* = I^{-1}C. \quad (116)$$

მატრიცის  $A$  საკუთარი რიცხვები  $\lambda_i (i=1, 2, \dots, n)$  წარმოადგენენ საკუთარ სიხშირეთა  $\omega_i$  კვადრატებს, ხოლო ყოველი  $\lambda_i$ -ს შეესაბამება საკუთარი ვექტორები  $\mu_i$  –  $\omega_i$  სიხშირეზე თავისუფალ რხევათა ფორმები.

ანალოგიურია მატრიცის საკუთარი რიცხვებიც

$$A_{\Phi} = I + A^*. \quad (117)$$

კვადრატებს, რომლებსაც შეესაბამება ზოგიერთი საკუთარი ვექტორები, ასევე წარმოადგენენ საკუთარ სიხშირეთა კვადრატებს.

როგორც ცნობილია, დინამიკური დატვირთვის სტრუქტურაში ყველაზე ხშირად გადამწყვეტია კერძო ამონახსნის ჯამი და მთავარი

სიხშირის მოდული. რომელსაც გააჩნია ყველაზე დიდი ამპლიტუდა ის მთავარ სიხშირედ იწოდება და არაა აუცილებელი იყოს უმდაბლესი. ორ და სამსასიანი გამარტივებული სქემები იძლევიან საკმაოდ დამაჯერებელ წარმოდგენას მთავარ სიხშირულ სიდიდეებზე.

ტოლობის პირობიდან გამომდინარე, ჯამური ინერციის მომენტების შედარებისას, გამარტივებული და საწყისი საანგარიშო სქემების დროს ფასდება გამარტივებული საანგარიშო სქემის საკუთარი  $\lambda_i$  რიცხვები და საკუთარ ვექტორთა კომპონენტები  $\mu_i$  ასევე საწყისი საანგარიშო სქემის შესაბამისი საკუთარ რიცხვთა და საკუთარ ვექტორთა კომპონენტების (რიცხოზრივი) სიახლოვე.

თუ განვიხილავთ მატრიცულ სისტემას, მაშინ როდესაც  $q(t)$  და  $f_H(t)$  წარმოადგენენ რეგულარულ (საფეხურიანი, სიჩქარული, ჰარმონიული ან ექსპონენციალურ ზემოქმედებებიანი) ფუნქციებს, გარდამავალი პროცესების თავისუფალი მდგენელები განისაზღვრებიან როგორც თავისუფალ რხევათა განტოლებებით.

ცალკეული კონკრეტული კოორდინატთა დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრისათვის, ვიყენებთ ცნობილისახის დამოკიდებულებას:

$$\varphi_k = W_k(s) q_{b_{kx}}(s), \quad (118)$$

სადაც,  $q_{b_{kx}}(s)$  – შემავალი კოორდინატია,

$\varphi_k - k$  -ური გამომავალი კოორდინატია.

არადემფირებული საანგარიშო სქემისას კი გვექნება შემდეგი სახის ჩანაწერი::

$$W_k(s) = \frac{A_k(s)}{B_k(s)}. \quad (119)$$

შემობრუნებული ფორმის პირობებში ასს-ის დროს, ოპერატორი (114) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$B_k(s) = b_{2m} s^{2m} + b_{2m-2} s^{2m-2} + \dots + b_2 s^2 + b_0; \quad (120)$$

$$A_k(s) = a_{2n} s^{2n} + a_{2n-2} s^{2n-2} + \dots + a_2 s^2 + a_0. \quad (121)$$

$$m = 1, 2, \dots$$

$$n = 1, 2, \dots$$

გამოკვლევების თანახმად, რთული დინამიკური სისტემების მიხედვითი აგების ამოხსნისათვის ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ მიდგომად ითვლება წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების გამოყენება [136].

შესაბამისად,  $\varphi(t)$  და  $\varphi(p)$  პროცესის წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლებს უწოდებენ ფუნქციას, რომელიც მიიღება  $\varphi(t)$  არგუმენტისათვის რიგი არსებითი მნიშვნელობების  $p = \delta$  მნიშვნების შედეგად [136].

ამავენაშრომში [136, 139] ნაჩვენებია, რომ თუ  $\varphi(p)$  გამოსახულების მიხედვით მნიშვნეული მახასიათებლის  $\varphi(\delta)$  მნიშვნელობა, დადებითი ნახევარღერძის მცირე მონაკვეთის ყველა წერტილში, ცალსახად განისაზღვრება როგორც  $\varphi(t)$  ორიგინალი, როდესაც  $0 \leq t \leq \infty$ .

მელინის პირდაპირი გარდაქმნის გამოყენების საფუძველზე დადგენილია, ანალიტიკური დამოკიდებულება ორიგინალ  $\varphi(t)$ -სა და იმ მნიშვნელობათა ერთობლიობას შორის, რომლებიც ღებულობენ გამოსახულებას  $\varphi(\delta)$ -ს დადებით ნახევარღერძზე  $\delta$ -ს, რაც გამომდინარეობს მთელ მარჯვენა ნახევარსიბრტყეზე, პლიუს ხაზი  $p = k + j\omega$  ( $k = \text{const}$ ;  $-\omega \leq \omega \leq \infty$ ), ფუნქციის  $F(\delta)$  ანალიტიკური გაგრძელების ერთიანობიდან. ნაშრომში [136] მელინის გარდაქმნის საფუძველზე მიღებულია ერთმნიშვნელოვანი ანალიტიკური ურთიერთკავშირი ორიგინალ  $\varphi(t)$ -სა და  $F(\delta)$  მნიშვნელობათა შორის, რომლებიც დადებით ნახევარღერძზე ღებულობენ გამოსახულებას. ეს ურთიერთკავშირი გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$f(t) = -\frac{1}{4\pi^2} \int_{k-j\infty}^{k+j\infty} \left\{ \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} \left[ \int_0^\infty F(\delta) \delta^{s-1} d\delta \right] p^{-s} ds \right\} \frac{e^{pt}}{p} dt. \quad (122)$$

სადაც,  $s$  – მელინის გარდაქმნებში დამხმარე კომპლექსური ცვლადია.

საერთო შემთხვევაში ეს აღწერილი მეთოდი იძლევა იმის საშუალებას რომ აიგოს აპროქსიმაციები რთული სისტემის ამოხსნისათვის,

როგორცაა (122). ამავე დროს, აპროქსიმაციის სიზუსტიდან გამომდინარე არსებობს აგრეთვე საკმაოდ მნიშვნელოვანი შეზღუდვებიც.

[136, 139] ნაშრომში მიღებულია შემდეგი ფორმულები, რომლებიც საწიროა წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების ცდომილებათა ფუნქციებში და ამპლიტუდურ-ფაზურ მახასიათებლებში ორიგინალის ცდომილებისათვის.

აგრეთვე, მიღებული დამოკიდებულებების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ იმ შემთხვევაში, როცა  $\theta \leq \frac{\pi}{10}$  (ძლიერი რხევათა სისტემა), სადაც  $\theta$  – კომპლექსურ სიბრტყეზე განლაგებული ნახევარღერძების  $F(p)$  სფეროს შემზღუდველი კუთხეა, მაშინ წარმოსახვით სიხშირეთა აპროქსიმაციის ცდომილება, ამპლიტუდურ-ფაზური სიხშირის მახასიათებლების მიხედვით, 1%-ით შეესაბამება ორიგინალის განსაზღვრას. აპროქსიმაციის ცდომილებამოდულის მიხედვით მიიღება ზღვრებში 10-12%.

შემდგომი ერთეულოვანი გარეგანი ზემოქმედებებისასმექანიკური სისტემის გამომავალი კოორდინატების გამოსახულებათა ანალიზის საფუძველზე არსებული კვლევები უკავშირდება საანგარიშო სქემის გამარტივებას. აქედან გამომდინარე მომავალში ვიხელმძღვანელებთ ფუნქციებით:

$$\varphi_{k*}(s^2) = \frac{B(s^2)}{A(s^2)}. \quad (123)$$

შესაბამისად განხილვაში ახალი ოპერატორის  $s*=s^2$  შემოტანით, ჩავწერთ მოდიფიცირებულ გამოსახულებას:

$$\varphi_{k*}(s_*) = \frac{B(s_*)}{A(s_*)}, \quad (124)$$

რომელიც წარმოადგენს ექსპონენციალური მილევადიმდგენელებით გარდამავალი პროცესების მქონე სისტემის, გარდამავალი ფუნქციის ანალოგს. ამასთან დაკავშირებით შეიძლება აღინიშნოს, რომ მოყვანილი კვლევების თანახმად, ნაშრომში [136] შეზღუდული კუთხის მქონე  $\theta \leq 20^\circ$ , პოლუსებიანი გამოსახულებისათვის, წარმოსახვით და ამპლიტუდურ-



ვაზური სიხშირული მახასიათებლებით ორიგინალის სიზუსტის განსაზღვრა პრაქტიკულად ერთი რიგისაა [136]. ამავე ნაშრომში [136] მიღებულია შემდეგი დამოკიდებულება:

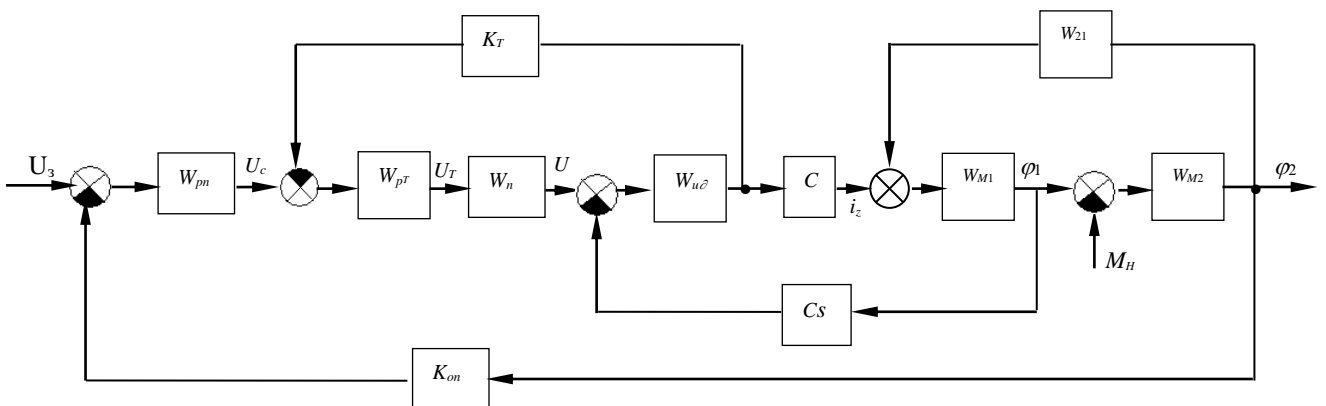
$$\varphi(t) \leq \frac{3}{\pi} \varepsilon_m, \quad (125)$$

სადაც,  $\varepsilon_m$  – წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლის ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობაა.

ტოლობის (124) გამოყენებით შეგვიძლია გადავიდეთ წარმოსახვით სიხშირეთა მოდიფიცირებულ მახასიათებლებზე, რომელთაც მივიღებთ  $S^*$  არგუმენტისათვის რიგი არსებითი მნიშვნელობების  $S^* = \delta$  მინიჭებით, რომელიც თავის მხრივ წარმოადგენენ ექსპონენციალურ-მილევადი პროცესებიანი სისტემის მახასიათებლების ანალოგს [141].

### 2.6.2. სისტემის მათემატიკური მოდელი, გადამცემი ფუნქციები და დინამიკური სინთეზი მახასიათებელი განტოლებების გამოყენებით

ნახ. 12 მოყვანილია ამძრავის მექანიკურ ნაწილში დრეკადკავშირებიანი ელექტრომექანიკური სისტემის ერთ–ერთ შესაძლო სტრუქტურული სქემა, რომელიც ხასიათდება იმით, რომ სისტემის სტრუქტურაში არსებობენ მიმდევრობითი მაკორექტირებელი რგოლები მდებარეობენ  $\Pi$  – რეგულატორის და დენის კონტურის  $\text{PII}$  – რეგულატორის სახით.



ნახ. 12. სისტემის სტრუქტურული სქემა.

უკანასკნელთა გადამცემი ფუნქციები აღნიშნულნი არიან სიმბოლოებით  $W_{pn}$  და  $W_{pr}$  [87, 148, 149].

განვსაზღვროთ გარდამავალი პროცესის ხარისხობრივი მაჩვენებლის გაუმჯობესების საკითხი სისტემის სტრუქტურაში, პარალელური მაკორექტირებელი უკუკავშირის შემოტანით, მოდალური მართვის თეორიის შესაბამისად.

ვთვლით, რომ სიჩქარის ჩაკეტილი კონტურის პარამეტრები შერჩეულნი არიან რეგულირების ცნობილი თეორიის შესაბამისად და სინთეზირებადი პარამეტრების სახით წარმოდგენილნი არიან შესაბამისად, მდებარეობის  $\Pi$  – რეგულატორის პარამეტრები (გამლიერების კოეფიციენტი  $K_{pu}$ ) და პარალელური უკუკავშირის  $\beta_i$  გადამცემი კოეფიციენტები.

განხილვადი სისტემის დინამიკა პარალელური უკუკავშირის და მდებარეობის  $\Pi$  – რეგულატორის გათვალისწინებით შემდეგი განტოლებებითაა აღწერება:

$$u_c = K_{pn} \varepsilon_{np}; \quad (126)$$

$$\varepsilon_{np} = u_3 - K_{on} \varphi_2 - g(t); \quad (127)$$

$$T_{pc} \dot{u}_T = K_{pr} T_{pr} \dot{\varepsilon}_T - K_{pr} \varepsilon_T; \quad (128)$$

$$\varepsilon_T = u_c - K_T i_a;$$

$$T_n \dot{u} + u = K_c u_T; \quad (129)$$

$$T_a \frac{di_a}{dt} + i_a = \frac{1}{R_a} u - \frac{c}{R_a} \dot{\varphi} = K_a u - K_a c \dot{\varphi}; \quad (130)$$

$$I_1 \ddot{\varphi}_1 + b_{\varphi 1} \dot{\varphi}_1 + c_{12} \varphi_1 = C i_a + b_{12} \dot{\varphi}_2 + c_{12} \varphi_2; \quad (131)$$

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 + b_{\varphi 2} \dot{\varphi}_2 + c_{12} \varphi_2 = -M_u + b_{12} \dot{\varphi}_1 + c_{12} \varphi_1, \quad (132)$$

სადაც:

$$g(t) = \beta_1 s \varphi_2 + \beta_2 s \varphi_1 + \beta_3 \Delta \varphi_n + \beta_4 i_a + \beta_5 u + \beta_6 u_T. \quad (133)$$

ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად, ჩამოყალიბებულია სინთეზის ორიგინალური მეთოდები და მიღებულია სინთეზირებადი

პარამეტრების შერჩევისათვის საჭირო საწყისი მათემატიკური დამოკიდებულებები.

აღწერილი მეთოდები საშუალებას იძლევა, რომ ჩავატაროთ მოცემული ელექტრომექანიკური  $\alpha$ -სისტემის სინთეზი მოცემულია გარდამავალი პროცესების მიხედვით, რომლის თანახმადაც ამ სისტემის გარდამავალ პროცესს უახლოვებთინტეგრალურად სასურველ პროცესს გადამცემი ფუნქციით  $W_\alpha^0(s)$ . ამ ფუნქციის გამოსახვა შესაძლებელია მეორე რიგის განტოლების ამონახსნის მეშვეობითაც.

ვიხილავთ გარდამავალი პროცესის მაჩვენებლების ხარისხობრივი სრულყოფის ამოცანას სისტემის სტრუქტურაში პარალელური მაკორექტირებელი რგოლების შემოტანით მოდალური მართვის თეორიის შესაბამისად [148, 150].

ამასთან ერთად ვთვლით, რომ დენის ჩაკეტილი კონტურის საწყისი პარამეტრები შერჩეულნი არიან დაქვემდებარებული რეგულირების ცნობილი თეორიის შესაბამისად და სინთეზირებად პარამეტრთა სახით წარმოდგენილნი არიან მდებარეობის რეგულატორის და პარალელური უკუკავშირების გადაცემის კოეფიციენტები [151, 152].

ნაშრომი [153]-ის შესაბამისად დენის ჩაკეტილი კონტური გადამცემი ფუნქცია შეგვიძლია წარმოვადგინოთ აპროქსიმაციული ფორმით

$$W_{km}(s) = \frac{K_m}{2\tau s + 1} = \frac{i(s)}{u_n(s)}, \quad (134)$$

სადაც:  $K_\pi = \frac{1}{K_T}$ ,  $\tau$  – ტირისტორულიგარდამქმნელისდროისმუდმივა.

უკანასკნელის გათვალისწინებით და ინდუქციური უკუკავშირის უგულვებელყოთ გადამცემი ფუნქცია  $U_c(t)$  გაუთანხმობის (შეუსაბამობის) და გამავალ კოორდინატის შორის  $M_H = 0$ -ის გათვალისწინებით შეიძლება ჩაიწეროს ასე:

$$W_{np1}(s) = \frac{\varphi(s)}{U_n(s)} = W_{KT}(s)CW_M(s), \quad (135)$$

სადაც:

$$W_M(s) = \frac{W_{M_1}(s)W_{M_2}(s)}{1 - W_{M_1}(s)W_{M_2}(s)W_{I_2}(s)}, \quad (136)$$

$$W_{M_1}(s) = \frac{1}{I_1s^2 + b_{12}s + c_{12}}, \quad (137)$$

$$W_{M_2}(s) = \frac{b_{12}s + c_{12}}{I_1s^2 + b_{12}s + c_{12}}, \quad (138)$$

$$W_{I_2}(s) = b_{12}s + c_{12}. \quad (139)$$

აღვნიშნოთ, რომ დამოკიდებულებები [152-154]:  $I_1$  და  $I_2$  – ინერციის მომენტები,  $b_{12}$  და  $c_{12}$  – შესაბამისად დისიპაციური და სიხისტის კოეფიციენტები,  $\varphi_1$  და  $\varphi_2$  – კუთხური კოორდინატები მექანიკური ნაწილის ორმასიან დინამიკურ მოდელში.

უკანასკნელი დამოკიდებულებების გათვალისწინებით გვაქვს:

$$W_M(s) = \frac{b_{12}s + c_{12}}{a_4s^4 + a_3s^3 + a_2s^2},$$

$$W_{np1}(s) = \frac{K_{\pi}C(b_{12}s + c_{12})}{A_5s^5 + A_4s^4 + A_3s^3 + A_2s^2},$$

სადაც:

$$a_4 = I_1I_2;$$

$$a_3 = b_{12}(I_1 + I_2);$$

$$a_2 = c_{12}(I_1 + I_2);$$

$$A_5 = 2\pi a_4;$$

$$A_4 = 2\pi a_3 + a_4;$$

$$A_3 = 2\pi a_2 + a_3;$$

$$A_2 = 2a_2.$$

სინთეზის ამოცანის ამოხსნისათვის მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით ვიძლევიტ სასურველ პროცესს  $\varphi_2(t)$  და მის საფუძველზე სასურველი კოორდინატების  $i_*(t)$ ,  $\Delta\varphi_*(t)$ ,  $\dot{\varphi}_{1*}(t)$  გამოსახულებებს და მათი დახმარებით ვახორციელებთ პარალელურ უკუკავშირებს.

შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$i_*(s) = \frac{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} \varphi_{2*}(s) ; \quad (140)$$

$$\Delta \varphi_*(s) = \frac{I_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} \varphi_{2*}(s) , \quad (141)$$

$$\dot{\varphi}_{1*}(s) = \frac{I_2 s^2 + b_{12} s + c_{12}}{b_{12} s + c_{12}} \varphi_{2*}(s) . \quad (142)$$

დამოკიდებულებების (136)-(139) გამოყენებით დენის ჩაკეტილი კონტური შესასვლელზე გაგზავნილი დამატებითი მაკორექტირებელი ზემოქმედება  $q(s)$  [150] გამოსახება დამოკიდებულებით

$$g(s) = q_1(s) + q_2(s) , \quad (143)$$

სადაც:

$$g_1(s) = \left[ K_i \frac{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} + K_{\Delta \varphi} \frac{I_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} + K_{\dot{\varphi}_1} \frac{I_2 s^2 + b_{12} s + c_{12}}{b_{12} s + c_{12}} \right] \varphi_{2*} , \quad (144)$$

$$g_2(s) = K_{\dot{\varphi}_2} s \varphi_{2*} , \quad (145)$$

და  $K_i$ ,  $K_{\dot{\varphi}_1}$ ,  $K_{\Delta \varphi}$  და  $K_{\dot{\varphi}_2}$  – პარალელური მაკორექტირებელი რგოლების საძიებელი კოეფიციენტებია.

ჩავწერთ:

$$W_I(s) = \frac{W_{np1}}{1 + W_{n1} q_1(s)} = \frac{K_{\tau} C (b_{12} s + c_{12})}{D_5 s^5 + D_4 s^4 + D_3 s^3 + D_2 s^2 + D_1 s} ; \quad (146)$$

$$\begin{aligned} W_{II}(s) &= \frac{W_I}{1 + W_I K_{\dot{\varphi}_2} s} = \frac{K_{\tau} C (b_{12} s + c_{12})}{N_1(s)} = \\ &= \frac{K_{\tau} C (b_{12} s + c_{12})}{(D_5 s^5 + D_4 s^4 + D_3 s^3 + D_2 s^2 + D_1 s) + K_{\tau} C (b_{12} s + c_{12}) s} , \end{aligned} \quad (147)$$

სადაც:

$$D_5 = A_5$$

$$D_4 = A_4 + K_i K_{\tau} a_4$$

$$D_3 = A_3 + K_{\tau} (K_i a_3 + K_{\dot{\varphi}_1} I_2)$$

$$D_2 = A_2 + K_{\tau} (K_i a_2 + K_{\Delta \varphi} I_2 + K_{\dot{\varphi}_1} b_{12})$$

$$D_1 = K_{\tau} K_{\dot{\varphi}_2} C_{12} .$$

მთლიანი სისტემის გადამცემი ფუნქცია ჩაიწერება ასე:

$$W_0(s) = \frac{W_{pn}(s)W_{II}(s)}{1+W_{II}(s)W_{pn}(s)} = \frac{M(s)}{N(s)}, \quad (148)$$

როდესაც

$$W_{pn}(s) = K_n$$

$$M(s) = K_n K_{\tau} C (b_{12}s + c_{12})$$

$$\begin{aligned} N(s) = N_1(s) + K_n K_{\tau}^* (b_{12}s + c_{12}) = A_5 s^5 + [A_4 + K_i K_{\tau}^* a_4] s^4 + \\ + [A_3 + K_i K_{\tau}^* a_3 + K_{\phi_1} K_{\tau}^* I_2] s^3 + [A_2 + K_{\tau}^* (K_i a_2 + K_{\Delta\phi} I_2 + K_{\phi_1} b_{12}) + \\ + K_{\tau}^* b_{12}] s^2 + K_{\tau}^* K_n c_{12}, \end{aligned} \quad (149)$$

და  $K_{\tau}^* = K_{\tau} C$ .

საძიებელი  $K_n$ ,  $K_i$ ,  $K_{\phi_1}$ ,  $K_{\Delta\phi}$  და  $K_{\psi_2}$  პარამეტრების შერჩევის ამოცანის ამოხსნისათვის ვირჩევთ მე-5-ე ხარისხის ტიპურ მახასიათებელ განტოლებას, რომელშიც ორი უმაღლესი ფესვი შეუღლებული კომპლექსურია. გადარეგულირება (ხელახალი რეგულირება)  $Q_{no} = 6\%$ , გარდამავალი პროცესის ნორმირებული ხანგრძლივობაა  $t_{H2} = 11,0$ ,  $A'_4 = 5,48$ ,  $A'_3 = 10,3$ ,  $A'_2 = 8,98$ ,  $[154] A'_1 = 4,32$ .

ჩვენი მახასიათებელი განტოლება (149) მიიღებს სახეს

$$N_*(s) = s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2 + A_1 s + A_0, \quad (150)$$

სადაც:

$$A_{4*} = \frac{1}{A_5} [A_4 + K_i K_{\tau}^* a_4], \quad (151)$$

$$A_{3*} = \frac{1}{A_5} [A_3 + K_i K_{\tau}^* a_3 + K_{\phi_1} K_{\tau}^* I_2], \quad (152)$$

$$A_{2*} = \frac{1}{A_5} [A_2 + K_{\tau}^* (K_i a_2 + K_{\Delta\phi} I_2 + K_{\phi_1} b_{12}) K_{\tau}^* b_{12}], \quad (153)$$

$$A_{1*} = \frac{1}{A_5} [K_{\phi_1} K_{\tau}^* c_{12} + K_{\phi_2} K_{\tau}^* K_n b_{12}], \quad (154)$$

$$A_{0*} = \frac{1}{A_5} K_{\tau}^* K_n c_{12}. \quad (155)$$

სინთეზირებადი პროცესის  $t_{H2^*}$  ხანგრძლივობის სასურველი სიდიდიდან გამომდინარე ვსაზღვრავთ ნორმირების  $K_B$  კოეფიციენტის ტოლობიდან

$$K_B = \frac{t_{H2}}{t_{H2^*}}. \quad (156)$$

ასეთ შემთხვევაში სასურველი კოეფიციენტები სინთეზირებადი სისტემის მახასიათებელ განტოლებაში გამოისახებიან ასე:

$$A_{4\text{ოკ}} = K_B A'_4, \quad (157)$$

$$A_{3\text{ოკ}} = K_B^2 A'_3, \quad (158)$$

$$A_{2\text{ოკ}} = K_B^3 A'_2, \quad (159)$$

$$A_{1\text{ოკ}} = K_B^4 A'_1, \quad (160)$$

$$A_0 = K_B^5. \quad (161)$$

$\Pi$  - რეგულატორის  $K_n$  და უკუკავშირების საძიებელი კოეფიციენტების მნიშვნელობები ამოიხსნება შემდეგი ტოლობებიდან

$$A_4 + K_i K_{\tau T}^* a_4 = A_5 A_{4\text{ოკ}}, \quad (162)$$

$$A_3 + K_i K_{\tau T}^* a_3 + K_{\phi_1} K_{\tau T}^* = A_5 A_{3\text{ოკ}}, \quad (163)$$

$$A_2 + K_{\tau T}^* (K_i a_3 + K_{\Delta\phi} I_2 + K_{\phi_1} b_{12}) + K_{\tau T} b_{12} = A_5 A_{2\text{ოკ}}, \quad (164)$$

$$K_{\phi_1} K_{\tau T}^* c_{12} + K_{\phi_2} K_{\tau T} c_{12} + K_{\tau T}^* K_n = A_5 A_{1\text{ოკ}}, \quad (165)$$

$$K_{\tau T}^* K_n c_{12} = A_5 A_{0\text{ოკ}}. \quad (166)$$

განტოლებათა სისტემას ვხსნით შემდეგი მიმდევრობით:

განტოლებიდან (162) ვსაზღვრავთ  $K_i$ -ს,

განტოლებიდან (163) –  $K_{\phi_1}$  -ს,

განტოლებიდან (164) –  $K_{\Delta\phi}$  -ს,

განტოლებიდან (166) –  $K_n$  -ს,

დაგანტოლებიდან (165) –  $K_{\phi_2}$  -ს.

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებული იქნა მათემატიკური დამოკიდებულებები, რომლებიც იძლევიან საშუალებას

ჩავატაროთ სისტემის სინთეზი სასურველი პროცესის მოცემული მახასიათებელი განტოლების მიხედვით.

ზემოთ იყო აღნიშნული ტიპური მახასიათებელი განტოლებების შერჩევის საკითხი. განვიხილოთ ეს საკითხი უფრო გაღრმავებულად.

ტიპური მახასიათებელი განტოლებების შერჩევის თეორია მოყვანილი ნაშრომებში [154]

ყოველივე ტიპური მახასიათებელი განტოლებებიდან შესაძლოა გამოყენებული იქნას რიგი მონათესავე განტოლებებისათვის, რომლებიც აღწერენ რეალური სისტემების დინამიკას, მაგრამ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან მარტოდ ნორმირების კოეფიციენტების მნიშვნელობებით.

ეს ტიპური მახასიათებელი განტოლებები არიან ნორმირებულნი და მიღებული არიან ნამდვილებიდან  $K_B$  ნორმირების კოეფიციენტის გამოყენებით.

ნორმირებული განტოლებების ფორმირება მდგომარეობს შემდგომში. თუ ერთგვაროვან დიფერენციალურ განტოლებას აქვს სახე

$$p^n + A_{n-1}p^{n-1} + \dots + A_1p + A_0 = 0. \quad (167)$$

ბუნებრივად მას შეესაბამება მახასიათებელი განტოლება

$$\lambda^n + A_{n-1}\lambda^{n-1} + \dots + A_1\lambda + A_0 = 0. \quad (168)$$

ამ განტოლების რეალური ფესვები ი. ვიშნეგრადსკის რეკომენდაციების თანახმად შეიძლება გამოვსახოთ ასე

$$\lambda = K_B X, \quad (169)$$

სადაც  $K_B$  – ნორმირების კოეფიციენტია (საშუალო გეომეტრიული ფესვი).

მაშინ საწყისი მახასიათებელი განტოლება რეალური კოეფიციენტებითგარდაიქმნება ნორმირებულში

$$X^n + A'_{n-1}X^{n-1} + \dots + A'_1X + 1 = 0, \quad (170)$$

სადაც  $A'_{n-1}, \dots, A'_1$  – ნორმირებული კოეფიციენტები, რომლებიც შეესაბამებიან რეალურებს განტოლებიდან (168).



ტოლობა (169)-ის ჩასმით განტოლება (168)-ში გამომდინარეობს ამ კოეფიციენტების ნორმირების კოეფიციენტები, რომლებიც გამოისახებიან ასე:

$$A_{n-1} = K_B A'_{n-1};$$

$$A_{n-2} = K_B^2 A'_{n-2};$$

$$A_1 = K_B^{n-1} A'_1,$$

$$A_0 = K_B^n.$$

უკანასკნელი გამოსახულებიდან ჩანს, რომ

$$K_B = \sqrt[n]{A_0}. \quad (171)$$

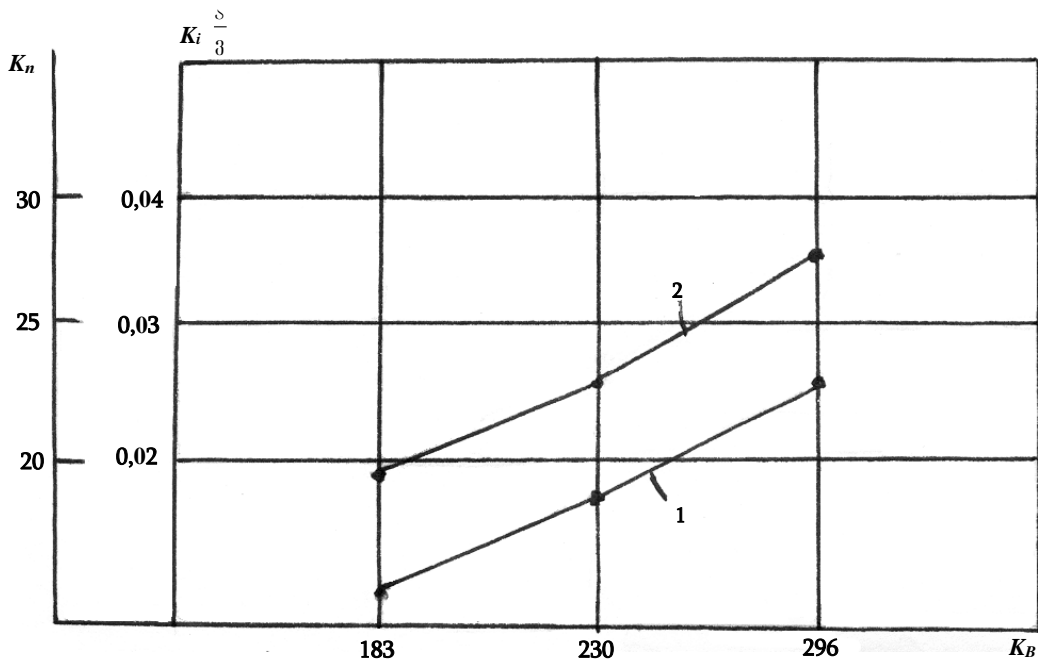
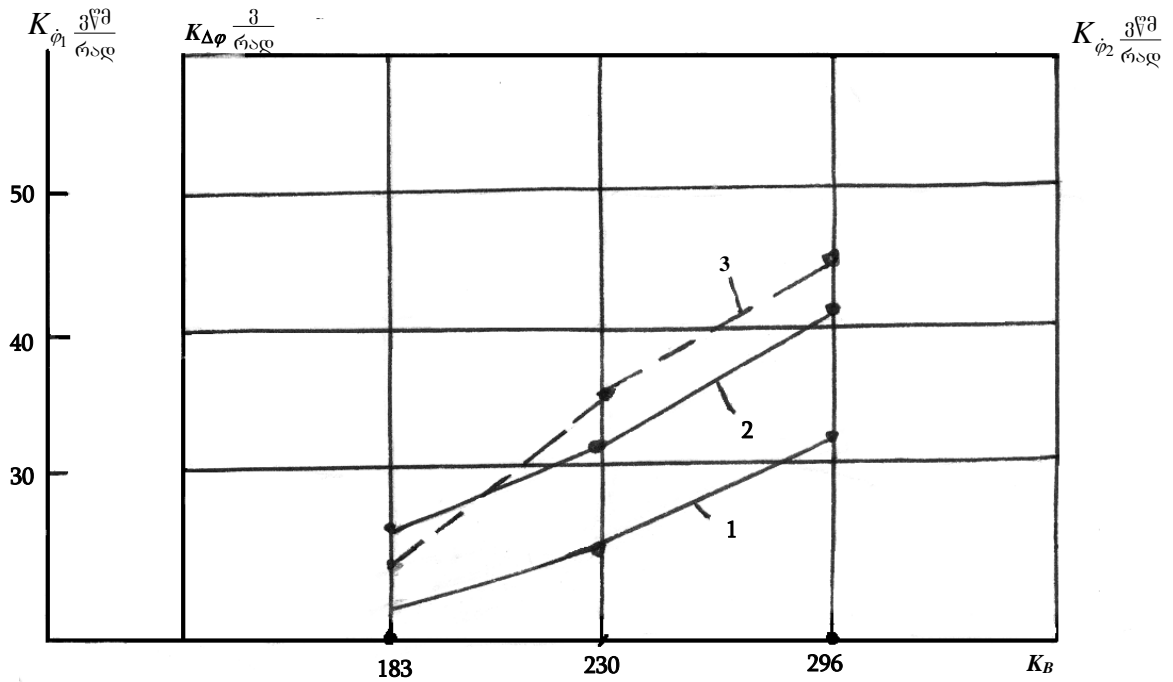
პრაქტიკაში, როგორც წესი, მიზანშეწონილია დამოკიდებულების გამოყენება

$$K_B = \frac{t_{H_2}}{t_2}, \quad (172)$$

სადაც  $t_2$  და  $t_{H_2}$  – გარდამავალი პროცესის რეალური და ნორმირებული ხანგრძლივობა.

სინთეზის მეთოდოლოგიის პრაქტიკული რეალიზაციისათვის სარეალიზაციო და სასურველი პროცესების მახასიათებელი განტოლებების გამოყენებით, როგორც ეს იყო აღნიშნული ზემოთ ვეფუძნებით სასურველი პროცესების ნორმირებული მახასიათებელი განტოლების შემოტანაზე.

ჩვენი შემთხვევისათვის, რადგანაც საკვლევი სისტემის მახასიათებელ განტოლებას აქვს მეხუთე ხარისხი, ვირჩევ იმავე ხარისხის ნორმირებულ მახასიათებელ განტოლებას ნაშრომში [154] მოყვანილი ცხრილიდან.



ნახ. 13. სინთეზის შედეგად მიღებული დამოკიდებულებები:  
 ა) 1 –  $K_{\phi}(K_B)$ ; 2 –  $K_{\Delta\phi}(K_B)$ ; 3 –  $K_{\phi_2}(K_B)$

ჩვენს კონკრეტულ შემთხვევაში ვირჩევთ მახასიათებელ განტოლებას საგნობრივი ფესვებით, რომლისთვისაც გადარეგულირება  $\Theta_{n0} = 0$ , გარდამავალი პროცესის ნორმირებული ხანგრძლივობა  $t_{n2} = 9,2$  და განტოლების კოეფიციენტებია

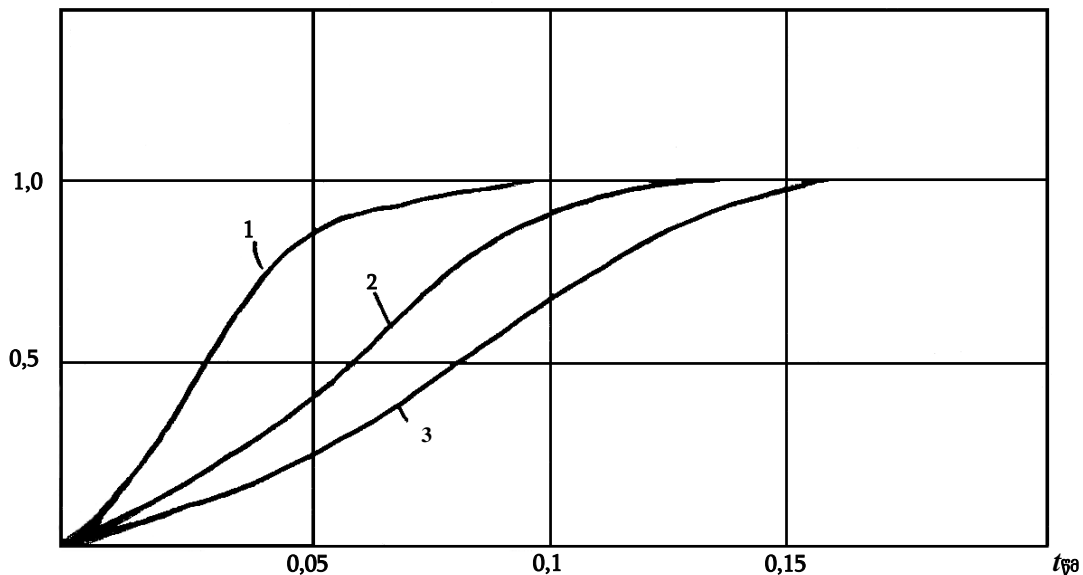
$$A'_4 = 5,00, A'_3 = 10,00, A'_2 = 10,00, A'_1 = 5,00.$$

საკვლევი სისტემის სინთეზის შემოთავაზებული მეთოდის აპრობაციისათვის ვატარებთ კონკრეტულ საანგარიშო გამოკვლევებს სისტემისათვის, რომლის საწყისი პარამეტრებია

$$E_j = 0,07 \text{ ომ}, L_j = 0,32 \cdot 10^{-3} \text{ ჰნ}; C = 0,34 \frac{\text{ნმ}}{\text{ამპ}}, K_T = 8,0, \tau = 3,3 \text{ მ/წმ}; I_1 = 0,02 \text{ კგძ}^2, I_2 = 0,025 \text{ კგძ}^2, C_{12} = 250 \frac{\text{ნმ}}{\text{რად}}; \beta_1 = \beta_2 = 0,01 \text{ და } \beta_{12} = 0,08 \frac{\text{ნმ}}{\text{რად}}.$$

ჩატარებული საანგარიშო კვლევების შედეგად ნახ. 13 მოყვანილია სინთეზირებული პარამეტრების მნიშვნელობები ფუნქციონალურ კავშირში  $K_B$  კოეფიციენტებთან.

ნახ. 14 მოყვანილია საგნობრივი სიხშირული მახასიათებლების გამოყენებით აგებული გარდამავალი პროცესების მრუდები.



ნახ. 14. გარდამავალი პროცესების მრუდები:  
1 –  $K_B = 296$ ; 2 –  $K_B = 230$ ; 3 –  $K_B = 183$

## 2.7. სინთეზი გარდამავალი მოდელების გამოყენებით

საკვლევი პარამეტრების გამოვლენის მიმართ ზემოთმოყვანილი გაანგარიშებები მიეკუთვნებიან სინთეზის პროცედურებს მთლიანი დამკვირვებლობის შემთხვევებისათვის.

არამთლიანი დამკვირვებლობის შემთხვევისათვის სინთეზის პროცედურები შეგვიძლია ავაგოთ რხევითი მდგენელის გამოყოფის თეორიაზე დაყრდნობით [156].

თანახმად ზემოთ მოყვანილი სტრუქტურული სქემებისა (ნახ. 14) ორმასიანი მექანიკური ნაწილი შემსრულებელ ძრავასთან ერთად აღიწერება განტოლებათა სისტემით:

$$I_1\ddot{\phi}_1 + b_1\dot{\phi}_1 + b_{12}(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) + c_{12}(\phi_1 - \phi_2) = C_{ia} - M_{H1}; \quad (173)$$

$$I_2\ddot{\phi}_2 + b_2\dot{\phi}_2 + b_{12}(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) - c_{12}(\phi_1 - \phi_2) = -M_{H2}; \quad (174)$$

$$L_{\text{я}} \frac{d_{ia}}{at} + R_{ia} = U_{\text{я}} - C\dot{\phi}_1. \quad (175)$$

განტოლებათა სისტემას გარდაქმნის სახით:

$$I_1\ddot{\phi} + b_1\dot{\phi} + b_{12}\Delta\dot{\phi} + c_{12}\Delta\phi = C_{ia} - M_{H1}, \quad (176)$$

$$I_2\ddot{\phi} + -I_2\Delta\ddot{\phi}_1 + b_2\dot{\phi} - b_2\Delta\dot{\phi} - b_{12}\Delta\dot{\phi} - c_{12}\Delta\phi = M_{H2}. \quad (177)$$

სადაც  $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$ .

განტოლებათა შეჯამებით შეგვიძლია გადავიდეთ სისტემაზე

$$(I_1 + I_2)\ddot{\phi}_1 + (b_1 + b_2)\dot{\phi}_1 = C_{ia} + I_2\Delta\ddot{\phi} + b_2\Delta\dot{\phi} - M_{H1} - M_{H2}; \quad (178)$$

$$I_2\Delta\ddot{\phi} + (b_1 + b_{12})\Delta\dot{\phi} + c_{12}\Delta\phi = I_2\ddot{\phi}_1 + (b_1 + b_2)\Delta\dot{\phi} + M_{H0}. \quad (179)$$

აღნიშნულის თანახმად გადავიღვართ სტრუქტურულ სქემაზე (ნახ.15).

აქ

$$W_I(s) = \frac{1}{I_{\Sigma} s^2 + b_{\Sigma 1} s};$$

$$W_{I\phi} = I_2 s^2 + b_2 s;$$

$$W_{I\phi}(s) = I_2 s^2 + c_{2\Sigma} s;$$

$$W_{\Delta\phi} = \frac{1}{I_2 s^2 + b_{2\Sigma} s + c_{12}};$$

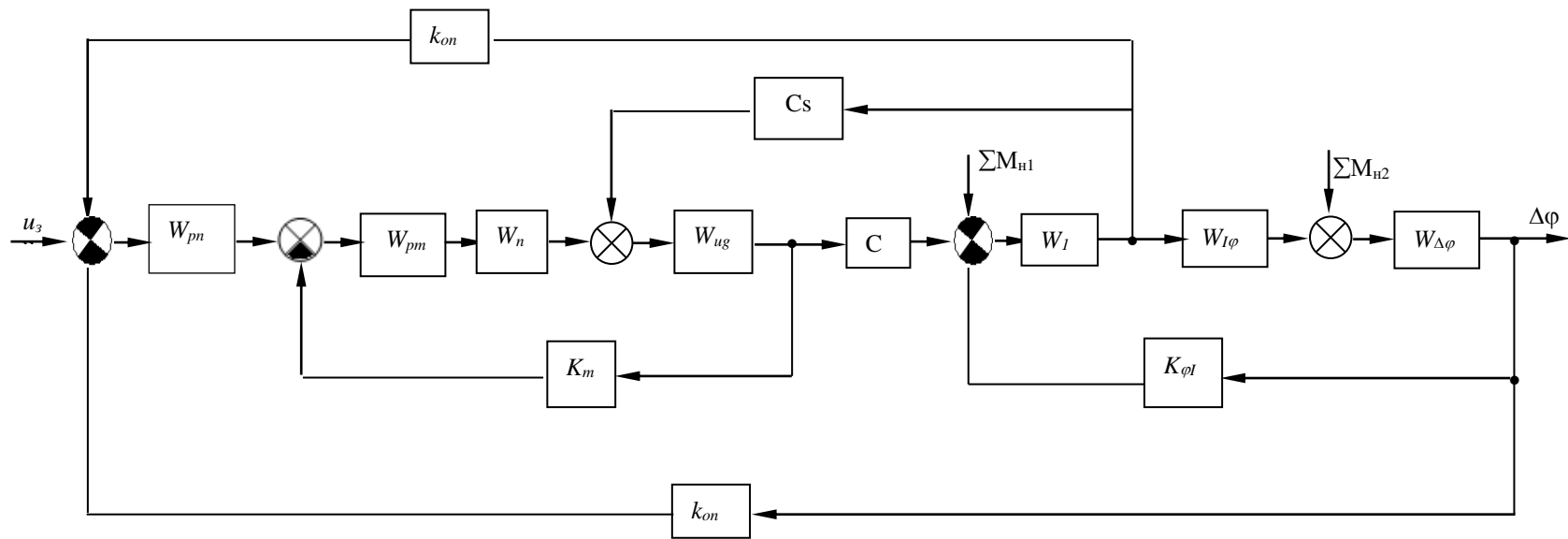
$$b_{\Sigma 1} = b_1 + b_{12};$$

$$b_{\Sigma 2} = b_2 + b_{12}.$$

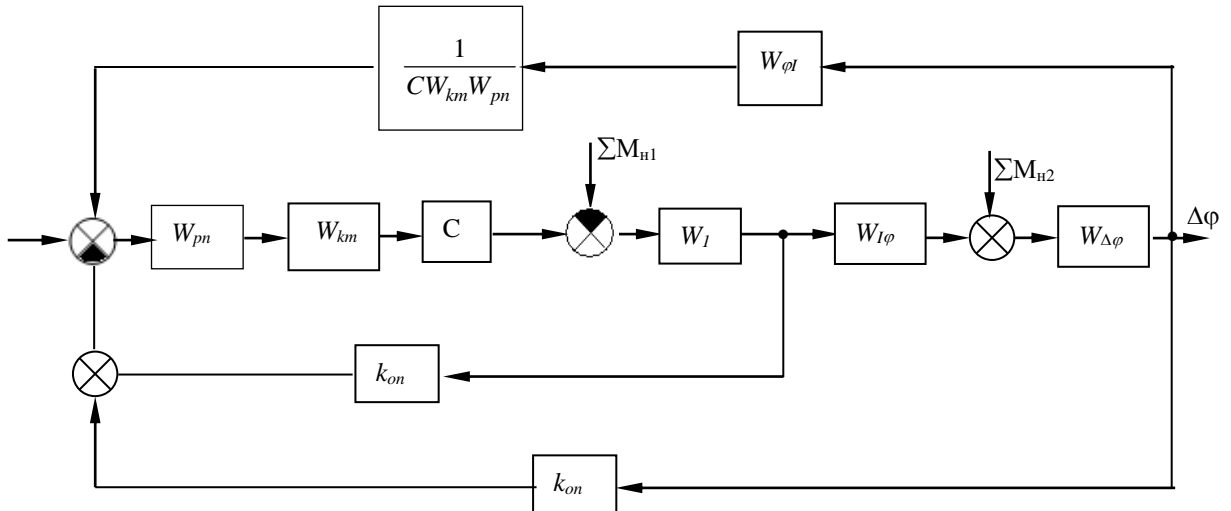
ნახ. 16 მოცემულია გარდაქმნილი სტრუქტურული სქემა.

აქ ნაშრომის [153] თანახმად შემოტანილი დენის ჩაკეტილი კონტური გადამცემი ფუნქცია სახით

$$W_{km}(s) = \frac{1}{K_m} \frac{1}{1 + 2\tau s},$$



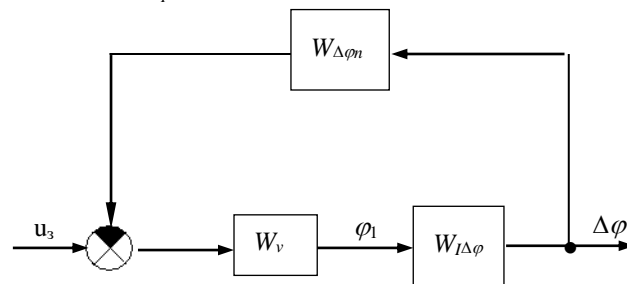
ნახ. 15. სისტემის სტრუქტურული სქემა



ნახ. 16. გარდაქმნილი სტრუქტურული სქემა

სადაც  $W_{kn}$  – დენის ჩაკეტილი კონტურის გადამცემი ფუნქცია;  $K_m$  – გაძლიერების კოეფიციენტი;  $2\tau$  – დროის მუდმივა [153].

გარდაქმნების მეშვეობით დავდივართ ორკონტურიან სისტემაზე, რომელიც გამსხვილებული სახით მოყვანილია ნახ. 17. იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ვიხილავთ მარტო მმართველ ზემოქმედებას. ნახაზზე შიგა კონტურის სისტემად წარმოდგენილი  $K_{om}$  უკუკავშირით შემორტყმული გადამცემი ფუნქცია  $W_{vp}$ .



ნახ. 17. გამსხვილებული სტრუქტურული სქემა

იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ვუგულებელვყოფთ სისტემაში არსებულ ინდუქციურ უკუკავშირს შიგა კონტურის გადამცემი ფუნქცია გამოისახება ასე

$$W_v(s) = \frac{cW_{pn}W_{kn}W_I}{1 - k_{on}cW_{pn}W_{kn}W_I}. \quad (180)$$

თავის მხრივ:

$$I_{1\Delta\varphi} = \frac{I_2 s^2 + b_{2\Sigma} s}{I_2 s^2 + b_{1\Sigma} s + c_{12}}, \quad (181)$$

$$W_{\Delta\varphi n} = k_{on} + \frac{W_{\varphi I}}{c W_{km} W_{pn}}. \quad (182)$$

გაშლილი ფორმით შიგა კონტურის გადამცემი ფუნქცია მიიღებს სახეს

$$W_v = \frac{c K_n K_{kn}}{(1 + 2\tau s)(I_2 s^2 + b_{1\Sigma} s + K_{on} c K_n K_{kn})} = \frac{c K_n K_{kn}}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + k_{on} c K_n K_{kn}}, \quad (183)$$

$$\text{სადაც } a_3 = 2\tau I_2;$$

$$a_2 = 2\tau b_{2\Sigma} + I_2;$$

$$a_1 = b_{1\Sigma}.$$

შემდგომ ვიხილავთ  $\dot{\phi}_2$ ,  $\dot{\phi}_1$  და  $\Delta\varphi$  კოორდინატა მიმართ უკუკავშირების შემოტანის ამოცანას. ეს კოორდინატები სასურველ  $\varphi_{2*}$  კოორდინატთან მიმართებაში გამოისახებიან დამოკიდებულებებით:

$$\Delta\varphi(s) = \frac{I_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} \varphi_{2*}(s), \quad (184)$$

$$\dot{\phi}_1(s) = \frac{I_2 s^2 + b_{12} s + c_{12}}{b_{12} s + c_{12}} \dot{\phi}_{2*}(s). \quad (185)$$

ამ შემთხვევაში უკუკავშირი  $g(t)$  გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$g(t) = K_{\Delta\varphi} \Delta\varphi(s) + K_{\dot{\phi}_1} \dot{\phi}_1 + K_{\dot{\phi}_2} \dot{\phi}_2. \quad (186)$$

ეხლა თუ წარმოვიდგენთ, რომ საქმე გვაქვს მდებარეობის ПИ რეგულატორთან, მაშინ:

$$\begin{aligned} W_v &= \frac{c K_n K_{kn} (1 + T_{pn} s)}{T_{pn} (a_3 s^4 + a_2 s^3 + a_1 s^2) + K_{on} K_n c K_{kr} (1 + T_{pn} s)} = \\ &= \frac{c K_n K_{kn} (1 + T_{pn} s)}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + K_{on} c K_{kr}}. \end{aligned} \quad (187)$$

$$\text{სადაც } A_4 = T_{pn} a_3;$$

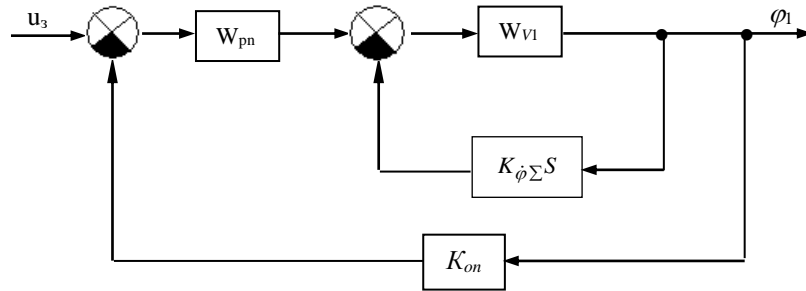
$$A_3 = T_{pn} a_2;$$

$$A_2 = T_{pn} a_1;$$

$$A_1 = K_{on} c K_n K_{kn} T_{pn} \cdot s.$$

სინთეზის შემდგომი ამოცანა იგება სქემით: შიგა კონტურის ოპტიმიზაციური სინთეზი სასურველი პროცესის ვარიაციით  $z_m$  კოეფიციენტის მეშვეობით.

შემდგომი კვლევებისათვის შიგა კონტურის სტრუქტურულ სქემას წარმოადგენს გარდაქმნილი ფორმით (ნახ. 18).



ნახ. 18. შიგა კონტურის სტრუქტურული სქემა

ამ ნახაზზე  $K_{\phi\Sigma} = K_{\phi_1} + K_{\phi_2}$ . ნახ. 18-ის თანახმად ვწერთ:

$$W_v = \frac{W_{pn} W_B}{1 + K_{on} W_{pn} W_B}, \quad (188)$$

$$W_B = \frac{W_{v1}}{1 + K_{\phi\Sigma} s W_{v1}}; \quad (189)$$

$$W_{v1} = \frac{cK_{km}}{(1 + 2\tau s)(I_2 s^2 + b_{1\Sigma} s)} = \frac{cK_{km}}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_{1\Sigma} s}. \quad (190)$$

აღნიშნულის თანახმად

$$W_B = \frac{cK_{km}}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + (b_{1\Sigma} + K_{\phi\Sigma}) s}. \quad (191)$$

მდებარეობის ПИ-რეგულატორის გადამცემ ფუნქციას ვიხილავთ სახით:

$$W_n(s) = K_n \left( \frac{1 + T_{pn} s}{T_{pn} s} \right) = \frac{K_n}{T_{pn}} \frac{1}{s} + K_n = K_{n^*} \frac{1}{s} + K_n = \frac{K_{n^*} + K_n s}{s}, \quad (192)$$

სადაც  $K_{n^*} = \frac{K_n}{T_{pn}}$ .

აღნიშნულთან დაკავშირებით საძიებელი პარამეტრებია:

$$K_n, K_{n^*}, K_{p\phi}.$$

საბოლოო სახით ვწერთ:



$$W_v = \frac{cK_{km}(K_{n^*} + K_n s)}{[a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s]s + cK_{km}K_{on}(K_{n^*} + K_n s)}, \quad (193)$$

ანდა:

$$W_v = \frac{cK_{km}K_{n^*} + cK_{km}K_n s}{(a_3 s^4 + a_2 s^3 + a_1 s^2) + K_n cK_{km}K_{on} s + K_{n^*} cK_{km}K_{on}}. \quad (194)$$

მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით, წარმოსახვით სიხშირეთა [157 - 158] მახასიათებლების და (194)-ის გამოსახულების გამოყენებით გადავდივართ სისტემის სინთეზის ამოცანაზე.

ამასთან დაკავშირებით მოცემულ სასურველ პროცესთან  $\varphi_{2^*}(t)$  შესაბამისად ვწერთ საწყის მიახლოვებით ტოლობას  $\varphi_1(t)$  რეგულირებადი და  $\varphi_{2^*}(t)$  სასურველ კოორდინატთა შორის, რომელიც ლაპლასის გარდაქმნებში მიიღებს სახეს:

$$\varphi_1(s) \approx \varphi_{1^*}(z_m s) = \frac{M(z_m s)}{N(z_m s)} u_1(s), \quad (195)$$

სადაც:  $M$  და  $N$  – შესაბამისად წარმოადგენენ სასურველი კოორდინატის გამოსახულების მრიცხველსა და მნიშვნელს;  $z_m$  – სასურველი პროცესის ვარიაციის განხორციელებისათვის საჭირო დროის მასშტაბური კოეფიციენტი.

დამოკიდებულების (195) გამოყენებით ვწერთ:

$$\begin{aligned} [K_{\phi\Sigma} s^2 + K_n cK_{km}K_{on} + K_{n^*} cK_{km}K_{on} + B_1(s)]M_*(z_m, s) = \\ = (K_{n^*}K_{km}c + K_n K_{km}cs)N_*(z_m, s). \end{aligned} \quad (196)$$

უკანასკნელიდან გადავდივართ დამოკიდებულებაზე

$$\Phi_1(z_m, s)K_{\phi\Sigma} + \Phi_2(z_m, s)K_n + \Phi_3(z_m, s)K_{n^*} = \Phi_0(z_m, s), \quad (197)$$

სადაც:

$$\Phi_1 = M_* s^2;$$

$$\Phi_2 = (cK_{km}K_{on}M_* - K_{km}c)sN_*(z_m, s);$$

$$\Phi_3 = cK_{km}K_{on}M_* - K_{km}cN_*;$$

$$\Phi_0 = (a_3 s^4 + a_2 s^3 + b_{1\Sigma} s^2)M_*;$$

$$B_1 = a_3 s^4 + a_2 s^3 + b_{1\Sigma} s^2.$$

მიღებული დამოკიდებულების (197) თანახმად ვწერთ აპროქსიმაციათა  $l$  კვანძების  $\delta = \delta_v$  ( $\delta_v$  იღებს დადებით საგნობრივ მნიშვნელობებს) მიმართ პირობით განტოლებათა სისტემას

$$\Phi_1(\delta_v)K_{\phi_\Sigma} + \Phi_2(\delta_v)K_n + \Phi_3(\delta_v)K_{n^*} = \Phi_0(\delta_v), \quad (198)$$

$$v = 1, 2, \dots, l.$$

რადგანაც მოცემული პირობის თანახმად, სხვადასხვა ნაწილების სიხშირეთა მახასიათებლების მნიშვნელობები ორიგინალის აღწარმოების სიზუსტის თვალსაზრისით განსხვავებულია. ამიტომ, აპროქსიმაციის კვანძები (მეტი სიხშირით  $\delta \rightarrow 0$  არეში) არათანაბრად განლაგდებიან. განტოლებათა სისტემა კი მარაგდება წონითი კოეფიციენტებით. აპროქსიმაციების კვანძების განლაგებარეკომენდებულია ნაშრომში [129, 131]. გომეტრიული პროგრესიის თანახმად

$$\delta_v = \delta_0 q^{-v}, \quad v = 0, \dots, l-1,$$

რომლის ფუძე  $q=2$ -ს.

ამასთან, აპროქსიმაციისათვის უბანი  $0 \leq \delta \leq \delta_0$ , საჭირო განმსაზღვრელ ნაწილს წარმოადგენს, სადაც  $X^0(\delta_0)$  შეიძლება იყოს გამოსახული  $X^0(\delta)_{\max}$ -ის წილად;  $X^0(\delta_v) = kX^0(\delta)_{\max}$ , სადაც  $k = 0,7 - 0,8$ .

შემდგომ ყოველი პირობითი განტოლება (198) მრავლდება წონით მამრავლზე  $\gamma_v(\delta_v)$ , რომელიც განისაზღვრები შემდეგი ფორმულებით [129]:

$$\gamma_v(\delta_v) = \frac{\theta}{\Omega_v};$$

$$\Omega_v = \frac{\Phi_1(\delta_v) + \Phi_2(\delta_v) + \Phi_3(\delta_v) + \Phi_0(\delta_v)}{4};$$

$$\theta = \frac{\sum_{v=1}^l \Omega_v}{l}, \quad v = 1, \dots, l.$$

ასეთი საშუალებით მიღებულ განტოლებათა სისტემას ვამუშავებთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდით საძიებელი პარამეტრების მიმართ.

იმ შემთხვევაში კი როდესაც სისტემაში გამოყენებულია მდებარეობის  $\Pi$  – რეგულატორი  $W_v(s)$  გადამცემი მიიღებს სახეს

$$W_v = \frac{cK_{km}K_n}{(a_3s^3 + a_2s^3 + a_1s) + cK_{km}K_nk_{on}}, \quad (199)$$

სადაც

$$a_1 = b_{1\Sigma} + K_{\phi\Sigma}.$$

უკანასკნელიდან გადავდივართ დამოკიდებულებაზე

$$[K_{\phi\Sigma}s + K_nK_{km}ck_{on} + B_*(s)M(z_ms) = K_nK_{km}c \cdot N(z_ms)]. \quad (200)$$

აქედან ვწერთ:

$$\Phi_1(z_ms) \cdot K_{\phi\Sigma} + \Phi_2(z_ms)K_n = \Phi_0(z_ms), \quad (201)$$

სადაც

$$\Phi_1 = Ms;$$

$$\Phi_2 = cK_{km}k_{on}M - K_{km}cN;$$

$$\Phi_0 = a_3s^3 + a_2s^2 + b_{1\Sigma}s;$$

$$B_* = a_3s^3 + a_2s^2 + b_{1\Sigma}s^2.$$

მიღებული დამოკიდებულების თანახმად ვწერთ აპროქსიმაციად  $\ell$  კვანძების  $\delta = \delta_v$  ( $\delta_v$  იღებს დადებით საგნობრივ მნიშვნელობებს) მიმართ პირობით განტოლებათა სისტემას

$$\Phi_1(\delta_v)K_{\phi\Sigma} + \Phi_2(\delta_v)K_n = \Phi_0(\delta_v), \quad (202)$$

$$v = 1, 2, \dots, \ell.$$

ანალოგიურად ზემოაღნიშნულისა მიღებულ განტოლებათა სისტემას ვამუშავებთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდით საძიებელი  $K_{\phi\Sigma}$  და  $K_n$  პარამეტრების მიმართ და ვიღებთ:

შემდგომი ამოცანაა რხევითი მდგენელის სინთეზი. ამ მიზნით ვწერთ მთლიანი სისტემის გადამცემ ფუნქციას

$$W_0(s) = \frac{W_{pn}W_b}{1 + W_{pn}W_bk_{on}}, \quad (203)$$

სადაც

$$W_b(s) = \frac{W_{pn1}(s)}{1 + W_{pn1}q(s)}; \quad (204)$$

$$q(s) = \left[ K_{\Delta\phi} \frac{I_2 s^2}{b_{12}s + c_{12}} + K_{\dot{\phi}_1} \frac{I_2 s^3 + b_{12}s^2 + c_{12}s}{b_{12}s + c_{12}} + K_{\dot{\phi}_2} s \right] \varphi_{2,oc}. \quad (205)$$

ან გარდაქმნილი სახით:

$$\begin{aligned} q(s) &= \frac{K_{\Delta\phi} I_2 s^2 + K_{\dot{\phi}_1} I_2 s^3 + K_{\dot{\phi}_1} b_{12} s^2 + K_{\dot{\phi}_1} c_{12} s + K_{\dot{\phi}_2} s (b_{12} s + c_{12})}{b_{12} s^2 + c_{12}} = \\ &= \frac{K_{\dot{\phi}_1} I_2 s^3 + (K_{\Delta\phi} I_2 + K_{\dot{\phi}_1} b_{12} + K_{\dot{\phi}_2} b_{12}) s + (K_{\dot{\phi}_1} c_{12} + K_{\dot{\phi}_2} c_{12}) s}{b_{12} s^2 + c_{12}}. \end{aligned} \quad (206)$$

აქედან გამოდინარე

$$W_B(s) = \frac{K_{\tau T} c (b_{12} s^2 + c_{12})}{(A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2) + K_{\tau T} c [I_{\dot{\phi}_1} I_2 s^3 + (K_{\Delta\phi} I_2 + K_{\dot{\phi}_1} b_{12} + K_{\dot{\phi}_2} b_{12}) s^2 + (K_{\dot{\phi}_1} c_{12} + K_{\dot{\phi}_2} c_{12}) s]}, \quad (207)$$

$$W_0(s) = \frac{K_n K_{\tau T} c (b_{12} s^2 + c_{12})}{(A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2) + K_{\tau T} c [I_2 I_{\dot{\phi}_1} s^3 + (K_{\Delta\phi} I_2 + K_{\dot{\phi}_1} b_{12} + K_{\dot{\phi}_2} b_{12}) s^2 + (K_{\dot{\phi}_1} c_{12} + K_{\dot{\phi}_2} c_{12}) s] + K_n k_{on} K_{\tau T} c (b_{12} s + c_{12})}. \quad (208)$$

შემომავლს აღნიშვნა

$$K_{\dot{\phi}_1} = K_{\Sigma\phi} - K_{\dot{\phi}_2}$$

და ვწერთ სისტემის მახასიათებელ განტოლებას:

$$\begin{aligned} (A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2) + (K_{km} c I_2 I_{\dot{\phi}_1}) s^3 + K_{km} c (K_{\Delta\phi} I_2 + K_{\dot{\phi}_1} b_{12} + \\ + K_{\dot{\phi}_2} b_{12}) s^2 + [K_{km} c (K_{\dot{\phi}_1} c_{12} + K_{\dot{\phi}_2} c_{12}) + K_n k_{on} K_{\tau T} b_{12}] s + K_n k_{on} K_{\tau T} c C_{12} = 0, \end{aligned} \quad (209)$$

ანდა გამსხვილებულად:

$$A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_{3*} s^3 + A_{2*} s^2 + A_{1*} s + A_{0*} - K_{\tau T} c I_2 I_{\dot{\phi}_2} s^3 + K_{\tau T} c I_2 K_{\Delta\phi} s^2 = 0, \quad (210)$$

სადაც:

$$A_{3*} = A_3 + K_{\tau T} c I_2 K_{\Sigma\phi};$$

$$A_{2*} = A_2 + K_{\tau T} K_{\Sigma\phi} b_{12};$$

$$A_{1*} = K_{\tau T} c C_{12} K_{\Sigma\phi} + K_n k_{on} K_{\tau T} c b_{12},$$

$$A_{0*} = K_n k_{on} K_{\tau T} c b_{12}.$$

შემდგომი კვლევებისათვის მახასიათებელ განტოლებაში შემოგვაქვს აღნიშვნა

$$s = \varepsilon + j\omega,$$

რომლის თანახმად

$$s = (\varepsilon + j\omega);$$

$$s^2 = a_{s2} + jb_{s2};$$

$$s^3 = a_{s3} + jb_{s3};$$

$$s^4 = a_{s4} + jb_{s4};$$

$$s^5 = a_{s5} + jb_{s5},$$

სადაც

$$a_{s2} = \varepsilon^2 - \omega^2;$$

$$a_{s2} = 2\varepsilon\omega;$$

$$a_{s3} = \varepsilon^3 - 3\varepsilon\omega^2;$$

$$a_{s3} = 3\varepsilon^2\omega - \omega^3;$$

$$a_{s4} = 3\varepsilon^3\omega + \varepsilon^4 + \omega^4 - 6\varepsilon^2\omega^2 - \varepsilon\omega^3;$$

$$a_{s4} = \varepsilon^3\omega - 3\varepsilon\omega^3;$$

$$a_{s5} = a_{s4}\varepsilon - b_{s4}\omega,$$

$$a_{s5} = b_{s4}\varepsilon + a_{s4}\omega.$$

გადავდივართ მახასიათებელი განტოლების წარმოსახვით და ნამდვილ მდგენელებზე:

$$A_5(a_{s5} + jb_{s5}) + A_4(a_{s4} + jb_{s4}) + A_{3^*}(a_{s3} + jb_{s3}) + A_{2^*}(a_{s2} + jb_{s2}) + A_{1^*}(\varepsilon + j\omega) + A_{0^*} - K_{\tau T} c I_2 K_{\phi 2} (a_{s3} + jb_{s3}) + K_{\tau T} c I_2 K_{\Delta\phi} (a_{s2} + jb_{s2}) = 0.$$

$$A_5 a_{s5} + A_4 a_{s4} + A_{3^*} a_{s3} + A_{2^*} a_{s2} + A_{1^*} \varepsilon + A_{0^*} + K_{\tau T} c I_2 K_{\Delta\phi} a_{s2} + K_{\tau T} c I_2 K_{\phi 2} a_{s3} = 0;$$

$$A_5 b_{s5} + A_4 b_{s4} + A_{3^*} b_{s3} + A_{2^*} b_{s2} + A_{1^*} \omega + K_{\tau T} c I_2 K_{\Delta\phi} b_{s2} - K_{\tau T} c I_2 K_{\phi 2} b_{s3} = 0. \quad (211)$$

მივიღეთ ორი განტოლება ორი უცნობით  $K_{\Delta\phi}$  და  $K_{\phi 2}$ .

სინთეზის ამოცანის გადაჭრისათვის შემოგვაქვს  $z_m$ -ის,  $\omega$ -ს და  $\varepsilon$ -ის მნიშვნელობები და ვსაზღვრავთ სინთეზირებადი პარამეტრების მნიშვნელობებს.

## დასკვნები

1. საჩარხო ტექნოლოგიური თანამედროვე სისტემების ტექნოლოგიური პროცესების ორგანიზაციის თავისებურებასა და სტრუქტურული აგების და შემდგომი განვითარების ტენდენციების მიმართ ჩატარებული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სტრუქტურული მრავალსახეობის ხარისხის ზრდასთან ერთად ფართოვდება ტექნოლოგიური მანქანების შემადგენლობა, სადაც წარმოიქმნებიან ახალი ქვესისტემები და იერარქიის სტრუქტურული დონეები. სისტემური მიდგომითი ზრდება ალტერნატიული ვარიანტების რაოდენობა, რომელიც ემსახურება ტექნოლოგიური მანქანების პროექტირების ერთიანი პროცესის გამოვლენას. შესაბამისად განისაზღვრება პროექტირების ამოცანები და მათი ამოხსნის შესაძლო მეთოდები.

ოპტიმიზაციური ამოცანების ამოხსნა პირდაპირ კავშირშია ისეთი მათემატიკურ კანონზომიერებების გამოყენებასთან, რომელიც აკავშირებს ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებს ტექნოლოგიური მოწყობილობის ტექნოლოგიურ, ექსპლუატაციურ და კონსტრუქციულ მაჩვენებლებთან.

2. მწარმოებლურობის და ეკონომიკური ეფექტურობის კრიტერიუმების, საწარმოო პროცესების თვითღირებულების ხარისხობრივი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ უკანასკნელნი ტექნოლოგიური სისტემის საიმედოობასთან მნიშვნელოვან კავშირში იმყოფებიან, რომელიც თავის მხრივ განისაზღვრება მექანიზმებისა და მჭრელი იარაღების საიმედოობებით, საწარმოო ექსპლუატაციის პროცესში მათი ალბათობითი მაჩვენებლებით.
3. ურთიერთკავშირში მყოფი ეფექტურობის კრიტერიუმების ძირითადი კანონზომიერებების გაანალიზებით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ თუ ავტომატურ ხაზებთან და ჩარხ-ავტომატებთან მიმართებაში მნიშვნელოვნად აქტუალურია მრავალსაიარაღო დამუშავებასთან დაკავშირებული საკითხები, მაშინ ავტომატიზებული ტექნოლოგიური

მანქანებისა და მანქანათა სისტემების ფართო სპექტრში ერთ–ერთი მნიშვნელოვანია ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატური რეგულირებისა და მართვის სისტემათა სტრუქტურული და კონსტრუქციული ოპტიმიზაციის ამოცანები, რომლებიც შემდგომ შეთანწყობაში პირდაპირ კავშირშია ამრავთა ავტომატიზირებული ამრავების გაანგარიშების ოპტიმიზაციური მეთოდების გამოყენებასთან.

4. შემოთავაზებული მზადყოფნის კოეფიციენტის და საწარმოო პროცესის თვითღირებულების მათემატიკური საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემებისათვის, რომლებშიც გამოიყენება მჭრელი იარაღებისა და მექანიზმებისა და მოწყობილობების მწყობრიდან გამოსვლის მომენტებთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა.

დამოკიდებულებები გამოსახულნი არიან ცხად ფუნქციონალურ კავშირში დამუშავების რეჟიმებთან და წარმოადგენენ შემდგომი ოპტიმიზაციური გაანგარიშებების თეორიულ საფუძველს.

შემუშავებული მეთოდოლოგიის ეფექტურობის განსაზღვრის თვალსაზრისით ჩატარებული იქნა გარკვეული საწყისი პარამეტრების მქონე მრავალსაიარაღო პროცესის სარეალიზაციო ტექნოლოგიური სისტემის ვარირებადი მჭრელი იარაღების ტექნოლოგიური პარამეტრების და მექანიზმებისა და მოწყობილობების საექსპლუატაციო პარამეტრების ოპტიმიზაციური შერჩევის საანგარიშო პროცესურები, მიმართული საწარმოო პროცესის თვითღირებულების გამოსახულების მინიმიზაციისაკენ.

გაანგარიშების შედეგებმა გვიჩვენეს ჩამოყალიბებული მეთოდოლოგიის პრაქტიკული სახის ეფექტურობა.

5. აღნიშნულთან დაკავშირებით მნიშვნელოვნად აქტუალურია გამოსაკვლევი ავტომატიზებული მანქანათა ტექნოლოგიური კომპლექსების, ამრავთა ავტომატიზებული სისტემების სტრუქტურული და კონსტრუქციული ამაღლების საკითხები, დინამიკური კვლევის მეთოდები და მეთოდიკები.

აღნიშნულია, რომ გამოსაკვლევი ავტომატური დაავტომატიზირებული ტექნოლოგიური სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური პარამეტრების სრულყოფა, ამ სისტემებში გამოყენებული მოთვალთვალე ამძრავების მაღალი ტექნიკური მახასიათებლებითაა მნიშვნელოვნად განპირობებული.

როგორც ანალიზიდან ჩანს, გამოსაკვლევი მოთვალთვალე სისტემების შემდგომი სრულყოფა მოითხოვს სისტემათა ცალკეულ ელემენტებში მოქმედი მოვლენების უფრო ადეკვატურ გათვალისწინებას და ასევე სტრუქტურული და პარამეტრული სინთეზის ოპტიმიზაციური მეთოდების შემდგომ სრულყოფას.

6. ხარისხობრივი და რაოდენობრივი ანალიზის ცნობილი კვლევები გვიჩვენებს, რომ დინამიკური მოდელირებისა და კვლევის ეფექტურობის ამაღლება საჭიროა, მრავალმასიანი მექანიკური სისტემების დრეკადი კავშირების გაღრმავებული მიდგომებით. ეს უკანასკნელი კი თავის მხრივ დაკავშირებულია, მექანიკური ნაწილის მოდელირებისა და კვლევის მეთოდების შეთანწყობასთან, როგორც მთლიანი ელექტრომექანიკური სისტემის კვლევის საკითხებთან.

7. გამოსაკვლევი სისტემების ცალკეული ელემენტების შემუშავებული მათემატიკური მოდელებისა და მათი შეთანწყობის საკითხების გათვალისწინებით აგებულია მოთვალთვალე სისტემათა ძირითადი მათემატიკური მოდელები. მექანიკური ნაწილის მოდელირების საკითხის გადაჭრისათვის გამოყენებულია აპროქსიმაციულ მოდელებზე გადასვლის ორიგინალური მეთოდოლოგია, რომელიც აგებულია წარმოსახვით სიხშირეთა მოდიფიცირებული მახასიათებლების გამოყენებაზე.

სტრუქტურული და პარამეტრული ოპტიმიზაციის შემდგომი ამოცანების ამოხსნის უზრუნველსაყოფად აგებულია საჩარხო მოთვალთვალე ამძრავთა სისტემების დინამიკის მათემატიკური მოდელები.

8. შემუშავებული მათემატიკური მოდელების და აგრეთვე ცნობილი კვლევების ანალიზი დინამიკური სინთეზის ძირითადი კრიტერიული



პარამეტრების გამოვლენის თვალსაზრისით მიგვითითებს საკვლევი სისტემის სინთეზის თეორიის შემუშავების მიზანშეწონილობაზე მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდოლოგიების გამოყენების საფუძველზე შემოთავაზებულია სინთეზის გამოყენებითი მეთოდების აგების ორი სახის ზოგადი სქემები, რომლებიც მიმართულია ტექნიკური მაჩვენებლების ოპტიმიზაციისკენ.

პირველი სქემის თანახმად სინთეზირებადი პარამეტრების გამოვლენის მეთოდიკა აგებულია სისტემის კოორდინატთა მთლიანი დამკვირვებლობის პირობის შემცველი მოდალური მართვის ალგორითმენზე. სასურველი პროცესის მიღების თვალსაზრისით განხილვაში შემოტანილია საკვლევი სისტემის გადამცემი ფუნქციის მნიშვნელის პოლინომის ხარისხის მქონე ნორმირებული გადამცემი ფუნქციები და შემდგომ სინთეზის პროცედურების თვალსაზრისით სასურველი ნორმირებული და საკვლევი სისტემის გადამცემი ფუნქციების მახასიათებელი განტოლებების ცალკეული წევრების ტოლობის პირობიდან გამომდინარე განისაზღვრება სისტემის სინთეზირებად პარამეტრები.

9. მეორე სახის სინთეზის ზოგადი სქემა აგებულია საკვლევი და სასურველი პროცესების მიახლოებით ტოლობაზე. რომელიც განსახილველია დინამიკური სისტემის სტრუქტურულ-პარამეტრული სინთეზის პრაქტიკული რეალიზაციისთვის. ცალკეული მდგენელების ჯამის სახითაგებულია რეგულირებადი და რეალიზაციისათვის სასურველი კოორდინატების მიახლოებითი ტოლობის მათემატიკური მოდელები და გამსხვილებული გარდაქმნილი სტრუქტურული სქემები, რომელშიც წრფივი მამრავლების სახით წარმოდგენილია განსახილველი სისტემის სინთეზირებადი პარამეტრები. რის საფუძველზეც ხორციელდება მრავალპარამეტრული სინთეზის მიმდევრობითი რეალიზაცია შემდეგი სქემით: გამოსაკვლევ პარამეტრებთან წრფივი და ნორმალური

განტოლების სისტემების შედგენა და ასევე დინამიკური მდგრადობის შემოტანით, სასურველი კოორდინატების გამოსახულებაში არგუმენტების სახით არსებული დროის მასშტაბური კოეფიციენტების ვარიაციით.

10. ნაშრომში რეალიზებულია საკვლევი მოთვალთვალე სისტემის საანგარიშო გამოკვლევების გარკვეული წრე, რომელიც მიზნად ისახავს სინთეზის თეორიის გარკვეული კანონზომიერებისა და უტყუარობის გამოვლენას, რაც თავის მხრივ შემუშავებულია საკვლევი მრავალპროფილიანი სისტემების მთლიანი დამკვირვებლობის პირობიდან გამომდინარე, გარდამავალი პროცესების მიხედვით. გაანგარიშების შედეგებმა აჩვენეს, რომ შემუშავებული თეორია საშუალებას გვაძლევს ჩავატაროთ სინთეზირებადი პარამეტრების მიზანდასახული შერჩევა და მიღებული შედეგების რაოდენობრივი მაჩვენებლებიდან ახლოს არიან სასურველ პროცესებთან.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Артоболевский И.И. Ильинский Д.Я. «Основы синтеза систем машин автоматического действия». Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. 280 с.
2. Ковшов А.Н. «Технология машиностроения». «Машиностроение», 1987 320 с.
3. Оптимальных технологических систем машин. Сборник статей/ «Машиностроение», 1989. 344 с.
4. «Имитационное моделирование производственных систем»/ «Машиностроение»; Берлин, Техника, 1983. 416 с.
5. Усов Б.А. Кузнецов М.М. Стародубов В.С. «Проектирование автоматизированного оборудования». «Машиностроение», 1987. 288с.
6. Волчкевич Л.И. Кузнецов М.М. Замчалов Ю.П. Автоматизация производственных процессов. Высшая школа, 1978. 431 с.
7. Волчкевич Л.И. Надежность автоматических линий. «Машиностроение», 1969. 209 с.
8. «Автоматические линии в машиностроении Справочник». В 3-х томах/Под ред. А.И. Дащенко. «Машиностроение», 1976.
9. Белоусов А.П. Дащенко А.И. Проектирование автоматических линий: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов. Высш. школа, 1983. 328 с.
10. «Автоматические линии для механической обработки»: Каталог. НИИмаш. 1982. 112 с.
11. Владзиевский Л.П. «Типовые автоматические линии для механической обработки». МАШГИЗ, 1962. 92 с.
12. «Автоматические линии из агрегатных станков»/Н.М. Вороничев. Ж.Э. Тартаковский. В.Б. Генин. 2-е изд. перераб. и доп. «Машиностроение», 1979. 487 с.
13. Шаумян Г.А. «Комплексная автоматизация производственных процессов». «Машиностроение», 1973. 640 с.
14. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы. В 14 кн. Кн. 10. В.В. Земляной. Б.И. Черпаков А.Н. Феофанов. Гибкие автоматизированные линии массового и крупносерийного производства. Практич. пособие/высш. школа, 1989. 122 с.
15. Жукова Э.Л. «Ритмичность выпуска продукции автоматическими линиями»/Механизация и автоматизация производства. 1985. № 9.
16. «Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы». Практик. И.В. Брук. Б.И. Черпаков, Гибкие механообрабатывающие производственные системы/высш. школа, 1989. 127 с.
17. «Гибкие производственные системы», промышленные роботы, робототехнические комплексы. Практик. пособие. В 14 кн. Кн. 3. Л.М.

- Кордыш. В.Л. Косовский. Гибкие производственные модули/высш. школа, 1989. 111 с.
18. Волоценко П.В. Агрегатно – «модульный принцип построения многооперационных сверлильно-фрезерно – расчетных станков» НИИМАШ, 1982 г.
  19. «Робототехника и гибкие автоматизированные производства». В 9-ти кн. Кн. 7. Гибкие автоматизированные производства в отраслях промышленности: Учебн. пособие для вузов/И.М. Макаров, П.Н. Белянин, Л.В. Лобиков. Высш. школа, 1986. 176 с.
  20. «Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы». В кн. Кн. 2/ А.М. Савинов, В.Ф. Горнев, В.И. Валиков. Комплексные технологические процессы ГПС. Практ. пособие Высшая школа, 1989. 112 с.
  21. «Гибкие производственные комплексы»/«Машиностроение», 1984. 384 с.
  22. Меткин Н.П. Лапин М.С., Клейменов С.А. Еритский В.М. Гибкие производственные системы. Издательство стандартов, 1989. 310 с.
  23. Модульное оборудование для гибких производственных систем Справочник/Р.Э. Сафроган, Г.А. Кривов. В.Н. Татаренко Техника, 1989, 175 с.
  24. Франкен П Байхельт Ф.. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход: Пер. с нем. Радио и связь, 1988. 392 с.
  25. Ястребенецкий Н.А. Иванова Г.М. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами: Учебн. пособие для вузов. Энергоатомиздат, 1989. 264с.
  26. Егоров М.Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. Изд. 6-е переработ. и доп. Высш. школа. 1960. 480 с.
  27. Черпаков Б.И. Воеводин В.М. Гибкие автоматические линии (Классификация. Принципы построения)/Станки и инструмент. 1985 №10.
  28. Хартли Дж. ГСП в действии: Пер. с англ. «Машиностроение». 1987. 328 с.
  29. Kearney and Trecker Corp. Eand T's Worls of Manufackturing systems. Nilwankee, Wis. 1980.
  30. Промышленная Робототехника и гибкие автоматизированные производства: Опыт разработки и внедрения/Лениздат 1984. 223 с.
  31. «Гибкие производственные системы промышленные Роботы, робототехнические комплексы». Практ. пособие. В 14 кн. Кн. 6. Высш. школа, 1989. 95 с.
  32. «Гибкие производственные системы Японии»/Пер. с яп. А.Л. Семенова: Машиностроение. 1987. 232 с.
  33. «Автоматизация дискретного производства»/Б.Е. Бонев. Г.И. Бохачев. И.К. Бояджиив. «Машиностроение»: София: 1987. 376 с.

34. «Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы». Практик. пособие / Под ред. Б.И. Черпакова. М.: Высш. школа, 1989. – 112 с.
35. «Гибкие производственные системы (Обзор отечественной и зарубежной информации в области стандартизации ГСП)» / О.А. Барский, С.Д. Вайс, – М.: Издательство стандартов 1987 – 76 с.
36. ГПС Европы и США. – Масинесуто, 1981.
37. Лищинский Л.Ю. Техничко - экономический анализ и методы выбора рациональных структур гибких производственных систем: М.: ВНИИТЭМР, 1985. – 64 с.
38. Дымарский Я.С. Морозов В.П., Элементы теории управления ГАП. Машиностроение, 1984., 384 с.
39. «Гибкое автоматическое производство» В.О. Азбель. В.А. Егоро. и др.; Под общ. ред. С.А. Майорова, Г.В. Халкионова – 2-е изд. перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1985. – 454 с.
40. Норенков И.П., Введение в автоматизированное проектирование технических устройств. – М.: Высшая школа. 1986. – 304 с.
41. Васильев Г.Н. Автоматизация проектирования металлорежущих станков. «Машиностроение» 1987, 280 с.
42. Грачев Ю.В. Мымрин К.А. и др. Техничко-экономический анализ машин и приборов. / Под общей ред. М.И. Инатова. М.: Машиностроение, 1985. 248 с.
43. Артоболовский И.И. Теория механизмов. – М.: 1967. 720 с.
44. Артоболовский И.И. Анализ и синтез механизмов – М.: 1960. 212 с.
45. Артоболовский И.И. Курс теории механизмов и машин. – М.: Высшая школа, 1975. – 320 с.
46. Артоболовский И.И., Эдельштейн Б.В. «Сборник задач по теории механизмов и машин». – М.: Наука, 1975. – 156 с.
47. Артоболовский И.И., Левитский И., Ческудинов С.А. Синтез плоских механизмов. – М.: Физматгиз, 1959. – 1084 с.
48. Артоболовский И.И. Добровольский В.В., Структура и классификация механизмов. – М.: 1939 – 66 с.
49. Franke R. Eine vergiechende Schalt und Getziebelchre. Neue Wege der Kinematik Munchen n. Berlin, 1930.
50. Левитский И. «Теория механизмов и машин». – 1979. 252 с.
51. Левитский И. Колебания в механизмах. М.: 1981. – 276 с.
52. Черкудинов С.А., Синтез плоских шарнирно-рычажных механизмов. 1959.
53. Джабуа Г.А., Езикашвили О.С. Аналитическое определение ускорений звеньев в плоских семизвенных шарнирно - рычажных механизмах /Труды Грузинского политехнического института / № 1, 1975, 174 с.
54. Тавхелидзе Д.С., Исследование плоских пятизвенных механизмов с двумя степенями подвижности – Тбилиси, изд. Мецниереба, 1972. 154 с.

55. Баранов Г.Г., Курс теории механизмов и машин. – Машиностроение, 1975. 494 с.
56. Раскин Я.М., Кожевников С.И., Есипенко А.И., Механизмы. Машиностроение, 1973. – 584 с., с ил.
57. Янг Д.Х., Тимошенко С.П., Уйвер У. Колебания в инженерном деле – Машиностроение, 1985. – 472 с.
58. Морзе И.Е., Цзе Ф.С., Хинка Р.Т., Механические колебания. – Машиностроение, 1966. 508 с.
59. Кудинов В.А, Динамика станков., 1967. 356 с.
60. Манжос Ф.М., Деревообрабатывающее оборудование Машгиз. 1962 575 с.
61. Бидерман В.Л.. Прикладная теория механических колебаний. 1980. 368 с.
62. Диментберг М.Ф. Нелинейные стохастические задачи механических колебаний. 1980. 368 с.
63. Дондошанский В.К., Вейц В.Л., Чиряев В.И.. Вынужденные колебания в металлорежущих станках. Машгиз. 1989. 286 с.
64. Сергеев С.И., Демпфирование механических колебаний. Физматгиз, 1959. 407 с.
65. Пальмов В.А., Колебания упруго-пластических тел. 1976. 327 с.
66. Карташев А.П., Рождественский Б.Л., Обыкновенные дифференциальные уравнения и основы вариационного исчисления. Наука 1980. 287 с.
67. Коловский М.З., Динамика машин. «Машиностроение», 1989. 263 с.
68. Кобалава Б.Г. Тавхелидзе Д.Д. Исследование приводного механизма листоукладывателя с учетом влияния динамических характеристик исполнительной системы. Сб. трудов ГПИ 1989. С. 5-7.
69. Казак С.А. Динамика мостовых кранов. «Машиностроение», 1968, 332 с.
70. Комаров М.С., Динамика механизмов и машин. «Машиностроение», 1968. 332 с.
71. Адамия Р.Ш., Оптимизация динамических нагрузок прокатных станов. Металлургия. 1978. 232 с.
72. Голубенцев А.Н. «Интегральные методы в динамике». Киев.: Техніка, 1967. 350 с.
73. Чиряев В.И., Вейц В.Л. Дондошанский В.К. Вынужденные колебания металлорежущих станков. М.-Л. 1959. 285 с.
74. Хургин З.Я. Красников Ю.Д. Нечаевский В.М. Оптимизация привода выемочных и проходческих машин. 1983. 264 с.
75. Гидравлический следящий привод/Под ред. В.А. Лешенко, – М.: «Машиностроение», 1968. 564 с.
76. Герц Е.В. Кребник Г.В. Расчет пневмоцилиндров Справочное пособие Б.К. «Машиностроение» 1975. 272 с.

77. Хлыпало Е.И. Нелинейные «системы автоматического регулирования» (Расчет и проектирование)/Под общ. ред. Е.П., Попова. – Ленинград. от-ие, 1967. 452 с.
78. Вульфсон И.И., Коловский М.З. Нелинейные задачи динамики машин. «Машиностроение» 1968 284 с.
79. Вульфсон И.И. Колебания машин с механизмами циклового действия. «Машиностроение», 1990 309 с.
80. Чечурин С.Л. Островский М.Я. Стационарные модели системы автоматического управления с периодическими параметрами Энергоатомиздат 1989 208 с.
81. Котченко В.В.. Виноградов Е.Е.. Островский М.Я. Расчет линейных периодических нестационарных систем. Сложные системы управления. Изд-во ЛГУ 1985 122-129 с.
82. Воронов А.А. Основы теории автоматического регулирования Часть II. Ленинград. 1965 208 с.
83. Поспелов Г.С. Красовский А.А., Основы автоматики и технической кибернетики. М. Д. Госэнергоиздат, 1962 600 с.
84. Попов Е.П. Биссекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования 3-ие изд. Наука, 1975 768 с.
85. Нелинейные системы автоматического управления/Машиностроение, 1979 568 с.
86. Кринецкий И.И.. Расчет нелинейных автоматических систем Киев: Техника, 1968 312 с.
87. Михайлов О.П., Динамика электромеханического привода металлорежущих станков «Машиностроение» 1989. 224 с.
88. Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления, Под ред. А.А. Воронова и И.А. Огурка. 1984 344 с.
89. Чупраков Ю.И., «Электрогидравлические следящие приводы.» МАДИ, 1977 88 с.
90. Лещенко В.А.. «Гидравлические следящие приводы для автоматизации станков». Машгиз, 1962. 368 с.
91. ი. ელერდაშვილი თ. მჭედლიშვილი ო. გოგავა კ. გვაზავა ჰიდრავლიკური და ელექტროჰიდრავლიკური მაძლიერებლები და ამძრავები. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2008 173 გვ.
92. Мчедlishvili Т.Ф., «Научные основы и прикладные задачи синтеза нелинейных систем приводов по заданным переходным процессам. «Тбилиси, Технический университет, 2008, 273 с.
93. Мчедlishvili Т.Ф. «Некоторые вопросы расчета станочных гидравлических следящих систем Повышение производительности механической обработки.» Труды УПИ. Сб. 214, Свердловск. 1974. с. 149-152.
94. Ахундов В.М.. Саркисян С.А.. Минаев Э.С.. Большие технические системы, Анализ и прогноз развития, Наука, 1977. 350 с.

95. «Системы автоматизированного проектирования». В 9-ти кн. Кн. 6. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования. Н.М. Капустин, Г.Н. Васильев. М.: Высш. шк.; 1986. 191 с.
96. «Робототехника и гибкие автоматизированные производства», В 9-ти кн. Кн. 5. Моделирование робототехнических систем и гибких автоматизированных производств: С.В. Пантюшин. В.М. Назаретов. О.А. Тягунов – М.: Высш. школа, 1986. 175с.
97. Системы автоматизированного проектирования, Учебн. пособие для вузов: В 9-ти кн./И.П. Норенков. Кн. 1. Принципы построения и структура. Высш. школа, 1986. 127 с.
98. «Технологические основы» ГПС/В.А. Медведев., В.П. Вороненко., В.Н. Брюханов и др. «Машиностроение», 1991, 240 с.
99. Коваленко И.Ню Гнеденко Б.М.. Введение в теорию массового обслуживания. Наука, 1987. 336 с.
100. Михайлов О.П., Перспективы развития автоматизированного электропривода металлорежущих станков/Электричество, 1985, с. 11-17.
- 101.ბ. წხოლარია, ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების ფუნქციონალური და სტრუქტურული მოდელირება და პარამეტრული სინთეზის ამოცანები. თბილისი, 2016, 150 გვ.
102. Кочалос Н.К. Ковалев А.П. Колобов А.А. Экономическая эффективность новой техники в машиностроении. Машиностроение, 1978. 255 с.
103. Методика (Основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретение и рационализаторских предложений. Экономика, 1977. 49 с.
104. Кузнецов М.М Шаумян Г.А.. Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов. Высш. школа, 1967. 471 с.
105. Вентцель Е.С. Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. Наука, 1983. 231 с.
106. Краплин М.А. Гордиенко Б.И. Оптимальные режимы металлорежущих станков, Ростов-на-Дону. Книжное издание. 1969. 408 с.
107. Брауде В.И. Семенов Л.Н. Надежность подъемно - транспортных машин. «Машиностроение», 1986. 183 с.
108. M. Kachibadze. T. Mchedlishvili. V. Iobadze, Kh. Amkoladze, Z. Gviniashvili. To optimization of prime Cost Production Process on gang-type Machines and Work stations/Problems of Mechanics 2016, The International Scientific Conference on Mechanics Tbilisi, 2016, pp. 111-116.
109. Мchedlishvili Деметрашвили К.Г. Т.Ф. Гордиенко Б.И. Краплин М.А. Чхолария Н.Н. Повышение эффективности производственных процессов на автоматизированных станках и станочных комплексах. Комитет ИФТОММа Грузии. Тбилиси, 2013. 206 с.
110. Чхолария Н.Н. Мchedlishvili Т.Ф. Гвინиашвили З.М. Иобадзе В.Ш. Кашибадзе М.В. К оптимизации производительности производственного



- процесса на многоинструментальных станках и станочных комплексах/ Транспорт и машиностроение. Тбилиси. 2014, с. 80-86.
111. Грановский Г.И. Грановский В.Г. «Резание металлов». М.: Высш. шк., 304 с.
  112. Краплин М.А. Гордиенко Б.И. Качество инструмента и производительность. Издательство Ростовского университета, Ростов, 1965. 580 с.
  113. Нахапетян Е.Г. Дащенко А.И. Проектирование, расчет и исследование автоматических линий. 1963. 165 с.
  114. Кузнецов М.М. Усов Б.А. Старозубов В.С. Проектирование автоматизированного производственного оборудования. «Машиностроение». 1987. 288 с.
  115. Мchedlishvili Т.Ф., Диасамидзе Т.А., Романадзе И.А., К вопросу оптимизационного синтеза электромеханических следящих приводов/ Сб. трудов конф. „Basis paragmatiq“. Тбилиси, 2012. с. 199 - 204.
  116. Т. Mchedlishvili, V. Iobadze, M. Talakvadze, M. Kashibadze, Kh. Amkoladze. On analysis of Process efficiency on Cans-style Machines and Machine complexes at realization gutting Tools preventive change Process/Problems of Mechanical/International Scientific Journal of IFToMM. Tbilisi, 2016, pp. 24-28.
  117. Мchedlishvili Т.Ф. В.Ш. Кашибадзе Иобадзе М.В. Амколадзе Х.М. К вопросу оптимизации процесса обработки на многоинструментальных станках с учетом режима профилактической смены инструмента/ Транспорт и машиностроение. № 1(38). Тбилиси, 2017. с. 19-26.
  118. Гордиенко Б.И. Мchedlishvili Т.Ф. . Краплин М.А. Деметрашвили К.Г. Чхолария Н.Н. Повышение эффективности производственных процессов на автоматизированных станках и станочных комплексах. Комитет ИФТоММа Грузии, Тбилиси. 2013, 206 с.
  119. Белоусов А.П. Дащенко А.И. . Проектирование автоматических линий, Высш. шк. 1983, 328 с.
  120. Мchedlishvili Т.Ф. Иобадзе В.Ш. Талаквадзе М.Г. Биашвили Д.А. Кашибадзе М.В. К анализу производительности обработки на автоматических станочных линиях/Транспорт и машиностроение. №3(40). Тбилиси, 2017. 15-23 с.
  121. Т. Mchedlishvili. V. Iobadze. M. Kachibadze. Kh. Amkoladze. Z. Gviniashvili. To optimization of prime Cost of Production Process of gang-type machines and Work station/Problems of Mechanics 2016. The International Scientific Conference of Mechanics. Tbilisi 2016, pp. 111-115.
  122. Мchedlishvili Т.Ф. Никвашвили Н.К. Кашибадзе М.В. Тавадзе А.Т. . К вопросу параметрической оптимизации производственного процесса на многоинструментальных станках по критерию минимальной себестоимости/Транспорт и машиностроение, №3. Тбилиси, 2018.

123. Банах Л.Я., «Упрощение расчѐных схем динамических систем» В кн. Колебания и динамическая прочность элементов машин. Наука, 1976. 39 – 46 с.
124. Старжинский Якубович В.А. В.М. Параметрический резонанс в нестационарных системах. Наука. 1987. 328 с.
125. Казак С.А. «Динамика мостовых кранов». «Машиностроение», 1968. 332 с.
126. T. Balamtsarashvili Mchedlishvili Z. To question of dinamic processes and synthesis in drives mechanical systems/Problems of Mechanicm. Tbilisi, 2010. N 1(38), 49-52 pp.
127. Бесинзон М.А. Андреев Г.И. Кондриков А.И. Электроприводы главного движения металлообрабатывающих станков с ЧПУ. «Машиностроение», 1980. 152 с.
128. T. Mchedlishvili. B. Navrozashvili. G. Gratiashvili G. Goletiani. To question of construction of approximating models for mechanical systems of drives with elastic joint/Problems of Mechanics, Tbilisi, 2008, №1(30), 62-66 pp.
129. Огурк И.А. «Новые методы синтеза нелинейных и некоторых нелинейных динамических систем». Наука, 1965. 208 с.
130. Белов Д.А. Кузин Р.Е. Применение ЭВМ для анализа и синтеза автоматических систем управлени/ Энергия, 1979. 264 с.
131. Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления/М.: Наука, 1984. 344 с.
132. Мчедлишвили Т.Ф. «Некоторые вопросы синтеза многосвязной системы приводов манипуляционного робота»/Гидравлические системы металлорежущих станков и промышленных роботов. Межвузовский сборник научных трудов . 1985. 157-178 с.
133. Диасамидзе Т.А. Романадзе И.Р. . Диасамидзе Р.Р. Диасамидзе А.А К исследованию динамики электромеханической управлением курсом судна /Транспорт и машиностроение. № 1(23). Тбилиси 2012, 101-106 с.
134. Мчедлишвили Т.Ф. Научные основы и прикладные задачи синтеза нелинейных систем приводов по заданным переходным процессам. Тбилиси. Технический университет, 2008. 273 с.
135. Тавадзе А.Т., Диасамидзе Т.А., Романадзе И.Р., Диасамидзе М.Р. К вопросу динамики судовой системы электромеханической системы привода руля / Транспорт и машиностроение, № 2(277), Тбилиси, 2013. с.71-77.
136. Ту Ю. «Современная теория управления». М.: Машиностроение 1971. – 472 с.
137. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. М.: Наука, 1986. – 616 с.
138. Иванов В.А., Медведев В.С., Чемоданов Б.К., Ющенко А.С. Математические основы теории автоматического регулирования. Том. I. М.: Высшая школа. 1977. – 516.
139. Ривин Е.И., «Динамика приводов станков». «Машиностроение», 1966. 206 с.

140. Банах Л.Я., «Упрощение расчетных схем динамических систем»/В кн. Колебания и динамическая прочность элементов машин. Наука 1976. 39-46 с.
141. Динамика машин и управление машинами/В.К. Асташев. В.И. Бабицкий. И.И. Вульфсон. «Машиностроение», 1988. 240 с.
142. Мchedlishvili Т.Ф. Чубинидзе М.Г. Гратишвили Г.С. К определению параметров аппроксимационных моделей для сложных многомассовых систем/Транспорт и машиностроение. Тбилиси, 2009, 138-145 с.
143. Огурк И.А. «Анализ нелинейных систем с применением модифицированного метода припасовывания»/Изв. вузов электромеханика 1984. №6, 605-611 с.
144. Мchedlishvili Т.Ф. К вопросу оптимизационных синтеза систем приводов с упругими связями в механической части»/Транспорт и машиностроение», Тбилиси 2007, № 2, 3-10 с.
145. Т. Mchedlishvili. В. Navrozashvili. G. Goletiani. G. Gratiashvili. To question of construction of approximating models for mechanical systems of drives with elastic joint/Problems of Mechanics Tbilisi 2008, №1(30), 62-66 pp.
146. Мchedlishvili Т.Ф. Гратишвили Г.С. Чубинидзе М.Г. Марсагишвили Г.Р. К определению параметров аппроксимационных моделей для сложных многомассовых механических систем»/Транспорт и машиностроение», Тбилиси 2009, №1, 138-145 с.
147. Т. Mchedlishvili. G. Gratiashvili. M. Lomidze. A. Asatiani. L. Ivanishvili. To question of optimizing calculation of multimass of mechanical systems of drives/Problems of Mechanics Tbilisi 2008, №2(35) 2009. 24-27 pp.
148. Гамылин Н.С., Гидравлический привод системы управления. «Машиностроение», 1972. 376 с.
149. Т. Mhedlishvili. M. Kashibadze. Т. Kapanadze. L. Marsagishvili. Kh. Amkoladze. To optimizariion synthesic of Follow-UP Drive with elastic in Mechanical Part/Procedingcs Mechanics 2016. The International Scientific Confenerce on Mechanics 2916 Tbilisi. 2016, 105-110 pp.
150. Мchedlishvili Н.П Мchedlishvili Т.Ф. . К вопросу оптимизационного синтеза сложных систем регулирования по заданным переходным процессам/Транспорт и машиностроение, № 1(23), Тбилиси 2012, 22-28 с.
151. Мchedlishvili Т.Ф., Диасамидзе Т.А., Романадзе И.Р., Чхолария Н.Н. К вопросу оптимизационного синтеза электромеханических следящих приводов по заданным переходным процессам // The international scientific conference dedicated to th 90<sup>th</sup> anniversary of Georgian technical university, Tbilisi, 2012, pp. 199-204.
152. Mchedlishvili Т. Diasamidze R. Iobadze V. Nakashidze N. On issue of Optimization synthesis of electromechanical Follow – up Driven with elastic Couples in mechanical Paint/Problems of Mechanics. Tbilisi, N 55. 2014, 101 - 116 pp.
153. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. «Машиностроение», 1990 304 с.

- 154.Макшанов В.И. Яворский В.Е. Ермолин В.П. Проектирование нелинейных следящих систем. Энергия, 1978 208 с.
- 155.Мчедlishvili Т.Ф. Диасамидзе Т.А. Марсагишвили Л.Г. Гвиниашвили З.М. К вопросу оптимизационного синтеза электромеханических систем приводов по заданным переходным процессам/Труды межд. конференции. Тбилиси. Техн. университет. 2012. 190–195 с.
- 156.Мчедlishvili Т.Ф. Романадзе И.Р. Кирия В.И. Голетиани Г. К вопросу динамика электромеханической системы привода с упругими звеньями в механической части/Сборник научных трудов конференции «Иновационные технологии и материалы», Тбилиси «Технический университет», 2011, 81-86 с.