

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ვახტანგ იოზაძე

ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მოდელირება
და ეფექტურობის ამაღლების გზები

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: „მანქანათმცოდნეობა, მანქანათმშენებლობა
და საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები“

შიფრი 0408

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

2020 წელი

საავტორო უფლება © 2020 წელი, დოქტორანტი ვახტანგ იოზაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ვახტანგ იობაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მოდელირება და ეფექტურობის ამაღლების გზები“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „მექანიკის ინჟინერია, მექატრონიკა და საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები“ საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

2020 წელი

ხელმძღვანელი:

პროფესორი, თამაზ მჭედლიშვილი

რეცენზენტი:

ტ.მ.კ., ასოც. პროფესორი

ვაჟა ქირია

რეცენზენტი:

ტ.მ.კ., ასოც. პროფესორი

ბელა ნავროზაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2020 წელი

ვახტანგ იოზაძე

ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მოდელირება და
ეფექტურობის ამაღლების გზები

სადოქტორო პროგრამა: „მანქანათმცოდნეობა, მანქანათმშენებლობა
და საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები“

წარმოდგენილია დოქტორი აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სხდომა ჩატარდა: 06.02.2020 წ.

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

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

ტექნიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპები ხასიათდება მაღალტექნოლოგიური მანქანა-დანადგარების ფართო დანერგვით. ცალკეული კომპლექსების შექმნასთან და გამოყენების სფეროს გაფართოვებასთან ერთად აქტუალურია შრომის ამაღლება.

ნაშრომის მიზანს, აღნიშნულთან დაკავშირებით, წარმოადგენს საჩარხო სისტემების ფუნქციონალური და სტრუქტურული სრულყოფა, საწარმოო პროცესებში მჭრელი იარაღების მიმართ ტექნიკური მომსახურების სქემის გათვალისწინებით. აღნიშნულ სისტემათა მწარმოებლურობის, ავტომატიზებული მოთვალთვალე ამძრავების მოდელირებისა და ოპტიმიზაციური კვლევის მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება საპროექტო გადაწყვეტილებების ხარისხისა და ეფექტურობის ამაღლებისთვის.

კვლევის ამოცანებში დასახული მიზნის მიღწევისათვის ჩართული არის:

- მანქანათა არსებულ ტექნოლოგიური კომპლექსების შემადგენლობისა და სტრუქტურის ანალიზი, წაყენებული მოთხოვნების და ფუნქციონირების მახასიათებლების გამოვლენა;
- თანამედროვე ჩარხებში და საჩარხო სისტემების, ამძრავთა სისტემების და მექანიზმების პროექტირებასთან და გამოკვლევებთან დაკავშირებული ნაშრომების მიმოხილვა;
- ძირითადი კანონზომიერებების გამოვლენა, ავტომატური ხაზების და მრავალსაიარაღო საჩარხო სისტემების მიერ საწარმოო პროცესების მწარმოებლურობის მაჩვენებლებთან. იარაღების და მოწყობილობების საიმედოობის აღმწერი მათემატიკური მოდელების აგება ფუნქციონირების, ტექნოლოგიური და ასევე საწარმოო - ტექნიკური მომსახურების სქემების გათვალისწინებით;
- მწარმოებლურობის ამსახველი მათემატიკური დამოკიდებულებების გამოვლენა, კვლევის მეთოდიკების და მეთოდების შემუშავება, მოდელების აგება, მჭრელი იარაღების და მოწყობილობების ფუნქციონალური კავშირში სისტემების იმ საიმედოობის მახასიათებლებთან, რომელიც გამოიყენება მჭრელი იარაღების მიმართ პროფილაქტიკური და მექანიზმების და მოწყობილობების მიმართ კი მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა;
- დინამიკის მათემატიკური ორიგინალური მოდელების შემუშავება და სინთეზის მეთოდოლოგიის შემუშავება მოცემული გარდამავალი პროცესის მიხედვით დრეკად-რგოლებიანი მექანიკური ნაწილის შემცველ ელექტრომექანიკურ მოთვალთვალე ამძრავების მიმართ;
- მოთვალთვალე ელექტრომექანიკური ამძრავის მათემატიკური მოდელირება და კვლევა დრეკადობის გათვალისწინებით სისტემის მექანიკურ ნაწილში.

შესავალ ნაწილში დასაბუთებულია ნაშრომის აქტუალობა. ჩატარებულია საჩარხო სისტემების სტრუქტურული და ფუნქციონალური თავისებურებების ანალიზი.

ჩატარებულია ტექნოლოგიური მანქანების და მანქანათა კომპლექსების პროექტირებისა და კვლევის საკითხები. მწარმოებლობის და საიმედოობის თეორიის საფუძვლების ანალიზი, მექანიზმების, ამძრავებისა და მანქანათა კომპლექსების პროექტირებისა და კვლევის საკითხების მიმოხილვა. გაანალიზებულია მექანიკური ნაწილის, მთლიანობაში ამძრავთა სისტემების და საჩარხო კომპლექსების აგებისა და კვლევის საკითხები.

ნაშრომის ძირითად ნაწილში ჩატარებულია საჩარხო კომპლექსების მწარმოებლობისა და საიმედოობის კანონზომიერებების ანალიზი, გაანალიზებულია ავტომატური ხაზების მტყუნებათა და უმტყუნებო მუშაობის ალბათობათა გამოთვლის მეთოდები.

მიღებული იქნა მზადყოფნის კოეფიციენტების და მწარმოებლობის გამოსახულებები სისტემების მიმართ, რომლებიც ახორციელებენ მრავალსაიარაღო დამუშავების ტექნოლოგიურ პროცესის ორგანიზაციას მომსახურების სქემებისათვის, რომლებშიც ხორციელდება იარაღების პროფილაქტიკური, მოწყობილობებისა და მექანიზმების მწყობრიდან გამოსვლის შესაბამისად.

მიღებული დამოკიდებულებები საშუალებას იძლევა, რათა შერჩეული იქნას ტექნოლოგიური პარამეტრების ოპტიმიზაციური მნიშვნელობა. ნაშრომში აღნიშნულთან დაკავშირებით, ჩატარებულია აგრეთვე კონკრეტული საანგარიშო გამოკვლევები.

შემდგომში განიხილება ჩარხების რობოტოტექნიკური სისტემების კინემატიკურ ჯაჭვში ფართოდ გამოყენებული ამძრავთა მოთვალთვალე ელექტრომექანიკურ სისტემებთან დაკავშირებული ამოცანები. ამ სისტემათა ხარისხობრივი მაჩვენებლები მნიშვნელოვან ზემოქმედებას ახდენენ საჩარხო ტექნოლოგიური კომპლექსების მუშაობის ეფექტურობაზე.

აგებულია, ცალკეული ელემენტების მოდელირების და შეთანწყობის საკითხების გათვალისწინებით, ელექტრო-მექანიკური სისტემების დინამიკური მოდელები. მექანიკური ნაწილის მოდელირების საკითხის გადაჭრისათვის მთლიანი სისტემის სტრუქტურასთან შეთანწყობაში გამოყენებულია აპროქსიმაციის ორიგინალური მეთოდოლოგია, აგებული წარმოსახვით სიხშირეთა მოდიფიცი-რებული მახასიათებლების გამოყენებაზე.

ზოგადი ფორმით განხილულია საკვლევი სისტემების წინასწარ მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით ავტომატიზებულ ჩარხებში და რობოტოტექნიკურ სისტემებში ფართოდ გამოყენებული მოთვალთვალე ელექტრომექანიკური სისტემების სტრუქტურულ-პარამეტრული სინთეზის მეთოდოლოგიის ცალკეული ეტაპები და პროცედურები.

სინთეზის მეთოდოლოგიის რეალიზაციის თვალსაზრისით: შედგენილი იქნა სისტემებისათვის სასურველი პროცესების გამოსახულებები. გამოვლენილი იქნა სტრუქტურული სინთეზისათვის საჭირო შუალედურ კოორდინატთა გამოსახულებები. მიღებული იქნა პირობითი და ნორმალური განტოლებათა სისტემები, ჩაწერილი საძიებელ პარამეტრებთან მიმართებაში, მიღებული იქნა ნორმალურ განტოლებათა სისტემის ამონახსნების გამოსახულებები.

კვლევის ჩამოყალიბებული თეორიის აპრობაციისათვის, ჩატარებული იქნა საინჟინრო გამოკვლევები კონკრეტული საწყისი პარამეტრების მქონე სისტემასთან მიმართებაში.

ჩატარებულმა გამოკვლევებმა შესაბამისად გვიჩვენეს საკვლევი სისტემის ინჟინრული სინთეზის შემუშავებული თეორიის ეფექტურობა სასურველ პროცესთან სიახლოვის მხრივ და მათი მახასიათებლების შემდგომი სრულყოფის საშუალებების თვალსაზრისით.

Abstract

Modern trends of technological development are characterized by implementation of a wide range of high-performance devices. With the development of individual machines and machine systems and the expansion of their application, it is more important to increase efficiency of labor productivity and all kinds of activities, resources and labor tools.

In connection with the above mentioned the aim of work is the structural and functional development of automated machine tool systems (automated machine tools, machining lines and complexes) with taking into account the cutting tools production maintenance scheme related with manufacturing processes, the development of these systems capability and automated follow-up actuators dynamic modeling and optimization research methods and methodologies to directed to a improvement of the effectiveness on quality and design solutions for the scientifically justification.

To the achievement of the intended aim in the researches are implemented:

- Analyzing composition and structure of existing automated and automatic technological machine systems, revealing the requirements and functional assessment characteristics;
- Review of the works on designing and dynamic researches of mechanical and drive systems of modern machine tools and machine tool complexes;
- The revealing of basic principles the productivity parameters of performed by multi-tool machine tool systems and automatic lines and construction of mathematical models related to reliability of operation of cutting tools, mechanisms and equipment of functioning with taking into account the development of technological as well as industrial-technical schemes of service;
- The revealing of basic mathematical dependencies of productivity for construction of functioning models, developing with research methods and methodologies. For being in functional relation systems with the characteristics of reliability of cutting tools, mechanisms and devices, related for that are applied of prophylactic and for mechanisms and equipment failure the maintenance scheme;
- Mathematical modeling and synthesis methodology of dynamics according to this transitional process. Electro-mechanical follow-up drives containing the mechanical component as elastic links;
- Mathematical modeling and research of drives follow-up electro mechanical system with taking into account the elasticity in the drives mechanical part.

In the introduction section is substantiated the actuality of the dissertation work, is carried out the review of the widely used in practice automation and automatic machine tool systems, are analyzed their structural and functional characteristics.

The design and research of technological machines and machine systems has been conducted. In particular, are analyzing the basics of the productivity and reliability theories, as well as the mechanisms, drives and machine systems design and research issues are reviewed. Are analyzed a mechanical component, as well as issues related to construction and research of drive systems and machine tools systems.

In the main part of the thesis is carried out the analysis of the laws of the production and reliability of the machine tool systems and is developed the methodology of calculating the probability of the failures of the automated lines and the methodologies of the operation in running order.

The readiness coefficients and productivity expressions have been obtained related for machine tools and machine tools systems that carry out the organization of multi-tool processing technological processes for service schemes in which are performed the replace of instruments in prophylactic and mechanisms and devices in their failure mode.

The obtained dependencies gives the possibility to make optimal selection of technological parameters. In this regard, in the work also are carried out the specific design researches.

The subsequent tasks are related to the problems of electromechanical systems of follow-up drives that are widely used in kinematic chains of machine tool's robotic systems. The qualitative indicators of these systems have a significant impact on the effectiveness of machine tool systems technologies.

Dynamic models of automated electro-mechanical systems are constructed based on the individual elements of the models and their compatibility issues. In the solving of the mechanical part of the mechanical component, in combination with the structure of the whole system, the original methodology for switching to approximation models is applied using modifies characteristics of the imaginary frequencies.

The general stages and procedures of the structural-parameter synthesis methodology are based on the transitional processes of the study systems in general.

In automated machine tool and robot technical systems widely are used follow-up electro-mechanical systems. In terms of realization of synthesis methodology: the intermediate coordinates of structural synthesis have been developed, the expressions of the desired processes for systems were compiled; systems of conditional and normal equations have been received, with regards to the desired parameters, the expressions of solutions of normal equations are stated.

Engineering research has been carried out with respect to a system with some initial parameters for the development of the proposed procedures.

The conducted studies have demonstrated the practical effect of the theory developed by the engineering synthesis of desired system and also in terms of possibility of further improvement of their characteristics.

შინაარსი

შესავალი	13
1. ლიტერატურული მიმოხილვა	17
1.1. ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების სტრუქტურული და ფუნქციონალური ანალიზი	17
1.2. ტექნოლოგიური მანქანების და მანქანათა სისტემების პროექტირებისა და კვლევის საკითხების მიმოხილვა	26
1.2.1. მწარმოებლურობის და საიმედოობის თეორიის საფუძვლები	26
1.2.2. მექანიზმების, ამძრავების და მანქანათა სისტემების პროექტირებისა და კვლევის საკითხები	35
2. შედეგები და მათი განსჯა	44
2.1. ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობისა და საიმედოობის კანონზომიერებების ანალიზი და შემუშავება	44
2.1.1. ბლოკირებული საჩარხო სისტემების საიმედოობის და მწარმოებლურობის გაანგარიშებებისათვის საჭირო ძირითადი დამოკიდებულებების ანალიზი	46
2.1.2. საჩარხო სისტემები ჩარხთაშორის დამაგროვებლებით	49
2.1.3. ჩარხთაშორისი მაგროვებლებით აღჭურვილი ავტომატური ხაზების ფუნქციონირების ანალიზის ახალი გამოყენებითი თეორია	52
2.2. ავტომატიზებული ჩარხების და საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობის მოდელირება და ოპტიმიზაციური პარამეტრული კვლევის ამოცანები	61
2.2.1. მწარმოებლურობის და თვითღირებულების მოდელირება და ძირითადი მიდგომები პარამეტრული ოპტიმიზაციის მიმართ	61
2.2.2. მრავალსაიარაღო ჩარხების მწარმოებლურობის მოდელის შემუშავება მჭრელი იარაღების შეცვლის პროფილაქტიკური სქემის გათვალისწინებით	70
2.2.3. დამუშავების პროცესის ოპტიმიზაცია მჭრელი იარაღების პროფილაქტიკური შეცვლის რეჟიმის გათვალისწინებით	75
2.2.4. მწარმოებლურობის მოდელირება, როდესაც მჭრელი იარაღები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან საიმედოობის პარამეტრებით	87
2.3. ოპტიმიზაციური მიდგომების ჩამოყალიბება საჩარხო მოთვალთვალე ამძრავების მოდელირებასა და კვლევაში	89
2.3.1. დრეკადრგოლებიან მექანიკური ნაწილის დინამიკური მოდელის შემუშავება	89
2.3.2. ოპტიმიზაციური მიდგომები საჩარხო მოთვალთვალე ამძრავების კვლევისადმი	94

2.4. საჩარხო ავტომატიზირებული მოთვალთვალე ელექტრომექანიკური ამძრავის დინამიკური მოდელირება დრეკადობის გათვალისწინებით მექანიკურ ნაწილში	99
2.5. ავტომატიზებული მოთვალთვალე ელექტრომექანიკური ამძრავის დინამიკური კვლევის ძირითადი კანონზომიერებების შემუშავება	106
2.6. საკვლევი ელექტრომექანიკურ სისტემის დინამიკური სინთეზი და გარდამავალი პროცესის ანალიზი	112
3. დასკვნები	122
გამოყენებული ლიტერატურა	126

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. გადასვლების ალბათობების მატრიცები	47
ცხრილი 2. გადასვლათა ალბათობათა მატრიცები	51
ცხრილი 3. ტექნოლოგიური პროცესის საწყისი მონაცემები	81
ცხრილი 4. საანგარიშო მონაცემები	82
ცხრილი 5. მჭრელი იარაღებით აღჭურვილი ციკლური მექანიზმების მონაცემები	83
ცხრილი 6. საანგარიშო მონაცემები	83

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. ხაზების კომპანება: ა - მიმდევრობითი, ერთნაკადიანი; ბ - პარალელური ერთნაკადიანი; გ - მრავალნაკადიანი; დ - შერეული მოქმედების.....	18
ნახ. 2. რ.ტ.კ-ის ტიპური კომპანები. 1 – ჩარხი; ბ – რობოტი; 3 – დამტვირთი მაგროვებელი, 4 – გადმომტვირთი მაგროვებელი, 5 – სათადარიგო მაგროვებელი, 6 – ორსატაციანი პორტალური რობოტი	23
ნახ. 3. მ.ა.ხ. სტრუქტურული სქემა რ.ტ.კ-ის ხაზზე 1 – ჩარხი; 2 – რობოტი; 3 – სატრანზიტო მაგროვებელი; 4 – სატვირთო მოწყობილობა; 5 – გადმოსატვირთი მოწყობილობა	24
ნახ. 4. სატრანსპორტო მარშრუტების ძირითადი ტიპები	25
ნახ. 5. შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების ექსპერიმენტული ფუნქცია	28
ნახ. 6. დიფერენციალური განაწილების ფუნქცია	28
ნახ. 7. ექსპონენციალური განაწილების ფუნქციები	31
ნახ. 8. მტყუნებების ერთობლივი მოქმედება, $P(t)$ – უეცარი მტყუნებების მრუდი	33
ნახ. 9. ობიექტის მდგომარეობათა გრაფი	34
ნახ. 10. საჩარხო სისტემის იერარქიული დონეები	42
ნახ. 11. ორი უზნისაგან შემდგარი და დეტალების ბუნკერული მარაგის მქონე ავტომატური ხაზის მდგომარეობათა ანალიზი	50
ნახ. 12. ჩარხთაშორისი მარაგნაკეთებით აღჭურვილი ხაზის სქემები: 1, 2, 3 და 4 – საჩარხო მოდულები; B, B1, B2, B3 – ჩარხთაშორისი მაგროვებლები	53
ნახ. 13. $T = f(v)$ დამოკიდებულების გრაფიკული გამოსახულება	84
ნახ. 14. $U(v) = \frac{\partial \Pi}{\partial V}$ დამოკიდებულების გრაფიკული გამოსახულება ..	84
ნახ. 15. რეგულირების ოპტიმალური სისტემის სქემა	96
ნახ. 16. სისტემის სტრუქტურული სქემა	101
ნახ. 17. სისტემის სტრუქტურული სქემა	107
ნახ. 18. გამსხვილებული სტრუქტურული სქემა	110
ნახ. 19. სინთეზის შედეგად მიღებული დამოკიდებულებები ა) 1 – $K_{\phi_2}(z_m)$; 2 – $K_{\Delta\phi}(z_m)$; 3 – $K_{\phi_1}(z_m)$; ბ) 1 – $K_n(z_m)$; 2 – $K_i(z_m)$.	119
ნახ. 20. სისტემის საგნობრივი სიხშირული მახასიათებლები: 1 – $Z_m = 0,4$; 2 – $Z_m = 0,6$; 3 – $Z_m = 1,0$	120
ნახ. 21. გარდამავალი პროცესების მრუდები: 1 – $Z_m = 0,4$; 2 – $Z_m = 0,6$; 3 – $Z_m = 1$	120

შესავალი

ტექნიკის განვითარების თანამედროვე ტენდენციები ხასიათდებიან მაღალეფექტური ტექნოლოგიური მანქანა-დანადგარების ფართო დანერგვით. გაიზარდა მრავალინსტრუმენტალური ჩარხების, ნახევრადავტომატების, ჩარხი-ავტომატების, ავტომატური ხაზების, დიდი რაოდენობის იარაღებით აღჭურვილი პროგრამული მართვის ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების რაოდენობა.

ტექნიკური პროგრესის თანამედროვე დონეზე წარმოების მნიშვნელოვანი ფორმაა კომპლექსურად მაღალმექანიზებული და ავტომატიზებული წარმოება.

მანქანათა სისტემების შექმნა დაკავშირებულია ადამიანის საწარმოო მოღვაწეობის მრავალ სფეროსთან. მოიცავს მათ პროექტირებასთან, ფუნქციონირებისა და მართვის გამოკვლევებთან, ტექნოლოგიათა შემუშავებასთან დაკავშირებულ მრავალ საკითხებს. უაღრესად მნიშვნელოვანია მოწყობილობების სწორი და სისტემური გამოყენება, რაციონალური დატვირთვა, შეთანწყობილი ეფექტური ექსპლუატაციის ორგანიზაციულ პრობლემებთან.

მეტად მნიშვნელოვანია საწარმოო პროცესების ტექნიკური მომსახურების ოპტიმიზაციური სქემების შერჩევა, რომელთა შორის ერთ-ერთი ეფექტურია ტექნიკური მომსახურებების პროფილაქტიკური სქემა.

მაღალია პროექტირების ეტაპზე მიღებული არასწორი გადაწყვეტილებების ფასი. შეცდომებმა შეიძლება მიგვიყვანოს მანქანის რაციონალური ფუნქციონირების შეუძლებლობასთან და ექსპლუატაციის დაუსაბუთებლობასთან.

თანამედროვე ტექნოლოგიური მანქანების და მანქანათა კომპლექსების ძირითად ფუნქციონალურ ელემენტებს წარმოადგენენ მექანიკური, სხვადასხვა სახის ამძრავები, რომლებიც მრავალ შემთხვევაში წარმოადგენენ სტრუქტურულად რთულ ტექნიკურ მოწყობილობებს.

აღნიშნულთან დაკავშირებით მანქანათა სტრუქტურა და კონსტრუქცია მრავალწილად განპირობებულია ამძრავთა სისტემების კონსტრუქციებით და სტრუქტურით.

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

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ავტომატიზებული საჩარხო კომპლექსების (ავტომატიზებული ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების სტრუქტურული და ფუნქციონალური აგების, საწარმოო პროცესებში მჭრელი იარაღებისა და მოწყობილობების მიმართ საწარმოო ტექნიკური მომსახურების სქემის გათვალისწინებით, აღნიშნულ სისტემათა მწარმოებლობის და ავტომატიზებული მოთვალთვალე ამძრავების დინამიკური მოდელირებისა და ოპტიმიზაციური კვლევის მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება, მიმართული საპროექტო გადაწყვეტილებების ხარისხისა და სამეცნიერო დასაბუთებულობის ეფექტურობის ამაღლებისაკენ.

დასახული მიზნის მიღწევისათვის კვლევის ამოცანებში ჩართულია:

- მანქანათა არსებული ავტომატიზებული და ავტომატური ტექნოლოგიური კომპლექსური სისტემების შემადგენლობითი და სტრუქტურული ანალიზი, წაყენებული მოთხოვნების და ფუნქციონირების შემფასებელი მახასიათებლების გამოვლენა;
- თანამედროვე ჩარხების და საჩარხო სისტემების, ამძრავთა სისტემების, მექანიზმების პროექტირებასთან და გამოკვლევებთან დაკავშირებული ნაშრომების მიმოხილვა;
- ძირითადი კანონზომიერებების გამოვლენა, ავტომატური ხაზების და მრავალსაიარაღო საჩარხო სისტემების მიერ საწარმოო

პროცესების მწარმოებლურობის და საიმედოობის მაჩვენებლებთან დაკავშირებული მათემატიკური მოდელების აგება, როგორც ტექნოლოგიური, ასევე ტექნიკური მომსახურების სქემების გათვალისწინებით;

- დინამიკის ორიგინალური მათემატიკური მოდელების და სინთეზის მეთოდოლოგიის შემუშავების მიხედვით დრეკადკავშირიანი მექანიკური ნაწილის შემცველი მოთვალთვალე ამძრავების მიმართ;
- ელექტრომექანიკური სისტემის დინამიკური მოდელირება და კვლევა დრეკადი კავშირების გათვალისწინებით ამძრავის მექანიკურ ნაწილში

ნაშრომის სამეცნიერო ღირებულება:

- მრავალსაიარაღო საჩარხო სისტემების მიერ შესრულებული საწარმოო პროცესების მწარმოებლურობის და საიმედოობის მაჩვენებლებთან დაკავშირებული ფუნქციონირების მათემატიკური მოდელების აგებასთან, მათი გამოყენებით ოპტიმიზაციური კვლევის ამოცანების გადაჭრისათვის გამოყენებულ ორიგინალურ მეთოდოლოგიურ მიდგომებში სისტემებთან მიმართებაში, რომლებიც გამოიყენება მჭრელი იარაღების მიმართ. როგორც ტექნიკური მომსახურების პროფილაქტიკური და მექანიზმებისა და მოწყობილობების მიმართ კი მწყობრიდან გამოსვლასთან კავშირში მყოფი მომსახურების სქემები;
- დრეკადრგოლებიანი მექანიკური ნაწილის მქონე საჩარხო ამძრავთა მოთვალთვალე ელექტრომექანიკური სისტემების დინამიკის მათემატიკურ მოდელებში, მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდოლოგიაში, სინთეზირებადი პარამეტრების ძიების მეთოდიკებში.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულებას წარმოადგენენ

მრავალსაიარაღო ჩარხების და საჩარხო კომპლექსების, მწარმოებლურობის და მათი ცალკეული ამძრავთა მოთვალთვალე სისტემების, ოპტიმიზაციური გაანგარიშების და კვლევის ორიგინალური მეთოდები და მეთოდიკები.

სამეცნიერო ღირებულებების, დასკვნებისა და რეკომენდაციების მათემატიკური მოდელირებისა და ოპტიმიზაციური სინთეზის უტყუარობა უზრუნველყოფილია, მეცნიერულად დასაბუთებული მეთოდების გამოყენებით.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. ჩარხებისა და საწარმო სისტემების სტრუქტურული და ფუნქციონალური ანალიზი

ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემა – არის საწარმოო პროცესის სარეალიზაციო მანქანების ერთობლიობა. ტექნოლოგიურ პროცესში გადამუშავდება ენერგეტიკული, ინფორმაციული და მატერიალური ნაკადები. ტექნოლოგიური მანქანები გადაამუშავებენ მატერიალურ ნაკადებს ნამზადების ნახევარფაბრიკატებისა და მასალის სახით. ისინი შესაბამისი ინფორმაციის გამოყენებით იყენებენ ენერგეტიკული მანქანების ენერჯის ნაკადებს. სატრანსპორტო მანქანები ახორციელებენ საჭირო ობიექტის მდებარეობის ცვლილებას სივრცესა და დროში. ტექნოლოგიურ მანქანებს მიეკუთვნებიან წნეხები, ჩარხები, საამწყობო და სხვა მანქანები. ტექნოლოგიურ მოწყობილობებთან კავშირს ახორციელებენ სატრანსპორტო მანქანები [1].

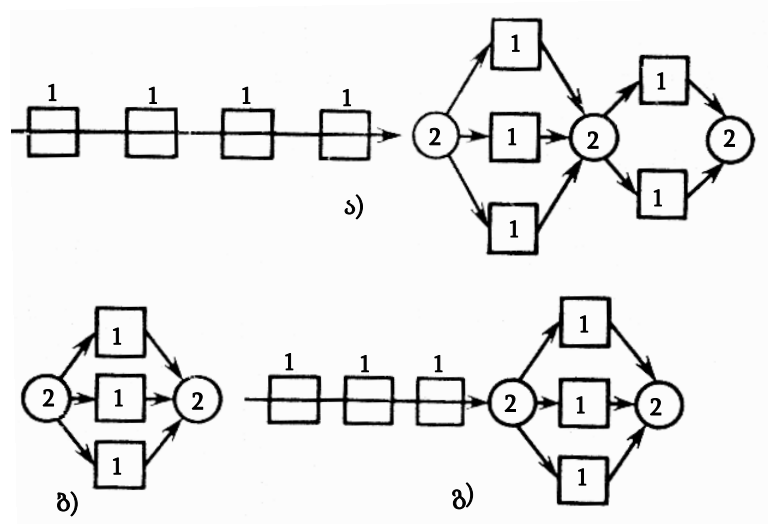
დამზადების პროცესების ორგანიზაცია დამოკიდებულია ტექნოლოგიური ოპერაციების თანმიმდევრობაზე, ნამზადის რაოდენობაზე ტექნოლოგიური მოწყობილობების განლაგებაზე დამზადების პროცესში [2].

ავტომატური ხაზი - არის ძირითადი და დამხმარე მოწყობილობების კომპლექსი, რომელიც განსაზღვრული ტექნოლოგიური თანმიმდევრობით ავტომატურად და მოცემული რითმით ასრულებს დამზადების მთელ პროცესს და საწარმო პროდუქციის გადამუშავებას.

ავტომატიზირებული ხაზის პერსონალის ფუნქციაში შედის პროცესის მართვა, აგრეგატების მუშაობის კონტროლი, რემონტი და აწყობა. ხაზები, რომლებიც საწარმოო პროცესის შესასრულებლად ითხოვენ ადამიანის უშუალო ჩარევას, (კერძოდ, ცალკეული აგრეგატების ჩართვა გამორთვას მიეკუთვნებიან ნახევარავტომატურებს. ავტომატურ ხაზებზე დამხმარე ოპერაციები - პროდუქციის ხარისხის კონტროლი, ნარჩენების მოცილება მექანიზირებული და ავტომატიზირებულია. ბევრ ხაზებზე

ავტომატურად რეგულირდება პროცესის პარამეტრები, მოწყობილობის აწყობა და გადაწყობა ხორციელდება მუშა ორგანოების ავტომატური გადაადგილებით [2].

ნაკეთობათა ტრანსპორტირების ხასიათის მიხედვით ხაზები იყოფა სტაციონარულ და როტორულ ხაზებად. დამუშავების პროცესში სტაციონარულ ხაზზე, დეტალები არ იცვლიან მდებარეობას. ისინი, ჩარხის მიმართ, მხოლოდ დამუშავების დასრულებისას გადაადგილდებიან შემდეგ პოზიციაზე. როტორულ ხაზზე დეტალები გადაადგილდებიან უწყვეტად. დამუშავება და ტრანსპორტირება შეთავსებულია სრულად ან ნაწილობრივ. როტორულ ხაზებს აქვთ პროექტირების თავისი სპეციფიკა.



ნახ. 1. ხაზების კომპანება:

ა - მიმდევრობითი ერთნაკადიანი; ბ - პარალელური ერთნაკადიანი; გ - მრავალნაკადიანი; დ - შერეული მოქმედების

ავტომატური ხაზების სტრუქტურული სახე დამოკიდებულია ტექნოლოგიური პროცესის თავისებურებებზე (ნახ. 1). ხაზები არსებობენ ერთნაკადიანი და მრავალნაკადიანი, პარალელური და მიმდევრობითი მოქმედების, შერეულ-განშტოებული ნაკადით. პარალელური მოქმედების ავტომატურ ხაზებს იყენებენ ერთი ოპერაციის შესასრულებლად, როდესაც ხანგრძლივობა გაცილებით აღემატება გამოშვების ტემპს. მრავალნაკადიანი

ავტომატური ხაზები წარმოადგენენ ხაზებისაგან შემდგარ სისტემას. ისინი გამოიყენება რიგი ოპერაციების შესასრულებლად. ერთიან სისტემაში შეიძლება გაერთიანდნენ პარალელური და მიმდევრობითი მოქმედების ავტომატური ხაზები. ასეთ სისტემებს ეწოდებათ უბნები, საამქროები და საწარმოები [2, 6].

მუშაობის პრინციპით ხაზები იყოფიან სინქრონულად და არასინქრონულებად. სინქრონულ ხაზზე ნამზადები გადაადგილებიან ერთი ჩარხიდან მეორეზე უშუალოდ. ასინქრონულები შედგებიან ისეთი ჩარხებისაგან, როდესაც ყველა აღჭურვილია ავტომატური დამტვირთავ-გადმომტვირთავი მოწყობილობით და მაგროვებლით დეტალების შესანახად. გამოიყენება ტრანზიტული და ჩიხური ტიპის მაგროვებლები.

სტრუქტურის პროექტირებისა და დამზადების სახით სინქრონული ხაზები უფრო მარტივები არიან. მათ უნდა ჰქონდეთ ცალკეული ელემენტების მაღალი საიმედოობა. ნებისმიერი ელემენტის მწყობრიდან გამოსვლა აჩერებს მთელ ხაზს. ამ მიზეზით უფრო მეტად გავრცელებული არიან არასინქრონული ავტომატური ხაზები. არსებობენ ხაზები, რომლებიც შედგებიან სინქრონულ უბნებად და მწყობრიდან გამოსული ჩარხი შეიძლება შეიცვალოს მაგროვებლებით [7].

ხაზებს აპროექტებენ როგორც სამარჯვებით, ასევე მათ გარეშე ხაზის საწყის პოზიციაზე. სამარჯვები იტვირთებიან და იცლებიან ხელით. ხაზს გააჩნია სპეციალური ტრანსპორტიორი სამარჯვის დასაბრუნებლად საწყის პოზიციაზე.

ხაზები შეიძლება შედგებოდნენ ერთი და მრავალ-პოზიციური ჩარხებისაგან გამჭოლი და არაგამჭოლი ტრანსპორტიორებით. ხაზების უბნებს აპროექტებენ არაგამჭოლი ტრანსპორტიორით იმ შემთხვევაში, როდესაც ჩარხების კონსტრუქცია საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ ნაკეთობის გამჭოლად ტრანსპორტირება. ასეთი ხაზების ნაკლი არის მათი სირთულე და აგრეთვე აუცილებლობა ყოველ მუშა პოზიციაზე

არსებობდეს თავისი დამტვირთავ გადმომტვირთავი მოწყობილობა. მაგროვებლებიან ხაზებზე ყოველ ჩარხსა და უბანს გააჩნიათ თავისი სატრანსპორტო სისტემა.

კორპუსული ნაკეთობების დასამუშავებლად ხაზები იყოფა უბნებად. თითოეულ უბანზე მუშავდება ნაკეთობის გარკვეული ნაწილი. უბნებს გააჩნიათ დეტალის მბრუნავი მაგიდები და საბრუნო მოწყობილობები [8].

რთული და შრომატევადი დეტალების დამუშავებისათვის გამოიყენება კომპლექსური ხაზები, რომლებშიც ლითონდამამუშავებელი მოწყობილობების გარდა მონტაჟდება თანმხლები დამხმარე მოწყობილობები: მაკონტროლებელი ავტომატები; სარეცხი და საშრობი მანქანები; გამოსაწრთობი აგრეგატები; შემფუთავი მანქანები და ა.შ. [9].

კორპუსული დეტალების დასამუშავებლად ფართო გავრცელება ჰპოვეს აგრეგატული ჩარხებისაგან შემდგარმა ხაზებმა, ასევე ხაზებმა სპეციალური ჩარხებისაგან. ისინი განკუთვნილია კბილა თვლების რთული ფორმის ლილვების, დგუმების და საკისრების დასამუშავებლად [10]. ავტომატური ხაზების კონსტრუქციები მოყვანილია სამუშაოებში [11-26].

მოქნილი საწარმოო მოდული (მსმ) ეს არის მოწყობილობა, რომელიც ფუნქციონირებს ავტონომიურად და ახორციელებს დამზადებისათვის საჭირო ყველა ფუნქციას. შესაძლებელია იგი ჩაიდგას მოქნილ საწარმოო სისტემაში [14, 26].

მოქნილი ავტომატიზირებული ხაზი (მ.ა.ხ) – ისეთი საწარმოო სისტემაა, რომელშიც ტექნოლოგიური მოწყობილობები განლაგებულია ტექნოლოგიური ოპერაციების თანმიმდევრობით.

(მ.ა.ხ) ტრადიციული ავტომატური ხაზებისაგან განსხვავდება გადაწყობის შესაძლებლობით დეტალების გამოშვებისას. გადაწყობა ხორციელდება ჩარხების აწყობით, აღჭურვილობის ცალკეული ელემენტების რეგულირებით ან შეცვლით. გადაწყობის პროცესის ავტომატიზაციისათვის მ.ა.ხ. აღიჭურვება ცალკეული იარაღების და მრავალშპინდელიანი თავების

შეცვლის ავტომატური მოწყობილობით და სხვა მექანიზმებით. დღეისათვის მ.ა.ხ.-ის გადაწყობა სრულდება მომსახურე პერსონალის მონაწილეობით. მ.ა.ხ.-ის მოცდენის ხანგრძლივობა დაკავშირებული გადაწყობასთან, შეადგენს 1–2 საათს, გადაწყობის სიხშირე 2–4-ჯერ თვეში [27].

მ.ა.ხ. ძირითადად გამოიყენება მსგავსი ჯგუფის დეტალების დასამუშავებლად. კერძოდ, ცილინდრების ბლოკების 6, 8, 10 რიგის და მოდიფიკაციის ერთი ტიპის ძრავისათვის. სხვადასხვა ტიპის დეტალები რიგრიგობით მუშავდება.

ტრადიციულად, მ. ა. ხ-ის მოწყობილობა, განლაგებულია ტექნოლოგიური პროცესის მიხედვით. მ.ა.ხ.-ის კომპონირებადი სქემის საფუძვლს წარმოადგენს დამუშავების ჯგუფური პროცესი [16].

ხაზებში უმეტესად დამუშავების მარშრუტი არის ხისტი. დეტალი თანმიმდევრულად გადის დამუშავების ყველა პოზიციას. სხვადასხვა დეტალები შეიძლება დამუშავდეს იარაღების სხვადასხვა კრებულის. არსებობენ ხაზები დამუშავების თავისუფალი მარშრუტით [28] ცალკეულ დეტალებს შეუძლიათ გამოტოვონ ცალკეული პოზიციები. არსებობენ ხაზები განტოტებული ნაკადებით, სადაც ცალკეულ შტოზე მუშავდება სხვადასხვა დეტალები.

ყველაზე მეტი გამოყენება ჰპოვეს ხაზებმა, რომლებიც ამუშავებს კორპუსულ და ბრუნვითი სხეულის ტიპის დეტალებს [27].

კორპუსული დეტალებისათვის გამოიყენებიან ორი ტიპის ხაზები.

პირველი იწყობა აგრეგატულ – მოდულური მოწყობილობის ბაზაზე, ე.ი. მიეკუთვნება გადაწყობად ავტომატურ ხაზებს. ჩარხები ერთმანეთს უკავშირდებიან ტრანსპორტიორების სისტემით ან ტრანსპორტიორით. ავტომატურ ხაზებისაგან განსხვავებით გამოიყენება მექანიზმები ხელისან ავტომატური გადაწყობით; შესაცვლელი შპინდელური საცმები და ძალური თავები, შპინდელური თავები მოძრავი რადიალური ან ღერძული

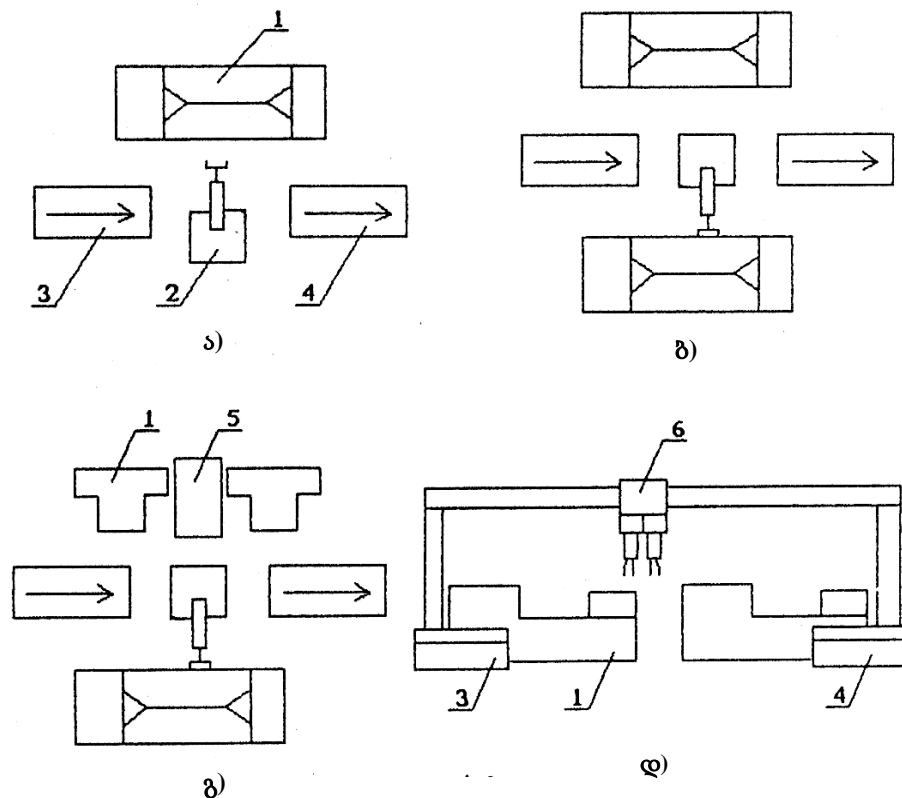
მიმართულებით; ინსტრუმენტების მაღაზიები ინსტრუმენტების შეცვლის მექანიზმი და ა.შ. მიიღება მხედველობაში სარეზერვო მუშა პოზიციები. ასეთი მ.ა.ხ. მაგალითები მოყვანილია სამუშაოებში [10, 14, 29].

მეორე ტიპის მ.ა.ხ. აიგება მოქნილი საწარმო მოდულების ან მრავალმიზნობრივი ჩარხების ბაზაზე, ისენი დაკავშირებულია არაგამჭოლი ტრანსპორტიორით. დეტალები მაგრდება სამარჯვ თანამგზავრზე. ასეთი ტიპის მ.ა.ხ. პირველზე ძვირია. მაგრამ უფრო ფართოა დასამუშავებელი დეტალების ნომენკლატურა. უფრო ჩქარა გადაიწყობიან. ასეთი მ.ა.ხ - ბი მოცემულია სამუშაოებში [14, 19, 21, 28].

ბრუნვითი ტიპის დეტალების დამუშავებისათვის მახ-ი იწყობა სპეციალიზირებული და უნივერსალური ჩარხებისაგან. ასეთი ხაზების სატრანსპორტო სისტემას შეადგენენ რობოტები და სატრანზიტო მაგროვებლები. გამოიყენებიან, ჩარხში ჩამონტაჟებული ერთი და ასევე ორსატაციანი რობოტები. როგორც ერთ რობოტს შეუძლია მოემსახუროს რამოდენიმე ჩარხს. ჩარხების ასეთ სისტემას ეწოდება რობოტიზირებული ტექნოლოგიური ხაზები (რ.ტ.ხ). იგი არის რობოტიზირებული ტექნოლოგიური მოწყობილობების ერთობლიობა, დაკავშირებული ერთმანეთთან სატრანსპორტო საშუალებებით და მართვის სისტემით. მოწყობილობის რამოდენიმე ერთეულის მომსახურება ხორციელდება ოპერაციების შესასრულებლად მიღებული თანმიმდევრობით ერთი ან რამოდენიმე საწარმოო რობოტით.

გამოიყენებიან სხვადასხვა სტრუქტურის რობოტოტექნიკური კომპლექსები. რ.ტ.კ-ს ტიპური მაგალითები მოყვანილია ნახ. 3 [30, 31].

ნახაზზე 2 ერთი რობოტი ემსახურება ერთ, ორ და სამ ჩარხს 1. სისტემა აღჭურვილია დამტვირთი და გადმოსატვირთი 4 მაგროვებლებით. დამუშავება ერთ ჩარხზე მეტი შემცველობით, შეიძლება მოხდეს როგორც თანმიმდევრობით, ასევე პარალელურად. თანმიმდევრული დამუშავებისას რ.ტ.კ შეიძლება შეიცავდეს სათადარიგო მაგროვებელს 5 (ნახ. 2, ბ).



ნახ. 2. რ.ტ.კ-ის ტიპური კომპანები.

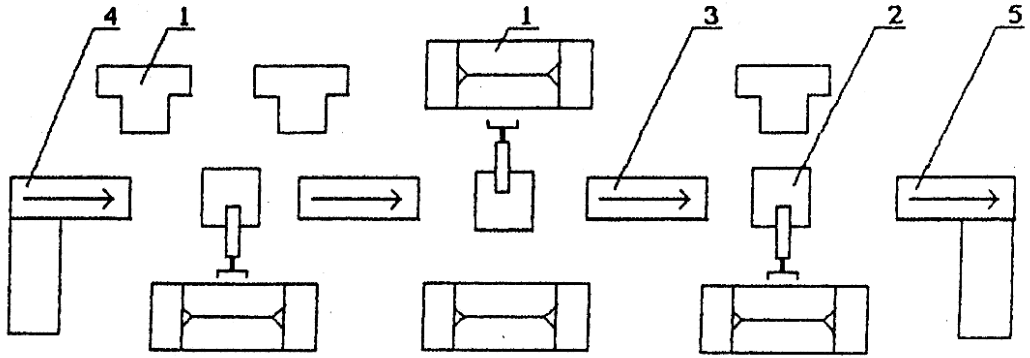
1 – ჩარხი; ბ – რობოტი; 3 – დამტვირთი მაგროვებელი, 4 – გადმომტვირთი მაგროვებელი, 5 – სათადარიგო მაგროვებელი, 6 – ორსატაციანი პორტალური რობოტი

ნახ. 2 პორტალური ორსატაციანი რობოტი 6 ემსახურება ორ ჩარხს 1, იღებს ნამზადს მაგროვებლისაგან 3, აყენებს დამუშავებულ დეტალს დამტვირთავ მაგროვებელში 4.

მ.ა.ხ-ის სტრუქტურული სქემის მაგალითი რ.ტ.კ.-ის ტიპური ბაზაზე ნაჩვენებია ნახაზზე 3 [31]. ხაზი შედგება სამი რ.ტ.კ-გან. დაკავშირებულია სატრანზიტო მაგროვებლებით 3, აღჭურვილია დამტვირთი 4 და გადმოსატვირთი 5 მოწყობილობებით.

იგი სწრაფად გადაიწყობა მსგავსი დეტალების გამოშვებისას. რ.ტ.ხ-ის კონკრეტული მაგალითებით მოყვანილია სამუშაოებში [14, 31–33].

სამუშაოში მ.ა.ხ. მრავალმიზნობრივი ჩარხებისაგან [32] კვალიფიცირდება, როგორც სისტემა დეტალების ხაზოვანი ნაკადით. თავისი შესაძლებლობებით უახლოვდება მოქნილ ავტომატიზირებულ სისტემას.



ნახ. 3. მ.ა.ხ. სტრუქტურული სქემა რ.ტ.კ-ის ხაზზე

1 – ჩარხი; 2 – რობოტი; 3 – სატრანზიტო მაგროვებელი;

4 – სატვირთო მოწყობილობა; 5 – გადმოსატვირთი მოწყობილობა

მ.ა.ხ-ის მართვის სისტემა ძირითადად ორსაფეხურიანია. ქვედა

საფეხური რეალიზებულია მიკროპროცესორული კონტროლიორებით ან მიკრო ე.გ.მ-ით, მართავენ ტექნოლოგიური და სატრანსპორტო მოწყობილობების მუშაობას. მართვის სისტემის ზემო საფეხური უწევს ორგანიზებას სატრანსპორტო და ტექნოლოგიური მანქანების მუშაობას. სათადარიგო მოწყობილობების სიგნალების მიხედვით, ახორციელებს მათ ბლოკირებას არადასაშვები მოქმედებებისაგან. ირჩევს რაციონალურ მოქმედებას, თუ შესაძლებელია მოწყობილობების მუშაობის ვარიანტები. მაღალი საფეხურის რეალიზაციისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს დამატებითი მიკრო ე.გ.მ. ხშირად ეს ფუნქციები ნაწილდება ტექნოლოგიური და სატრანსპორტო მოწყობილობების მიკრო – ე.გ.მ-ებს შორის [30].

მ.ა.ხ-ის ფუნქციონირების ძირითადი მაჩვენებლებია: მწარმოებლურობა, მოწყობილობის მუშაობის საიმედოობა, პროდუქციის გამოშვების რითმულობა. განისაზღვრებიან მ.ა.ხ-ის შესაბამისი მახასიათებლების ანალოგიურად.

მოქნილი ავტომატიზირებული უბანი (მ.ა.უ) – ტექნოლოგიური მარშრუტით ფუნქციონირებადი საწარმოო სისტემაა, რომელშიც გათვალისწინებულია მოწყობილობის გამოყენების თანმიმდევრობის შეცვლის შესაძლებლობა [16, 34].

მ.ა.უ-ის უფრო მეტად გავრცელებულ საშუალებებს მიეკუთვნებიან კონვეიერული სისტემები, ლიანდაგური და ინდუქციური ურიკები, შტაბელები [32, 36].

მ.ა.უ-ში ტრანსპორტის ნაკადების ორგანიზაცია მჭიდროდ დაკავშირებულია გაერთმთლიანებულ სტრუქტურასთან.

სამუშაოში [32] განხილულია სატრანსპორტო მარშრუტების ძირითადი ტიპები, ისინი წარმოდგენილია ნახ. 4-ზე. უმეტესად გავრცელებულია ჩაკეტილი ნაკადები. იზრდება რევერსული ნაკადების რაოდენობა. მათი ორგანიზება საჭიროა სისტემებში ლიანდაგური ურიკებით. ქსელური და განშტოებული ნაკადები დამახასიათებელია სისტემებისათვის ინდუქციური ურიკებით [32, 36].

ძირითადი ტიპები		მაგალითები
შეკრული	წრიული	
	რთული	
	განშტოებული	
ქსელური		
რევერსიული	ხაზოვანი	
	განშტოებული	

ნახ. 4. სატრანსპორტო მარშრუტების ძირითადი ტიპები

ქსელურ და განშტოებულ სტრუქტურის მქონეზე სატრანსპორტო ხაზებზე, შესაძლებელია ორი და რამოდენიმე სატრანსპორტო საშუალების მუშაობა. ეს ართულებს ტრანსპორტის მართვის სისტემებს. აუცილებელია გათვალისწინებული იქნეს სატრანსპორტო საშუალებების ბლოკირებები მოქმედების ზონები და, სიმაფორების სისტემები [37, 38-41].

1.2. ტექნოლოგიური მანქანების და მანქანათა სისტემების პროექტირებისა და კვლევის საკითხების მიმოხილვა

1.2.1. მწარმოებლურობის და საიმედოობის თეორიის საფუძვლები

მწარმოებლურობის მათემატიკურ საფუძველს შეადგენენ კანონზომიერებებს, რომლებიც აკავშირებენ მანქანათა მწარმოებლურობას მოწყობილობების კონსტრუქციულ, სტრუქტურულ და სხვა მაჩვენებლებთან. მწარმოებლურობის თეორიის მეთოდები საშუალებას იძლევიან გავითვალოთ რაოდენობრივად მანქანათა მწარმოებლურობა და მათი დანერგვის ეკონომიკური ეფექტურობა, გავაანალიზოთ ავტომატიზირებული მოწყობილობების სხვადასხვა ვარიანტები. შევირჩიოთ ისეთი პარამეტრები, რომლებიც განსაზღვრავენ მაქსიმალურ მწარმოებლურობას ანდა უმაღლეს ეკონომიკურ ეფექტს.

მწარმოებლურობის თეორიის ძირითადი დებულებები განხილული იქნა გ. შაუმიანის მიერ ჯერ კიდევ 1932-1933 წწ. შემდეგ ეს სამეცნიერო მიმართულება უწყვეტად ვითარდებოდა. იღებდა განვითარებას წარმოების სხვადასხვა დარგებში. საკმაოდ დასრულებული ფორმით მწარმოებლურობის თეორიის ძირითადი დებულებები წარმოდგენილია ნაშრომებში [6, 42].

გ. შაუმიანის მიერ შემოთავაზებული მეთოდის მიხედვით მათემატიკურად უშუალოდ დაკავშირებულნი არიან ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლები და ერთობლიობაში წარმოადგენენ

ავტომატების და ავტომატური ხაზების მათემატიკურ მოდელს მწარმოებლურობისა და ეფექტურობის მხრივ.

მწარმოებლურობის თეორიის მოდელების გამოყენებით შესაძლოა იყოს გაანალიზირებული როგორ მოქმედებენ ტექნიკურ პროგრესზე ტექნოლოგიისა და კონსტრუირების ესა თუ ის მიმართულებები. შეიძლება შეფასებული იქნას ავტომატიზაციის პერსპექტიულობა.

თავის მხრივ ტექნოლოგიური პროცესების მწარმოებლურობა მრავალ წილად დაკავშირებულია საკვლევი სისტემების საიმედოობასთან.

ზოგადი მიდგომით საჩარხო სისტემების საიმედოობა განისაზღვრება მექანიზმების, მოწყობილობების და მჭრელი იარაღების საიმედო მუშაობით.

აღნიშნულთან დაკავშირებით განვიხილოთ საიმედოობის თეორიის ზოგიერთი ძირითადი დამოკიდებულებები [43, 44].

დავუშვათ X – არის უწყვეტი შემთხვევითი სიდიდე და $P(a < X < b)$ – X – მნიშვნელობათა მოხვედრა ინტერვალში (a, b) . X სიდიდის განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია განისაზღვრება ტოლობით

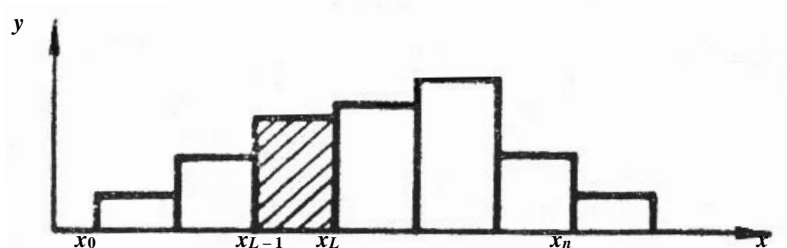
$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P(x < X < x + \Delta x)}{\Delta x} = f(x). \quad (1)$$

ფუნქცია $f(x)$ აგრეთვე X სიდიდის ალბათობის სიმჭიდროვეს. მიახლოებით შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$P(x < X < x + \Delta x) \approx f(x)\Delta x. \quad (2)$$

მრუდის $y = f(x)$ წარმოქმნის გეომეტრიული პროცესი შესაძლოა აიხსნას შემდეგი მიდგომით. განვიხილოთ ინტერვალი, რომლის გარეთ X სიდიდეების მნიშვნელობათა წარმოშობა შეუძლებელია. ეს ინტერვალი წერტილებით x_0, x_1, \dots, x_n , $\Delta x_{l-1} = x_l - x_{l-1}$ დავყოთ სიგრძის მცირე მონაკვეთებად, რომლებშიც $P(x < X < x + \Delta x)$ მივიღებთ ზემოდან, საფეხუროვანი l_n ხაზით შემოსაზღვრულ ფიგურას (ნახ. 5).

დავუშვათ, პროცესი არის უსასრულო. დიფერენციალური მრუდი ის მრუდია, რომელსაც უახლოვდება I_n როდესაც $n \rightarrow \infty$.



ნახ. 5. შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების ექსპერიმენტული ფუნქცია

იმის ალბათობა $P(\alpha < X < \beta)$ რომ შემთხვევით X – სიდიდის მნიშვნელობა მოხვდება ინტერვალში (α, β) , განისაზღვრება ფორმულით (ნახ. 6)

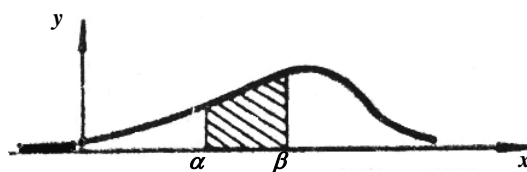
$$P(\alpha < X < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx.$$

თუ X – სიდიდის ყველა მნიშვნელობები იმყოფებიან ინტერვალში (α, β) ,

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

და როდესაც შესაძლო მნიშვნელობათა ინტერვალია $(-\infty, +\infty)$,

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1. \quad (3)$$



ნახ. 6. დიფერენციალური განაწილების ფუნქცია

შემდგომში ჩავთვალოთ, რომ $f(x)$ ფუნქცია განისაზღვრება ინტერვალზე $(-\infty, +\infty)$. როდესაც ამოცანის არსიდან გამომდინარე ფუნქცია $f(x)$ განისაზღვრება ზღვრულ ინტერვალზე (α, β) , შეგვიძლია ჩავთვალოთ, მისი განსაზღვრადობა $(-\infty, +\infty)$ ინტერვალზე. (α, β) ინტერვალის გარეთ:

$$f(x) \equiv 0.$$

განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია მთლიანად განსაზღვრავს შემთხვევით სიდიდეს.

განაწილების ინტეგრალური ფუნქცია ეწოდება სამოკიდებულებას

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

აგრეთვე მას უწოდებენ განაწილების ფუნქციას და განაწილების ინტეგრალურ კანონს. ფუნქცია $F(x)$ -დან გამომდინარეობს, რომ x -ის გარკვეულ მნიშვნელობისას განაწილების ფუნქცია რიცხობრივად უდრის განაწილების მრუდით, აბსცისთა ღერძით და განლაგებულ წერტილში X გატარებული ორდინატით გამოკვეთილ მარცხენა მხარეს.

სიდიდე $F(x)$ – არის იმის ალბათობა, რომ X –ის სიდიდე ყოველთვის არის $F(x)$ -ის ნაკლები X -ის (α, β) მოცემულ ინტერვალში მოხვედრის ალბათობა გამოისახება :

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

დიფერენციალური განაწილების $f(x)$ და ინტეგრალური $F(x)$ ფუნქციები დაკავშირებულია თანაფარდობით

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

შემდგომში ხშირად შესასწავლი შემთხვევითი სიდიდის მიმართ ფიგურირებს უმტყუნებო მუშაობის დრო, ანუ დრო მუშაობის დაწყებიდან მწყობრიდან გამოსვლამდე, რომელიც განისაზღვრება $(0, +\infty)$ ნახევრადუსასრულო ინტერვალზე და ინტეგრალური განაწილების ფუნქცია უმეტესად ჩაწერილი იქნება ასე

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

აღნიშნული მიდგომით $F(t)$ არის მოწყობილობის და იარაღის (ანდა მათი სისტემების) მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობა დროის $(0, t)$ ინტერვალზე.

ფუნქციას

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(x) dx \quad (4)$$

უწოდებენ მოცემული საიმედოობის ფუნქციას. ცხადია, რომ $P(t)$ მოცემული t მნიშვნელობისათვის უდრის მოწყობილობისა და იარაღის უმტყუარობის მუშაობის ალბათობას დროის t მონაკვეთში.

თუ $P(t)$ -ს მეშვეობით აღვნიშნავთ ჩარხის უმტყუნებო მუშაობას ინტერვალზე $(0, t)$ და $p_i(t)$ -ით ($i = 1, 2, \dots, n$) კი i -ური იარაღის უმტყუნებო მუშაობას ამავე ინტერვალზე $(0, t)$, სადაც მოწყობილობები და იარაღები არის დამოუკიდებლები

$$P(t) = p_1(t)p_2(t)\dots p_n(t). \quad (5)$$

უმტყუნებო მუშაობის დროის განაწილების კანონები განისაზღვრება ექსპერიმენტიდან.

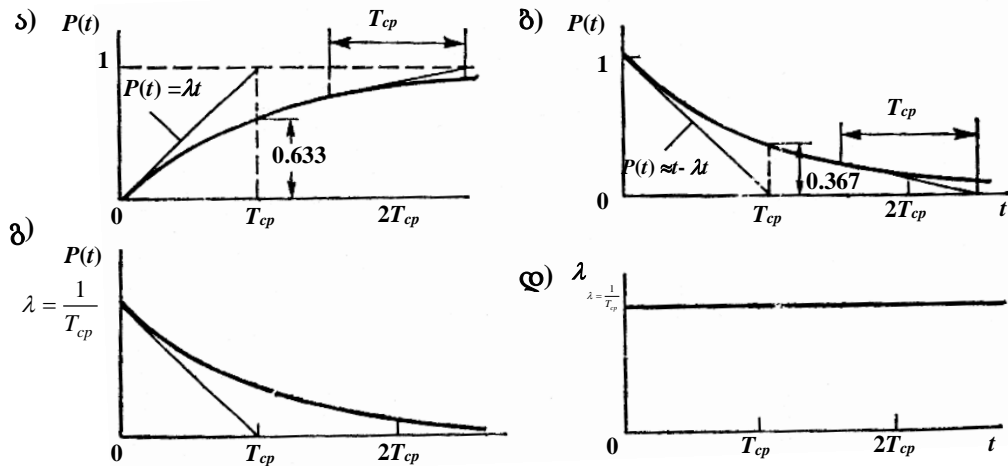
საინჟინრო გამოთვლებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს შემთხვევითი მნიშვნელობების ექსპონენციალურმა ნორმალურმა, ლოგარითმულმა და ვეიბულის განაწილების კანონებმა [43-45, 114].

ნორმალური განაწილება. დიფერენციალური ფუნქცია განისაზღვრება ფორმულით

$$f(x) = -\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-T_{cp})^2}{2\sigma^2}}, \quad (6)$$

სადაც: T_{cp} – შემთხვევითი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობა; σ – შემთხვევითი სიდიდის საშუალო კვადრატული გადახრა.

მოწყობილობების, მექანიზმების და მართვის ელემენტების დროის მიახლოებითი გამოსახვისათვის როგორც წესი იყენებენ ექსპონენციალურ განაწილებას (ნახ. 7, ა). იგი განისაზღვრება ინტენსივობის ერთი λ პარამეტრით.



ნახ. 7. განაწილების ექსპონენციალური ფუნქციები

λ არის ხდომილობის ინტენსივობა (მაგალითად, ობიექტის მუშაუნარიანობის აღდგენადობა) ობიექტის ცდომილებაა. იგი უდრის დროის ერთეულში წარმოქმნილ ხდომილობათა საშუალო რიცხვს. ხდომილობათა მუდმივ ინტენსიურობისას მათ წარმოშობას აქვს ექსპონენციალური სახე და შებრუნებით მტყუნებათა დროის ექსპონენციალური განაწილებისას მათი ინტენსივობა მუდმივია. უეცარ მტყუნებათა მუდმივი ინტენსივობა ექსპლუატაციის პერიოდში წარმოადგენს მრავალი ფაქტორის ზემოქმედების შედეგს უცვლელი გარე პირობების დროს. როდესაც ობიექტის დაძველებისა და ცვეთის მოვლენები მცირედაა გამოსახული და შეგვიძლია მათი უგულვებელყოფა.

ინტეგრალური ფუნქციის დამატება, T გამოსახება ასე

$$P(t) = \exp(-\lambda t) = \exp(-t/T_{cp}), \quad (7)$$

სადაც: t – დროის ინტერვალი, რომლისათვისაც განისაზღვრება საიმედოობის მაჩვენებელი; $\lambda = 1/T_{cp}$ – განაწილების მუდმივი დადებითი სიდიდე; T_{cp} – საშუალო მნიშვნელობა T შემთხვევითი მნიშვნელობისა.

ექსპონენციალური განაწილების ინტეგრალური ფუნქცია ფორმულა 7-ის თანახმად უდრის (ნახ. 7, ა)

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) = 1 - \exp(-t/T_{cp}). \quad (8)$$

ექსპონენციალური განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია (8) ფორმულის თანახმად უდრის (ნახ. 8, გ)

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) = \frac{1}{T_{cp}} \exp\left(-\frac{t}{T_{cp}}\right). \quad (9)$$

ხდომილობათა ინტენსიურობა გამოისახება ასე

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

ექსპონენციალური განაწილების დროს, ხდომილობათა ინტენსივობა არის მუდმივი სიდიდე.

შემთხვევითი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობა (მათემატიკური ლოდინი) განისაზღვრება 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 მტყუნებების დროს უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა t პერიოდისას, ალბათობათა გადამრავლების თეორემის თანახმად უდრის

$$P(t) = P_e(t) P_n(t),$$

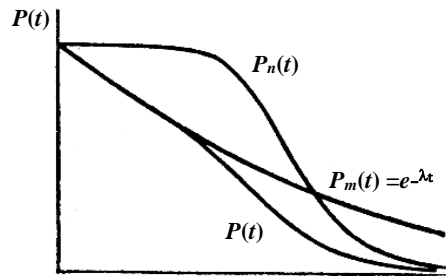
სადაც $P_e(t) = e^{-\lambda t}$ და $P_n(t) = P_n(T+t) / P_n(T)$ – შესაბამისად უეცარი და თანდათანობითი მტყუნებების არყოფნის ალბათობებია.

მიმდევრობითი ელემენტების შეერთებაზე აგებული სისტემისათვის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა t პერიოდში უდრის

$$P_{cm}(t) = e^{-t \sum \lambda_i} \prod \frac{P_{ni}(T+t)}{P_{ni}(t)}, \quad (10)$$

სადაც ნიშნები Σ და Π აღნიშნავენ ჯამს და გამრავლებას.

ნახ. 8 ნაჩვენებია თანდათანობითი მტყუნებების უეცარი მტყუნებების და უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები თანდათანობითი და უეცარი მტყუნებების ერთობლივი მოქმედებისას.



ნახ. 8. უეცარი და თანდათანობითი მტყუნებების ერთობლივი მოქმედება, სადაც $P(t)$ ასახავს უეცარი მტყუნებების მრუდს

როდესაც თანდათანობითი მტყუნებების ინტენსიურობა დაბალია ჯამური მრუდი შეესაბამება $P_e(t)$ მრუდს. შემდგომ კი მკვეთრად იცვლება.

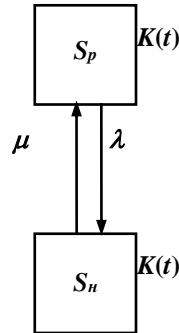
თანდათანობითი მტყუნებების პერიოდში მათი ინტენსიურობა, როგორც წესი მრავალჯერად მაღალია.

ექპლუატაციის პერიოდში აღდგენადი ობიექტის მზადყოფნა წარმოადგენს საიმედოობის კომპლექსურ მაჩვენებელს, იგი ახასიათებს ორ თვისებას: უმტყუნებობის და აღდგენადობის თვისებას. ობიექტის საიმედოობის შეფასება არაა სრული მუშაუნარიანობის აღდგენადობის დროის გათვალისწინების გარეშე. საიმედოობის მნიშვნელოვანი მაჩვენებელია აღდგენადობის დროის გათვალისწინებით მზადყოფნის კოეფიციენტი ანუ მუშაუნარიანი მდგომარეობის ალბათობა [45].

ობიექტის მუშაუნარიანობის აღდგენის დრო დამოკიდებულია მუდმივი μ ინტენსივობით ექსპონენციალურ განაწილებასთან მუშაუნარიანი მდგომარეობა მტყუნების შემდეგ აღდგება ძველ დონემდე.

ობიექტის მდგომარეობათა მონიშნული გრაფი მოცემულია ნახ. 9, სადაც S_p – მუშაუნარიანი და S_n – არამუშაუნარიანი მდგომარეობა.

დროს ექსპონენციალური განაწილება მტყუნებათა და აღდგენადობის დროთა შორის იძლევა საშუალებას ობიექტის მუშაუნარიანი და არამუშაუნარიანი მდგომარეობების განსაზღვრა მარკოვის მათემატიკური აპარატის გამოყენებით.



ნახ. 9. ობიექტის მდგომარეობათა გრაფი

სისტემის მდგომარეობათა ალბათობები წარმოადგენენ სისტემის მოქმედების უმნიშვნელოვანეს მახასიათებლებს.

სისტემის მდგომარეობათა ალბათობის ჯამი დროის ნებისმიერი მომენტისათვის უდრის ერთს

$$P_1(t) + P_2(t) + \dots + P_i(t) + \dots + P_j(t) + \dots + P_n(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) = 1. \quad (11)$$

სისტემის მდგომარეობათა ალბათობების განტოლებებს [46] ზოგადი მიდგომით აქვს სახე

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n \lambda_{ji}(t) P_j(t) - P_i(t) \sum_{i=1}^n \lambda_{ij}(t) \quad (12)$$

$$(i = 1, 2, \dots) \quad (j = 1, 2, \dots). \quad (13)$$

1.2.2. მექანიზმების, ამბრავების და მანქანათა სისტემების პროექტირებისა და კვლევის საკითხები

მექანიზმებისა და სამანქანო სისტემების აგება იწყება რაციონალური კინემატიკური სქემის მქონე მექანიზმის შერჩევით.

მექანიზმების სტრუქტურასთან დაკავშირებული საკითხები განხილულია ლ.ვ. ასურის და ა.გ. მალიშევის ნაშრომებში. მათი კლასიფიკაციის შემდგომი განვითარება ასახულია ვ.ვ. დობროვოლცკის, ი.ი. ართობოლევსკის [47-53] და რ. ფრანკეს [54] ნაშრომებში.

მრავალრგოლიან მექანიზმების კვლევებს განიხილავენ ნ.ი. ლევიტსკი [55, 56] და ს.ა. ჩერკუდინოვი [57].

დ.ს. თავხელიძის, ო.ს. ეზიკაშვილის და გ.ა. ჯაბუას [58, 59] შრომები მიძღვნილია ბრტყელი მექანიზმების კვლევის საკითხებისადმი.

გ.პ. ბარანოვის ნაშრომები [60] მიძღვნილია მრავალსაფეხურიანი კბილანური და რთული პლანეტარული მექანიზმების კინემატიკური კვლევებისადმი.

წიგნში [61] განხილულია კინემატიკური და სტრუქტურული ანალიზის საკითხები. დგინდება მექანიზმების სტრუქტურა. განისაზღვრება რგოლების წერტილების გადაადგილებები, სიჩქარეები, აჩქარებები და რგოლების ზომები წინასწარ დასახული პირობების მიხედვით. განიხილება: მამოძრავებელი და წინააღმდეგობის ძალების ზემოქმედებები, რგოლების მოძრაობების განსაზღვრის მეთოდები. მოძრაობათა რეგულირების, გაწონასწორების საკითხები და სხვა.

რხევების თეორიის საფუძვლები, რხევების თეორია და სისტემის კვლევის მეთოდები განიხილება ს.პ. ტიმოშენკოს, ფ.მ. ცზას, დ.ხ. იანგის, უ. უივერის, პ.ტ. ხინკვას, ი.ე. მორზეს შრომებში [36-38].

ამ ნაშრომებში აგრეთვე შემოთავაზებულია ძალოვანი გათვლის მეთოდები, აგრეგატების დინამიკური ანალიზის და სინთეზის საკითხები და მანქანების გაწონასწორების ამოცანები.

ნაშრომში [65] შემოთავაზებულია ჩარხების დინამიკური მაჩვენებლების სისტემა, მაჩვენებლების მიხედვით ჩარხების შეფასების საკითხები, თეორიული და ექსპერიმენტული ანალიზის მეთოდები.

ოპტიმალური წარმადობის, გაწყობის მეთოდები და მართვის საკითხები განხილულია ფ.მ. მანჟოსის ნაშრომებში [66, 67].

მ.ფ. დიმენტბერგის ნაშრომში [68] მოცემულია მოძრაობის რამდენიმე რეჟიმში მყოფი არაწრფივი სისტემების რხევების კვლევის საკითხები. მოყვანილია რხევითი სისტემების იდენტიფიკაციის მეთოდები სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე. საკითხების გადაწყვეტა ხდება ანალიზურად და ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანაზე მოდელირების გზით.

ვ.ლ. ვეიცის ნაშრომში [69] განხილულია დარტყმითი და ვიბროდარტყმითი ტიპის მოდელები, ჩატარებულია იძულებითი რხევების კომპლექსური კვლევები.

ს.ი. სერგეევის ნაშრომში [70] ყურადღება ექცევა ჰიდრავლიკურ დემპფერებს და ერთი ან რამდენიმე ადგილში თავმოყრილი ბლანტი ხახუნის მქონე წრფივი მექანიკური სისტემების რხევებს.

დრეკად-პლასტიკური სხეულების რხევები შეისწავლება ვ.ა. პალმოვის ნაშრომებში [71]. სასაზღვრო ამოცანის ამოხსნა იგება გალერკინის მეთოდის გამოყენებით. აღნიშნულია ურთიერთზემოქმედება რხევების სხვადასხვა სიხშირული შემდგენებისა.

დინამიკის მრავალი ამოცანის ამოხსნისას მივდივართ მიახლოებითი რიცხვითი და რიცხვით-ანალიტიკური მეთოდების შემუშავების აუცილებლობასთან. ყველაზე უფრო პერსპექტიულს წარმოადგენს ეგმ-ზე პრაქტიკულად რეალიზებადი ფართო ამოცანების შემცველი რიცხვითი მეთოდები.

ბ.ლ. როჟდესტვენსკისა და ა.პ. კარტაშოვის ნაშრომი [72] ეძღვნება ვარიაციული გამოთვლების მარტივ ამოცანებს. მოცემულია აგრეთვე

დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნის მიახლოებითი მეთოდები და პერიოდულკოეფიციენტებიანი განტოლებების წრფივი სისტემები.

ამერიკელი სპეციალისტების ჯ. ფორსოტისა და კ. მოლერის შრომებში [73] აღწერილია ალგებრული სისტემების ეგმ-ზე ამოხსნის თანამედროვე მეთოდები. ნაშრომები [74-78] განხილულია მანქანათა დინამიკური პროცესები.

მექანიკური სისტემები შეიძლება წარმოდგენილ იქნას შეყურსული მასების სახით დაკავშირებული დრეკადი ან ხისტი რგოლებით. ასევე ელემენტთა განაწილებული მასების სახით. პირველ შემთხვევაში დინამიკის ამოცანათა გადაწყვეტა შეიძლება გამოსახული იქნას ლაგრანჟის დიფერენციალური განტოლებით ან ნიუტონის განტოლებით. გამომდინარე შეყურსულ მასათა რაოდენობიდან სისტემა იწოდება ერთმასიანად.

განაწილებული მასების შემთხვევაში დრეკადი სისტემის დინამიკის განხილვისას დავდივართ ე.წ. ტალღურ განტოლებებამდე.

კონსერვატიულ სისტემებს უწოდებენ სისტემებს, რომლებშიც მოქმედ ძალურ მომენტებს ან ძალებს გააჩნიათ პოტენციალი. სხვა სიტყვებით, კონსერვატიულ სისტემებში პრაქტიკულად არ არსებობს ენერჯის შემოდენა და გადენა.

ხისტი სისტემების დინამიკური ამოცანები მდგომარეობს იმაში, რომ მოცემული ძალებით ან მომენტებით განისაზღვროს სისტემის მოძრაობის კანონი, მოცემული მოძრაობის კანონით განისაზღვროს ძალები, რომელთა მოქმედებითაც იგი ხორციელდება.

ხისტი სისტემები დაყვანილი ძალის ზემოქმედების ქვეშ, შეიძლება წარმოდგენილ იქნას ერთი დაყვანილი მასის სახით. ამავე დროს შეიძლება მკაცრად განისაზღვროს მდებარეობა, დაყვანილი მასის სიჩქარე და აჩქარება, მოცემულ კოორდინატების ზღვრებში დაყვანილი მასის მოძრაობის დრო, სისტემის დინამიკური დატვირთვების საშუალო დაყვანილი მნიშვნელობები.

დაყვანილი ძალები შეიძლება დამოკიდებული იყოს x კოორდინატებზე, სიჩქარე v და t დროზე. დაყვანილი მასის სიდიდე ასევე შესაძლოა იყოს ცვლადი. აღვნიშნოთ ცვლადი დაყვანილი ძალა $P(x, v, t)$ და დაყვანილი მასა $m(x)$. ენერჯის შენახვის კანონის თანახმად, სისტემის კინეტიკური ენერჯის ნამატი მოქმედი ძალების ელემენტარული მუშაობისა ტოლია

$$d\left[\frac{m(x)v^2}{2}\right] = P(x, v, t)dx \quad (14)$$

ან

$$\frac{d}{dx}\left[\frac{m(x)v^2}{2}\right] = P(x, v, t). \quad (15)$$

დიფერენცირებისას ვიღებთ

$$\frac{v^2}{2} \cdot \frac{d[m(x)]}{dx} \frac{v dv}{dx} m(x) = P(x, v, t). \quad (16)$$

$v = \frac{dx}{dt}$ ჩანაცვლებისას და გარდაქმნისას,

$$m(x) \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{1}{2} \frac{d[m(x)]}{dx} \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = P(x, v, t). \quad (17)$$

მიღებული განტოლება (17) საერთო სახით გამოსახავს ნიუტონის მეორე კანონს, სადაც $m(x) = const$ და $P(x, v, t) = cons$, და იგი ღებულობს სახეს

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = p. \quad (18)$$

თუ დაყვანილი სისტემა წარმოდგენილია ინერჯის მომენტის $J(\varphi)$ სახით, დამოკიდებული ბოლო მდებარეობაზე, ხოლო ძალთა მომენტი M დამოკიდებულია φ კოორდინატზე, $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ კუთხურ სიჩქარეზე და დროზე t , მაშინ ენერჯის შენახვის კანონის დიფერენციალური განტოლება მიიღებს სახეს:

$$J(\varphi) \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{d\varphi} [d(\varphi)] \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = M(\varphi, \omega, t) \dots \quad (19)$$

ეს განტოლება ანალოგიურია (17) განტოლებისა, სადაც $J(\varphi) = const$ და $M(\varphi, \omega, t) = const$ მივიღებთ

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = M. \quad (20)$$

გარდა ანალიტიკური მეთოდისა, არსებობს რიგი საშუალებები, ხისტი სისტემების დინამიკური ამოცანების ამოხსნისათვის. ასეთებია გრაფიკული და გრაფო-ანალიტიკური მეთოდები.

დრეკადი სისტემების დინამიკის ამოცანები მდგომარეობს თვისებათა ცვლილებების განსაზღვრაში, დატვირთვების მაქსიმალურ მნიშვნელობებში, სიხშირულ რხევებში და რეზონანსული მდგომარეობის პირობებში. მანქანათა რეალურ სქემებს ცვლიან დაყვანილებით. რიგ შემთხვევებში დაყვანილი სქემა გამოსახება ერთი ან რამდენიმე თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემის სახით. დაყვანილი მასები. მოქმედი გარე ძალები და დრეკადი რგოლების სიხისტეები შეიძლება იყვნენ ცვალებადნი, დამოკიდებულნი მდებარეობაზე, სიჩქარეზე ან დროზე.

თანამედროვე მანქანების ამძრავთა ჯაჭვებში გამოყენებული რეალური სისტემები, მრავალწილად მიეკუთვნებიან რთულ არაწრფივს. გარკვეულ შემთხვევებში კი არასტაციონარულ სისტემებს. ეს მნიშვნელოვნად ართულებს მათი დაპროექტებისა და გაანგარიშებისა საკითხებს [79-84].

თავისუფალი და იძულებითი რხევების ანალიზის მეთოდები, დაფუძნებულია მოძრაობის მდგრადობის ა.მ. ლიაპუნოვის ფუნდამენტურ თეორიებზე, ფაზური სივრცეების გეომეტრიულ აგებებზე, ტიპოლოგიურ მეთოდებთან, დიფერენციალური განტოლებების ხარისხობრივ თეორიებზე. გადამცემ ფუნქციებზე და სისტემების სიხშირით მახასიათებლებზე [85-90], ესენი საშუალებას გვაძლევენ მივიღოთ მკაცრად დასაბუთებული შედეგები, მაგრამ ძალიან რთულნი არიან

დასაპროექტებელი სისტემების წინასწარი სტრუქტურისა და პარამეტრების შერჩევაში და ინჟინრული გათვლების პრაქტიკაში. ამიტომ ანალიზის ზუსტ მეთოდებთან ერთად დიდ პრაქტიკული გამოყენება ჰპოვეს მიახლოებითა მეთოდებმა. ისენი ხასიათდებიან პარამეტრების წინასწარი შერჩევის პროცესში პრაქტიკული გამოყენების სიმარტივით, ცალკეული სტრუქტურული ელემენტების სისტემების საერთო სტრუქტურულ მთლიანობაში შერწყმაში, მათი შემდგომი დაზუსტებით ზუსტი მეთოდების გამოყენებით. ძალიან ხშირად მეთოდის პრაქტიკული გამოყენების სიმარტივე უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე მაღალი სიზუსტე. რადგანაც არაწრფივ სისტემებში დინამიკური პროცესების საკმარისად ზუსტი და დეტალური კვლევა ახლანდელ დროში (სხვადასხვა საწყის პირობებში და სხვადასხვა გარე ზემოქმედებისას) შეიძლება განხორციელდეს სამოდულო ელექტრონული მოწყობილობებით და გამომთვლელი სისტემებით.

არაწრფივ სისტემებში მიახლოებითი კვლევისთვის ფართო გამოყენება ჰპოვეს ჰარმონიული ჰარმონიული ბალანსის და სხვა მეთოდებმა [85-90].

არაწრფივი სისტემების მიახლოებითი კვლევის მეთოდები, განხილულია ვ.ი. სტანკევიჩის, ი.ი. კრინეცკის, ი.ა. ორურკის და სხვათა შრომებში [91-94], შეიძლება იყვნენ გამოყენებული მონოტონურ პროცესებთან ახლოს მყოფი არაწრფივი ავტომატური სისტემების კვლევაში, როდესაც არაწრფივი ფუნქციები მოიცავენ ერთმნიშვნელოვან უბან-უბან წრფივ მახასიათებლიან არაწრფივ ფუნქციებს. ამასთან ერთად, ისენი საშუალებას გვაძლევენ ვაწარმოთ გაანგარიშებები, ერთი მახასიათებელი კონკრეტული კრიტერიუმის დაკმაყოფილების პირობიდან.

ეგმ-ის გამოყენება სისტემების სქემებისა და პარამეტრების არჩევისათვის, დაფუძნებულია მრავალრიცხოვან მოსინჯვებზე პარამეტრების სხვადასხვა შეთანწყობისას. რადგანაც პარამეტრების შეთანწყობა ძალიან მრავალგვარია, სტრუქტურული სქემების რაოდენობა

ძალზე დიდია. ამიტომ მარტივი გადაწყვეტილების მოძიბაც კი მოითხოვს დროის დიდი რაოდენობის დახარჯვას [79].

სტრუქტურულად რთული სისტემების კვლევის ეფექტურ მეთოდთა შორის, რომლებიც ხასიათდებიან საკმაოდ ფართო შესაძლებლობებით, როგორც პარამეტრული, აგრეთვე სტრუქტურული სინთეზის თვალსაზრისით წარმოადგენენ მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ცნობილი მეთოდები [94-97].

თანამედროვე ავტომატიზებული ელექტროამრავების თეორიასა და პრაქტიკაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება დაქვემდებარებული რეგულირების კონტურებიანი სისტემების შექმნას და ფართო დანერგვას სამრეწველო დანადგარებზე, როდესაც საჭიროა სიჩქარეთა რეგულირება ფართო დიაპაზონში.

ტექნოლოგიური მანქანების ავტომატიზებული სისტემების (უნივერსალური ჩარხების უბნები, ავტომატური ხაზები, მოქნილი საწარმოო სისტემები (მსს)), შემუშავებისათვის იყენებენ ბლოკურ-იერარქიულ მიდგომას [40]. ასეთი მიდგომებით საჩარხო სისტემა წარმოგენილი, ოთხდონიანი იერარქიული სისტემით: (ნახ. 10). საჩარხო სისტემა არის მაღალი დონის ელემენტი, ჩარხის ნაწილები კი კიდევ მიეკუთვნებიან უმცროს დონეს. დეტალების ძირითადი მახასიათებელია მათი გეომეტრია, საჩარხო სისტემა კიდევ ხასიათდება გარკვეული ტექნოლოგიური პროცესის რეალიზაციით. სისტემის დაყოფა ოთხი დონით არის მიახლოებითი შესაძლოა განხილული იქნას დამატებითი ქვედონეები. მაგალითად ქვედონედ შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ჩარხის კვანძები. ისენიც შესაძლოა დაყოფილი იყვნენ ქვეკვანძებად (მექანიზმებად) [41]. ბლოკურ-იერარქიული მიდგომით გამოყოფილია პროექტირების ამოცანები ყველა დონის მიმართ, რითიც მარტივდება ამოცანის ზოგადი დასმა. ეს უაღრესად აქტუალურია კომპლექსური ავტომატიზაციისას. რთული სისტემა შეგვიძლია შევიმუშავოთ ნაწილ-ნაწილად [98, 107].

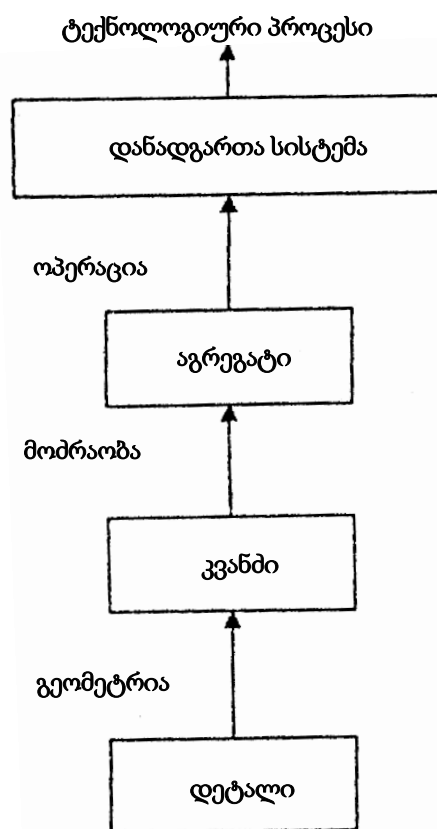
ყველა დონეს გააჩნია ამოცანათა თავისი წრე მათემატიკური მოდელები, და ამოხსნის მეთოდები [99].

ტექნოლოგიური სისტემების შემუშავებისას და მათ გადაწყობებისას შესაძლოა წარმოიშვას შემდეგი ტიპის ამოცანები:

1) მოცემული კრიტერიუმების და მოთხოვნების მიხედვით სისტემებთან მიმართებაში განსაზღვრული იქნას ისეთი მახასიათებლები: მოწყობილობათა შემადგენლობა, სატრანსპორტო სისტემის სტრუქტურა და ტიპი, განლაგება, მართვის ალგორითმები და ა.შ.;

2) ცალკეული ელემენტების ცნობილი ტექნიკური მახასიათებლების ბაზაზე განსაზღვრული იქნას მთლიანობაში საწარმოს სისტემის მახასიათებელი მაჩვენებლები: მოწყობილობათა დატვირთვის ხარისხი, მწარმოებლურობა, „ვიწრო ადგილების“ არსებობა და ა.შ. [100].

პირველი ტიპის ამოცანების ამოხსნა ხორციელდება პროექტირებისას და ზოგადი მიდგომით წარმოადგენს სტრუქტურული სინთეზის ამოცანას [101].



ნახ. 10. საწარხო სისტემის იერარქიული დონეები

მეორე ტიპის ამოცანების ამოხსნა ხორციელდება დეტალიზებული მოდელების შიგა. ოპტიმალური და უფრო მეტჯერ კვაზიოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრასთან.

აღნიშნულთან დაკავშირებით დგება სისტემების ფუნქციონირების დეტალიზებული მოდელების პარამეტრული ოპტიმიზაციის ამოცანა. გაღრმავებული კვლევისას უფრო დეტალიზებული მოდელების ანალიზი ხორციელდება ტექნიკური საშუალებების ცდომილებათა ნაკადის ალბათობითი მახასიათებლების გათვალისწინებით.

ავტომატური ხაზების და მოქნილი ავტომატიზებული სისტემის კვლევებისას ფართოდ იყენებენ ამოცანათა ამოხსნის ალბათობით მიდგომებს: საიმედოობის თეორიისა, მასიური მომსახურების და ა.შ. ძირითად დებულებებს [102, 103].

ტექნოლოგიური მოწყობილობების საწარმოო მაჩვენებლების სრულყოფის თვალსაზრისით ოპტიმიზაციურ კონსტრუირებასთან მიმართებაში უფრო და უფრო დიდ მნიშვნელობას იძენს ავტომატიზებული ამძრავების და დამუშავების პროცესების მართვის ავტომატიზებული სისტემების გაღრმავებული კვლევის ამოცანები, რომლებიც თავის მხრივ მთლიანობაში წარმოადგენენ ტექნიკური სისტემების მუშაობის ეფექტურობის ამაღლების საფუძველს [5, 6, 104, 105].

2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1. ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობისა და საიმედოობის კანონზომიერებების ანალიზი და შემუშავება

ლითონდამუშავების მწარმოებლურობა მრავალწილად ფასდება მოხსნილი მოცულობითი მწარმოებლურობით Q_v მჭრელი იარაღის გამოყენების ციკლის ერთეულ დროში ან და ცალობრივი მწარმოებლურობით Q_g ამავე ციკლის დროში.

i -ური იარაღის ციკლის ქვეშ იგულისხმება მისი მედეგობის და იარაღრებისა და მექანიზმების მომსახურების მუშაობის დამხმარე დროების ჯამით [100, 107].

ავტომატური ხაზების (ახ) ძირითად მაჩვენებლებია საწარმოო მოწყობილობათა საიმედო მუშაობა და პროდუქციის გამოშვების რითმულობა [14].

ავტომატურ ხაზებთან მიმართებაში ციკლური მწარმოებლურობა განისაზღვრება გაცდენების გათვალისწინებით მუშა ციკლის პერიოდული გამეორებების დროს:

$$Q_c = \frac{60N}{T_c} = \frac{60}{t_0 + \tau_b}, \quad (21)$$

სადაც: T_c – ხაზის მუშაობის ციკლის ხანგრძლივობა, რომელიც განისაზღვრება დამუშავების ძირითადი t_0 და τ_b უქმი სვლების დროებით ლიმიტირებად პოზიციაში.

პოტენციური მწარმოებლურობა ითვალისწინებს დროის დანაკარგებს მჭრელი იარაღებისა და მექანიზმების მომსახურებაზე:

$$Q_{\Pi} = \frac{60}{T_u + t_u + t_{ob}}, \quad (22)$$

სადაც: t_u – დანაკარგები იარაღების რეგულირებაზე შეცვლაზე და გაწყობაზე; t_{ob} – დანაკარგები მოწყობილობათა გაწყობაზე და რემონტზე, შეფარდებულნი ერთ დეტალთან.

ფაქტიური მწარმოებლურობა დამატებით ითვალისწინებს დანაკარგებს ორგანიზაციული მიზეზებით

$$Q_f = \frac{60}{T_u + t_u + t_{os} + t_{opz}}, \quad (23)$$

სადაც t_{opr} – დანაკარგები, დაკავშირებულნი ელექტროენერჯის ნამზადების და მუშის არყოფნასთან, ერთ დეტალთან შეფარდებით წუთებში.

ავტომატური ხაზების მწარმოებლურობის ამალევა დანაკარგების შემცირების ხარჯზე განისაზღვრება ზოგადი გამოყენების კოეფიციენტით, რომელიც გვიჩვენებს თუ დროის რა ნაწილში ხაზი მუშაობს გამართულად:

$$K_\Sigma = \frac{Q_f}{Q_c} = \frac{T_c}{T_c + t_u + t_{od} + t_{opz}}. \quad (24)$$

თუ t_u და t_{ob} მოიცავენ გაცდენებს შემთხვევითი ცდომილებების გამო, მაშინ დამოკიდებულება (24) განისაზღვრება მზადყოფნის კოეფიციენტით.

დაკავშირებით იმასთან, რომ სხვადასხვა მიზეზებით გამოწვეული დანაკარგები ხასიათდებიან შემთხვევითობით ავტომატური ხაზის მიერ დამუშავებული პროდუქცია აგრეთვე არის ცვალებადი სიდიდის. დროის t ტოლ მონაკვეთებზე ხაზი უშვებს ცვალებადი რაოდენობის $N(t)$ პროდუქციას, დროის j -ურ მონაკვეთს შეესაბამება პროდუქციის $N_j(t)$ მოცულობა.

შემთხვევითი $N(t)$ სიდიდის განაწილება აპროქსიმირდება ჰაუსის მრუდით რაც მიეკუთვნება ნორმალურ განაწილებას [11]. და იგი აღიწერება მათემატიკური ლოდინით

$$M[N(t)] = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n N_j(t) \quad (25)$$

და დისპერსიით:

$$D[N(t)] = \frac{1}{n} \sum \{N_j(t) - M[N(t)]\}^2 \quad (26)$$

სადაც n – დროის განსახილველი მონაკვეთების რიცხვი (ამორჩევის მოცულობა).

პროდუქციის გამოშვებას ვახასიათებთ არასტაბილურობით

$$a(t) = M \left\{ \frac{N(t) - M[N(t)]}{N(t)} \right\} \quad (27)$$

და რითმულობით [12]:

$$K_p(t) = 1 - \frac{1}{2} M \left\{ \frac{N(t) - M[N(t)]}{M[N(t)]} \right\} \quad (28)$$

რომლებიც აფასებენ $N(t)$ რაოდენობის რხევების შეფარდებით დონეს.

აქვე შეგვიძლია აღვნიშნოთ რომ საჩარხო სისტემის პოტენციური მწარმოებლურობა შეიძლება აღინიშნოს გამოსახულებით

$$Q_n = K_g \cdot \frac{1}{T_c}, \quad (29)$$

სადაც K_g – მზადყოფნის კოეფიციენტი;

T_c – დამუშავების ცალობრივი დრო.

შემდგომ მნიშვნელოვან ამოცანებს მიეკუთვნებიან ავტომატური ხაზების საიმედოობა და მწარმოებლურობა [9, 107].

მოწყობილობათა ძირითადი მახასიათებლების, კერძოდ როგორებიცაა მწარმოებლურობა, ზედნადები დანაკარგები, ტექნიკური გამოყენება და სხვა, შეფასებისათვის გამოიყენებიან ალბათობითი ფუნქციონირების კანონზომიერებებზე დაფუძნებული ანალიზური მეთოდები [9, 107].

2.1.1. ბლოკირებული საჩარხო სისტემების საიმედოობის და მწარმოებლურობის გაანგარიშებებისათვის საჭირო ძირითადი დამოკიდებულებების ანალიზი

განვიხილოთ ბლოკირებული m კვანძისაგან და n იარაღისაგან შემდგარი საჩარხო სისტემის მუშაობა, საიმედოობის მხრივ ასეთი სისტემის ყველა ელემენტი შეერთებულია მიმდევრობით, ამიტომ მისი მტყუნების ალბათობა უდრის ყველა ამ ელემენტის მტყუნებათა ალბათობების ნამრავლს [9, 107]:

$$F(t) = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_{m+n}) = 1 - e^{-t \sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i}, \quad (30)$$

სადაც λ_i – არის i ელემენტის მტყუნებათა ნაკადი.

ხაზი ხასიათდება სამი მდგომარეობით: 1 – ყველა ელემენტი მუშაუნარიანი; 2 – მტყუნება გამოწვეულია იარაღის ბრალით; 3 – მტყუნება გამოწვეულია მექანიზმების ბრალით. გადასვლის ალბათობა ერთი მდგომარეობიდან მეორეში დროის Δt მცირე მონაკვეთში აღიწერება ალბათობათა გადასვლების მატრიცებით (ცხრილი 1), სადაც λ_{oo} , λ_u , μ_{oo} , μ_u – იარაღების და მოწყობილობათა მტყუნებათა და აღდგენების ნაკადებია.

ცხრილი 1

გადასვლების ალბათობების მატრიცები

მდგომარეობა იყო	მდგომარეობა დადგა		
	1	2	3
1	$1 - \sum \lambda \Delta t$	$\lambda_1 \Delta t$	$\lambda_{oo} \Delta t$
2	$\mu_u \Delta t$	$1 - \mu_u \Delta t$	0
3	$\mu_{oo} \Delta t$	0	$1 - \mu_{oo} \Delta t$

იმის ალბათობა, რომ სისტემა მუშაობდა დროის t მომენტში და დროში Δt დარჩება მუშაუნარიანი აღიწერება გამოსახულებით $1 - (\lambda_{oo} + \lambda_u) \Delta t = 1 - \sum \lambda \Delta t$. იმის ალბათობა, რომ ხაზი აღმოჩნდება მუშაუნარიანი მაგრამ იგი დროის t მომენტში გაჩერებული იყო იარაღის მიზეზით განისაზღვრება $\mu_u \Delta t$ გამოსახულებით. მდგომარეობა 3-დან მდგომარეობა 1-ში გადასვლის ალბათობა უდრის $\mu_{oo} \Delta t$ -ს. გამომდინარე აღნიშნულისა, იმის ალბათობა, რომ ხაზი დროის მომენტში $t + \Delta t$ იქნება მუშაუნარიანი ახ-ის მდებარეობა 1 მდგომარეობაში გამოისახება ასე

$$P_1(t + \Delta t) = P_1(t)(1 - \sum \lambda \Delta t) + P_2(t)\mu_u \Delta t + P_3(t)\mu_{oo} \Delta t. \quad (31)$$

შესაბამისად ხაზის ყოფნა 2 და 3 მდგომარეობებში გამოისახება ასე:

$$P_2(t + \Delta t) = P_1(t)\lambda_u \Delta t + P_2(t)(1 - \mu_u \Delta t);$$

$$P_3(t + \Delta t) = P_1(t)\lambda_{oo} \Delta t + P_3(t)(1 - \mu_{oo} \Delta t),$$

და მივიღებთ 1, 2 და 3 მდგომარეობების ალბათობათა დიფერენციალურ განტოლებებს:

როდესაც $\Delta t \rightarrow 0$:

$$dP_1/dt = -P_1 \sum \lambda + P_2 \mu_u + P_3 \mu_{o\sigma}; \quad (32)$$

$$dP_2/dt = P_1 \lambda_u - P_2 \mu_u; \quad (33)$$

$$dP_3/dt = P_1 \lambda_{o\sigma} - P_2 \mu_{o\sigma}. \quad (34)$$

რადგანაც

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1 \quad (35)$$

და პროცესის სტაციონარულობიდან გამომდინარე Δt ზრდისას მდგომარეობათა ალბათობათა ცვლილებები $dP/dt = 0$

(32)-(33)-დან გამომდინარე შეგვიძლია მივიღოთ დამოკიდებულებები

$$P_1 = 1/(1 - \lambda_u/\mu_u + \lambda_{o\sigma}/\mu_{o\sigma}); \quad P_2 = (\lambda_u/\mu_u)/(1 - \lambda_u/\mu_u + \lambda_{o\sigma}/\mu_{o\sigma});$$

$$P_3 = (\lambda_{o\sigma}/\mu_{o\sigma})/(1 - \lambda_u/\mu_u + \lambda_{o\sigma}/\mu_{o\sigma}). \quad (36)$$

ხაზის ყოფნის ალბათობა გამართულ მდგომარეობაში ხასიათდება $\eta_{\text{ვოტ}}$ მზადყოფნის კოეფიციენტით და $\lambda/\mu = B$ შეფარდება უდრის გაწყობის ხვედრით ხანგრძლივობას. ასეთი მიდგომით, $P_1 = 1/(1 + B_u + B_{o\sigma}) = \eta_e$ და იგი რაც შეესაბამება ბლოკირებული სისტემის საიმედოობის თეორიის ზოგად დებულებებს.

შესაბამისად იარაღებისა და მოწყობილობების მტყუნებათა მიერ გამოწვეული გაცდენების ალბათობები გამოსახებიან ასე:

$$P_2 = B_u/(1 + B_u + B_{o\sigma}); \quad P_3 = B_{o\sigma}/(1 + B_u + B_{o\sigma}). \quad (37)$$

თუ ცნობილია λ და μ მახასიათებლები ბლოკირებული საჩარხო ხაზებში შემავალი კვანძისა და იარაღისათვის [9] მიღებულია დამოკიდებულებები:

$$P_1 = 1/\left[1 + \sum_{i=1}^n (\lambda_u/\mu_u) + \sum_{j=1}^m (\lambda_{o\sigma}/\mu_{o\sigma})\right];$$

$$P_{iu} = (\lambda_{iu}/\mu_{iu})/\left[1 + \sum_{i=1}^n (\lambda_u/\mu_u) + \sum_{j=1}^m (\lambda_{o\sigma}/\mu_{o\sigma})\right];$$

$$P_{joo} = (\lambda_{joo} / \mu_{joo}) / \left[1 + \sum_{i=1}^n (\lambda_u / \mu_u) + \sum_{j=1}^m (\lambda_{o\delta} / \mu_{o\delta}) \right].$$

შეგვიძლია გამოვთვალოთ ხაზის მზადყოფნის კოეფიციენტი:

$$K_g = 1 / \left[1 + 10^{-3} \left(\frac{1}{T_u} \sum B_j \right) + \frac{1}{T_u} \sum \frac{t_{cm} T_p}{T} \right] \quad (38)$$

სადაც $\sum B_j$ – ციკლურად და უწყვეტად მოქმედების ელემენტების ხანგამძლეობა

$$\frac{1}{T_c} \sum \frac{t_{cm} T_p}{T} = \sum B_j \quad (39)$$

T – იარაღის მედეგობა; t_{cm} – რეგულირებისა და შეცვლის დრო მედეგობის დროში; T_p – ჭრის უშუალო დრო.

2.1.2. საჩარხო სისტემები ჩარხთაშორის დამაგროვებლებით

განვიხილოთ დეტალების ბუნკერული მარაგისა და ორი უბნის მქონე ხაზის მუშაობა. დავუშვათ, რომ აღნიშნულ შემთხვევაში აღდგენების და მტყუნებათა ნაკადები არიან პუასონისებრივები და ერთდროულია მტყუნებათა არაშეთავდებადობა ორი უბნისათვის და აგრეთვე მარემონტებელისა და გამწყობის მოცდის დროის არარსებობა (იწყებენ მტყუნების ლიკვიდირებას წარმოშობასთან ერთდროულად) [9, 107].

განვიხილოთ თავიდან ხაზის მოქმედება საბუნკერო მარაგის არსებობის გარეშე. შემდგომ გადავიდეთ მარაგის სიდიდის გავლენა გაცდენების კომპენსაციაზე.

ნახაზზე 11 მოყვანილია ნაკადური ხაზის (1-5) მდგომარეობების ანალიზი.

ცხრილში 2 კი მოცემულია გადასვლების ალბათობები ხაზი შეიძლება იყოს შემდეგ 5 მდგომარეობაში:

1 – მუშაობს ორივე უბანი P_{11}

უბანი 1 დგას:

2 – იარაღების მტყუნებათა შედეგად P_{u1}

3 – მექანიზმების მტყუნებათა შედეგად P_{o61}

უბანი 2 დგას:

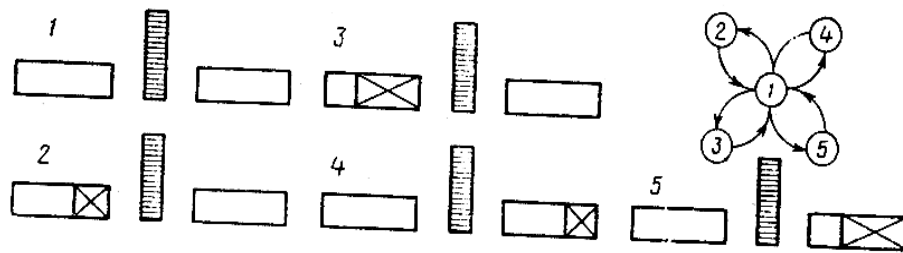
4 – იარაღების მტყუნებათა შედეგად P_{u2}

5 – მექანიზმების მტყუნებათა შედეგად P_{o62}

დავუშვათ, რომ $P_1(t - \Delta t)$ იმის ალბათობაა, რომ ხაზი არის მდგომარეობაში 1 (ნახ. 11). ამ ცდუნებას აქვს ადგილი, როდესაც:

ხაზი t დროის მომენტში იყო 1 მდგომარეობაში და დროის Δt მანძილში არ გამოვიდა იქიდან;

ხაზი t დროის მომენტში იმყოფებოდა ერთ-ერთ მდგომარეობაში $k = 2 \div 5$ და დროის Δt მანძილში გადავიდა მდგომარეობაში 1.



ნახ. 11. ორი უზნისაგან შემდგარი და დეტალების ბუნკერული მარაგის მქონე ავტომატური ხაზის მდგომარეობათა ანალიზი

განვსაზღვროთ $\mu_k \Delta t P_k$ ხდომილობები, სადაც k არის ნაკადის ინტენსიურობა და P_k მდგომარეობათა ალბათობა, საიდანაც ხორციელდება გადასვლები. ხდომილობის ალბათობა $k = 2$ -ისათვის $\mu_{o61} + \Delta t P_{o61}$; $k = 3 - \mu_{u1}$; $k = 4 - \mu_{o62} \Delta t P_{o62}$; $k = 5 - \mu_{u1} \Delta t P_{u2}$.

სისტემა არ შეიძლება იმყოფებოდეს ერთდროულად რამდენიმე მდგომარეობაში, და ამასთან დაკავშირებით

$$P_{11}(t + \Delta t) = P_{11}(t) \{ \lambda_{o61} + \lambda_{o62} + \lambda_{u1} + \lambda_{u2} \} \Delta t + \mu_{o61} \Delta t P_{o61}(t) + \mu_{u1} \Delta t P_{u1} + \mu_{o62} \Delta t P_{o62}(t) + \mu_{u2} \Delta t P_{u2}(t) \quad (40)$$

გადასვლათა ალბათობათა მატრიცები

მდგომარეობა იყო	მდგომარეობა დადგა				
	1	2	3	4	5
1	$1 - (\lambda_{u1} + \lambda_{u2} + \lambda_{o\sigma1} + \lambda_{o\sigma2})\Delta t$	$\lambda_{u1}\Delta t$	$\lambda_{o\sigma1}\Delta t$	$\lambda_{u2}\Delta t$	$\lambda_{o\sigma2}\Delta t$
2	$\mu_{u1}\Delta t$	$1 - \mu_{u1}\Delta t$	0	0	0
3	$\mu_{o\sigma1}\Delta t$	0	$1 - \mu_{o\sigma1}\Delta t$	0	0
4	$\mu_{u2}\Delta t$	0	0	$1 - \mu_{u2}\Delta t$	0
5	$\mu_{o\sigma2}\Delta t$	0	0	0	$1 - \mu_{o\sigma2}\Delta t$

გადავალთ რა ზღვრისაკენ $\Delta t \rightarrow 0$ მივიღებთ:

$$dP_{11}/dt = (\lambda_{o\sigma1} + \lambda_{o\sigma2} + \lambda_{u1} + \lambda_{u2})P_{11} + \mu_{o\sigma1}P_{o\sigma1} + \mu_{u1}P_{u1} + \mu_{o\sigma2}P_{o\sigma2} + \mu_{u2}P_{u2}. \quad (41)$$

სხვა მდგომარეობისათვისაც ანალოგიურად შევადგენთ დიფერენციალურ განტოლებებს

$$dP_{o\sigma1}/dt = \mu_{o\sigma1} + \lambda_{o\sigma1}P_{11}; \quad dP_{u1}/dt = -\mu_{u1}P_{u1} + \lambda_{u1}P_{11};$$

$$dP_{o\sigma2}/dt = \mu_{o\sigma2} + \lambda_{o\sigma2}P_{11}; \quad dP_{u2}/dt = -\mu_{u2}P_{u2} + \lambda_{u2}P_{11}. \quad (42)$$

პირველი განტოლება წარმოადგენს დანარჩენების წრფივ კომბინაციას. იგი არ შეიცავს ნულოვან ამონახსნს. უკანასკნელი განტოლებიდან და (42) ნორმირების პირობიდან გამომდინარე ვსაზღვრავთ:

$$P_{o\sigma1} = P_{11}(t)\lambda_{o\sigma1}/\mu_{o\sigma1}; \quad P_{u1} = P_{11}\lambda_{u1}/\mu_{u2};$$

$$P_{o\sigma2} = P_{11}(t)\lambda_{o\sigma2}/\mu_{o\sigma2}; \quad P_{u2} = P_{11}\lambda_{u2}/\mu_{u2}.$$

(42)-ის გათვალისწინებით

$$P_{11} = 1/(1 + \lambda_{o\sigma1}/\mu_{o\sigma1} + \lambda_{u1}/\mu_{u1} + \lambda_{o\sigma2}/\mu_{o\sigma2} + \lambda_{u2}/\mu_{u2}) = 1/A;$$

$$P_{u1} = (\lambda_{u1}/\mu_{u1})/A; \quad P_{o\sigma1} = (\lambda_{o\sigma1}/\mu_{o\sigma1})/A; \quad P_{o\sigma2} = (\lambda_{o\sigma2}/\mu_{o\sigma2})/A;$$

$$P_{u2} = (\lambda_{u2}/\mu_{u2})/A.$$

სტრუქტურულად მიღებული თანაფარდობები ანალოგიურნი არიან ბლოკირებული სისტემის განტოლებებისა.

დეტალების უბნებსშორისი მარაგის გავლენა ნაკადური ხაზის საიმედოობაზე აღვნიშნოთ $\delta_{1,2}(x)$ -ით. იმ პირობისათვის, როდესაც გვიმტყუნა პირველმა უბანმა. მაშინ მტყუნებათა ალბათობა და მათემატიკური ლოდინი აღიწერებიან ასე:

$$P = P_2 + \delta_{1,2}(x)P_1 = P_{o\delta 2} + P_{u2} + \delta_{1,2}(x)(P_{u1} + P_{o\delta 1});$$

$$M\{\delta_{1,2}(x)\} = \Pi + Qe^{-\mu_{o\delta 1}U} + \int_0^U p(x)e^{-\mu_{o\delta 1}x} dx + \int_0^U p(x)e^{-\mu_{u1}x} dx, \quad (43)$$

სადაც Π და Q – წარმოადგენენ ალბათობებს იმისა, რომ ბუნკერი შესაბამისად ცარიელია ანდა სავსეა; U – ბუნკერის მაქსიმალური ტევადობა; $e^{-\mu U}$ – იმის ალბათობა, რომ აღდგენის დრო აღემატება ბუნკერის U ტევადობას და დეტალების მთლიანი მარაგი დახარჯულია; $p(x)$ – ბუნკერში დეტალების მიმდინარე მარაგი.

ხაზი ჩერდება ალბათობით $P = 1$, როდესაც პირველი უბანი დგას და მარაგი $x = 0$;

თუ მარაგი მაქსიმალურია, ($x = U$) მტყუნების აღდგენის დრო $\tau_{np} > x$.

თუ $\tau_{np} > x$, მაშინ ხაზი ჩერდება ალბათობით $P = 1$.

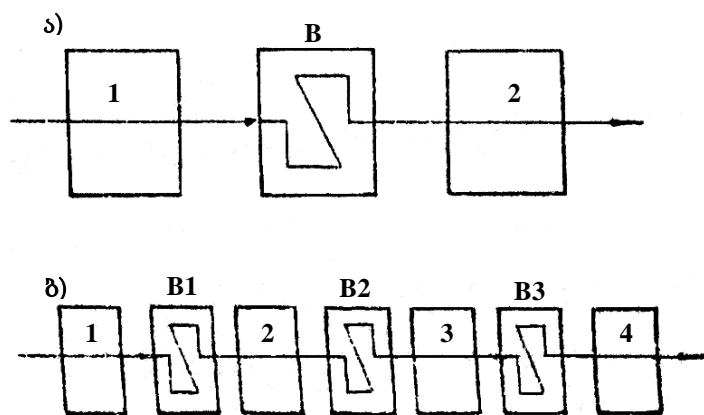
ზემომოყვანილი გამოსახულებების გამოყენებით დავდივართ რთულ დამოკიდებულებებზე, მათი გამოყენება უაღრესად რთულია ხაზისათვისაც კი, რომელიც შეიცავს 1 ჩარხთაშორის მაგროვებელს.

2.1.3. ჩარხთაშორისი მაგროვებლებით არჭურვილი ავტომატური ხაზების ფუნქციონირების ანალიზის ახალი გამოყენებითი თეორია

გავანალიზებთ რა ზემოთმოყვანილი მასალა, შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ ზემოთ გამოყენებული თეორიის გამოყენება მოქნილკავშირებიან – ჩარხთაშორის მაგროვებლებით აღჭურვილ სისტემებთან მიმართებაში მიგვიყვანს საკმაოდ რთულ ოპტიმიზაციურ ამოცანების ამოხსნისათვის საჭირო კანონზომიერებამდე.

ამასთან დაკავშირებით ვიხილავთ რა მდგომარეობას ალბათობითი ოპტიმიზაციური ამოცანების მატერიალური უზრუნველყოფის თვალსაზრისით დამუშავებულია რთული მათემატიკური კანონზომიერების გაანგარიშები-სათვის და რეალური პროცესების იმიტაციური აღწარმოებისათვის საჭირო ალგორითმები და სტანდარტული პროგრამები [9, 10, 107].

მოცდენის დრო მოქნილ კავშირიან სისტემაში (ნახ. 12) ნაწილობრივ კომპენსირდება დამატებითი პროდუქციის გამოსვლის მოცდენის დროის პერიოდში.



ნახ. 12. ჩარხთაშორისი მარაგნაკეთებით აღჭურვილი ხაზის სქემები:
1, 2, 3 და 4 – საჩარხო მოდულები; B, B1, B2, B3 – ჩარხთაშორისი
მაგროვებლები

ნაშრომი [108]-ის თანახმად უმტყუნებო სამუშაოს ერთობლივი ალბათობა შეიძლება გამოსახული იქნას როგორც ბლოკირებული (მარაგნაკეთობათა გარეშე) სისტემისა

$$P_{\text{ცე}}(t) = P_{1*}(t)P_{2*}(t), \quad (44)$$

და ჩარხთაშორისი B დამაგროვებელის არსებობით განპირობებული უმტყუნებო მუშაობის დამატებითი ალბათობის $P_D(t)$, ჯამით.

ტოლობაში (62) საჩარხო მოდულების უმტყუნებო მუშაობათა ალბათობები $P_{1*}(t)$ და $P_{2*}(t)$ განისაზღვრებიან:

$$P_{1*}(t) = 1 - \int_0^{k_1 t} f_1(t) dt; \quad (45)$$

$$P_{2*}(t) = 1 - \int_0^{k_2 t} f_2(t) dt, \quad (46)$$

სადაც $f_1(t)$ და $f_2(t)$ – შესაბამისად არიან განაწილებათა დიფერენციალური ფუნქციები;

k_1 და k_2 დაყვანის კოეფიციენტები:

$$k_1 = \frac{T_{M1}}{T_{Mn}}; \quad k_2 = \frac{T_{M2}}{T_{Mn}}.$$

T_{Mn} – მაქსიმალური სამანქანო დრო.

იარაღების შეცვლის საშუალო დროები აღვნიშნოთ როგორც a_1 და a_2 .

მეორე ჩარხის გაჩერებისას (ნახ. 19, ა) პირველი აგრძელებს მუშაობას ჩარხთაშორის დამაგროვებელზე და ეს მუშაობა განხორციელდება პირველი ჩარხის უმტყუნებო მუშაობის დროსთან დაყვანილი მეორე ჩარხზე ინსტრუმენტის გამოცვლის დროის პერიოდში. ამასთან დაკავშირებით დეტალების დამაგროვებელში უმტყუნებო მიწოდების ალბათობა განისაზღვრება ასე

$$P_{B1} = k_B e^{-u_2 t} P_1^*(t), \quad (47)$$

სადაც:

$$u_{2n} = \frac{1}{a_{2n}};$$

$$a_{2n} = \frac{T_{p1}}{T_{p2}} a_2,$$

k_B – დაყვანის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჩარხთაშორისი დამაგროვებელის ზომებს.

ნაშრომის [89] თანახმად k_B შეიძლება გამოვსახოთ ასე:

$$k_B = F(t)|_0^t; \quad (48)$$

სადაც

$$F(t) = 1 - e^{-u_2 t} P_1^*(t),$$

τ – ჩარხთაშორისი დამაგროვებელი ტევადობის დროის მონაკვეთი.

პირველი ჩარხის გაჩერებისას მეორე ჩარხი იღებს დეტალებს დამაგროვებელიდან უმტყუნებო მუშაობის ალბათობით

$$P_{B2}(t) = e^{-u_1 t} P_2^*(t), \quad (49)$$

სადაც

$$u_1 = \frac{1}{a_1}.$$

თუ შევავსებთ დროში დეტალების მიცემას დამაგროვებელში და მათ გაცემას მეორე ჩარხზე, რეზერვირების ჯაჭვის უმტყუნებო მუშაობის ერთობლივი ალბათობა ხასიათდება დამოკიდებულებით

$$P_D(t) = k_B e^{-u_2 n t} e^{-u_1 t} P_{1*}(t) P_{2*}(t). \quad (50)$$

თუ გამოვიყენებთ საჩარხო მოდულების უმტყუნებო მუშაობის აპროქსიმაციას ექსპონენციალური დამოკიდებულებებით დამოკიდებულება (50)-ის გამოთვლით დამატებით ჯაჭვის უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დროს, რომელიც განისაზღვრება ასე:

$$t_{D*} = k_B \int_0^{\infty} e^{-(u_1+u_2 n)t} e^{-(\lambda_1+\lambda_2)t} dt, \quad (51)$$

სადაც

$$\lambda_1 = \frac{1}{T_{p1}},$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{T_{p2}}.$$

აქ T_{p1} და T_{p2} – გადასვლათაშორისი საშუალო დროები, T_M – ცალკეული ოპერაციების სამანქანო დროები.

მიღებული გამოსახულება t_D შეეფარდება პირველი საჩარხო მოდულის T_{p1} დროს. თუ უკანასკნელს შევავსებთ $P_{\sigma}(t)$ ალბათობით მომუშავე ბლოკირებული სახის უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დროსთან, მივიღებთ

$$t_D = \frac{T_{noc}}{T_{p1}} t_{D*}, \quad (52)$$

სადაც

$$T_{noc} = \int_0^{\infty} P_{1*}(t) P_{2*}(t) dt. \quad (53)$$

განაწილებათა ნორმალური განაწილებების $P_{1*}(t)$ და $P_{2*}(t)$, შემთხვევაში ვხელმძღვანელობთ შემდეგი საწყისი მიდგომებით.

ჩარხთაშორის დამაგროვებელში ნამზადების მიწოდების უმტყუნებო მუშაობის ალბათობათა დროის მონაკვეთში $a_{1*} + a_{2*}$ შეიძლება გამოვსახოთ დამოკიდებულებით

$$P'_B(t) = \frac{a_{2*}}{a_{1*} + a_{2*}} k_B P_1(t). \quad (54)$$

ანალოგიურად დამაგროვებელიდან B1 ნამზადების გაცემის ჯაჭვის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა განისაზღვრება ასე:

$$P''_B(t) = \frac{a_{1*}}{a_{1*} + a_{2*}} P_2(t). \quad (55)$$

გამოსახულების (55) დაყვანით დროზე T_{noc} , მივიღებთ

$$\begin{aligned} P_D(t) &= k_B \frac{a_{1*} + a_{2*}}{T_{noc}} \cdot \frac{a_{1*} a_{2*}}{(a_{1*} + a_{2*})^2} P_1(t) P_2(t) = \\ &= \frac{k_B}{T_{noc}} \cdot \frac{a_{1*} a_{2*}}{a_{1*} + a_{2*}} P_{1*}(t) P_{2*}(t); \end{aligned} \quad (56)$$

$$t_D = \frac{k_B}{T_{noc}} \cdot \frac{a_{1*} a_{2*}}{a_{1*} + a_{2*}} \int_0^{\infty} P_{1*}(t) P_{2*}(t) dt, \quad (57)$$

სადაც

$$a_{1*} = \frac{T_{noc}}{T_{p1}} a_1, \quad (58)$$

$$a_{2*} = \frac{T_{noc}}{T_{p2}} a_2. \quad (59)$$

ყოველივე ზემოაღნიშნულის საფუძველზე განსახილველი სისტემის მზადყოფნის კოეფიციენტი K_{GO} მიიღებს სახეს

$$K_{GO} = \frac{T_{nocl} + t_D}{T_{nocl} + a_{1*} + a_{2*}}. \quad (60)$$

თავის მხრივ მწარმოებლურობა გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$\Pi = \frac{K_{GO}}{T_{uT}}, \quad (61)$$

სადაც T_{uT} – დეტალის დამუშავების ცალობრივი დრო.

ზემოთმიღებული კანონზომიერებები საშუალებას იძლევიან მარტივი ხერხების გამოყენებით მივიღოთ უფრო რთული სისტემების

ალბათობითი მახასიათებლები. ასეთი რთული სისტემების ვარიანტია ნახ. 20, ბ მოცემული სისტემა. ამ მიზნისათვის t_{D1} , t_{D2} და t_{D3} -ის გამოსახულებების მიღებისათვის B1, B2 და B3 დამაგროვებლებთან მიმართებაში ვიყენებთ დაყვანილ მნიშვნელობებს a_{1*} , a_{2*} , a_{3*} და $P_{1,2*}(t)$, $P_{2,3*}(t)$, რომლებიც ითვალისწინებენ ზოგადი ფორმით დამატებითი ჯაჭვების უმტყუნებო მუშაობების საძიებელ საშუალო დროებს.

ნაშრომში [11] მიღებული კანონზომიერებების შესაბამისად ნახ. 3, ბ მოცემული სისტემის მზადყოფნის კოეფიციენტი შეიძლება გამოისახოს დამოკიდებულებით

$$K_{FO} = \frac{T_{noc} + t_{D1} + t_{D2} + t_{D3}}{T_{noc} + a_{1*} + a_{2*} + a_{3*}}. \quad (62)$$

ჩვეულებრივი მიმდევრობითი ჯაჭვის მიმართ K_{FO} -სთან ანალოგიით დამოკიდებულება (62) შეიძლება იყოს წარმოდგენილი დამოკიდებულებით

$$K_{FO} = \frac{T_{noc*}}{T_{noc*} + a_{1t} + a_{2t} + a_{3t}}, \quad (63)$$

სადაც:

$$T_{noc*} = T_{noc} + t_{D1} + t_{D2} + t_{D3};$$

$$a_{1t} = a_1 - t_{D1};$$

$$a_{2t} = a_2 - t_{D2};$$

$$a_{3t} = a_3 - t_{D3}.$$

მჭრელი იარაღების უმტყუნებო მუშაობის ალბათობათა აპროქსიმაციისას ექსპონენციალური დამოკიდებულებების გამოსახულების და ნაშრომში [40] მოყვანილი კანონზომიერებების t_{D1} , t_{D2} და t_{D3} სიდიდეების განსაზღვრისათვის ვიყენებთ ტოლობებს:

$$t_{D1} = k_{B1} \int_0^{\infty} e^{-U_{1*}t} e^{-U_{2-4,D}t} e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_{2-4,D}t} dt; \quad (64)$$

$$t_{D2} = k_{B2} \int_0^{\infty} e^{-U_{1-2,D}t} e^{-U_{3-4,D}t} e^{-\lambda_{1-2,D}t} e^{-\lambda_{3-4,D}t} dt, \quad (65)$$

$$t_{D3} = k_{B3} \int_0^{\infty} e^{-U_{1-3,D}t} e^{-U_{4t}} e^{-\lambda_{1-3,D}t} e^{-\lambda_{4t}} dt, \quad (66)$$

სადაც:

$$U_{2-4,D} = \frac{1}{a_{2*} + a_{3*} + a_{4*} - t_{D2} - t_{D3}}; \quad (67)$$

$$\lambda_{2-4,D} = \frac{1}{T_{p,2-4} + t_{D2} + t_{D3}}; \quad (68)$$

$$U_{1-2,D} = \frac{1}{a_{1*} + a_{2*} - t_{D1}}; \quad (69)$$

$$\lambda_{1-2,D} = \frac{1}{T_{p,1-2} + t_{D1}};$$

$$U_{1-3,D} = \frac{1}{a_{1*} + a_{2*} + a_{3*} - t_{D1} - t_{D2}};$$

$$\lambda_{1-3,D} = \frac{1}{T_{p,1-3} + t_{D1} - t_{D2}};$$

$$T_{p,2-4} = \frac{1}{T_{p2}} + \frac{1}{T_{p3}} + \frac{1}{T_{p4}};$$

$$T_{p,1-2} = \frac{1}{T_{p1}} + \frac{1}{T_{p2}},$$

$$T_{p,1-3} = \frac{1}{T_{p1}} + \frac{1}{T_{p2}} + \frac{1}{T_{p3}}.$$

ტოლობების (64-66) გარდაქმნით, ვიღებთ:

$$t_{D1} = \frac{1}{\left[\frac{1}{a_{1*}} + \frac{1}{a_{2*} + a_{3*} + a_{4*} - t_{D2} - t_{D3}} \right] + \left[\frac{1}{T_{p1}} + \frac{1}{T_{p,2-4} + t_{D2} + t_{D3}} \right]}; \quad (70)$$

$$t_{D2} = \frac{1}{\left[\frac{1}{a_{1*} + a_{2*} - t_{D1}} + \frac{1}{a_{3*} + a_{4*} - t_{D3}} \right] \left[\frac{1}{T_{p,1-2} + t_{D1}} + \frac{1}{T_{p,3-4} + t_{D3}} \right]}; \quad (71)$$

$$t_{D3} = \frac{1}{\left[\frac{1}{a_{1*} + a_{2*} + a_{3*} - t_{D1} - t_{D2}} + \frac{1}{a_{4*}} \right] \left[\frac{1}{T_{p,1-3} + t_{D1} + t_{D2}} + \frac{1}{T_{p4}} \right]}. \quad (72)$$

გვაქვს 3 განტოლების სისტემა სამი t_{D1} , t_{D2} და t_{D3} უცნობებით.

თუ სისტემა შედგება რგოლებიდან 1, 1B, 2, 2B და 3 (ნახაზი 3-ის თანახმად)

$$t_{D1} = \frac{1}{\frac{1}{a_{1*}} + \frac{1}{(a_{2*} + a_{3*}) - t_{D2}} + \frac{1}{T_{p1}} + \frac{1}{T_{p,2-2} + t_{D2}}}, \quad (73)$$

$$t_{D1} = \frac{1}{\frac{1}{a_{1*}} + \frac{1}{(a_{2*} + a_{3*}) - t_{D2}} + \frac{1}{T_{p1}} + \frac{1}{T_{p,2-2} + t_{D2}}} \quad (74)$$

მოყვანილი ალგებრული განტოლების ამოხსნით ვიღებთ t_{D1} და t_{D2} საძიებელ მნიშვნელობებს.

განაწილებათა ნორმალური კანონენის შემთხვევაში t_{D1} და t_{D2} მნიშვნელობების განსაზღვრისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი სახის პირველადი მიახლოებებით:

$$t_{D1} = \frac{k_{B1}}{T_{noc}} \cdot \frac{a_{1*} [(a_{2*} + a_{3*} + a_{4*}) - (t_{D2} + t_{D3})]}{a_{1*} + [(a_{2*} + a_{3*} + a_{4*}) - (t_{D2} + t_{D3})]} \int_0^\infty P_{1*}(t) \cdot P_{2-4,t}(t) dt; \quad (75)$$

$$t_{D2} = \frac{k_{B2}}{T_{noc}} \cdot \frac{(a_{1*} + a_{2*} - t_{D1})(a_{3*} + a_{4*} - t_{D3})}{(a_{1*} + a_{2*} - t_{D1}) + (a_{3*} + a_{4*} - t_{D3})} \int_0^\infty P_{1-2,t}(t) \cdot P_{3-4,t}(t) dt, \quad (76)$$

$$t_{D3} = \frac{k_{B3}}{T_{noc}} \cdot \frac{(a_{1*} + a_{2*} + a_{3*} - t_{D1} - t_{D4})a_{4*}}{(a_{1*} + a_{2*} + a_{3*} - t_{D1} - t_{D2}) + a_{4*}} \int_0^\infty P_{1-3,t}(t) \cdot P_{4*}(t) dt, \quad (77)$$

$$\text{სადაც } P_{2-4,t} = \frac{T_{n,2-4} + t_{D2} + t_{D3}}{t_{n,2-4}} P_{2*}(t) \cdot P_{3*}(t) \cdot P_{4*}(t);$$

$$P_{1-2,t} = \frac{T_{n,1-2} + t_{D1}}{t_{n,2-4}} P_{1*}(t) \cdot P_{2*}(t);$$

$$P_{1-3,t} = \frac{t_{n,1-3} + t_{D1} + t_{D2}}{t_{n,1-3}} P_{1*}(t) \cdot P_{2*}(t);$$

$$T_{n,2-4} = \int_0^\infty P_{2*}(t) \cdot P_{3*}(t) \cdot P_{4*}(t) dt;$$

$$T_{n,1-2} = \int_0^\infty P_{1*}(t) \cdot P_{2*}(t) dt,$$

$$T_{n,1-3} = \int_0^\infty P_{1*}(t) \cdot P_{2*}(t) \cdot P_{3*}(t) dt.$$

შემდგომი (მეორადი) მიახლოებების განსაზღვრისათვის შეგვიძლია ვიხელმძღვანელო P_{Di} გამოსახულებებით, რომლებიც ნაშრომი [108]-ის თანახმად შეიძლება ჩაიწეროს:

$$P_{D1}(t) = k_{B1} e^{-U_{1*}t} e^{-U_{2-4,D}t} P_{1*}(t) P_{2-4,t}(t) ; \quad (78)$$

$$P_{D2}(t) = k_{B2} e^{-U_{1-2,D}t} e^{-U_{3-4,D}t} P_{1-2,*}(t) P_{3-4,*}(t) ; \quad (79)$$

$$P_{D3}(t) = k_{B3} e^{-U_{1-3,t}t} e^{-U_{4*}t} P_{1-3,*}(t) P_{4*}(t) , \quad (80)$$

სადაც: $U_{1*} = \frac{1}{a_{1*}} ;$

$$U_{2*} = \frac{1}{a_{2*}} ;$$

$$U_{3*} = \frac{1}{a_{3*}} ;$$

$$a_{1*} = \frac{T_{p1}}{T_{noc}} a_1 ;$$

$$a_{2*} = \frac{T_{p2}}{T_{noc}} a_2 ;$$

$$a_{3*} = \frac{T_{p3}}{T_{noc}} a_3 .$$

უკანასკნელი დამოკიდებულებების გამოყენებით მეორე მიახლოების $t_{D1}^{(2)}$ განსაზღვრისათვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ დამოკიდებულებები:

$$t_{D1}^{(2)} = P_{D1S}^{(1)} + \frac{\partial P_{D1S}^{(1)}}{\partial t_{D2}} \Delta t_{D2} + \frac{\partial P_{D1S}^{(1)}}{\partial t_{D3}} \Delta t_{D3} ;$$

$$t_{D2}^{(2)} = P_{D2S}^{(1)} + \frac{\partial P_{D2S}^{(1)}}{\partial t_{D2}} \Delta t_{D1} + \frac{\partial P_{D2S}^{(2)}}{\partial t_{D3}} \Delta t_{D3} ,$$

$$t_{D3}^{(2)} = P_{D3S}^{(1)} + \frac{\partial P_{D3S}^{(1)}}{\partial t_{D1}} \Delta t_{D1} + \frac{\partial P_{D3S}^{(1)}}{\partial t_{D2}} \Delta t_{D2} ,$$

სადაც: Δt_{D1} , Δt_{D2} და Δt_{D3} – შესაბამისი პარამეტრების მაკორექტირებელი ნამატები:

$$P_{D1S}^{(1)} = \int_0^{\infty} P_{D1}^{(1)} dt ;$$

$$P_{D2S}^{(1)} = \int_0^{\infty} P_{D2}^{(1)} dt ,$$

$$P_{D3S}^{(1)} = \int_0^{\infty} P_{D3}^{(1)} dt$$

$P_{D1}^{(1)}$, $P_{D2}^{(1)}$ და $P_{D3}^{(1)}$ – წარმოადგენენ გამოთვლილებს $t_{D1}^{(1)}$, $t_{D2}^{(1)}$ და $t_{D3}^{(1)}$ პირველადი მიახლოებების მნიშვნელობების გამოყენებით.

2.2. ავტომატიზებული ჩარხების და საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობის მოდელირება და ოპტიმიზაციური პარამეტრული კვლევის ამოცანები

2.2.1. მწარმოებლურობის მოდელირება და ძირითადი მიდგომები პარამეტრული ოპტიმიზაციის მიმართ

ზოგადი მიდგომით ჩარხი – ავტომატების და ავტომატური ხაზების პოტენციური მწარმოებლურობა განისაზღვრება დამოკიდებულებით [106, 107, 108].

$$Q_{\Pi} = \frac{1}{T_u + \sum_i^m t_{ui} + \sum_j^n t_{0Bj}}, \quad \frac{\text{დებ.}}{\text{წთ}} \quad (81)$$

სადაც: T_{Π} – ხანგრძლიობაა მუშა ციკლისა; $\sum t_u + \sum t_{0B}$ – გამოწვეული ტექნიკური მიზეზებით გაცდენები ($\sum t_u$ – მჭრელი იარაღების რეგულირებაზე, შეცვლაზე და გაწყობაზე, $\sum t_{0B}$ – დანაკარგები სხვადასხვა მოწყობილობებისა და მექანიზმების რეგულირებაზე, რემონტზე და გაწყობაზე), ციკლის ხანგრძლივობის დროში.

ეს მწარმოებლურობა შესაძლოა გამოვსახოთ სისტემის მზადყოფნის K_g კოეფიციენტის მეშვეობით, შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$Q_{\Pi} = K_g \Pi_u, \quad (82)$$

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

$$K_r = \frac{1}{1 + \frac{1}{T_u} + \sum_i^n t_u + \frac{1}{T_u} \sum_q^m t_{0B}}. \quad (83)$$

K_g კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის საჭიროა დავეყრდნოთ განსახილველი სისტემის ელემენტების მუშაობის ალბათობით კანონზომიერებებს.

თუ განვიხილავთ m მუშა კვანძებისაგან და n ინსტრუმენტებისაგან შემდგარ ბლოკირებული სისტემის მუშაობას, მაშინ სისტემის ელემენტები საიმედოობის თვალსაზრისით ნებისმიერი ელემენტის მტყუნება იწვევს მთლიანი სისტემის მტყუნებას და სისტემის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა განისაზღვრება ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობათა ნამრავლით [112, 113–115]:

$$P_{\Pi}(t) = \prod P_{\text{mi}}(t) P_{\text{no}}(t), \quad (84)$$

სადაც: $P_{\Pi}(t)$ – სისტემის უმტყუნები მუშაობის ალბათობა და $P_{\text{mi}}(t)$ და $P_{\text{no}}(t)$ – შესაბამისად მოწყობილობებისა და მჭრელი იარაღების უმტყუნები მუშაობის ალბათობებია.

თავის მხრივ

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{mi}}(t) &= \prod_i^n P_{\text{mi}}(t), \\ P_{\text{no}}(t) &= \prod_i^m P_{\text{noj}}(t). \end{aligned} \right\} \quad (85)$$

იარაღის უმტყუნები მუშაობის დროთა განაწილების დიფერენციალური ფუნქციები როგორც წესი კარგად აღიწერებიან ნორმალური კანონით. გარკვეულ შემთხვევებში კი მიზანშეწონილია კერძოდ, ვეიბულის და ლოგარითმული ნორმალური [6], კანონების გამოყენება. მოწყობილობათა უმტყუნები მუშაობათა $P_{\text{os}}(t)$ ალბათობები და როგორც მექანიზმებისა და მოწყობილობების $F_{\text{Bo}}(t)$, ასევე F_{Bu} იარაღების აღდგენადობების ალბათობები როგორც წესი კარგად აპროქსიმირდებიან ეკსპონენციალური კანონზომიერებებით [115]:

$$\begin{aligned} P_{\text{os}}(t) &= e^{-\lambda_{\text{os}} t}, \quad F_{\text{Bo}}(t) = e^{-\mu_{\text{os}} t}, \\ F_{\text{Bu}}(t) &= e^{-\mu_u t}, \end{aligned}$$

სადაც: λ_{os} – მოწყობილობა მტყუნებების ნაკადები;

μ_{os} და μ_u – იარაღების და მოწყობილობების აღდგენადობის ნაკადები:

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

T_0 – უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დრო; T_{uB} და $T_{o\delta B}$ – არის იარაღისა და მოწყობილობის აღდგენადობათა საშუალო დროები.

თუ შერჩეულია განაწილების ნორმალური კანონი

$$P_{nu}(t) = 1 - \int_0^{k_i t} f_i(x) dx, \quad (86)$$

სადაც: $f_i(x)$ – განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია; k_i – პროპორციულობათა კოეფიციენტები ცალკეული ოპერაციის სამანქანო დროის შეფარდებით, განსაზღვრულნი განმსაზღვრელი ოპერაციის ძირითად დროსთან [109], რომლებიც თავის მხრივ წარმოადგენენ ოპერაციათა სიჩქარეთა ფუნქციებს.

რაც შეეხება მექანიზმებისა და მოწყობილობების მუშაობას მათი დროები დამუშავების ციკლის ფარგლებში განისაზღვრებიან:

1) t_{π} დროის მონაკვეთით განმსაზღვრელი ოპერაციის τ დამხმარე დროის ფარგლებში და 2) დროის მონაკვეთით $t_{\pi} = \tau_{*1} + \tau_{*2}$.

აქ τ_{*1} და τ_{*2} მექანიზმების მუშაობების დროის მონაკვეთები შესაბამისად τ დამხმარე და $T_{\delta B}$ სამანქანო დროთა ფარგლებში. ნაშრომი [12] თანახმად

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

სადაც: R_i და V_i – შესაბამისად დამამუშავებელ დეტალთან იარაღის კონტაქტის წერტილის სიგრძე და ჭრის სიჩქარე i -ური იარაღისა. თავის მხრივ, V_i -სა და V -ის თანაკავშირის კანონზომიერებას გავითვალისწინებთ

$$V_i = A_i V,$$

სადაც V – არის განმსაზღვრელი ოპერაციის ჭრის სიჩქარე, შეგვიძლია დავწეროთ

$$\tau_{*2} = \frac{R_i}{A_i V} = \frac{K_{\tau^*}}{V}. \quad (87)$$

აქედან გამომდინარე:

$$P_{no\delta}(t) = \prod_q P_{no1q}(t) \prod_{\gamma} P_{no2\gamma}(t), \quad (88)$$

სადაც:

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

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

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

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

$T_{\ddot{u}}$ – განხილვადი სისტემის მუშაობის დროის ხანგრძლივობა.

ზემოაღნიშნულის თანახმად

$$\sum_i t_u = \sum_i \frac{a_i T_c}{T_{pi}}, \quad (89)$$

$$\begin{aligned} \sum_j t_{os} &= \sum_q t_{osq} + \sum_\gamma t_{os\gamma} = \sum_q \frac{t_{\tau oq} a_{osq}}{T_{osq}} + \sum_\gamma \left(\frac{\tau_{*1\gamma} + K_{\tau^*\gamma} \frac{1}{V}}{T_{os\gamma}} \right) a_{os\gamma} = \\ &= \sum_q \frac{t_{\tau oq} a_{osq}}{T_{osq}} + \sum_\gamma \frac{\tau_{*1\gamma} a_{os\gamma}}{T_{os\gamma}} + \sum_q \frac{a_{os\gamma} K_{\tau^*\gamma}}{T_{os\gamma} V}, \end{aligned} \quad (90)$$

სადაც: T_{pi} – იარაღის უმტყუნებო მუშაობის დრო; a_i – აღდგენის საშუალო დრო; T_{osq} და $T_{os\gamma}$ – უმტყუნებო მუშაობის „საშუალო დროები“: a_{osq} და $a_{os\gamma}$ – აღდგენის „საშუალო დროები“.

შეგვიძლია დავწეროთ:

$$T_c = T_{pe} + \tau$$

სადაც T_{pe} – ჭრის დრო ერთი დეტალის დამუშავებისას; τ – დამხმარე დრო.

ჭრის დრო გამოისახება ფორმულით

$$T_{pe} = \frac{R}{V}, \quad (91)$$

ბრუნვითი საგნების დამუშავებისას გვექნება

$$R = \frac{\pi d L}{1000s}, \quad (92)$$

სადაც d და L – დამუშავების ჯამური სიგრძე და დიამეტრი მმ-ში;

s – მიწოდება ბრ/წთ.

გაწელვის, რანდვის და ამოტეხვისას

$$R = iL_1,$$

სადაც L_1 – ერთი გადასვლის სიგრძე,

i – გადასვლების რაოდენობა.

ფრეზერების დროს ჭრის დრო განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$T_{pe} = \frac{L}{S_m}, \quad (93)$$

სადაც S_m – მიწოდება $\frac{\text{მმ}}{\text{წთ}}$; L – მუშა სვლის სიგრძე.

თავის მხრივ

$$S_m = S_z z n = 1000 S_z z \frac{v}{D} \frac{\text{მმ}}{\text{წმ}},$$

სადაც: S_z – მიწოდება კბილზე; z – კბილთა რიცხვი; n – შპინდელის ბრუნთა რიცხვი; D – ფრეზის დიამეტრი; V – ჭრის სიჩქარე, მ/წმ.

საბოლოოდ გვექნება

$$T_{pe} = \frac{LD}{1000z \cdot v}. \quad (94)$$

ციკლური დრო კიდევ განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$T_s = \frac{R}{v} + \tau = \frac{R + \tau v}{v}. \quad (95)$$

თანახმად ნაშრომისა [112] T_{pi} შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ ასე:

$$T_{pi} = T_i + \bar{T}_i, \quad (96)$$

სადაც:

$$T_i = \frac{T_i}{T_{li}} \tau_i.$$

აქ \bar{T}_i ჯამური დამხმარე დროა წუთებში.

აღნიშნულის გათვალისწინებით

$$T_{pi} = T_i \frac{R + \tau V}{R}. \quad (97)$$

ცნობილი დამოკიდებულებების გამოყენებით ჭრის სიჩქარისა და მედეგობას შორის [112] შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$T_i = T_{io} = \left(\frac{V_{io}}{V_i} \right)^{\frac{1}{m_i}}, \quad (98)$$

სადაც: T_i – ჭრის V სიჩქარის შესატყვისი მედეგობა, T_{io} და V_{io} – ცხრილებიდან აღებული მნიშვნელობები; m_i – იარაღის მედეგობის შეფარდებითი მაჩვენებელი [112].

რადგანაც გაწყობისას ყველა იარაღი ურთიერთდაკავშირებულია ყოველი იარაღის სიჩქარე შეგვიძლია გამოვსახოთ ნებისმიერად შერჩეული რომელიმე იარაღის ჭრის სიჩქარესთან დაკავშირებით. შემდგომში ამ იარაღს ვუწოდებთ განმსაზღვრელს.

პროპორციულად განმსაზღვრელი იარაღის სიჩქარის ცვლილებასთან ერთად იცვლებიან ყველა მომუშავე იარაღის ჭრის სიჩქარეები, რადგანაც ოპერაციის სამანქანო დროები სიჩქარის პირველი ხარისხის პროპორციულებია, აქედან გამომდინარეობს, რომ ყველა ოპერაციების სამანქანო დროები ურთიერთკავშირშია სათანადო პროპორციული დამოკიდებულებებით.

მივიღოთ

$$T_{1,m} = k_1 T_m, \quad (99)$$

სადაც: $T_{1,m}$ – დამუშავების დრო i -ურ ოპერაციებზე;

T_m – დამუშავების დრო განმსაზღვრელ ოპერაციებზე;

k_1 – სიდიდის პროპორციულობის კოეფიციენტი.

შეგვიძლია გამოვიყვანოთ მარტივი დამოკიდებულებები k_1, k_2, \dots, k_n კოეფიციენტების გამოსათვლელად.

პირველი შემთხვევაა, თუ ყველა პოზიციაზე ბრუნთა რიცხვი ერთნაირია. მანქანური დროები გამოისახება ასე:

$$T_{1,m} = \frac{L_1}{ns_1};$$

$$T_{2,m} = \frac{L_2}{ns_2};$$

.....

$$T_n = \frac{L_n}{ns_n}.$$

კოეფიციენტები k შესაბამისად მიიღებენ შემდეგ მნიშვნელობებს:

$$k_1 = \frac{T_{1.M}}{T_{1.M}} = \frac{L_1 n s_1}{n s_1 L_1} = 1;$$

$$k_2 = \frac{T_{2.M}}{T_{2.M}} = \frac{L_2 n s_1}{n s_2 L_1} = \frac{s_1 L_2}{s_2 L_1};$$

.....

$$k_n = \frac{T_{n.M}}{T_{1.M}} = \frac{L_n n s_1}{n s_n L_1} = \frac{s_1 L_n}{s_n L_1}.$$

მეორე შემთხვევა: პოზიციებზე ბრუნთა რიცხვები განსხვავდებიან შესაბამისად სამანქანო დროები გამოსახებიან ასე:

$$T_{1.M} = \frac{L_1}{n_1 s_1};$$

$$T_{2.M} = \frac{L_2}{n_2 s_2};$$

.....

$$T_{n.M} = \frac{L_n}{n_n s_n}.$$

გვექნება:

$$k_1 = \frac{T_{1.M}}{T_{1.M}} = 1;$$

$$k_2 = \frac{T_{2.M}}{T_{2.M}} = \frac{L_2 n_1 s_1}{L_1 n_2 s_2};$$

.....

$$k_n = \frac{T_{n.M}}{T_{1.M}} = \frac{L_n n_1 s_1}{L_1 n_n s_n}.$$

ცალკეული სამანქანო დროები განსხვავებულნი არიან, მაგრამ დეტალის წარმოების ციკლური დრო

$$T_S = T_{1.M} + \tau_i \quad (100)$$

იქნება ერთმანეთის ტოლი ყველა ოპერაციისათვის. ფორმულა (100) იძლევა საშუალებას სხვადასხვა ოპერაციების დახმარე დროები τ_i დაუკავშიროთ განმსაზღვრელი ოპერაციის პარამეტრებს.

გვექნება

$$T_{i.M} + \tau_i = T_{1.M} + \tau.$$

სადაც $T_{1.M}$ – განმსაზღვრელი ოპერაციის სამანქანო დრო.

ფორმულა (100)-ის გამოყენებით ვიღებთ

$$k_i T_m + \tau_1 + T_m + \tau.$$

აქედან

$$\tau_1 = (1 - k_1) T_m + \tau. \quad (101)$$

განმსაზღვრელი ოპერაციის სამანქანო დრო აღიწერება დამოკიდებულებით:

$$T_{mau} = \frac{\pi s L}{1000 v s} = \frac{R}{v},$$

სადაც

$$R = \frac{\pi s L}{1000 s}. \quad (102)$$

(102)-ის ჩასმით ფორმულაში (101), მივიღებთ

$$\tau_1 = (1 - k_1) \frac{R}{v} + \tau. \quad (103)$$

დამოკიდებულება (103) საშუალებას იძლევა განმსაზღვრელი ოპერაციის პარამეტრებით გამოვსახოთ i -ური ოპერაციის დამხმარე დრო. შემდგომში T_{1p} - i -ური იარაღის მუშაობის ორი გადალესვის შიგა დროის ფარგლებში. დეტალების ცვლის დრო შეიძლება გამოვსახოთ ასე

$$\tau_{i \text{ საერ}} = \frac{T_i}{T_{i \text{ მანქ}}}, \quad (104)$$

სადაც $T_i - V_1$ სიჩქარის შესაბამისი მედეგობა, იგი აღიწერება დამოკიდებულებით (98).

გამოვსახოთ რა დამოკიდებულებაში (104) T_1 , T_{1mau} და τ_1 პარამეტრებს ფორმულებით (98), (99), (104), მივიღებთ:

$$\tau_{i \text{ os}} = T_{i_0} \left(\frac{v_{i_0}}{v_i} \right)^{\frac{1}{m_i}} \frac{1}{k_i T_m} \left[(1 - k_1) \frac{R}{v} + \tau \right].$$

ფორმულა (103)-ის გამოყენებით:

$$\tau_{i \text{ os}} = T_{i_0} \left(\frac{v_{i_0}}{v_i} \right)^{\frac{1}{m_i}} \frac{v}{R k_i} \left[(1 - k_1) \frac{R}{v} + \tau \right],$$

ან და

$$\tau_{fos} = \frac{T_{i0}}{Rk_1} \left(\frac{v_{i0}}{v_i} \right)^{\frac{1}{m_i}} [(1-k_1)R + \tau]. \quad (105)$$

ყველა V_1 სიჩქარე შეგვიძლია გამოვსახოთ განმსაზღვრელი ოპერაციის სიჩქარესთან ურთიერთკავშირში დამოკიდებულებების (93) და (103) თანახმად გვაქვს

$$\frac{\pi d_1 L_1}{1000 V_1 s_1} = k_1 \frac{\pi d L}{1000 V s}.$$

საიდანაც

$$V_1 = \frac{d_1}{d} \cdot \frac{L_1}{L} \cdot \frac{s}{s_1} \cdot \frac{1}{k_1} v,$$

ან

$$V_1 = A_i v,$$

სადაც

$$A_i = \frac{d_i}{d} \cdot \frac{L_i}{L} \cdot \frac{s}{s_i} \cdot \frac{1}{k_i}. \quad (106)$$

დამოკიდებულებების (105) და (106) გათვალისწინებით

$$\tau_{ios} = \frac{T_{i0}}{Rk_i} \left(\frac{v_{i0}}{A_i v} \right)^{\frac{1}{m_i}} [(1-k_i)R + \tau V]. \quad (107)$$

შეგვიძლია ჩავწეროთ T_{ip} -ის გამოსახულება:

$$T_{ip} = T_1 + \tau_{ios} = T_{i0} \left(\frac{v_{i0}}{A_i v} \right)^{\frac{1}{m_i}} + \frac{T_{i0}}{Rk_1} \left(\frac{v_{i0}}{A_i v} \right)^{\frac{1}{m_i}} [(1-k_1)R + \tau];$$

$$T_{ip} = T_{i0} \left(\frac{v_{i0}}{A_i v} \right)^{\frac{1}{m_i}} \left\{ 1 + \frac{1}{Rk_1} [(1-k_1)R + \tau] \right\}$$

$$T_{ip} = T_{i0} \left(\frac{v_{i0}}{A_i v} \right)^{\frac{1}{m_i}} \left\{ 1 + \frac{1}{k_i} - 1 + \frac{\tau v}{Rk_i} \right\}.$$

$$T_{ip} = \frac{T_{i0}}{Rk_i} \left(\frac{v_{i0}}{A_i v} \right)^{\frac{1}{m_i}} (R + \tau). \quad (108)$$

ყოველივე ზემოაღნიშნულის თანახმად გვექნება [107]:

$$Q_{II} = \frac{V}{R + \tau V} \sum_q \frac{1}{1 + \frac{1}{R + \tau V} \sum_i \frac{a_i k_i R}{T_{io}} \left(\frac{A_i V}{V_{io}} \right)^{\frac{1}{m_i}} + \frac{V}{R + \tau V} \sum_q \frac{t_{\omega q} \cdot a_{\omega q}}{T_{\omega q}} + \frac{V}{R + \tau V} \sum_j \frac{\tau_{*1j} a_{\omega j}}{T_{\omega j}} + \frac{V}{R + \tau V} \sum_{\gamma} \frac{K_{\tau * \gamma} \cdot a_{\omega \gamma}}{VT_{\omega \gamma}}}. \quad (109)$$

ანალოგიურად ნაშრომში [108] ჩვენს მიერ შემუშავებულია თვითღირებულების ამსახველი გამოსახულებები, რომლებშიც როგორც ერთ-ერთი შემადგენელი ნაწილი შედის (109) გამოსახულებით აღწერილი ციკლიური მწარმოებლურობა.

2.2.2. მრავალსაიარაღო ჩარხების მწარმოებლურობის მოდელების შემუშავება მჭრელი იარაღების შეცვლის პროფილაქტიკური სქემის გათვალისწინებით

განხილვად პარაგრაფში იგულისხმება, რომ მჭრელი იარაღი იცვლება პროფილაქტიკურად დროის გარკვეულ T პერიოდებში. აქვე იგულისხმება, რომ გაწყობა მთელი ინსტრუმენტისა ხორციელდება ერთდროულად ყოველი T დროის შემდეგ და მთელი ინსტრუმენტების გამოცვლაზე იხარჯება საშუალოდ a წუთი [112, 117].

თუკი რომელიმე იარაღი გამოვა მწყობრიდან უფრო ადრე, ვიდრე T დროში, მაშინ სისტემა ახლიდან იქნება გაშვებული მარტოდ მთლიანი ციკლის გასვლის შემდეგ.

რადგანაც იარაღი შეიძლება გამოვიდეს მწყობრიდან T დროზე ადრე, მაშინ ზოგადი მიდგომით იარაღი უმტყუნებო მუშაობის დრო T_{cp} იქნება ნაკლები, ვიდრე T .

დროის T_{cp} შეფარდება მთლიან დროსთან $T + a$ გვიჩვენებს თუ მთლიანი დროის რა მონაკვეთში იარაღი არის მუშა მდგომარეობაში. აღნიშნულთან დაკავშირებით თეორეტიკულ-ალბათობითი აზრით საკვლევი სისტემის მზადყოფნის კოეფიციენტი განისაზღვრება დამოკიდებულებით [64]

$$k_g = \frac{T_{cp}}{T+a} . \quad (110)$$

თუ განვიხილავთ პროფილაქტიკური ცვლის ამოცანას სხვადასხვა სახის იარაღებთან მიმართებაში, გვექნება:

$$T_{cp} = t_{cp} + \frac{r_1 v_1}{R_1} t_{cp} = \left(1 + \frac{r_1 v_1}{R_1} \right) t_{cp} , \quad (111)$$

სადაც: $t_{cp} - T_{cp}$ -ში შემავალი ტექნოლოგიური გაწყობის ჯამური, დრო; τ_1, v_1 და R_1 – შესაბამისად დამხმარე დრო, ჭრის სიჩქარე და მჭრელი წიბოს მიერ გავლილი გზა [111, 112] განმსაზღვრელ ოპერაციაზე, რომლებსაც შემდგომში აღვნიშნავთ τ, v და R -ის მეშვეობით.

თავის მხრივ იმის გამო, რომ ჭრის დრო ყოველ ოპერაციაზე განსხვავებულია, გვექნება

$$t_{oi} = k_i t_{01} , . \quad (112)$$

სადაც: $t_{oi} = \frac{R_i}{V_i} - i$ -ური ოპერაციის სამანქანო დრო და $t_{01} = \frac{R_1}{V_1} = \frac{R}{V}$ სამანქანო დრო განმსაზღვრელ ოპერაციაზე; k_i – პროპორციულობის კოეფიციენტები, რომლებიც განისაზღვრებიან ცალკეული ოპერაციების მანქანური დროების შეფარდების მანქანურ დროსთან განმსაზღვრელ ოპერაციებზე [111, 112].

შეცვლის პერიოდი შეგვიძლია განვსაზღვროთ, როგორც ჭრის დროის t_{oi} და ჯამური დამხმარე დროის ჯამი

$$T = t_{oi} + t_{sci} = t_{oi} + \frac{T}{t_s} \tau_i , \quad (113)$$

სადაც: $\tau_i - i$ -ური იარაღის დამხმარე დრო, t_s – დეტალის დამზადების ცალობრივი დრო.

გამოსახულება (103)-დან გამომდინარე

$$t_s = \frac{R_1}{V_1} + \tau_i = \frac{R_2}{V_2} + \tau_2 + \dots = \frac{R_n}{V_n} + \tau_n ,$$

შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$t_{sc}^{(i)} = \frac{T}{\frac{R_i}{V_i} + \tau_i} \tau_i = \frac{T v_i}{R_i + \tau_i v_i} \tau_i .$$

გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ ვწერთ

$$t_{oi} = T - \frac{Tv_i}{R_i + \tau_i v_i} = \frac{TR_i + Tv_i(\tau_A - \tau_i)}{R_i + \tau_i v_i}.$$

რადგან t_s ერთი და იგივეა ყველა იარაღისათვის

$$\tau_1 - \tau_i = \frac{R_i}{v_1} - \frac{R_1}{v_1}.$$

ამ შემთხვევაში

$$t_{oc}^{(i)} = \frac{TR_i v_i}{v_i(R_i + \tau_i v_i)}. \quad (114)$$

აქ ნაშრომი [105]-ის თანახმად:

$$V_i = H_i V_1; \quad t_0^{(i)} = \frac{TR_i}{H_i(R_i + \tau_i v_i)}.$$

ამ შემთხვევაში

$$R_i = H_i k_i R_1.$$

საბოლოოდ ვწერთ

$$t_0^{(i)} = k_i \frac{R_1 T}{R_1 + \tau_1 v_1} = k_i \frac{RT}{R + \tau v}. \quad (115)$$

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე შეგვიძლია ჩავწეროთ, რომ i -ური იარაღის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$P_i(t) = 1 - \int_0^{k_i t} f_i(x) dx, \quad (116)$$

სადაც $f_i(x)$ – i -ური იარაღის მტყუნებათა განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია.

თავის მხრივ იარაღების მთლიანი სისტემის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა გამოისახება ასე

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = \prod_{i=1}^n \left[1 - \int_0^{k_i t} f_i(x) dx \right]. \quad (117)$$

ნაშრომის [115] თანახმად იარაღის ჭრის ჯამური სამანქანო დრო

$$t_{cp} = \int_0^{t_s} x f(x) dx + t \int_{t_s}^{\infty} f(x) dx, \quad (118)$$

ეხლა კი თუ გადავალთ მრავალსაიარაღო დამუშავებაზე, მაშინ $f(x)$ წარმოადგენს მთლიანი გაწყობის განაწილების დიფერენციალურ ფუნქციას და

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

სადაც $F(x)$ – განაწილების ინტეგრალური ფუნქციაა და იგი განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$F'(x) = 1 - P(x) .$$

თავის მხრივ სისტემის მწარმოებლურობა მექანიზმებისა და ამძრავების მტყუნებათა გათვალისწინების გარეშე

$$Q = \frac{k_g}{t_s} = \frac{T_{cp}}{(T+a)t_s}, \quad (119)$$

სადაც

$$t_s = \frac{R + \tau v}{v}. \quad (120)$$

დამოკიდებულების (106) განშლის შედეგად ვწერთ:

$$\int_0^t x f(x) dx = x F(x) \Big|_0^t - \int_0^t F(x) dx = t F(t) - \int_0^t F(x) dx; \quad (121)$$

$$\int_0^t F(x) dx = \int_0^t [1 - P(x)] dx = t - \int_0^t P(x) dx . \quad (122)$$

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე

$$\begin{aligned} \int_0^t x f(x) dx &= t F(t) - t + \int_0^t P(x) dx = t[(1 - P(t))] - t + \\ &+ \int_0^t P(x) dx = \int_0^t P(x) dx - t P(t) . \end{aligned} \quad (123)$$

ზემოთმოყვანილის გამოყენებით

$$\begin{aligned} t_{cp} &= \int_0^t x f(x) dx + t \int_t^\infty f(x) dx = \int_0^t P(x) dx = \\ &= \int_0^t P(x) dx - t P(t) + t P(t) = \int_0^t P(x) dx . \end{aligned} \quad (124)$$

შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$Q = \frac{T_{cp} \nu}{(T+a)(R+\tau)}. \quad (125)$$

თავის მხრივ გვექნება

$$Q = \frac{\nu}{R(T+a)} \int_0^{t_*} \prod_{i=1}^n P_i(x) dx, \quad (126)$$

$$t_* = \frac{RT}{R+\tau}. \quad (127)$$

ყოველივე ზემოთმოყვანილი, როგორც ეს იყო უკვე აღნიშნული, სამართლიანია მარტო იმ შემთხვევებისათვის, როდესაც ტექნოლოგიურ სისტემაში არ ვითვალისწინებთ მექანიზმებისა და მოწყობილობების საიმედოობრივ მაჩვენებლებს. უკანასკნელ შემთხვევაში საქმე გვექნება სისტემის უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დროის ახალ T_{cn} მნიშვნელობასთან, რომელიც იქნება ნაკლები T_{cp} დროსთან შედარებით.

ზოგადი სახით შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$T_{cpn} = T_{cp} - \sum_j \Delta t_j - \sum_\gamma \Delta t_\gamma, \quad (128)$$

სადაც ნაშრომის [114] თანახმად: Δt_j და Δt_γ – მექანიზმებისა და მოწყობილობების დროის დანაკარგები ტექნიკური მიზეზების გამო, j და γ – რიგითი ნომრები მექანიზმებისათვის, რომლებიც ახორციელებენ T_{cp} დროში მოძრაობების შესაბამისად მარტო დამხმარე დროის ფარგლებში და დამხმარე და ძირითადი ტექნოლოგიური (სამანქანო) დროების ფარგლებში.

გამლილი ფორმით გვექნება

$$\Delta t_j = \frac{T_{cp}}{T_s} \frac{t_{wj}}{T_{o\sigma j}} a_{o\sigma j}; \quad (129)$$

$$\Delta t_\gamma = \frac{T_{cp}}{T_s} \frac{\tau_{*1\gamma} a_{\omega\gamma}}{T_{o\sigma\gamma}} + \frac{T_{cp}}{T_s} \frac{a_{\omega\gamma} \tau_{*2\gamma}}{T_{o\sigma\gamma}}, \quad (130)$$

სადაც: t_{wj} – დამხმარე τ დროის ფარგლებში მომუშავე მექანიზმის მუშაობის დროის მონაკვეთი; $\tau_{*1\gamma}$ და $\tau_{*2\gamma}$ – მექანიზმის მუშაობის დროთა მონაკვეთები; $a_{o\sigma j}$ და $a_{o\sigma\gamma}$ – მექანიზმებისა და მოწყობილობების მომსახურების საშუალო დროები [114, 116, 117] ძირითადას და დამხმარე მოძრაობათა ფარგლებში; თავის მხრივ

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

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით მთლიანი ტექნოლოგიური სისტემის მწარმოებლურობა, როგორც მჭრელი იარაღების, აგრეთვე მექანიზმებისა და მოწყობილობების საიმედოობის გათვალისწინებით გამოისახება ასე:

$$Q_n = \frac{V \int_0^t P_i(t)}{R(T+a)} \left(1 - \frac{\sum t_{\tau_{oj}}}{T_u T_{o\epsilon j}} a_{o\epsilon j} - \frac{\sum t_{\tau_{ij}}}{T_u T_{o\epsilon \gamma}} a_{o\epsilon \gamma} - \frac{\sum K_{\tau^{*\gamma}}}{T_u T_{o\epsilon \gamma}} a_{o\epsilon \gamma} \right). \quad (131)$$

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე მიღებული იქნა საწყისი დამოკიდებულებები, საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემის მწარმოებლურობის გაანგარიშებისათვის იმ შემთხვევებისათვის, როდესაც სისტემაში ხორციელდება იარაღების პროფილაქტიკური ცვლა და მექანიზმებისა და მოწყობილობების მომსახურება უკანასკნელთა წყობიდან გამოსვლის შესაბამისად.

2.2.3. დამუშავების პროცესის ოპტიმიზაცია მჭრელი იარაღების პროფილაქტიკურიშეცვლის რეჟიმის გათვალისწინებით

ნაშრომში [114] მიღებული იქნა მრავალსაიარაღო დამუშავების მწარმოებლურობის გამოსახულება, როგორც მჭრელი იარაღების, აგრეთვე მექანიზმებისა და მოწყობილობების საიმედოობების გათვალისწინებით სისტემისათვის, რომელიც შედგება n ერთნაირი ანდა მედეგობის მიმართ ახლო მყოფი იარაღებისაგან და ითვალისწინებს იარაღების პროფილაქტიკურ ცვლას

$$Q_n = \frac{V \int_0^t P_i(t)}{R(R-a)} \left(1 - \frac{\sum t_{\tau_{oj}}}{T_u T_{o\epsilon \gamma}} a_{o\epsilon \gamma} - \frac{\sum t_{\tau_{ij}}}{T_u T_{o\epsilon \gamma}} a_{o\epsilon \gamma} - \frac{\sum K_{\tau^{*\gamma}}}{T_u T_{o\epsilon \gamma}} a_{o\epsilon \gamma} \right). \quad (132)$$

აქვე აღვნიშნავთ, რომ გადმოცემის შემოკლების თვალსაზრისით ნაშრომებიდან [110, 111], გამოყენებულ ყველა დამოკიდებულებებში

პირობით აღნიშვნებს და მათ განსაზღვრებებს ვთვლით გადმოღებულს ამ ნაშრომებიდან.

შემდგომი ამოცანა დაკავშირებულია პროფილაქტიკური ცვლის T დროსთან და ჭრის სიჩქარესთან განმსაზღვრელ ოპერაციაზე [116].

ამ მიზნით პირველ რიგში ვწერთ

$$\ln Q_n + \ln V - \ln R - \ln(T + a) \ln + \int_0^{t_*} P(t) + \ln \left(B_\Sigma - B_{\tau\gamma} \frac{1}{V} - B_q \frac{R + \tau\nu}{V} \right), \quad (133)$$

სადაც:

$$B_\Sigma = 1 - B_q - B_{\tau\gamma};$$

$$B_q = \sum \frac{T_{\tau oq}}{T_y T_{o\theta q}} a_{o\theta q};$$

$$B_{ij} = \sum \frac{T_{ij}}{T_y T_{o\theta j}} a_{o\theta j};$$

$$B_{\tau\gamma} = \sum \frac{K_{\tau^*\gamma}}{T_y T_{o\gamma} H_i},$$

$$t_* = \frac{RT}{R + \tau\nu}.$$

თავის მხრივ

$$T_i = \left(\frac{v_{oi}}{V_i} \right)^{\frac{1}{m_i}} T_{0i} \quad (134)$$

და როგორც ამას გვიჩვენებენ ექსპერიმენტს პრაქტიკულად შეგვიძლია ჩავთვალოთ

$$\sigma = r\sigma_0,$$

სადაც

$$r = \left(\frac{v_{oi}}{V_i} \right)^{\frac{1}{m_i}}.$$

ამ შემთხვევაში

$$P_i(t) = 1 - \frac{1}{r_i \sigma_0 \sqrt{2\pi}} \int_0^{k_{it}} e^{-\frac{\left[x - \left(\frac{v_{oi}}{V_i} \right)^{\frac{1}{m_i}} T_{0i} \right]^2}{2(r_i \sigma_0)^2}} dx. \quad (135)$$

პარამეტრების T და V ოპტიმალურ მნიშვნელობებს ვეძებთ შემდეგი დამოკიდებულებების გამოყენებით:

$$\frac{\partial}{\partial T} \ln \theta_n = \frac{\frac{\partial}{\partial T} \int_0^{t_*} P(t)}{P(t)} - \frac{1}{T+a} = 0, \quad (136)$$

$$\frac{\partial}{\partial V} \ln Q_n = \frac{1}{V} + \frac{1}{\int_0^{t_*} P(t)} \frac{\partial}{\partial V} \int_0^{t_*} P(t) + \frac{B_{\tau\gamma} \frac{1}{V^2} + B_q R \frac{1}{V^2} - B_q \tau}{B_\Sigma - B_{\tau\gamma} \frac{1}{V} - B_q \frac{R+\tau V}{V}}. \quad (137)$$

აქ:

$$P(t) = \prod P_i(t);$$

$$P_i(t) = 1 - \int f_i(t);$$

$$t_* = \frac{RY}{R+\tau V};$$

$$f_i(x) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T_i)^2}{2\sigma_i^2}},$$

რასთან დაკავშირებით

$$P_i(t) = 1 - \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \int_0^{k_i(t)} e^{-\frac{(t-T_i)^2}{2\sigma_i^2}}. \quad (n)$$

გამოიღო სახით გვექნება:

$$\frac{\partial}{\partial T} \int_0^{\frac{RT}{R+\tau V}} P(x, V) dx = \frac{R}{R+\tau V} P(V, t_*), \quad (138)$$

$$\frac{\partial}{\partial T} \int_0^{\frac{RT}{R+\tau V}} P(x, V) dx = \int_0^{t_*} \frac{R(x, V)}{R+\tau V} dx + \frac{RT}{(R+\tau V)^2} \tau P(V, t_*). \quad (139)$$

უკანასკნელის გათვალისწინებით შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$\frac{R}{R+\tau V} \frac{P(t_0, V)}{\int_0^{t_*} P(x, V) dx} - \frac{1}{T+a} = 0, \quad (140)$$

$$\frac{1}{V} - \frac{1}{\int_0^{t_*} P(x, V)} \left[\frac{RT}{(R+\tau V)^2} \tau P(t_*, V) + \int_0^{t_*} \frac{\partial P(x, V)}{\partial V} dx \right] + \frac{B_{\tau\gamma} \frac{1}{V^2}}{B_\Sigma - B_{\tau\gamma} \frac{1}{V}} = 0. \quad (141)$$

T და V ოპტიმალური პარამეტრების გათვლისათვის საქმე გვაქვს ანალიზური გამოკვლევებისათვის საკმაოდ რთულ დამოკიდებულებებთან და აღნიშნულთან დაკავშირებით საძიებელი მნიშვნელობების პირველადი მნიშვნელობების გამოვლენისათვის, როგორც ეს ხორციელდება მრავალ შემთხვევაში, კერძოდ ნაშრომში [116, 117], შემთხვევით სიდიდეთა განაწილებათა ნორმალური კანონების ნაცვლად ვისარგებლოთ მათი აპროქსიმაციული ექსპონენციალური დამოკიდებულებებით.

ამ შემთხვევაში ვოპერირებთ დამოკიდებულებებით:

$$P_i(x) = e^{-\frac{1}{T_i}k_i x}. \quad (142)$$

ამ შემთხვევაში:

$$P(V, t_*) = e^{-\left(\sum_i \frac{k_i}{T_i}\right)t_*}, \quad (143)$$

$$\int_0^{t_*} P(V, x) dx - e^{-\left(\sum_i \frac{k_i}{T_i}\right)t_*} \Big|_0^{t_*} = \frac{1}{\sum_i \frac{k_i}{T_i}} \left(1 - e^{-\left(\sum_i \frac{k_i}{T_i}\right)t_*} \right). \quad (144)$$

ჩაწერილის გამოყენებით გვექნება:

$$\frac{R}{R + \tau V} \frac{e^{-\left(\sum_i \frac{k_i}{T_i}\right)t_*}}{\sum_i \frac{T_i}{k_i} \left(1 - e^{-\left(\sum_i \frac{k_i}{T_i}\right)t_*} \right)} - \frac{1}{T + a} = 0. \quad (145)$$

ექსპონენციალურ შემდგენებს ვშლით რიგში გაშლის პირველი წევრის შენარჩუნებით:

$$e^{-\sum_i \frac{k_i}{T_i} t_*} \approx 1 - \sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{RT}{R + \tau V}. \quad (146)$$

უკანასკნელის გათვალისწინებით ტოლობა (133) ჩაიწერება ასე:

$$\sum_i \frac{T_i}{R_i} \left(1 - 1 + \sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{RT}{R + \tau V} \right) (R + \tau V) = R(T + a) \left(1 - \sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{RT}{R + \tau V} \right). \quad (147)$$

ა5

$$\frac{RT}{R+\tau V}(R+\tau V) = RT - \sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{R^2}{R+\tau V} T^2 + Ra - \sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{aR}{R+\tau V} T. \quad (148)$$

გამსხვილებული ფორმით ვწერთ:

$$T^2 + L_1(V)T - L_2(V) = 0, \quad (149)$$

სადაც:

$$L_1(V) = \frac{R + \sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{aR}{R+\tau V}}{\sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{R^2}{R+\tau V}};$$

$$L_2(V) = \frac{Ra}{\sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{R^2}{R+\tau V}}.$$

განტოლების (149) ამოხსნის შედეგად ვიღებთ დამოკიდებულებას

$$T = f_T(V). \quad (150)$$

მიღებული დამოკიდებულებების გათვალისწინებით ტოლობა (141)

ჩაიწერება ასე [116]:

$$\frac{1}{V} - \frac{1}{\int_0^{t^*} P(V,t) dt} \left[\frac{RT}{(R+\tau V)^2} P(V,t^*) + \int_0^{t^*} \frac{\partial P(t,V)}{\partial v} dt \right] + B_{o6}. \quad (151)$$

ანდა ექსპონენციალური დამოკიდებულებების თანახმად

$$\frac{1}{V} - \frac{1}{\sum_i \frac{T_i}{k_i} \left(1 - e^{-\sum_i \frac{k_i}{T_i}} \right)} \left[\frac{RT}{(R+\tau V)^2} P(V,t^*) + \int_0^{t^*} \frac{\partial P(t,V)}{\partial v} dt \right] + B_{o6}(V), \quad (152)$$

სადაც

$$B_{o6}(v) = \frac{B_{\tau\gamma} \frac{1}{V^2}}{B_{\Sigma} - B_{\tau\gamma} \frac{1}{V}}.$$

ინტეგრალის გამოთვლით

$$\int_0^{t^*} \frac{\partial P(t,V)}{\partial V} dt,$$

ვსარგებლობთ ჩანაწერით

$$\int_0^{t^*} \frac{RT}{R+\tau V} \frac{\partial e^{-a(V)t}}{\partial v} dt = \int_0^{t^*} V^{a(V)-a(V)t} \cdot \frac{\partial a(V)}{\partial v} dt - \frac{RT}{(R+\tau V)^2} \tau e^{-a(V)t^*}, \quad (153)$$

სადაც:

$$a(V) = \sum_i \frac{k_i}{(T_i(V))^2} \cdot \frac{\partial T_i}{\partial V};$$

$$\frac{\partial T_i}{\partial V} = \frac{\partial}{\partial V} \left(\frac{V_0}{H_i V} \right)^{\frac{1}{m_i}} T_{oi} = \left(\frac{V_0}{H_i V} \right)^{\frac{1}{m_i}-1} \cdot \frac{V_0}{H_i V^2}.$$

პირველ ინტეგრალს ტოლობიდან (141) ვწერთ სახით:

$$\begin{aligned} & \int_0^{t^*} a(V) e^{-\sum_i \frac{k_i}{T_i(V)} t} \cdot \sum_i \frac{k_i}{(T_i(V))^2} \left(\frac{V_0}{H_i V} \right)^{\frac{1}{m_i}-1} \cdot \frac{V_0}{H_i V^2} dt = \\ & = \int_0^{t^*} B_N(V) e^{-\sum_i \frac{k_i}{T_i(V)} t} dt = B_N(V) \cdot \sum_i \frac{T_i(V)}{k_i} \left(1 - e^{-\sum_i \frac{k_i}{T_i(V)} t^*} \right). \end{aligned} \quad (154)$$

უკანასკნელად გაშლილი სახით ტოლობა (152) მიიღებს სახეს

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta_n}{\partial V} &= \frac{1}{V} - \frac{1}{\frac{1}{a(V)} (1 - e^{-a(V)t^*})} \left[\frac{RT(V)}{(R+\tau V)^2} e^{-a(V)t^*} + B_N(V) \frac{1}{a(V)} \right] \times \\ & \times \left(1 - e^{-a(V)t^*} \right) - \frac{RT(V)}{(R+\tau V)^2} \tau e^{-a(V)t^*} + B_{os}(V) = 0, \end{aligned} \quad (155)$$

სადაც $a(V) = \sum_i \frac{k_i}{T_i(V)}$;

$$T_i(V) = \left(\frac{V_{oi}}{H_i V} \right)^{\frac{1}{m_i}} T_{oi},$$

$T_i(V)$ – არის დამოკიდებულება T -სა და V -ს შორის, როგორც ამონახსნი განტოლებიდან

$$\frac{\partial \theta_n}{\partial T} = 0,$$

$$B_{os}(V) = \frac{N_v \frac{1}{V^2} + B_q R \frac{1}{V^2} - B_q \tau}{B_\Sigma - B_{\tau\gamma} \frac{1}{V} - B_q \frac{R + \tau V}{V}} \quad (156)$$

განტოლება (155) შეგვიძლია ამოვხსნათ გრაფიკულად, ე.ი. ვაგებთ მრუდს $\frac{\partial \theta_n}{\partial v}$ და ამ მრუდის გადაკვეთაზე აბსცისის ღერძთან ვსაზღვრავთ V -ს საძიებელ მნიშვნელობას. შემდგომ დამოკიდებულების $T(V)$ გამოყენებით ვიღებთ T -ს ოპტიმალურ მნიშვნელობას.

ზემოთ ჩამოყალიბებული პარამეტრული ოპტიმიზაციის მეთოდის აპრობაციისათვის განვიხილოთ შემდეგი მაგალითი. დავუშვათ გვაქვს ორი მჭრელი იარაღი. ჩვენი მაგალითის მიმართ ჩატარებული გაანგარიშებების საჭირო მონაცემები მოყვანილია ცხრ. 3, 4. აქ:

ცხრილი 3

ტექნოლოგიური პროცესის საწყისი მონაცემები

გადასვლის №, j	L , მმ	d , მმ	S , მმ	T_0 , წთ	$V_{j0} \frac{მ}{წთ}$	a წთ	m_j
1	200	20	0,8	180	85	10	0,2
2	80	30	0,5	180	81	20	0,25

L_1, L_2 – პირველი და მეორე იარაღის დამუშავების ჯამური სიგრძე მოცემულ

ტექნოლოგიურ პროცესში, მმ;

d_1 და d_2 – დასამუშავებელი ზედაპირების დიამეტრები, მმ;

s_1 და s_2 – მიწოდებები, მმ/ბრ;

m_1, m_2 – შესაბამისი დამუშავების და იარაღის მედეგობის ფარდობითი მაჩვენებლები;

V_{10}, V_{20} – ცხრილებიდან აღებული სიჩქარეები, $\frac{მ}{წთ}$;

T_{10}, T_{20} – ცხრილებიდან აღებული მედეგობები, წთ;

a_1, a_2 – იარაღების შეცვლისათვის საჭირო დროები, წთ;

τ_{*1} და τ_{*2} – მჭრელი იარაღებით აღჭურვილი ციკლური j მექანიზმების საწყისი მონაცემები .

განმსაზღვრელ ოპერაციად ვირჩევთ პირველ ოპერაციას და ვახორციელებთ შემდეგი პარამეტრების განსაზღვრისას

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

$$A_i = \frac{d_i L_i s_i}{d_1 L_1 s_1 k_i}.$$

ანალოგიურად ცხრ. 4 და 5 მოცემულია მჭრელი იარაღების ციკლური მექანიზმების საანგარიშო მონაცემები.

ცხ. 4

საანგარიშო მონაცემები

გადასვლის №, j	k_i	A_i	R_i	τ_{*1}	H
1	1	1	15,8	0,5	1
2	0,7	1,45	15	0,1	1,37

მაშინ $k_1 = 1$ და $k_2 = 0,7$.

მჭრელი იარაღებით აღჭურვილი ციკლური მექანიზმების გამო ტექნოლოგიურ პროცესებში მონაწილეობენ აგრეთვე q რიგითი ნომრებით აღნიშნული მოწყობილობები, რომლებიც არ არიან აღჭურვილნი იარაღებით. ესენი კერძოდ არიან:

$q-1$ – ელექტრომოწყობილობები;

$q-2$ – ნამზადის გაცივება;

$q-3$ – ნამზადის დამაგრება.

აღნიშნული მოწყობილობების საანგარიშო მონაცემები მოყვანილია ცხრილი 6 – ში.

მჭრელი იარაღებით აღჭურვილი ციკლური
მექანიზმების მონაცემები

j	K_{*j}	T_{obj} , წთ	a_{obj} , წთ	E_j
1	15,8	980	20	5,4
2	10,4	980	20	5,4

საანგარიშო მონაცემები

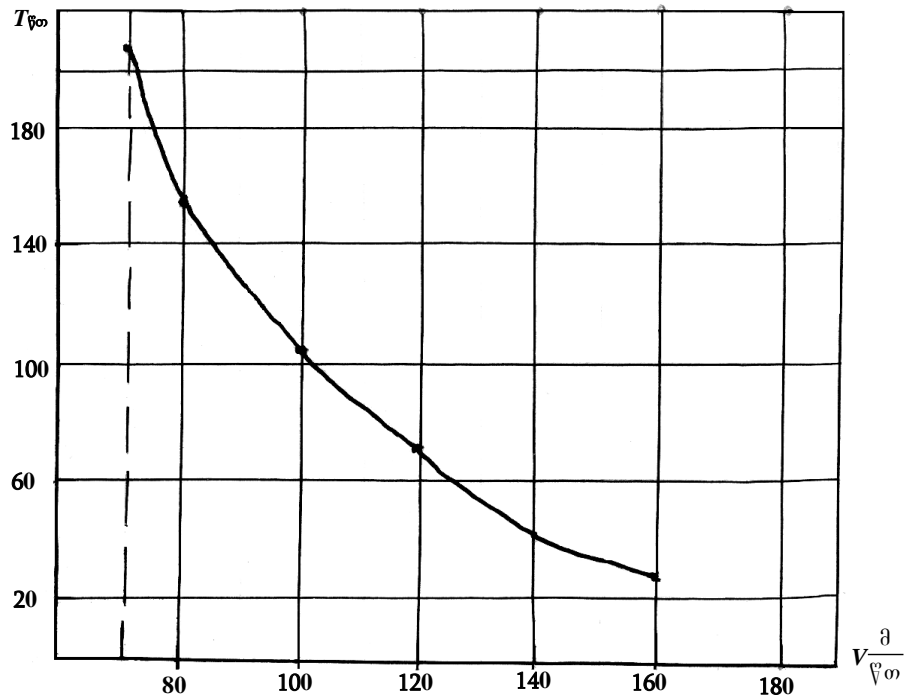
q	a_{ob} , წთ	T_{ob} , წთ	t_{wq} , წთ
1	15	2	2500
2	15	T_c	1500
3	15	T_c	2500

შემდგომი გაანგარიშებებისათვის ვიყენებთ ზემოთ მიღებულ ფორმულებს და ვსაზღვრავთ დამოკიდებულებებს

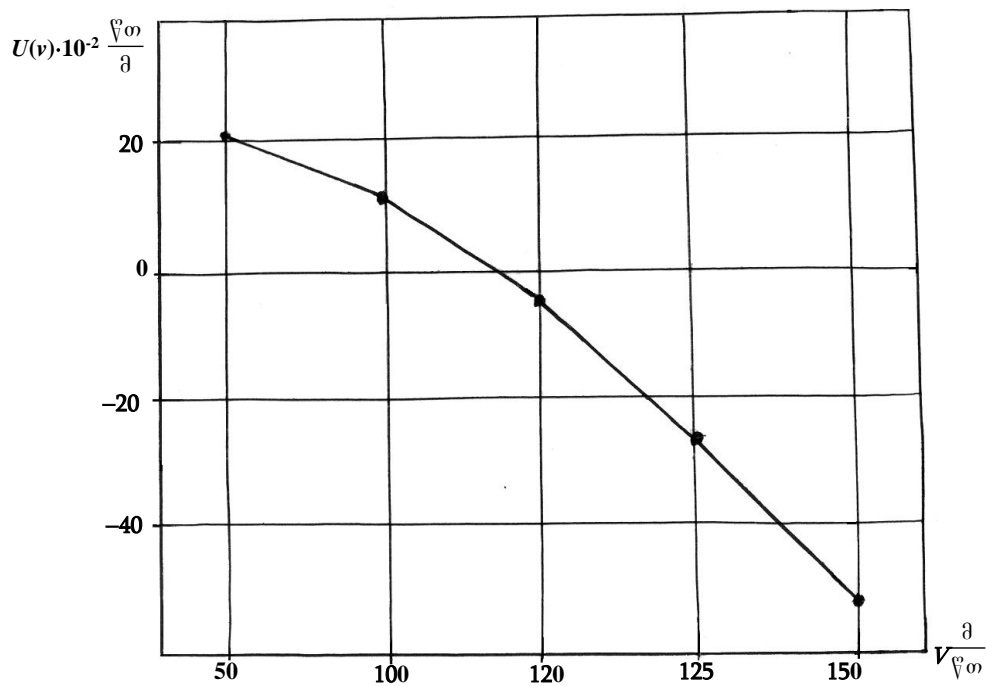
$$T = f(v) \text{ და } U(v) = \frac{\partial Q}{\partial V}.$$

მათემატიკური დამოკიდებულებების ამოსახსნელად ვიყენებთ გრაფიკულ მეთოდს. პირველ რიგში ვაგებთ გრაფიკს $T = f(v)$, რომელიც მოყვანილია ნახ. 13.

ამის შემდეგ ნახ. 13 მოცემული დამოკიდებულებების გამოყენებით ვაგებთ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას $U(v)$, რომელიც მოყვანილია ნახ. 14-ზე. უკანასკნელის აბსცისის ღერძთან გადაკვეთის შედეგად ვსაზღვრავთ V სიჩქარის საძიებელ მნიშვნელობას. იგი განხილვად შემთხვევით გამოისახება სიდიდით $V = 90 \frac{\text{მ}}{\text{წთ}}$, რომელსაც ნახ. 14-ზე მოყვანილი გრაფიკის თანახმად შეესაბამება T -ს ოპტიმალური მნიშვნელობაა 113 წთ.



ნახ. 13. $T = f(v)$ დამოკიდებულების გრაფიკული გამოსახულება



ნახ. 14. $U(v) = \frac{\partial \Pi}{\partial V}$ დამოკიდებულების გრაფიკული გამოსახულება

პროფილაქტიკური ცვლის T დროის მნიშვნელობის შემდგომი დაზუსტების მიზნით ვისარგებლოთ განტოლება (155)-ის განხილვით ΔT ნამატის მიმართ. პირველ რიგში განტოლებას (130) ვწერთ სახით

$$\int_0^{t_*} P(t)dt = \frac{R(T+a)}{R+\tau\nu} P(t_*), \quad (157)$$

განტოლება (157)-ის რიგში განშლით გვექნება:

$$\int_0^{t_*} = \int_0^{t_{*0}} P(t)dt + \frac{R}{R+\tau\nu} P(t_{*0})\Delta T, \quad (158)$$

სადაც ΔT – შეცვლის T დროს ნამატი:

$$t_{*0} = \frac{RT_*}{R+\tau\nu};$$

$T_* - T$ -ის მნიშვნელობა, განსაზღვრული (130) და (131) განტოლებების თანახმად.

განსაზღვრადი ინტეგრალის $\int_0^{t_{*0}} P(t)dt$ მიახლოებითი გამოთვლის

შესაბამისად ტრაპეციათა ფორმულით შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$\int_0^{t_{*0}} P(t)dt \approx \frac{h}{2} \sum_i P(t_i), \quad (159)$$

$$i = 0, 1, \dots, n$$

სადაც $h = \frac{t_{*0}}{n}$.

ანალოგიურად განტოლება (+++)-ის მიხედვით ნაწილია ჩაიწერება ასე:

$$\frac{R(T+a)}{R+\tau\nu} \left[P(t_{*0}) + K_{*0} \frac{h}{2} \right], \quad (160)$$

სადაც

$$K_{*0} = \frac{2 \left[P\left(t_{*0} + \frac{h}{2}\right) - P(t_{*0}) \right]}{h}. \quad (161)$$

შემთხვევითი სიდიდეების ნორმალური განაწილებათა მაჩვენებლის ხარისხობრივი ანალიზის შედეგად დავდივართ გადაწყვეტილებაზე, რომ გამოსახულება

$$\int_0^{t_{*0}} P(t) dt .$$

შესაძლოა შეცვლილი იქნას გამოსახულებით

$$\int_{t_{*m}}^{t_{*0}} P(t) dt ,$$

სადაც

$$t_{*m} = \frac{R}{R + \tau v} t_m . \quad (162)$$

თავის მხრივ t_m -ის მნიშვნელობას ვეძებთ უმცირესის სახით რიცხვები და

$$\frac{T^{(1)} - 3\sigma_1}{k_1}, \frac{T^{(2)} - 3\sigma_2}{k_2}, \dots, \frac{T^{(n)} - 3\sigma_n}{k_n} ,$$

სადაც $T^{(i)}$ -განაწილებათა საშუალო მნიშვნელობები.

ამ შემთხვევაში გვექნება

$$h = \frac{t_{*0} - t_{*m}}{2}$$

და გაშლილი ფორმით განტოლება (122) მიიღებს სახეს:

$$\frac{h}{2} \sum P(t_i) = \frac{R(T-a)}{R + \tau v} \left\{ \left[P(t_{*0} + K_{*0}) \frac{h}{2} \right] - P(t_{*0}) \right\} . \quad (163)$$

თავის მხრივ

$$P(t_{*0}) = \prod_{i=1}^n \left[0,5 + \Phi \left(\frac{T_i - x}{\sigma_i} \right) \right] . \quad (164)$$

შემდგომი პროცედურების სახით შეიძლება იქნას განხილული დამოკიდებულების

$$Q_n(V, T^*) = 0$$

აგების ამოცანა და მისი ანალიზის შედეგად შეიძლება განისაზღვროს ახალი $T = T_{*0} + \Delta T$ მნიშვნელობის შესაბამისი V -ის მნიშვნელობა.

2.2.4. მწარმოებლურობის მოდელირება, როდესაც მჭრელი იარაღები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან საიმედოობის პარამეტრებით

ყოველივე ზემოაღნიშნული მიეკუთვნება n ინსტრუმენტთან გაწყობას, რომელშიც იარაღები ხასიათდებიან ტოლი ან მცირედ განსხვავებული მედეგობებით და ჭრის დროებით. მაშინ კიდევ, როდესაც საქმრ გვაქვს სისტემასთან, რომელშიც იარაღები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან მედეგობისა და ჭრის დროების მხრივ მომსახურების პროფილაქტიკური სქემა უნდა ითვალისწინებდეს იარაღების სხვადასხვა ჯგუფების თავისებურებებს.

ჭრის განსხვავებული დროებიანი იარაღების პროფილაქტიკური ცვლა საჭიროა გათვლილი იქნან ყოველი იარაღის დამუშავებული დეტალების რაოდენობათა მიხედვით, რომელიც ითვალისწინებს, როგორც ჭრის დროის სიდიდეებს, აგრეთვე ცალკეული იარაღების მედეგობებს.

სიჩქარეთა V_{oi} საწყისი (ცხრილიდან აღებული) მნიშვნელობათა დახმარებით ვსაზღვრავთ დროის T_{oi} მონაკვეთებში დამუშავებული დეტალების N_i რაოდენობებს აქ $\ell = 1, 2, \dots$, დაჯგუფებული ტექნოლოგიური გადასვლების რიგითი ნომრები:

$$N_i = \frac{T_i}{T_{im}},$$

სადაც

$$T_i = \frac{(V_{i0})^{m_i}}{(H_i V)^m} T_{i0}; \quad (165)$$

$$T_{im} = \frac{R_i}{H_i V}. \quad (166)$$

შემდგომ ტექნოლოგიურ გადასვლებს ვაჯგუფებთ ℓ ჯგუფებად, სადაც $\ell = 1, 2, 3, \dots$, გამომდინარე დამოკიდებულებებიდან

$$\ell N_{\min} < N_\ell \leq (\ell + 1) N_{\min}. \quad (167)$$

ჯგუფში $\ell = 1$ ხვდებიან ყველა ტექნოლოგიური გადასვლები,

რომლებიც ხასიათდებიან დეტალების რაოდენობით, რომელიც იმყოფება ზღვრებში N_{\min} -დან $\leq N_2 \min$ -მდე.

ჯგუფში $\ell = 2$ ხვდება ტექნოლოგიური გადასვლები, რომლებიც ხასიათდებიან დამამუშავებელი დეტალების რაოდენობით, რომელიც იმყოფება $\geq 2N_{\min}$ -დან $\leq 3N_{\min}$ -მდე და ა.შ.

აღნიშნავთ, რომ 1-ლი კლასის იარაღების შეცვლასთან დაკავშირებით, იარაღების შეცვლის დროის სახით ვიყენებთ დამოკიდებულებას

$$a^{(1)} = a_1 + \frac{a_2}{2} + \dots + \frac{a_k}{k}, \quad (168)$$

სადაც a_1 – 1-ლი კლასის ყველა იარაღების შეცვლისათვის საჭირო დრო, a_2 – მე-2-ე კლასის იარაღების შეცვლისათვის საჭირო დრო და ა.შ.

მეორე კლასის იარაღების შეცვლისათვის საჭირო ოპტიმალური დროის მონაკვეთი განისაზღვრება ასე

$$a^{(2)} = 2 \left(a_1 + \frac{a_2}{2} + \dots + \frac{a_k}{k} \right). \quad (169)$$

K კლასისათვის ვიყენებთ დამოკიდებულებას

$$a^{(k)} = k \left(a_1 + \frac{a_2}{2} + \dots + \frac{a_k}{k} \right). \quad (170)$$

თუ საქმე გვაქვს დამუშავებასთან ჩარხ-ავტომატზე განმსაზღვრელი ოპერაციის სიჩქარის მნიშვნელობიდან გამომდინარე მრავალსაიარაღო სისტემის მწარმოებლურობა განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$Q_n = \frac{V}{R(T_{on} + a^{(1)})} \int_0^{\frac{RT_{on}}{R+\tau v}} P_1(x) \dots P_s(x) \times \\ \times P_{s+1}(2x) \dots P_r(2x) \dots P_{q+1}(kx) \dots P_m(kx) dx, \quad (171)$$

სადაც: s , r და q – შესაბამისად აღნიშნავენ 1-ლი, მეორე და ა.შ. k კლასის იარაღებს.

2.3. ოპტიმიზაციური მიდგომების ჩამოყალიბება საჩარხო მოთვალთვალე ამძრავების მოდელირებასა და კვლევაში

2.3.1. დრეკადრგოლებიან მექანიკური ნაწილის დინამიკური მოდელების შემუშავება

საჩარხო ელექტრომექანიკური მოთვალთვალე ამძრავები თავის სტრუქტურაში ფართოდ მოიცავენმექანიკურ ტრანსმისიებს მექანიკური რედუქტორებისა და გადაცემათა ხრახნი-ჭანჭიკი სახით და განსახილველი სისტემების დინამიკის გაღრმავებული მოდელირებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს დრეკადი თვისებების გათვალისწინებას მათ გადამცემ რგოლებში. [118-122]

კვლევებისათვის მიზანშეწონილია მექანიკურ გადაცემათა სქემების წარმოდგენა დაყვანილი სახით, რომელშიც და კვლევის მიზნიდან გამომდინარე საანგარიშო სქემები შესაძლოა შეიცავდენ ერთ მასას ან და დრეკადი ელემენტებით დაკავშირებულ მასათა სისტემას ან ნაწილდებიან მონაკვეთთა განსაზღვრულ ზღვრებში.

მასათა დაყვანილი სიდიდე შეიძლება იყოს მუდმივი ან და ასევე ცვლადი.

მანქანების გარე დატვირთვებს განეკუთვნებიან ძალები ან ძალთა მომენტები, რომლებიც წინააღმდეგობას უწევენ მანქანათა ელემენტებს.

თუ განვიხილავთ მექანიზმს, შემდგარს ძრავასა და გადაცემისაგან, სადაც, M ძრავას მბრუნავი მომენტი და I, II, და III მლილვების მიერ დასაძლევი დატვირთვებია M_{1C}, M_{2C}, M_{3C} ; i_1, i_2, i_3 გადაცემათა ფარდობებია და η_1, η_2 და η_3 მარგი ქმედების კოეფიციენტებია. ლილვის III მარცხენა მხარეზე დაყვანილი მომენტი განისაზღვრება ასე:

$$M_1 = M_{\text{ა}} i_1 i_2 \eta_1 \eta_2 - M_{1C} i_2 \eta_2 - M_{2C}, \quad (172)$$

ხოლო მარჯვენა მხარეზე

$$M_2 = M_{3C} / i_3 \eta_3. \quad (173)$$

ანალოგიურად ლილვისთვის II მივიღებთ

$$M_1 = M_{\text{ა}} i_1 \eta_1 - M_{1C}, \quad (174)$$

$$M_2 = M_{3C} / i_2 i_3 \eta_2 \eta_3 + M_{2C} / i_2 \eta_2. \quad (175)$$

თუ აღვნიშნავთ, რომ m_1, m_2, m_3 მოქმედი ელემენტების მასებია და მათი მოძრაობითი სიჩქარეებია v_1, v_2, v_3 . და მასები დაყავთ v_0 სიჩქარით მოძრავ მოდელების წერტილებში, მაშინ ჩაიწერება:

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} + \frac{m_3 v_3^2}{2} + \dots,$$

აქედან

$$m_n = m_1 \frac{v_1^2}{v_0^2} + m_2 \frac{v_2^2}{v_0^2} + m_3 \frac{v_3^2}{v_0^2} + \dots,$$

სადაც m_n – დაყვანილ მასათა მნიშვნელობაა.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ

$$\frac{v_1}{v_0} = i_1, \quad \frac{v_2}{v_0} = i_2, \quad \frac{v_3}{v_0} = i_3, \dots,$$

მაშინ

$$m_n = m_1 i_1^2 + m_2 i_2^2 + m_3 i_3^2 + \dots$$

თუ საქმე გვაქვს მბრუნავ მასებთან, მაშინ ინერციის მომენტების დაყვანა ხორციელდება ასე:

$$I_n = I_1 i_1^2 + I_2 i_2^2 + I_3 i_3^2 + \dots$$

სადაც I_n – მექანიზმის მასათა ინერციის მომენტის დაყვანის მნიშვნელობაა;

I_1, I_2, I_3 – მექანიზმის ელემენტთა მასათა ინერციის მომენტები;

i_1, i_2, i_3 – გადაცემათა შესაბამისი დამოკიდებულება.

ამასთან ერთად მექანიკური ტრანსმისიების ანალიზისა და სინთეზის პროცედურებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს დინამიკური სისტემების გამარტივებულმა მოდელებმა - მოდელებმა თავისუფლების შემცირებული ხარისხებით. ასეთი გადასვლის კორექტულობას წარმოადგენს განსახილველ სიხშირეთა დიაპაზონში სიხშირეთა და რხევათა ფორმების ხარისხობრივი და რიცხობრივი მიახლოება.

მრავალმასიანი დინამიკური მოდელების გამარტივების მეთოდებიდან, დღეისათვის შეიძლება აღინიშნონ ე. რივინის და ლ. ბანახის მიერ შემუშავებული მეთოდები [119-122].

აპროქსიმაციული მოდელების შემუშავების საკითხები განხილულია აგრეთვე ნაშრომებში [120–122].

განვიხილოთ აპროქსიმაციული მოდელების აგების ქვემოთ მოყვანილი ორიგინალური თეორიული მიდგომა.

მექანიკური ტრანსმისიის განტოლებათა სისტემა შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$A_*(p)\varphi(t) + f_H(t), \quad (176)$$

სადაც:

$$A_*(p) = I_*p^2 + B_*p + C, \quad (177)$$

P – დიფერენცირების ოპერატორი;

I^* – ინერციის მატრიცა;

B^* – ბლანტი წინაღობის მატრიცა;

A^* – განსახილველი სისტემის მატრიცა;

$\varphi(t)$, $q(t)$ და $f_H(t)$ – კუთხურ კოორდინატა, შემავალ და შემავფოთებელ ზემოქმედებათა ვექტორებია.

ფორმულა (177)-დან გამომდინარე საკვლევი კოორდინატათვის გადამცემი მატრიცა გამოისახება შემდეგი სახით:

$$\Phi(s) = A_*^{-1}(s) = \frac{1}{A_*(s)} \tilde{A}(s), \quad (178)$$

სადაც $\tilde{A}(s) = [A_{ik}]^T$ შემაერთებელი მატრიცაა, a_{ik} ელემენტის ალგებრული დამატებაა, S – ლაპლასის გარდამქმნის ოპერატორია.

ანალოგიურად ისაზღვრება $\Phi(s)$ გადამცემი მატრიცა გამომავალი კოორდინატათვის

იგი გამოისახება ასე:

$$\Phi(s) = \begin{bmatrix} W_{11}(s) & W_{12}(s) & \cdot & W_{1n}(s) \\ W_{21}(s) & W_{22}(s) & \cdot & W_{2n}(s) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ W_{n1}(s) & W_{n2}(s) & \cdot & W_{nm}(s) \end{bmatrix}. \quad (179)$$

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

ზოგადად:

$$W_{ik}(s) = \frac{\dot{\phi}_i(s)}{G_k(s)}, \quad (180)$$

$$W'_{ik}(s) = \frac{\dot{\phi}'_i(s)}{F_r(s)}, \quad (181)$$

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

ცალკეულ კოორდინატა მახასიათებლების გამოკვლევისათვის ვიყენებთ დამოკიდებულებებს.

$$\varphi_k(s) = W_{ik}(s) \cdot G_k(s), \quad (182)$$

სადაც

$$W_{ik}(s) = \frac{A_{ik}(s)}{B_{ik}(s)}; \quad (183)$$

$$A_{ik}(s) = \sum_{k=1} a_{ik}(s); \quad (184)$$

$$B_{ik}(s) = \sum_{k=1} b_{ik}(s). \quad (185)$$

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

ოპერატორები $A_{ik}(s)$ და $B_{ik}(s)$ შემობრუნებული ფორმით შესაძლებელია ჩაიწერონ ასე:

$$B_{ik}(s) = b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_2 s^2 + b_1 s + b_0; \quad (186)$$

$$A_{ik}(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_2 s^2 + a_1 s + a_0;$$

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

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

მრავალ შემთხვევაში საწყისი სქემიდან, გამარტივებულზე გადასვლისათვის იყენებენ არადემპფირებად საანგარიშო სქემებს.

ასეთ შემთხვევაში დრეკად-ინერციული სისტემის მოდელი აღიწერება სახით:

$$I\ddot{\phi} + C\dot{\phi} = 0, \quad (187)$$

სადაც C და I – დრეკადი და ინერციულიმატრიცებია.

ტოლობა (187) შეიძლება ჩაიწეროს ასე:

$$\ddot{\phi} + A^* \dot{\phi} = 0, \quad (188)$$

სადაც

$$A^* = I^{-1}C. \quad (189)$$

ცალკეულ კოორდინატთა დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრისათვის, ვიყენებთ დამოკიდებულებას:

$$\varphi_k = W_k(s)q_{bxk}(s), \quad (190)$$

სადაც $q_{bxk}(s)$ – შემავალი და $\varphi_k - k$ -ური გამომავალი კოორდინატებია.

არადემფირებული სქემისას გვექნება:

$$W_k(s) = \frac{A_k(s)}{B_k(s)}. \quad (191)$$

სადაც:

$$B_k(s) = b_{2m}s^{2m} + b_{2m-2}s^{2m-2} + \dots + b_2s^2 + b_0; \quad (192)$$

$$A_k(s) = a_{2n}s^{2n} + a_{2n-2}s^{2n-2} + \dots + a_2s^2 + a_0. \quad (193)$$

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

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

აღსანიშნავია, რომ რთული დინამიკური სისტემების მიახლოებითი აგებისათვის ერთ-ერთი ეფექტური მიდგომაა წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების გამოყენება [68].

მომავალში ვიოპერირებთ ფუნქციებით:

$$\varphi_{k*}(s^2) = \frac{B(s^2)}{A(s^2)}. \quad (194)$$

განხილვაში $s^2 = s^*$ ოპერატორის შემოტანით, ვწერთ მოდიფიცირებულ გამოსახულებას:

$$\varphi_{k*}(s_*) = \frac{B(s_*)}{A(s_*)}, \quad (195)$$

რომელიც თავის მხრივ მიეკუთვნება ექსპონენციალური მდგენელებიანი გადამცემი პროცესების მქონე სისტემის გადამცემი ფუნქციის ანალოგს.

შემოგვაქვს ტოლობა $S^* = \delta$, გადავდივართ წარმოსახვით სიხშირეთა მოდიფიცირებულ მახასიათებლებზე და შემდგომი აპროქსიმაციისათვის ვიხელმძღვანელოდ წარმოსახვით სიხშირეთა მოდიფიცირებული მახასიათებლების ინტეგრალური მიახლოებით.

2.3.2. ოპტიმიზაციური მიდგომები საჩარხო მოთვალთვალე ამპრავების კვლევისადმი

ნაშრომებში [136,137,138,139,140] წარმოდგენილია წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლებზე აგებული სინთეზის მეთოდი მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით.

მათი გამოყენების საფუძველს წარმოადგენს ის, რომ მახასიათებლების საკმაოდ მაღალი დამთხვევა სიხშირეთა მნიშვნელოვან არეში შეესაბამება ორიგინალების დამთხვევას [136, 137, 138, 139, 140].

თუ ორიგინალის $f(t)$ გამოსახულების $F(p) \doteq f(t)$ არგუმენტს, სადაც p – დიფერენცირების ოპერატორია, მოვანიჭებთ რიგ საგნობრივ $p = \delta$ მნიშვნელობებს მივიღებთ წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებელს.

ზოგადი მიდგომით მაპროქსიმირებელი წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლები აიგებიან განუსაზღვრელი a_i და b_i კოეფიციენტების შემდეგი სახის გამოსახულებით

$$F^\circ(p) = \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^3}{a_0 + a_1 p + a_2 p^3 + p^3}; \quad (196)$$

$$F^\circ(p) = \frac{b_0 + b_1 p}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2}. \quad (197)$$

სადაც a_i და b_i განსასაზღვრელი კოეფიციენტებია.

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

სინთეზის პერიოდში კოეფიციენტები a_i და b_i არიან მოცემულნი და საძიებლებს მიეკუთვნებიან სსაწყისი სისტემის რეგულირებადი კოორდინატის გამოსახულებაში $F(p)$ წარმოდგენილი კოეფიციენტები. ზოგადი მიდგომით კოორდინატების გამოსახულებები ჩაიწერებიან ასე:

$$F(p, \sigma_j) = \frac{M(p) + \sum_{j=1}^s \sigma_j M_j(p)}{N(p) + \sum_{j=1}^s \sigma_j N_j(p)} = x(t) \quad (198)$$

და

$$F^\circ(p) = \frac{M^\circ(p)}{N^\circ(p)} = x^\circ(t), \quad (199)$$

სადაც M , N° , M° , N – p -ს გარკვეული პოლინომებია, σ_j – საძიებელი კოეფიციენტებია (პარამეტრებია).

ინტეგრალური მიახლოება ხორციელდება ასე

$$(p, \sigma_j) \cong F^\circ(p). \quad (200)$$

რომლის გაშლილი სახეა

$$M^\circ(p) \sum_{j=1}^n \sigma_j N_j(p) - N^\circ(p) \sum_{j=1}^n \sigma_j M_j(p) = N^\circ(p) M(p) M^\circ(p) N(p). \quad (201)$$

მიღებულის თანახმად და $p = \delta$ ჩასმით იწერება პირობითი განტოლებები აპროქსიმაციათა l კვანძებში.

ნაშრომში [137] რეკომენდირებულია სიხშირეთა δ_ν განთავსება გეომეტრიული პროგრესიის

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

თანახმად, რომელშიც მნიშვნელი $q = 2$.

შემდგომ პირობითი განტოლებები მრავლდებათ $\lambda_\nu(\delta_\nu)$ ნამრავლზე, რომლის განსაზღვრისათვის საჭირო თეორიული მასალა მოყვანილია ნაშრომში [137].

წარმოსახვით სიხშირეთა დაფუძნებული სინთეზის მეთოდის დამასრულებელ ეტაპს წარმოადგენს მდგრადობის პირობის შემოტანა ვარირებადი პარამეტრის ვარიაციის მეშვეობით.

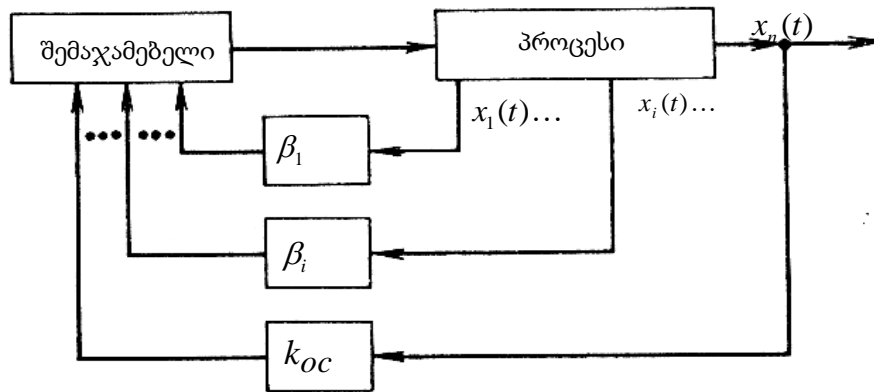
თანახმად ნაშრომისა [130-136] ეს ვარიაცია ხორციელდება სასურველ პროცესებში შემოტანილი z_m – დროის მასშტაბური კოეფიციენტის მეშვეობით და მასთან დაკავშირებით სისტემის კოორდინატებს განვიხილავთ სახით

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}_i \left(\frac{1}{z_m}, t \right) \\ \bar{\varepsilon}_i \left(\frac{1}{z_m}, t \right) \end{aligned} \right\} \quad (202)$$

ზოგადი მიდგომით რეგულირების სისტემის სტრუქტურა შეიცავს რეგულატორსა და რეგულირების ობიექტს, გამომავალ კოორდინატთა მიმართ არსებულ უკუკავშირებს და მათ მიმართ არსებულ შემაჯამებელ მოწყობილობას [130-134]

დაკავშირებით აღნიშნულისა ნახ. 15-ზე მოყვანილია უკუკავშირების სინთეზირებადი $\beta_i(t)$ ($i=1, \dots, n$) კოეფიციენტების მეშვეობით ოპტიმალური მართვის რეალიზაციის ბლოკ-სქემა. აქ უკუკავშირების რაოდენობა უდრის დინამიკური სისტემის რიგს. უკუკავშირების სიგნალები კი თავის მხრივ წარმოადგენენ სისტემის გაზომვად კოორდინატებს.

სინთეზის ასეთმა მეთოდმა, მიიღო მოდალური მართვის დასახელება [133-134].



ნახ. 15. რეგულირების ოპტიმალური სისტემის სქემა

ნორმალურ განტოლებათა სისტემა აისახება ასე:

$$\dot{X} = AX + G(t), \tag{203}$$

სადაც

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{bmatrix}; \quad G(t) = \begin{bmatrix} g_1(t) \\ g_2(t) \\ \vdots \\ g_n(t) \end{bmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}; \tag{204}$$

$G(t)$ – გარე ზემოქმედებების ფუნქციონალური მატრიცა.

ერთგანზომილებიან სისტემისათვის ტოლობა (204) ჩავწერება ასე:

$$\dot{X} = AX + G(t); \quad (205)$$

$$Y = CX, \quad (206)$$

აქ Y – სისტემის გამომავალი კოორდინატია;

$$C=[0,0,\dots,1].$$

და

$$G(t) = \begin{bmatrix} g_1(t) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (207)$$

ლაპლასის გამოსახვებში მრავალგანზომილებიანი სისტემებისათვის გვექნება [149–150].

$$(sE - A)X(s) = G(s),$$

სადაც E – ერთეული მატრიცა.

ერთგანზომილებიან სისტემებისათვის კიდეც გვექნება

$$N(s)x(s) = M(s)g(s),$$

სადაც: $q(s)$ და $x(s)$ – შემომავალი და გამომავალი კოორდინატების გამოსახვები; $N(s)$ და $M(s) - s$ ოპერატორის მიმართ გარკვეული მრავალწევრები.

იმისათვის, რომ სისტემაში გვექონდეს სასურველი რეგულირებადი $x_{\text{კ}}(t)$ კოორდინატი შემაჯამებელ მოწყობილობაში უნდა შემოდიოდეს ზემოქმედება

$$g_{\text{კ}}(t) = g_{\text{კ}}(t) - g(t). \quad (208)$$

სადაც $g_{\text{კ}}(t)$ – რეალიზაციისათვის სასურველ კავშირში მყოფი ზემოქმედება; $g(t)$ – შემომავალი ზემოქმედება.

აქ:

$$g_{\text{კ}}(s) = \frac{1}{W_{\text{კ}}(s)} x_{\text{კ}}(s) - g(s), \quad (209)$$

სადაც

$$W_{kc}(s) = \frac{M_{kc}(s)}{N_{kc}(s)} = \frac{x(s)}{q(s)}$$

არაკორექტირებულ სისტემის გადამცემი ფუნქციაა.

დამატებით $g_{g\kappa}(s)$ ზემოქმედება განისაზღვრება.

$$g_{g\kappa}(s) \approx \sum_i \beta_i x_i(s) + g_{ig}(s)_{noc} \quad (210)$$

ან

$$x_{g\kappa}(t) = \sum_{i=1}^n \beta_i W(s) x_{\kappa}(t) + W(s) [g_{ex} - k_{oc} x_{\kappa}(t)] \quad (211)$$

აქ: $W(s)$ – გადამცემი ფუნქცია არაკორექტირებულ სისტემისათვის, რომელშიც $x_{g\kappa}(t)$ – სასურველი კოორდინატი; $g_{\kappa}(s)_{noc}$ – მიმდევრობითი რგოლის გამომავალი კოორდინატი.

აქ სასურველი კოორდინატები $x_{g\kappa}(t)$ განისაზღვრებიან ასე [140]:

$$\dot{X} = AX + G(t) + G_{\partial\kappa}(t); \quad (212)$$

$$Y_{\kappa} = CX,$$

სადაც:

$$G_{g\kappa}(t) = [(g_{\kappa}(t) \ 0 \ 0 \dots 0)]^T; \quad (213)$$

$$g_{\kappa}(t) = \sum \beta_i X_{i\kappa}(t);$$

$X_{i\kappa}$ – სისტემის სასურველი კოორდინატები.

შესაბამის ორიგინალებთან მიმართებაში სინთეზის ამოცანა რეალიზდება შემდეგი ფუნქციონალების მინიმიზაციით:

$$\Phi_g = \int_0^{\tau} \left[g_{g\kappa}(t) - \sum_i \beta_i x_i \kappa(t) \right]^2 dt \quad (214)$$

ან

$$\Phi_g = \int_0^{\tau} \left[x_{g\kappa}(t) - \sum_i \beta_i x_{\beta_i}(t) + x_{bo}(t) \right]^2 dt, \quad (215)$$

სადაც: $X_{g\kappa}(t)$ – სასურველი გამომავალი კოორდინატი; $X_{\beta_i}(t)$ – არაკორექტირებულ სისტემის i -ური $\beta_i X_{i\kappa}(t)$ მდგენელების გამომავალი კოორდინატები; $X_{bo}(t)$ – სისტემის ამონახსნი

$$[g(t) - k_{oc} X_{g\kappa}(t)];$$

k_{oc} - მდებარეობის კონტურული უკუკავშირის კოეფიციენტი.

ფუნქციონალების მინიმიზაციით ვახორციელებთ პარალელური მაკორექტირებელი რგოლების პარამეტრულ შერჩევას.

უნდა აღინიშნოს, რომ საანგარიშო ნაწილის გამარტივების მიზნით მრავალ შემთხვევაში ფუნქციონალების (261) და (262) მინიმიზაციის მაგივრად ვახორციელებთ პირობით უმცირეს კვადრატთა მეთოდით განტოლებათა დამუშავებას.

ვწერთ პირობით განტოლებებს რიცხობრივი ინტეგრირების წერტილებში და მათი უმცირეს კვადრატთა მეთოდით დამუშავების შედეგად ვიღებთ ნორმალურ განტოლებათა სისტემას საძიებელ β_i კოეფიციენტების მიმართ.

2.4. საჩარხო ავტომატიზირებული მოთვალთვალე ელექტრომექანიკური ამბრავის დინამიკური მოდელირება დრეკადობის გათვალისწინებით მექანიკურ ნაწილში

ნაშრომში [140] განხილულია მექანიკურ ნაწილში დრეკადი კავშირების მქონე ამბრავთა ელექტრომექანიკური სისტემის პარამეტრული სინთეზის ამოცანა, რომელშიც სინთეზირებადობის სახით წარმოდგენილი არიან პარალელური მაკორექტირებელი რგოლების პარამეტრები და გაძლიერების კოეფიციენტი სისტემის პირდაპირ კავშირში.

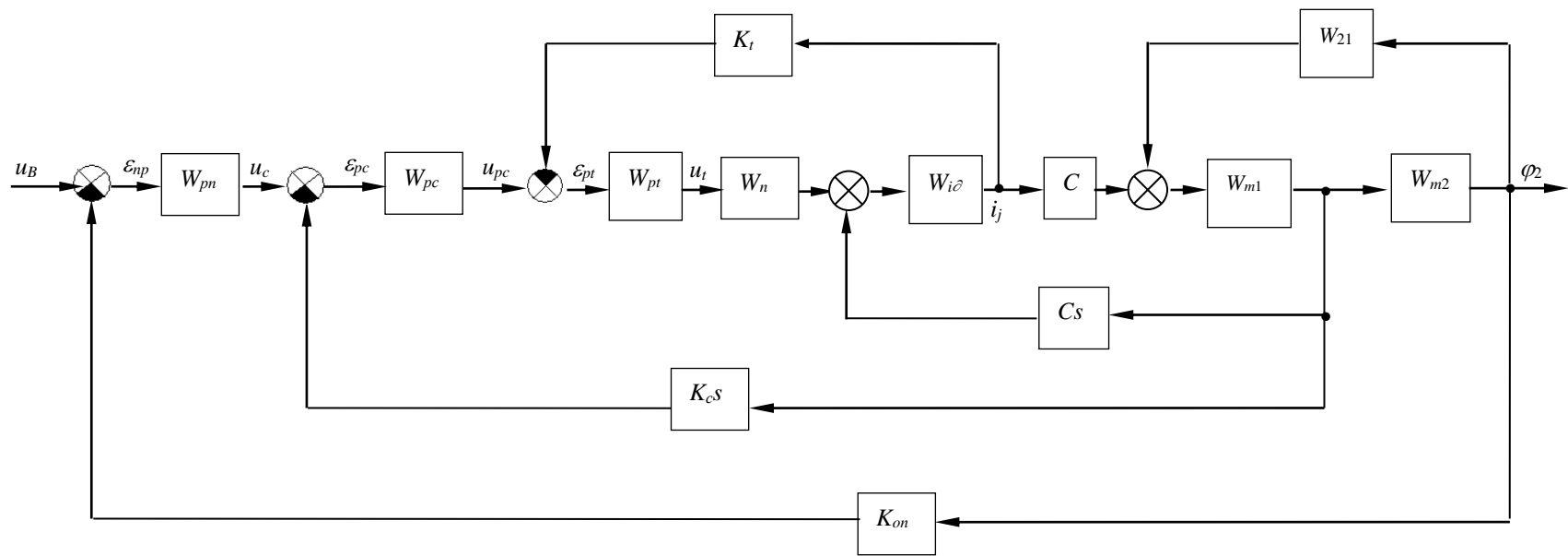
წარმოდგენილ ნაშრომში მდებარეობის რეგულატორი მაკორექტირებელ ხაზში წარმოდგენილი არის, როგორც მაძლიერებელი, მაინტეგრირებელი და მადიფერენცირებელი რგოლების ჯამი, რომელთა პარამეტრები საძიებლნი არიან.

ნახ. 16 მოყვანილია საკვლევი სისტემის ერთ-ერთ სტრუქტურული სქემა, რომელშიც აღნიშნულ რეგულატორთან ერთად წარმოდგენილნი არიან დენის კონტურის და სიჩქარის რეგულატორები. სტრუქტურულ სქემაზე: W_{pm} , W_{pc} და W_{pt} – შესაბამისად მდებარეობის, სიჩქარისა და დენის

რეგულატორებია; W_n და W_{io} – ტირისტორული გარდამქმნელის და შემსრულებელი ძრავის გადამცემი ფუნქციები; W_{M1} , W_{M2} და W_{21} – ამძრავის მექანიკური ნაწილის ორმასიანი დინამიკური მოდელით განსაზღვრული გადამცემი ფუნქციები; u_c , u_{pc} , i_t , u , i , φ_1 , φ_2 – სისტემის შესაბამისი რგოლების გამავალი კოორდინატები.

ნახ. 16 არ არიან წარმოდგენილნი პარალელური მაკორექტირებელი ჯაჭვები, მაგრამ მათი არსებობა ილუსტრირებულია შემდგომი შესაბამისი მათემატიკური დამოკიდებულებების შემოტანით.

განხილვად ამოცანაში, როგორც ნაშრომში [140], ვთვლით, რომ დენისა და სიჩქარის ჩაკეტილი კონტურები არიან შერჩეულები დაქვემდებარებული რეგულირების ცნობილი თეორიის თანახმად [140], მაგრამ აქვე აღვნიშნავთ, რომ პრინციპიალური სახით, ასევე შეიძლება იქნას



ნახ. 16. სისტემის სტრუქტურული სქემა

გადაჭრილი მათი შემდგომი კორექცია. შესაბამისად წარმოდგენილ ნაშრომში მიღებული პარამეტრების შესაბამისად.

გაშლილი ფორმით გვაქვს [141]:

$$W_{pt} = K_{pt} = \frac{1 + T_{pt}s}{T_{pt}s} = \frac{u_{pt}}{u_{pc} - K_{ti}}; \quad (216)$$

$$W_{pc} = K_{pc} = \frac{1 + T_{pc}s}{T_{pc}s} = \frac{u_{pc}}{\varepsilon_{pc}}; \quad (217)$$

$$W_{np} = K_{pn} = \frac{K_{pn} + K_{dif}}{T_{dif}s + 1} = \frac{K_{pn} K_{uHH}}{s} = \frac{u_c}{\varepsilon_{np}}, \quad (218)$$

s – ლაპლასის გარდაქმნის ოპერატორი.

განხილვადი სისტემის (ნახ. 16) დინამიკა პარალელური უკუკავშირების გათვალისწინებით აღიწერება განტოლებათა სისტემით:

$$T_{dif}\dot{u}_c + u_c = a_{pn2} \cdot \ddot{\varepsilon}_{np} + a_{np1} \dot{\varepsilon}_{np} + a_0 \varepsilon_{np}; \quad (219)$$

$$\varepsilon_{np} = u_3 - K_{on} \varphi_2; \quad (220)$$

$$\varepsilon_{pc} = u_c - K_c \varphi_1 - q(t); \quad (221)$$

$$T_{pc} \dot{u}_{pc} = K_{pc} T_{pc} \cdot \dot{\varepsilon}_{pc} - K_{pc} \varepsilon_{pc}; \quad (222)$$

$$\varepsilon_{pt} = u_{pc} - K_t i; \quad (223)$$

$$T_{pt} \dot{u}_t = K_{pt} T_{pt} \dot{\varepsilon}_{pt} + K_{pt} \varepsilon_{pt}; \quad (224)$$

$$T_n \dot{u} + u = K_n u_t; \quad (225)$$

$$T_j \frac{di_{\alpha}}{dt} + i_j = \frac{1}{R_j} u - \frac{c}{R_j} \dot{\varphi}_1 = K_j u - K_k c \dot{\varphi}_1; \quad (226)$$

$$I_1 \ddot{\varphi}_1 + b_{\varphi 1} \dot{\varphi}_1 + c_{12} \varphi_1 = C i_{\alpha} + b_{12} \dot{\varphi}_2 + c_{12} \varphi_2; \quad (227)$$

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 + b_{\varphi 2} \dot{\varphi}_2 + c_{12} \varphi_2 = -M_n + b_{12} \dot{\varphi}_1 + c_{12} \varphi_1, \quad (228)$$

სადაც: $q(t)$ – პარალელური უკუკავშირებით ჩამოყალიბებული დამატებითი

ზემოქმედება [140-142];

T_j , R_j და I_1 , I_2 , $b_{\varphi 1}$, $b_{\varphi 2}$, b_{12} , c_{12} – შესაბამისად შემსრულებელი ძრავის და

ამძრავის მექანიკური ნაწილის პარამეტრები [141]; M_n – გარე

ზემოქმედება სისტემაზე.

თუ დენის ჩაკეტილ კონტურს ავწყობთ ტექნიკურ ოპტიმუმზე შეგვიძლია ჩავწეროთ [141]

$$W_{kt}(s) \approx \frac{1}{K_t} \frac{1}{1+2\tau s} = \frac{i_j(s)}{u_{pc1}},$$

სადაც τ – დროის მუდმივა ტირისტორული გარდამქმნელის დინამიკის განტოლებაში.

შემდგომ გამოვიყენებთ რა ზემოთ მოყვანილ დამოკიდებულებებს დინამიკის განტოლებათა სისტემა გამსხვილებული გამოსახულებების გათვალისწინებით შეგვიძლია ჩავწეროთ სახით:

$$\frac{d\varphi_2}{dt} = y_2; \quad (229)$$

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = y_1; \quad (230)$$

$$\frac{dy_1}{dt} = \frac{c}{I_1} i_j + \frac{b_{12}}{I_1} y_2 + \frac{c_{12}}{I_1} \varphi_2 - \frac{b_{\varphi 1}}{I_1} y_1 - \frac{c_{12}}{I_1} \varphi_1; \quad (231)$$

$$\frac{dy_2}{dt} = -\frac{M_n}{I_2} + \frac{b_{12}}{I_2} y_1 + \frac{c_{12}}{I_2} \varphi_1 - \frac{b_{\varphi 2}}{I_2} y_2 - \frac{c_{12}}{I_2} \varphi_2; \quad (232)$$

$$\frac{di_j}{dt} = -\frac{1}{2\tau} i_j + \frac{1}{2\tau} u_{pc} - \frac{K_t}{2\tau} i_j - \frac{K_t}{2\tau} \dot{\varphi}_{cs}; \quad (233)$$

$$\frac{d\varphi_{cs}}{dt} = -\frac{a_{t0}}{a_{\tau 2}} \varphi_{cs} + \frac{b_{t2}}{a_{\tau 1}} \dot{y}_1 + \frac{b_{t2}}{a_{\tau 1}} y_1, \quad (234)$$

$$\frac{du_{pc}}{dt} = a_{pc1} \left[\dot{u}_c - K_c \dot{y}_1 - \frac{d}{dt} q(t) \right] + a_{pc0} [u_c - K_c y_1 - q(t)]. \quad (235)$$

$$\frac{d\dot{u}_c}{dt} = -\frac{1}{T_{dif}} u_c + \frac{a_{pn2}}{T_{dif}} \ddot{\varepsilon}_{np} + \frac{a_{pn1}}{T_{dif}} \dot{\varepsilon}_{np} + \frac{a_{pno}}{T_{dif}} \varepsilon_{np}. \quad (236)$$

აქ:

$$a_{pn2} = K_{pn} (T_{dif} + K_{dif});$$

$$a_{pn1} = K_{np} [K_{int} T_{dif} + 1];$$

$$a_{pn2} = K_{np} K_{int};$$

φ_{cs} – დენის ჩაკეტილი კონტურის შესასვლელზე მოდებული უკუკავშირის კოორდინატი ელექტრომამოძრავებელი ძალის ჯაჭვიდან.

ჩავატარებთ რა გარდაქმნებს, დაკავშირებულს განტოლებათა სისტემასთან (229–236) მისი პირველი რიგის განტოლებათა სისტემაზე დაყვანის თვალსაზრისით და ახალი გამსხვილებული აღნიშვნების შემოტანით, უკანასკნელი ოთხი განტოლება განხილვად სისტემიდან შეიძლება ჩაწერილნი იქნეს შემდეგი:

$$\frac{di_j}{dt} = -a_{ij}i_j + a_{npc}u_{pc} - a_{cs}\varphi_{cs} - a_{y2}y_2 - a_{y1}y_1 + a_{\varphi1}\varphi; \quad (237)$$

$$\frac{d\varphi_{cs}}{dt} = -a_{cs}^*\varphi_{cs} + a_{y2}^*y_2 + a_{\varphi2}^*\varphi_2 - a_{y1}^*y_1 - a_{\varphi1}^*\varphi_1, \quad (238)$$

$$\frac{du_{pc}}{dt} = -a_{ui}i_j + a_{ny2}y_2 - a_{u\varphi_2}\varphi_2 + a_{ny1}y_1 + a_{u\varphi_1}\varphi_1 + a_{pc0}u_c - F(t); \quad (239)$$

$$\frac{du_c}{dt} = -\frac{1}{T_{dif}}u_c + E(t).$$

აქ:

$$E(t) = \frac{a_{pn2}}{T_{dif}} \frac{d^2 u_B^*}{dt^2} + \frac{a_{pn1}}{T_{dif}} u_B^* + \frac{a_{pm0}}{T_{dif}} u_B^*;$$

$$F(t) = -\frac{a_{pc1}}{T_{dif}} E(t) - a_{pc0} q(t) - a_{pc1} \dot{q}(t);$$

$$u_B^* = u_B - K_{on} \varphi_{2*};$$

$$q(t) = \beta_1 \dot{\varphi}_{2*} + \beta_2 \dot{\varphi}_{1*} + \beta_3 \Delta \varphi_* + \beta_4 i_{j*} + \beta_5 u_{pc*};$$

φ_{2*} – რეალიზაციისათვის სასურველი სისტემის გამავალი კოორდინატი;

φ_{1*} , $\Delta \varphi_* = \varphi_{1*} - \varphi_{2*}$; i_{j*} , u_{pc*} – სისტემის გასასვლელზე φ_{2*} სასურველი კოორდინატის მიღების პირობიდან გათვლილი სასურველი შუალედური კოორდინატები;

φ_{2*} ; a_{pn2} , a_{pn1} , a_{pm0} , β_1, \dots, β_5 – სისტემის სინთეზირებადი პარამეტრები.

ყოველივე ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით დავდივართ სხვა უცნობიან 8 განტოლებაზე მატრიცული სახით შეიძლება ჩაიწერება ასე:

$$\frac{dX}{dt} = AX + G_M + K_{u\gamma} G_\gamma(t); \quad (240)$$

$$Y_\gamma = CX_\gamma, \quad (241)$$

სადაც γ -ს მნიშვნელობა განისაზღვრება საძიებელი კოეფიციენტების რიცხვით; K_{uy} – საძიებელი პარამეტრების პირობითი აღნიშვნა.

გარდაქმნილი ფორმით ვწერთ:

$$E(t) = a_{pn2}A_2(t) + a_{pn1}A_1(t) + a_{pn0}A_0(t);$$

$$E(t) = a_{pn2}A_2^*(t) + a_{pn1}A_1^*(t) + a_{pn0}A_0^*(t) - \beta_1L(t) + \beta_2L_2(t) - \beta_3L_3(t) - \beta_4L_4(t) - \beta_5L_5(t).$$

უკანასკნელის გათვალისწინებით:

$$G_1 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ A_2(t) \ A_2^*(t)]^T;$$

$$G_2 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ A_1(t) \ -A_1^*(t)]^T;$$

$$G_3 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ A_0(t) \ A_0^*(t)]^T;$$

$$G_4 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -L_1(t)]^T;$$

$$G_5 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -L_2(t)]^T;$$

$$G_6 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -L_3(t)]^T;$$

$$G_7 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -L_4(t)]^T;$$

$$G_8 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -L_5(t)]^T;$$

$$X = [\varphi_2 \ y_2 \ \varphi_1 \ y_1 \ i_j \ \varphi_{cs} \ u_{pc} \ u_c]^T;$$

$$G_M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -\frac{M_n}{I_2} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

მატრიცული განტოლებების და მათი ბიჯურად X განსაზღვრულ მნიშვნელობათა გამოყენებით ვიღებთ პირობით განტოლებათა გამოსახულებებს.

შემდგომ [140, 142] ნაშრომების თანახმად გადავდივართ კვადრატული ფუნქციონალის მინიმიზაციაზე

$$\Phi = \sum_{t=0}^{t=t_n} [y_{2^*}(t_i) - \varphi_2(t_i)]^2 dt, \quad (242)$$

სადაც t_i – რიცხობრივი მონაცემების შეტანის წერტილები. დავდივართ ნორმალურ განტოლებათა ალგებრულ სისტემაზე, რომელიც შედგება 8 განტოლებიდან და უკანასკნელნი მოიცავენ 8 უცნობს.

სასურველი პროცესების ვარიაციას სინთეზირებადი სისტემის ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლების ოპტიმიზაციური გათვალისწინების თვალსაზრისით მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის პროცედურებში ვახორციელებთ სასურველი პროცესების მოცემით ფუნქციონალურ კავშირში ვარირებად z_m დროის მასშტაბურ კოეფიციენტთან [142, 143].

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე ფორმულირებულია საკვლევი სისტემის სინთეზის მეთოდოლოგია სინთეზირებადი პარამეტრების მიზანდასახული შერჩეული განხორციელებისათვის.

2.5. ავტომატიზებული მოთვალთვალე ელექტრომექანიკური ამძრავის დინამიკური კვლევის ძირითადი კანონზომიერებების შემუშავება

ნახ. 17-ზე მოყვანილია მექანიკურ ნაწილში დრეკადი კავშირების მქონე ელექტრომექანიკური მოთვალთვალე სისტემის ერთ-ერთი სავარაუდო სქემა. იგი წარმოდგენილია მდებარეობის II-რეგულატორი და მექანიკური სისტემა კიდევ თავის მხრივ აპროქსიმირებულია ორმასიანი დინამიკური მოდელით.

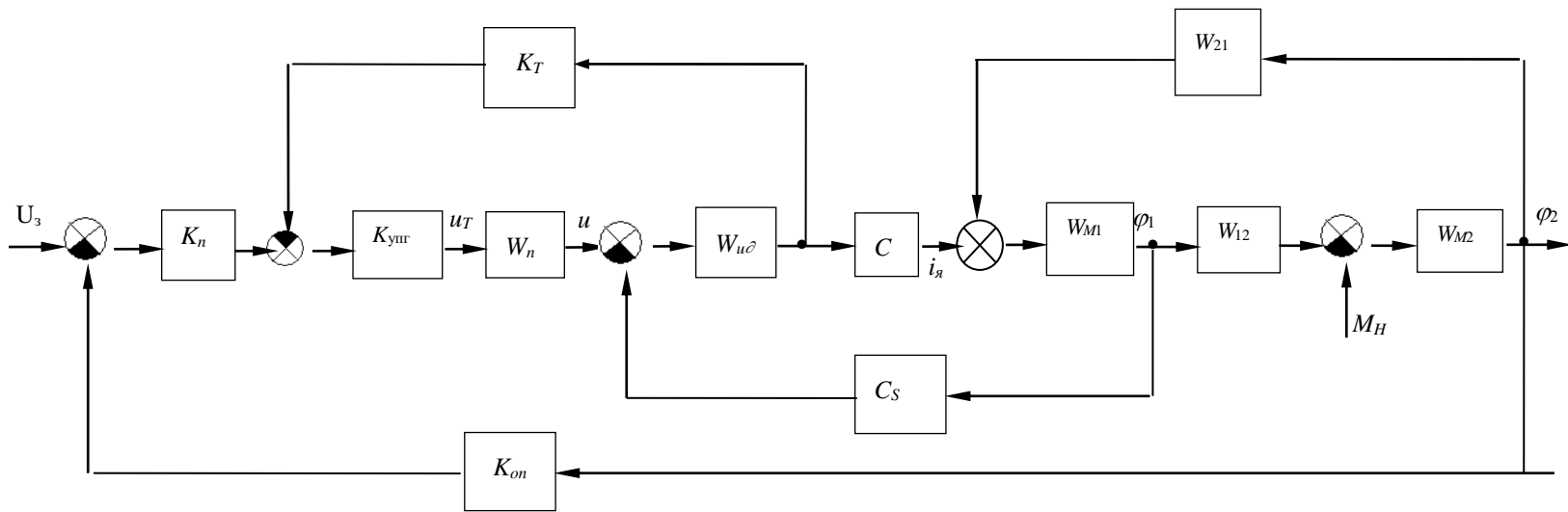
ვიხილავთ გარდამავალი პროცესის ხარისხობრივი მაჩვენებლების სრულყოფის ამოცანას სისტემის სტრუქტურაში პარალელური მაკორექტირებელი რგოლების შემოტანით მოდალური მართვის თეორიის თანახმად [139].

ნაშრომის [141] თანახმად დენის კონტურის გადამცემი ფუნქცია შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ აპროქსიმაციული ფორმით

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

სადაც: $K_{\tau} = \frac{1}{K_r}$, τ – ტირისტორული გარდამქმნელის დროის მუდმივა.

უკანასკნელის გათვალისწინებით და ინდუქციური უკუკავშირის



ნახ. 17. სისტემის სტრუქტურული სქემა

უგულვებელყოფით გადამცემი ფუნქცია $U_c(t)$ გაუთანხმობის და გამომავალი კოორდინატის შორის $M_H = 0$ პირობის დაცვით შეგვიძლია ჩაწერილი იქნას ასე:

$$W_{np1}(s) = \frac{\varphi(s)}{U_n(s)} = W_{KT}(s)CW_M(s), \quad (243)$$

სადაც:

$$W_M(s) = \frac{W_{M_1}(s)W_{M_2}(s)}{1 - W_{M_1}(s)W_{M_2}(s)W_{12}(s)}, \quad (244)$$

$$W_{M_1}(s) = \frac{1}{I_1s^2 + b_{12}s + c_{12}}, \quad (245)$$

$$W_{M_2}(s) = \frac{b_{12}s + c_{12}}{I_1s^2 + b_{12}s + c_{12}}, \quad (246)$$

$$W_{21}(s) = b_{12}s + c_{12}. \quad (247)$$

აღვნიშნოთ, რომ დამოკიდებულებებში (298-300): I_1 და I_2 – ინერციის მომენტები, b_{12} და c_{12} – შესაბამისად დისიპაციისა და სიხისტის კოეფიციენტები, φ_1 და φ_2 – კუთხური კოორდინატები ორმასიან მექანიკურ სისტემაში.

ზემოაღნიშნული დამოკიდებულებების გათვალისწინებით გვექნება:

$$W_M(s) = \frac{b_{12}s + c_{12}}{a_4s^4 + a_3s^3 + a_2s^2}, \quad (248)$$

$$W_{np1}(s) = \frac{K_{IT}C(b_{12}s + c_{12})}{A_5s^5 + A_4s^4 + A_3s^3 + A_2s^2}, \quad (249)$$

სადაც: $a_4 = I_1I_2$;

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

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

$$A_5 = 2\pi a_4;$$

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

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

$$A_2 = 2a_2.$$

მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის $\varphi_{2*}(t)$

პროცესის გამოსახულება და მის საფუძველზე ვსაზღვრავთ სასურველი $i_*(t)$, $\Delta\varphi_*(t)$, $\dot{\varphi}_{1*}(t)$ კოორდინატების გამოსახულებებს და უკანასკნელთა გამოყენებით ვახორციელებთ პარალელურ მაკორექტირებელ კავშირებს [143].

შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$i_*(s) = \frac{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} \varphi_{2*}(s); \quad (250)$$

$$\Delta\varphi_*(s) = \frac{I_2 s^2}{I_{12} s + c_{12}} \varphi_{2*}(s), \quad (251)$$

$$\dot{\varphi}_{1*}(s) = \frac{I_2 s^2 + b_{12} s + c_{12}}{b_{12} s + c_{12}} \varphi_{2*}(s). \quad (252)$$

დამოკიდებულებების (250)-(252) გამოყენებით დამატებითი მაკორექტირებელი ზემოქმედება $q(s)$ [140], რომელიც გადაიგზავნება დენის ჩაკეტილი კონტურის შესასვლელზე გამოისახება დამოკიდებულებით

$$g(s) = q_1(s) + q_2(s), \quad (253)$$

სადაც:

$$g_1(s) = \left[K_i \frac{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} + K_{\Delta\varphi} \frac{I_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} + K_{\dot{\varphi}_1} \frac{I_2 s^2 + b_{12} s + c_{12}}{b_{12} s + c_{12}} \right] \varphi_{2*}, \quad (254)$$

$$g_2(s) = K_{\varphi_2} s \varphi_{2*}, \quad (255)$$

სადაც K_i , $K_{\dot{\varphi}_1}$, $K_{\Delta\varphi}$ და K_{φ_2} – პარალელური მაკორექტირებელი რგოლების საძიებელი კოეფიციენტები.

გამსხვილებული სახით შეგვიძლია ჩავწეროთ:

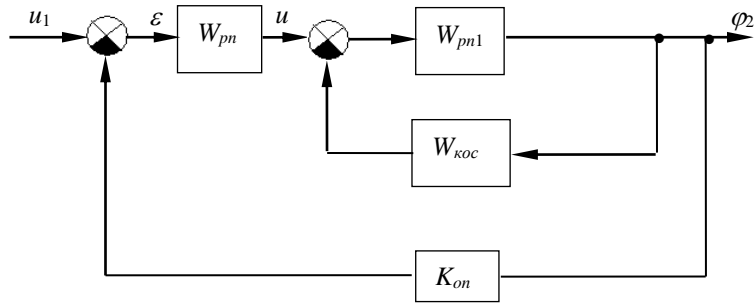
$$g(s) = W_{koc}(s) \varphi_2, \quad (256)$$

სადაც:

$$W_{koc}(s) = W_i(s) K_i + W_{\Delta\varphi}(s) K_{\Delta\varphi} + W_{\dot{\varphi}_1} K_{\dot{\varphi}_1} + K_{\varphi_2}(s) K_{\varphi_2}. \quad (257)$$

შესაბამისად სისტემის გამსხვილებული სტრუქტურული სქემა შეიძლება წარმოვიდგინოთ ნახაზ 18-ზე მოყვანილი სახით.

შიგა ჩაკეტილი კონტურის გადამცემი ფუნქცია მიიღებს სახეს:



ნახ. 18. გამსხვილებული სტრუქტურული სქემა

$$W_{II}(s) = \frac{\varphi_2(s)}{U(s)} = \frac{W_{np1}}{1 + W_{koc} W_{np8}} = \frac{K_{\pi} C(b_{12}s + c_{12})}{A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2 + K_{\pi} C(b_{12}s + c_{12})(W_i K_i + W_{\Delta\varphi} K_{\Delta\varphi} + W_{\phi_1} K_{\phi_1} + s K_{\phi_2})}, \quad (258)$$

ანდა

$$W_{II}(s) = \frac{A_n(s)}{B_n(s) + B_{\Delta\varphi} K_{\Delta\varphi} + B_{\phi_1} K_{\phi_1} + B_{\phi_2} K_{\phi_2}}, \quad (259)$$

სადაც: $A_n(s) = K_{\pi} C(b_{12}s + C_{12})$;

$$B_n(s) = A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2;$$

$$B_i(s) = A_n^{(s)} W_i(s);$$

$$B_{\Delta\varphi} = A_n(s) W_{\Delta\varphi}(s);$$

$$B_{\Delta\phi_1}(s) = A_n(d) W_{\phi_1}(s),$$

$$B_{\phi_2}(s) = A_n(s) s.$$

შესაბამისად მთლიანი სისტემის გადამცემი ფუნქცია ჩაიწერება ასე:

$$W_0(s) = \frac{W_{pn}(s) W_{II}}{1 + W_{pn} W_{II} K_{on}} = \frac{\varphi_2(s)}{U_1(s)}.$$

ანდა გაშლილი სახით:

$$W_0(s) = \frac{W_{pn} A_n}{B_n + W_{pn} A_n K_{on} + B_i K_i + B_{\Delta\varphi} K_{\Delta\varphi} + B_{\phi_1} K_{\phi_1} + B_{\phi_2} K_{\phi_2}}. \quad (260)$$

გამოსახულება (260)-ზე დაყრდნობით გადავდივართ საკვლევი სისტემის მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ამოცანაზე წარმოსახვით სიხშირეთა მათემატიკური აპარატის გამოყენებით.

პირველ რიგში შემოგვაქვს სასურველი პროცესი $\varphi_{*c}(t)$ და ვწერთ მიახლოებით ტოლობას რეგულირებადი $\varphi_2(t)$ და სასურველი პროცესს შორის [143-145]:

$$\varphi_2(s) \approx \varphi_{2,*c}(z_m s) = \frac{M_*(z_m s)}{N_*(z_m s)} U_1(s), \quad (261)$$

სადაც: M_* და N_* – შესაბამისად კოორდინატები წარმოადგენენ სასურველი პროცესის მრიცხველსა და მნიშვნელს;

z_m – დროს მასშტაბური კოეფიციენტი;

s – ლაპლასის გარდაქმნის ოპერატორი.

გამოსახურების (260) თანახმად შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$\begin{aligned} M_*(B_i K_i + B_{\Delta\varphi} K_{\Delta\varphi} + B_{\dot{\varphi}_1} K_{\dot{\varphi}_1} + B_{\ddot{\varphi}_2} K_{\ddot{\varphi}_2} + M_* A_n K_{on} K_{pn}) + M_* B_n = \\ = K_n A_n N_*(z_m s), \end{aligned} \quad (262)$$

სადაც $K_n = W_{pn}$.

ანდა გარდაქმნილი ფორმით:

$$\begin{aligned} \Phi_1(z_m s) K_i + \Phi_2(z_m s) K_{\Delta\varphi} + \Phi_3(z_m s) K_{\dot{\varphi}_1} + \Phi_4(z_m s) K_{\ddot{\varphi}_2} + \\ + \Phi_5(z_m s) K_n + \Phi_0(z_m s) = 0. \end{aligned} \quad (263)$$

სადაც:

$$\Phi_1 = M_* B_i;$$

$$\Phi_2 = M_* B_{\Delta\varphi};$$

$$\Phi_3 = M_* B_{\dot{\varphi}_1};$$

$$\Phi_4 = M_* B_{\ddot{\varphi}_2};$$

$$\Phi_5 = M_* A_n K_{on} - N_* A_n;$$

$$\Phi_0 = M_* B_n.$$

გარდავდივართ რა წარმოსახვით სიხშირეებზე ვწერთ პირობით განტოლებათა სისტემას წარმოსახვით სიხშირეთა δ_i წერტილებში და მათში შეგვაქვს წონითი კოეფიციენტები γ_v .

2.6. საკვლევი ელექტრომექანიკურ სისტემის დინამიკური სინთეზი და გარდამავალი პროცესის ანალიზი

მიღებული დამოკიდებულების თანახმად ვწერთ l კვანძების $\delta = \delta_v$ აპროქსიმაციათა მიმართ განტოლებათა პირობით სისტემას

$$\Phi_1(\delta_v)K_i + \Phi_2(\delta_v)K_{\Delta\phi} + \Phi_3(\delta_v)K_{\phi_1} + \Phi_4(\delta_v)K_{\phi_2} + \Phi_5(\delta_v)K_n = \Phi_0(\delta_v), \quad (264)$$

$$v = 1, 2, \dots, l.$$

ნაშრომში რეკომენდირებულია აპროქსიმაციის კვანძების განლაგება შემდეგი გეომეტრიული პროგრესიის თანახმად

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

რომლის q ფუძე უდრის ორს.

ამასთან აპროქსიმაციისათვის საჭირო განმსაზღვრელ ნაწილს წარმოადგენს უბანი $0 \leq \delta \leq \delta_0$, 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 (264) მრავლდება წონით მამრავლზე $\gamma_v(\delta_v)$, რომელიც განისაზღვრები შემდეგი ფორმულებით:

$$\gamma_v(\delta_v) = \frac{\theta}{\Omega_v};$$

$$\Omega_v = \frac{\Phi_1(\delta_v) + \Phi_2(\delta_v) + \Phi_3(\delta_v) + \Phi_0(\delta_v)}{4};$$

$$\theta = \frac{\sum_{v=1}^l \Omega_v}{l}, \quad v = 1, \dots, l.$$

ასეთი საშუალებით მიღებულ განტოლებათა სისტემას ვამუშავებთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდით საძიებელი პარამეტრების K_{ϕ_1} , K_{ϕ_2} , $K_{\Delta\phi}$, $K_{p\theta}$, K_x და K_{pn} მიმართ, ვიღებთ:

$$K_u \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1^2(\delta_v) + K_{\Delta\phi} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_2(\delta_v) \Phi_1(\delta_v) + K_{\phi_1} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_3(\delta_v) \Phi_1(\delta_v) + \\ + K_{\phi_2} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4(\delta_v) \Phi_1(\delta_v) + K_n \sum_v \gamma_v^2 \Phi_5(\delta_v) \Phi_1(\delta_v) \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_1(\delta_v); \quad (265)$$

$$K_{\phi_1} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_6(\delta_v) \Phi_1(\delta_v) + K_{\phi_2} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_2^2(\delta_v) + K_{\Delta\phi} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_3(\delta_v) \Phi_2(\delta_v) + \\ + K_{p\theta} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4(\delta_v) \Phi_2(\delta_v) + K_x \sum_v \gamma_v^2 \Phi_5(\delta_v) \Phi_2(\delta_v) + \\ + K_{pn} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_6(\delta_v) \Phi_2(\delta_v) = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_2(\delta_v); \quad (266)$$

$$K_{\phi_1} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_3(\delta_v) + K_{\phi_2} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_2(\delta_v) \Phi_3(\delta_v) + K_{\Delta\phi} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_3(\delta_v) + \\ + K_{\phi_2} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4(\delta_v) \Phi_3(\delta_v) + K_n \sum_v \gamma_v^2 \Phi_5(\delta_v) \Phi_3(\delta_v) = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_3(\delta_v); \quad (267)$$

$$K_i \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_4(\delta_v) + K_{\Delta\phi} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_2(\delta_v) \Phi_4(\delta_v) + K_{\phi_1} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_3(\delta_v) \Phi_4(\delta_v) + \\ + K_{\phi_2} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4(\delta_v) \Phi_4(\delta_v) + K_n \sum_v \gamma_v^2 \Phi_5(\delta_v) \Phi_4(\delta_v) = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_4(\delta_v); \quad (268)$$

$$K_i \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_5(\delta_v) + K_{\Delta\phi} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_2(\delta_v) \Phi_5(\delta_v) + K_{\phi_1} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_3(\delta_v) \Phi_5(\delta_v) + \\ + K_{\phi_2} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4(\delta_v) \Phi_5(\delta_v) + K_n \sum_v \gamma_v^2 \Phi_5(\delta_v) = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_5(\delta_v); \quad (269)$$

შემოგვაქვს აღნიშვნები:

$$D_{11} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1^2(\delta_v);$$

$$D_{12} = D_{21} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_2(\delta_v) \Phi_1(\delta_v);$$

$$D_{13} = D_{31} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_3(\delta_v) \Phi_1(\delta_v);$$

$$D_{14} = D_{41} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4(\delta_v) \Phi_1(\delta_v);$$

$$D_{15} = D_{51} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_5(\delta_v) \Phi_1(\delta_v);$$

$$D_{23} = D_{32} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_3(\delta_v) \Phi_2(\delta_v);$$

$$D_{24} = D_{42} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4(\delta_v) \Phi_2(\delta_v);$$

$$D_{25} = D_{52} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_5(\delta_v) \Phi_2(\delta_v);$$

$$D_{34} = D_{43} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4(\delta_v) \Phi_3(\delta_v);$$

$$D_{35} = D_{53} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_5(\delta_v) \Phi_3(\delta_v);$$

$$D_{45} = D_{54} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_5(\delta_v) \Phi_4(\delta_v);$$

$$D_{22} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_2^2(\delta_v);$$

$$D_{33} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_3^3(\delta_v);$$

$$D_{44} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4^2(\delta_v);$$

$$D_{55} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_5^2(\delta_v);$$

$$D_{66} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_6^2(\delta_v);$$

$$D_{01} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_1(\delta_v);$$

$$D_{02} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_2(\delta_v);$$

$$D_{03} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_3(\delta_v);$$

$$D_{04} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_4(\delta_v);$$

$$D_{05} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_5(\delta_v);$$

და განტოლებათა სისტემა (264-269) იღებს სახეს:

$$D_{11}K_i + D_{12}K_{\Delta\varphi} + D_{13}K_{\dot{\varphi}_1} + D_{14}K_{\dot{\varphi}_2} + D_{15}K_n = D_{01}; \quad (270)$$

$$D_{21}K_i + D_{22}K_{\Delta\varphi} + D_{23}K_{\dot{\varphi}_1} + D_{24}K_{\dot{\varphi}_2} + D_{25}K_n = D_{02}; \quad (271)$$

$$D_{31}K_i + D_{32}K_{\Delta\varphi} + D_{33}K_{\dot{\varphi}_1} + D_{34}K_{\dot{\varphi}_2} + D_{35}K_n = D_{03}; \quad (272)$$

$$D_{41}K_i + D_{42}K_{\Delta\varphi} + D_{43}K_{\dot{\varphi}_1} + D_{44}K_{\dot{\varphi}_2} + D_{45}K_n = D_{04}, \quad (273)$$

$$D_{51}K_i + D_{52}K_{\Delta\varphi} + D_{53}K_{\dot{\varphi}_1} + D_{54}K_{\dot{\varphi}_2} + D_{55}K_n = D_{05}. \quad (274)$$

სისტემის (272)–(274) ამოხსნით უცნობების მიმართ ვიღებთ:

$$K_i = \frac{D_{ki}}{D}; \quad (275)$$

$$K_{\Delta\varphi} = \frac{D_{k\Delta\varphi}}{D}; \quad (276)$$

$$K_{\dot{\varphi}_1} = \frac{D_{k\dot{\varphi}_1}}{D}; \quad (277)$$

$$K_{\dot{\varphi}_2} = \frac{D_{k\dot{\varphi}_2}}{D}; \quad (278)$$

$$K_n = \frac{D_{kn}}{D}; \quad (279)$$

სადაც

$$D_{ki} = \begin{vmatrix} D_{01} & D_{12} & D_{13} & D_{14} & D_{15} \\ D_{02} & D_{22} & D_{23} & D_{24} & D_{25} \\ D_{03} & D_{32} & D_{33} & D_{34} & D_{35} \\ D_{04} & D_{42} & D_{43} & D_{44} & D_{45} \\ D_{05} & D_{52} & D_{53} & D_{54} & D_{55} \end{vmatrix};$$

$$D_{\Delta\varphi} = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{01} & D_{13} & D_{14} & D_{15} \\ D_{21} & D_{02} & D_{23} & D_{24} & D_{25} \\ D_{31} & D_{03} & D_{33} & D_{34} & D_{35} \\ D_{41} & D_{04} & D_{43} & D_{44} & D_{45} \\ D_{51} & D_{05} & D_{53} & D_{54} & D_{55} \end{vmatrix};$$

$$D_{\dot{\varphi}_1} = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{01} & D_{14} & D_{15} \\ D_{21} & D_{22} & D_{02} & D_{24} & D_{25} \\ D_{31} & D_{32} & D_{03} & D_{34} & D_{35} \\ D_{41} & D_{42} & D_{04} & D_{44} & D_{45} \\ D_{51} & D_{52} & D_{05} & D_{54} & D_{55} \end{vmatrix};$$

$$D_{\dot{\varphi}_2} = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{01} & D_{15} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{02} & D_{25} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{03} & D_{35} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{04} & D_{45} \\ D_{51} & D_{52} & D_{53} & D_{05} & D_{55} \end{vmatrix};$$

$$D_n = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} & D_{01} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} & D_{02} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} & D_{03} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} & D_{04} \\ D_{51} & D_{52} & D_{53} & D_{54} & D_{05} \end{vmatrix};$$

$$D = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} & D_{15} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} & D_{25} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} & D_{35} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} & D_{45} \\ D_{51} & D_{52} & D_{53} & D_{54} & D_{55} \end{vmatrix}.$$

ვაგებთ მთლიანი სისტემის გადამცემ ფუნქციას გამომდინარე დამოკიდებულებებიდან:

$$W_{pn} = K_n; \quad (280)$$

$$W_i = \frac{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}}; \quad (281)$$

$$W_{\Delta\phi} = \frac{I_2 s^2}{b_{\phi} s + c_{12}}; \quad (282)$$

$$W_{\phi_1} = \frac{I_2 s^2 + b_{12} s + c_{12}}{b_{12} s + c_{12}}. \quad (283)$$

აქედან

$$B_i K_i + B_{\Delta\phi} K_{\Delta\phi} + B_{\phi_1} K_{\phi_1} + B_{\phi_2} K_{\phi_2} = K_{\tau T} c \left[(a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2) K_i + \right. \\ \left. + I_2 s^2 K_{\Delta\phi} + (I_2 s^2 + b_{12} s + c_{12}) K_{\phi_1} \right] + K_{\tau T} c (b_{12} s + c_{12}) s K_{\phi_2}; \quad (284)$$

$$W_{pn} A_n K_{on} = (K_n K_{on}) K_{\tau T} c (b_{12} s + c_{12}); \quad (285)$$

$$B_n = A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_3 s^3 + A_2 s^2; \quad (286)$$

საბოლოოდ

$$B_i K_i + B_{\Delta\phi} K_{\Delta\phi} + B_{\phi_1} K_{\phi_1} + B_{\phi_2} K_{\phi_2} + B_n + W_{pn} A_n K_{on} = \\ = K_{\tau T} c (a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2) K_i + K_{\tau T} c \cdot I_2 s^2 K_{\Delta\phi} + K_{\tau T} (I_2 s^2 + b_{12} s) K_{\phi_1} + \\ + K_{\tau T} c (b_{12} s^2 + c_{12} s) K_{\phi_2} + B_n + K_n K_{\tau T} c K_{on} (b_{12} s + c_{12}) = \\ = K_{i^*} (\underline{a_4 s^4} + \underline{a_3 s^3} + \underline{a_2 s^2}) + K_{\Delta\phi^*} s^2 + K_{\phi_1^*} (\underline{I_2 s^2} + \underline{b_{12} s} + \underline{c_{12}}) + \\ + K_{\phi_2^*} (\underline{b_{12} s^2} + \underline{c_{12} s}) + \underline{A_5 s^5} + \underline{A_4 s^4} + \underline{A_3 s^3} + \underline{A_2 s^2} = \\ = A_{5^*} s^5 + A_{4^*} s^4 + A_{3^*} s^3 + A_{2^*} s^2 + A_{1^*} s + A_{0^*}. \quad (287)$$

სადაც

$$A_{5^*} = A_5;$$

$$\begin{aligned}
A_{4*} &= K_{i*} a_4 + A_4 ; \\
A_{3*} &= K_{i*} a_3 + A_3 ; \\
A_{2*} &= K_{i*} a_2 + K_{\Delta\varphi*} + K_{\dot{\varphi}_1*} I_2 + K_{\dot{\varphi}_2*} b_{12} + A_2 ; \\
A_{1*} &= K_{\dot{\varphi}_1*} b_{12} + K_{\dot{\varphi}_2*} c_{12} ; \\
A_{0*} &= K_n K_{\tau T} \cdot K_{on} c \cdot c_{12} ; \\
K_{i*} &= K_{\tau T} K_i c ; \\
K_{\Delta\varphi*} &= K_{\tau T} K_{\Delta\varphi} c ; \\
K_{\dot{\varphi}_1*} &= K_{\tau T} K_{\dot{\varphi}_1} c ; \\
K_{\dot{\varphi}_2*} &= K_{\tau T} K_{\dot{\varphi}_2} c . \\
W_0(s) &= \frac{K_n K_{\tau T} c (b_{12} s + c_{12})}{A_{5*} s^5 + A_{4*} s^4 + A_{3*} s^3 + A_{2*} s^2 + A_{1*} s + A_{0*}} = \\
&= \frac{C_1 s + C_0}{A_{5*} s^5 + A_{4*} s^4 + A_{3*} s^3 + A_{2*} s^2 + A_{1*} s + A_{0*}} . \tag{288}
\end{aligned}$$

სადაც:

$$C_1 = K_n K_{\tau T} b_{12} c ;$$

$$C_0 = K_n K_{\tau T} c \cdot c_{12} .$$

დინამიკური მდგრადობის ანალიზისათვის შეგვიძლია ვისარგებლოთ უწყვეტი სტაციონარული სისტემის მდგრადობის ანალიზის ცნობილი მეთოდით.

აღნიშნული მეთოდის თანახმად განიხილავენ დამხმარე პარამეტრებს λ_i , რომლებიც გამოისახებიან დამოკიდებულებებით

$$\lambda_i = A_{i-1} A_{i+2} / A_i A_{i+1}, \quad i = 1, \overline{n-2}. \tag{289}$$

ჩვენ შემთხვევაში გვექნება

$$\lambda_1 = A_0 A_3 / A_1 A_2 ;$$

$$\lambda_2 = A_1 A_4 / A_2 A_3 ;$$

$$\lambda_3 = A_2 A_5 / A_3 A_4 ;$$

$$\lambda_4 = A_3 A_5 / A_4 A_5 .$$

გადავდივართ ამპლიტუდურ-ფაზურ მახასიათებლებზე, რისთვისაც φ_2 კოორდინატის გამოსახულებაში s ოპერატორის ნაცვლად შემოგვაქვს არგუმენტი $j\omega$, სადაც ω – წრიული სიხშირე და j – წარმოსახვითი ერთიანია.

ვიღებთ ამპლიტუდურ-ფაზურ მახასიათებელს

$$\Phi(j\omega) = \frac{C_1 j\omega + C_0}{A_5(j\omega)^5 + A_4\omega^4 - A_1(j\omega)^3 + A_2\omega^2 + A_1 j\omega + A_0}. \quad (290)$$

უკანასკნელის გამოყენებით ვაგებთ სისტემის საგნობრივ-სიხშირულ მახასიათებლებს

$$U(\omega) = \operatorname{Re}[\varphi(j\omega)] \frac{R_Q(\omega)R_P(\omega) + I_B(\omega)I_P(\omega)}{R_p^2(\omega) + I_p^2(\omega)}, \quad (291)$$

სადაც:

$$R_p(\omega) + A_0 - A_2\omega^2 + A_4\omega^4; \quad (292)$$

$$I_p(\omega) + A_1\omega - A_3\omega^3 + A_5\omega^5; \quad (293)$$

$$R_0(\omega) = C_0 - C_2\omega^2, \quad (294)$$

$$I_0(\omega) = C_1\omega. \quad (295)$$

საკვლევი სისტემის სინთეზის პროცედურების ჩატარებისათვის სასურველი პროცესის სახით შერჩეული იქნა ფუნქცია

$$\varphi_2(t) = \frac{A_0 \left(\frac{a_{\varphi_1}}{2} z_m p + 1 \right)}{a_{\varphi_2} z_m^2 p + a_{\varphi_1} z_m + 1} = \frac{M^0(p)}{N^0(p)} = A_0 - A_1 e^{-\frac{u_1 t}{z_m}} + A_2 e^{-\frac{u_2 t}{z_m}}, \quad (296)$$

სადაც p – კარსონის ოპერატორი, z_m – მასშტაბური კოეფიციენტი.

$$A_1 = A_2 = \frac{A_0}{2}.$$

საკვლევი სისტემის სინთეზის შემოთავაზებული მეთოდის აპრობაციისათვის ვატარებთ კონკრეტულ საანგარიშო გამოკვლევებს. სისტემისათვის აღებული იქნა შემდეგი საწყისი პარამეტრები:

$$R_j = 0,07 \text{ ომ}, L_j = 0,32 \cdot 10^{-3} \text{ ჰნ}; c = 0,34 \frac{\text{მ}}{\text{ამპ}}; K_n = 7,5, \tau = 3,3 \text{ წმ}; \tau = 3,3 \text{ მ/წმ};$$

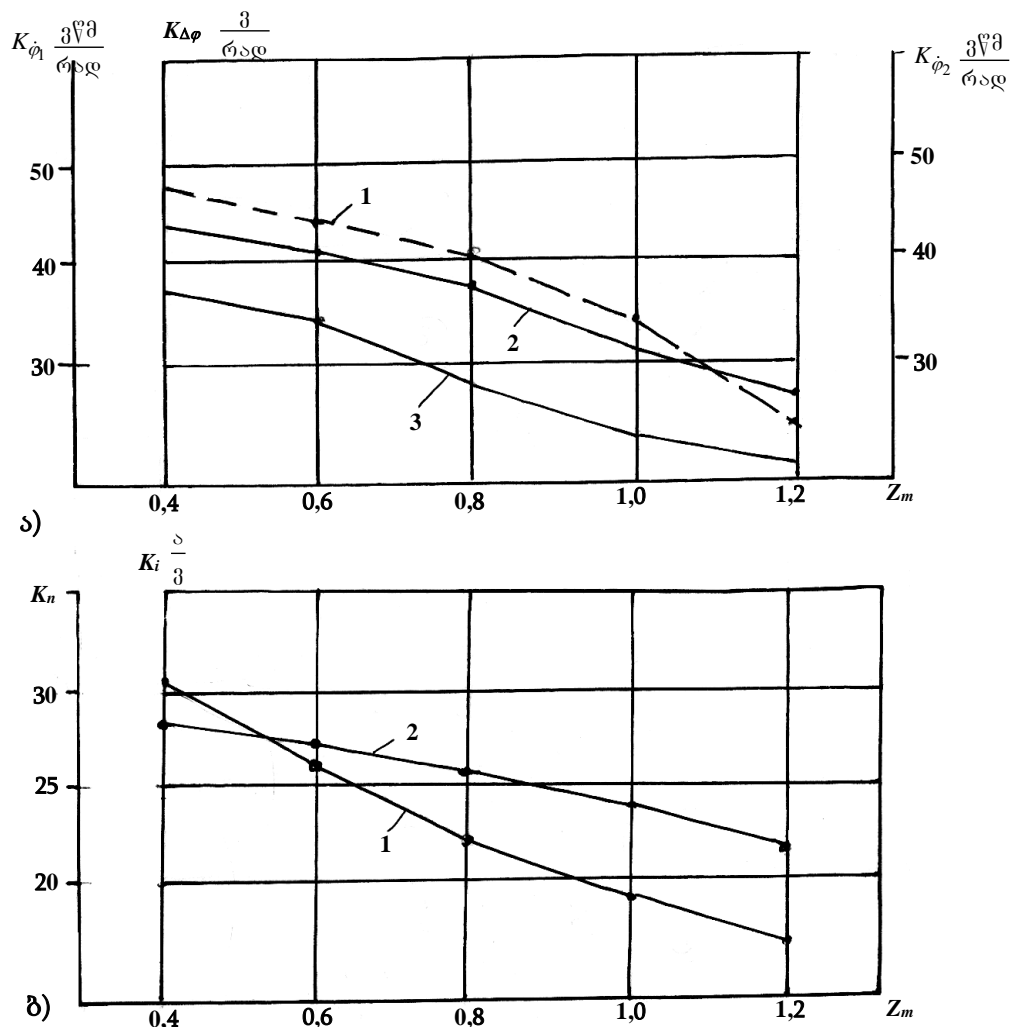
$$I_1 = 0,01 \text{ კგმ}^2; I_2 = 0,0025 \text{ კგმ}^2; C_{12} = 250 \frac{\text{მ}}{\text{რად}}; \beta_1 = \beta_2 = 0,01 \text{ და}$$

$$\beta_{12} = 0,008 \frac{\text{ნმ წმ}}{\text{რად}}$$

ჩატარებული კვლევის თანახმად, ნახ. 19 მოცემულია მიღებული პარამეტრების მნიშვნელობები ფუნქციონალურ დამოკიდებულებაში z_n მასშტაბურ კოეფიციენტთან.

საგნობრივი მახასიათებლების გამოყენებით ვაგებთ გარდამავალი პროცესების მრუდებს [118].

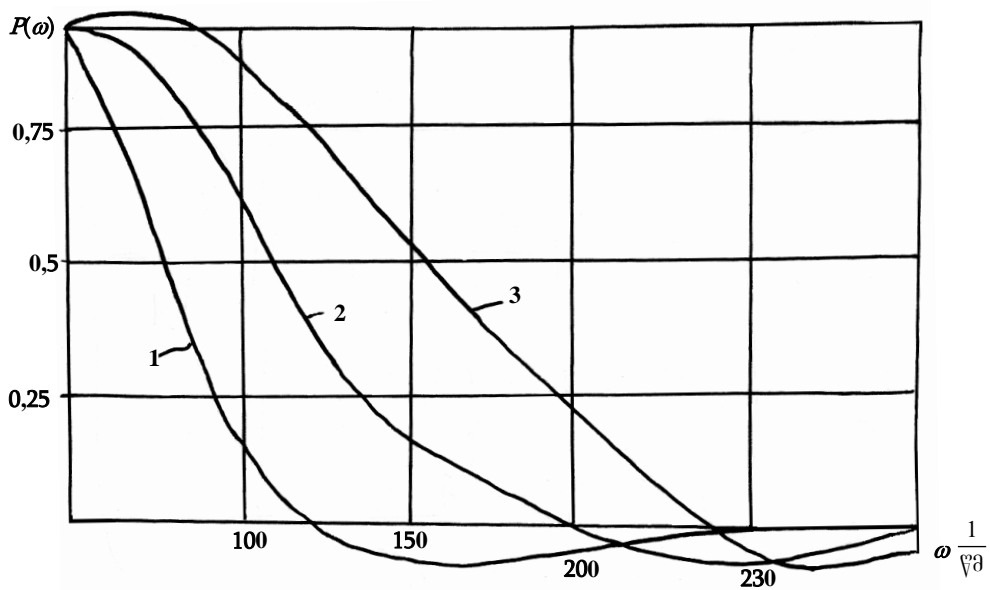
ნახ. 20 მოყვანილია საგნობრივი სიხშირული მახასიათებლები (მრუდები 1, 2 და 3), რომლებიც შეესაბამებიან z_m -ის მნიშვნელობებს: 1,0; 0,6; 0,4.



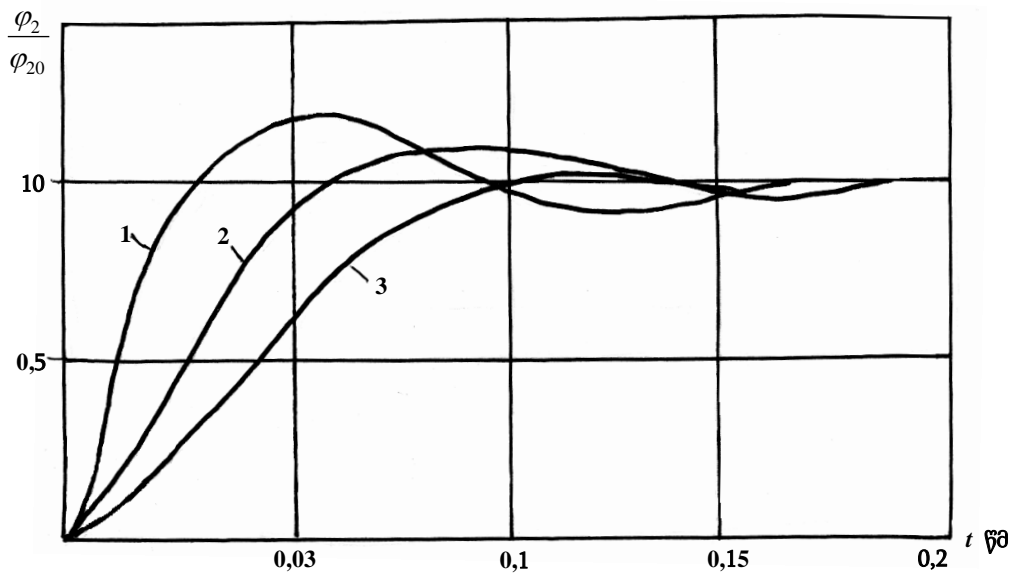
ნახ. 19. სინთეზის შედეგად მიღებული დამოკიდებულებები

ა) 1 - $K_{\phi_2}(z_m)$; 2 - $K_{\Delta\phi}(z_m)$; 3 - $K_{\phi_1}(z_m)$.

ბ) 1 - $K_n(z_m)$; 2 - $K_i(z_m)$.



ნახ. 20. სისტემის საგნობრივი სიხშირული მახასიათებლები:
 1 - $Z_m = 0,4$; 2 - $Z_m = 0,6$; 3 - $Z_m = 1,0$



ნახ. 21. გარდამავალი პროცესების მრუდები:
 1 - $Z_m = 0,4$; 2 - $Z_m = 0,6$; 3 - $Z_m = 1,0$

თვით გარდამავალი პროცესების მრუდები კი მოყვანილია ნახაზზე 21. დინამიკური მდგრადობის ანალიზთან დაკავშირებით შესაბამისად ნახ. 21 მოყვანილი პროცესისათვის λ - კოეფიციენტები ისახებიან მნიშვნელობებით.

როდესაც $z_m = 0,4$

$$\lambda_4 = 0,36, \quad \lambda_3 = 0,31, \quad \lambda_2 = 0,38;$$

როდესაც $z_m = 0,6$

$$\lambda_4 = 0,32, \quad \lambda_3 = 0,28, \quad \lambda_1 = 0,311;$$

როდესაც $z_m = 1,0$

$$\lambda_4 = 0,23, \quad \lambda_3 = 189, \quad \lambda_1 = 126, \quad \lambda = 0,32.$$

მოყვანილი მონაცემები მიგვითითებენ სისტემათა მდგრადობაზე.

დასკვნები

1. საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების სტრუქტურული აგებისა და მათი განვითარების ტენდენციების ანალიზი მიგვითითებს, რომ ფართოვდება ტექნოლოგიური მანქანების შემადგენლობა – წარმოიშვებიან ახალი სტრუქტურული დონეები. მათ პროექტირებას ემსახურება ერთიანი სისტემური მიდგომა.
2. მწარმოებლურობის და ეკონომიკური ეფექტურობის კრიტერიუმების ხარისხობრივი ანალიზი მიგვითითებს იმაზე, რომ უკანასკნელნი მრავალ წილად განისაზღვრებიან მთლიანი ტექნოლოგიური სისტემის საიმედოობრივი მახასიათებლებით. უკანასკნელნი კიდევ თავის მხრივ პირდაპირ კავშირში იმყოფებიან როგორც მჭრელი იარაღების, აგრეთვე მექანიზმებისა და მოწყობილობების მიერ განხორციელებული საწარმოო პროცესების ალბათობით მაჩვენებლებთან მათი ტექნიკური მომსახურების სქემების პარამეტრებთან.
3. ეფექტურობის კრიტერიუმების ამსახველი კანონზომიერებების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ავტომატიზებულ ჩარხებთან და საჩარხო ხაზებთან მიმართებაში უაღრესად აქტუალურია: მრავალსაიარაღო დამუშავებისა და ტექნოლოგიური პროცესების რეგულირებისა და მართვის სისტემების, ავტომატიზირებული ამძრავების სტრუქტურულ და კონსტრუქციულ სრულყოფასთან დაკავშირებული ამოცანები.
4. ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ხისტი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობის განსაზღვრის ანალიზური მოდელების აგების მეთოდოლოგიური მიდგომა მოქნილი ჩარხთაშორისი კავშირებიან სისტემებთან მიმართებაში შემოიფარგლება უმარტივესი სისტემებით, და ოპტიმიზაციურ გამოთვლებთან მიმართებაში ხასიათდებიან მეტად რთული მათემატიკური დამოკიდებულებებით.

5. გამოვლენილია, რომ მოქნილი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი სისტემების მუშაობის ცალკეული დროის ეტაპების მზადყოფნის კოეფიციენტების და გასაშუალებებული კოეფიციენტების გამოყენებით შეგვიძლია ჩამოვყალიბოთ მიახლოებითი სახის ანალიზური მოდელების აგებისათვის საჭირო კანონზომიერებები.

ჩატარებული კვლევების შედეგად მიღებულია დამაგროვებლების დამატებითი უმტყუნებლო მუშაობის დროთა განსაზღვრის და შემდგომ მთლიანი სისტემის მზადყოფნის კოეფიციენტის და მწარმოებლობის ამსახველი ორიგინალური დამოკიდებულებები.

აღნიშნული მეთოდოლოგოს შემუშავებისას განხილულია სისტემები, რომლებშიც უმტყუნებო მუშაობის გამოსახულებები დაფუძნებულნი არიან, როგორც განაწილებათა ექსპონენციალურ, აგრეთვე ნორმალურ კანონებზე.

6. შემოთავაზებულია მზადყოფნის კოეფიციენტისა და მწარმოებლობის მათემატიკური დამოკიდებულებები მრავალსაიარაღო ჩარხებისათვის და ხისტი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი ისეთი საჩარხო ხაზებისათვის, რომლებშიც მჭრელი იარაღების მიმართ გამოიყენება პროფილაქტიკური, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მიმართ კი მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა. ეს დამოკიდებულებები დამუშავების რეჟიმებთან ფუნქციონალურ კავშირშია და შემდგომი ოპტიმიზაციური გაანგარიშებისთვის თეორიულ საფუძველს წარმოადგენენ.

7. ტექნოლოგიური პროცესების ეფექტურობის შემდგომი ამაღლების თვალსაზრისით გაანალიზებულია საკვლევი მანქანათა ტექნოლოგიური სისტემების ამძრავთა მოთვალთვალე ავტომატიზირებული სისტემების ტექნიკური მაჩვენებლების სრულყოფის საკითხები და მასთან დაკავშირებით დინამიკური კვლევის მეთოდები და მეთოდოლოგიები.

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თანამედროვე ავტომატიზირებულ ტექნოლოგიურ სისტემებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს ამძრავთა მოთვალთვალე ელექტრომექანიკურმა სისტემებმა, რომელთა შემდგომი

სრულყოფისათვის. საჭიროა მათი გაანგარიშების პროცესში, როგორც სისტემათა ელემენტებში მოქმედი პროცესების უფრო სიღრმისეულ გათვალისწინებას და სინთეზის ოპტიმიზაციური მეთოდების შემდგომ სრულყოფას.

8. ცნობილი კვლევების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დინამიკური მოდელირებისა და კვლევების ეფექტურობის ამაღლების თვალსაზრისით უაღრესად მნიშვნელოვანია დრეკადი კავშირების გათვალისწინება სისტემის მრავალმასიან მექანიკურ ნაწილში. მექანიკური ნაწილის მოდელირებისა და კვლევის მეთოდების ეფექტური შეთანწყობა მთლიანი ელექტრომექანიკური სისტემის მოდელირებისა და კვლევის საკითხებთან.

9. მექანიკური ნაწილი მოდელირების საკითხის გადაჭრაში გამოყენებულია გამარტივებულ მოდელებზე გადასვლის მეთოდოლოგია, აგებული მოდიფიცირებული მახასიათებლების გამოყენებაზე.

საკვლევ სისტემათა ცალკეული ელემენტების ცნობილი და შემუშავებული მათემატიკური მოდელების და მათი შეთანწყობის საკითხების გათვალისწინებით და შემდგომი სტრუქტურული და პარამეტრული სინთეზის ამოცანების ამოხსნის მიზნით აგებულია საჩარხო მოთვალთვალე ამძრავთა სისტემის დინამიკის მათემატიკური მოდელები.

10. შემუშავებული მათემატიკური მოდელების და ცნობილი კვლევების ანალიზი მიმართული დინამიკური სინთეზის ძირითადი კრიტერიული პარამეტრების გამოვლენისაკენ მიგვითითებს სინთეზის თეორიის შემუშავების მიზანშეწონილობაზე მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით.

11. ჩატარებული კვლევის საფუძველზე ჩამოყალიბებულ ავტომატიზირებულ ჩარხებში და რობოტოტექნიკურ სისტემებში ფართოდ გამოყენებული საკვლევო ელექტრომექანიკური სისტემის ოპტიმიზაციური სინთეზის გამოყენებითი თეორიის აგების ზოგადი სქემა.

სასურველი რეგულირებადი კოორდინატების მიახლოებითი მათემატიკური ტოლობის მოდელები ჩაწერილია ცალკეული მდგენელების ჯამის სახით ლაპლასისა (ან კარსონის) გარდაქმნებში. წრფივი მამრავლებით წარმოდგენილნი არიან განსახილველი სისტემის სინთეზირებადი კრიტერიული პარამეტრები. ამის საფუძველზე განხორციელებულია მრავალპარამეტრული სინთეზის პროცედურათა მიმდევრობითი რეალიზაციის მეთოდოლოგია, რომელიც აგებულია საძიებელ პარამეტრებთან მიმართებაში წრფივი პირობითი და შემდგომ ნორმალური განტოლებების სისტემების შედგენაზე და დინამიკური მდგრადობის პირობის შემოტანაზე, რომელიც ხორციელდება დროის მასშტაბური კოეფიციენტის ვარიაციით, სასურველი კოორდინატების გამოსახულებებში.

12. მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის თეორიის შემუშავებული ზოგადი სქემის და მისი ცალკეული შემადგენელი ელემენტები მათემატიკური მოდელების და პროცედურების გამოყენებით აგებულია სტრუქტურულ-რულ-პარამეტრული სინთეზის ამოცანების ამოხსნის ალგორითმები. საკვლევი სისტემების მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით შემუშავებული სინთეზის თეორიის გარკვეული კანონზომიერებების უტყუარობის გამოვლენისათვის ნაშრომში რეალიზებულია საკვლევი მოთვალთვალე სისტემის საანგარიშო გამოკვლევები. გაანგარიშებებმა გვიჩვენეს, რომ შემუშავებული თეორია საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ სინთეზირებადი პარამეტრების მიზანდასახული შერჩევა, შედეგების რაოდენობრივი და ხარისხობრივი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ გარდამავალი პროცესები სინთეზირებულ სისტემაში საკმაოდ ახლოსაა მოცემულ პროცესებთან.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Ильинский Д.Я., <<Основы синтеза систем машин автоматического действия>> М.: Наука., 1983. – 280 с.
2. Ковшов А.Н. Технология машиностроения. М.: Машиностроение, 1987., 320 с.
3. Проектирование оптимальных технологических систем машин. / Под ред. проф. А.И. Дащенко и проф. Я. Буды. М.: Машиностроение, 1989. – 344 с.
4. Кузнецов М.М., <Проектирование автоматизированной систем> – М.: Машиностроение, 1987; 288с.
5. Имитационное моделирование производственных процессов / Под ред. А.А. Вавилова. – М.: Машиностроение; Техника, 1983. 416 с.
6. Кузнецов М.М., Волчкевич Л.И., „Автоматизация производственных процессов“. М.: Выс. шк.а, 1978. – 431 с.
7. Волчкевич Л.И. Надежность автоматических линий. <Машиностроение>, 1969. – 209 с.
8. Автоматические линии в машиностроении.. / Под ред. А.И. Дащенко. – М.: Машиностроение, 1976.
9. Белоусов А.П. Дащенко А.И., Проектирование автоматических систем:– М.: Высш. школа, 1983. – 328 с.
10. Автоматические линии для механической обработки: Каталог. М.: НИИмаш. 1982; – 112 с.
11. Владзиевский Л.П. <Типовые автоматические линии для механической обработки>. – М.: МАШГИЗ, 1962. – 92 с.
12. Автоматические линии из агрегатных станков / Н.М. Вороничев, В.Б. Генин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 487 с.
13. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. «Машиностроение», 1973.: – 640 с.
14. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы. Кн. 10. А.Н. Феофанов и др. Гибкие автоматизированные линии массового и крупносерийного производства. / Под. ред. Б.И. Черпакова. М.: высш. школа, 1989. – 122 с.
15. Жукова Э.Л. <<Ритмичность автоматических линий / Механизация и автоматизация производства>>. 1985. № 9.
16. Гибкие системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы. Кн. 1. Б.И. Черпаков, И.В. Брук. Гибкие механообрабатывающие производственные системы / 1989. – 127 с.
17. „Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы“. Практик. пособие.. Кн. 3. Л.М. Кордыш, В.Л. Косовский. Гибкие производственные модули / Под. ред. Б.И. Черпакова. 1989., – 111 с.
18. Волоценко П.В. Агрегатно-модульный принцип построения многооперационных сверлильно-фрезерно-расчетных станков. М.: 1982.

19. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. Учебн. пособие для вузов / И.М. Макаров, П.Н. Белянин, Л.В. и др.; Под ред. И.М. Макарова. – М.: Высш. школа, 1986. – 176 с.
20. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы. В кн. Кн. 2 / Практик. пособие под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Высшая школа, 1989.- 112 с.
21. Гибкие производственные комплексы ; Под ред. П.Н. Беянина и В.А. Лещенко. М.: Машиностроение, 1984., – 384 с.
22. Модульное оборудование для производственных систем механической обработки: Под ред. Р.Э. Сафрогана. – К.: Тэхника, 1989., – 175 с.
23. Меткин Н.П., Клейменов С.А., Лапин М.С., <<Гибкие производственные системы>>. – М.: 1989., – 310 с.
24. Байхельт Ф., Франкен П. „Надежность и техническое обслуживание“. Математический подход: Пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
25. Ястребенецкий Н.А., Иванова Г.М., << Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами>>: Учебн. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989., – 264с.
26. Егоров М.Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. – М., Высш. школа. 1960. – 480 с.
27. Воеводин В.М., Гибкие автоматические линии // Станки и инструмент. 1985. № 10.
28. Хартли Дж., ГСП в действии: – М.: 1987., – 328 с.
29. <<Промышленная робототехника и гибкие производства>>: Под ред. проф. Е.И. Юревича. – Л.: Лениздат, 1984., – 223 с.
30. Kearney and Trecker Corp., - Eand T's Worlds of Manufackturing systems. Nilwankee, Wis., 1980.
31. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы: Робототехнические комплексы / Под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Высш. школа, 1989. – 95 с.
32. Гибкие производственные системы Японии / Под ред. Л.Ю. Лищинского. – М.: Машиностроение. 1987. – 232 с.
33. Автоматизация дискретного производства / Под общ. ред. Е.И. Семенова, Л.И. Волчкевича. – М.: Машиностроение: София: Техника, 1987. – 376 с.
34. Гибкие производственные системы в металлообработке / О.А. Барский, С.Д. Вайс, и др. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 76 с.
35. Гибкие производственные системы, роботы, робототехнические комплексы. Кн. 4. Л.И. Волчкевич, Б.А. Усов. М.: Высш. школа, 1989. – 112 с.
36. Лищинский Л.Ю. Технология, организация и экономика машиностроительного производства. – М.: ВНИИТЭМР, 1985. – 64 с.
37. ГПС Европы и США. – Масинеуто, 1981.
38. Дымарский Я.С., Морозов В.П., Элементы теории управления ГАП. – Л.: Машиностроение, 1984. 384 с.

39. Гибкое автоматическое производство / Под общ. ред. С.А. Майорова, Г.В. Орловского, С.Н. Халкионова. – 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1985. – 454 с.
40. Норенков И.П. Автоматизированное проектирование технических устройств и систем. – М.: 1986. – 304 с.
41. Васильев Г.Н., << Автоматизация проектирования станков>>. – М.: Маш. 1987., – 280 с.
42. Шаумян Г.А; Кузнецов М.М.,. Автоматизация производственных процессов. М.: Высш. школа, 1967. – 471 с.
43. Вентцель Е.С., Прикладные задачи теории вероятностей. М.: Наука, 1983. – 231 с.
44. Гордиенко Б.И., Краплин М.А. Оптимальные металлрежущих станков. Ростов-на-Дону. 1969. – 408 с.
45. Брауде В.И., Семенов Л.Н. Надежность подъемно-транспортных машин. Л.: Машиностроение, 1986., 183 с.
46. Севостьянов Б.А. Задача о влияние бункеров на среднее время простоя. Том VII. 1964. вып. 4.
47. Артоболевский И.И., << Теория механизмов>>. – М.: Наука, 1967., – 720 с. с ил.
48. Артоболевский И.И.; Курс механизмов и машин. М.: Высшая школа. , 1975., – 320 с.
49. Артоболевский И.И., Теория механизмов. – М.: Машгиз, 1960., – 212 с.
50. Артоболевский И.И., Ческудинов С.А. „Синтез плоских механизмов“. – М.: Физматгиз, 1959. – 184 с.
51. Добровольский В.В., Артоболевский И.И. Структура и классификация механизмов. – М.: 1939. – 66 с.
52. Артоболевский И.И., Сборник задач по теории механизмов. – М.: Наука, 1975. – 156 с.
53. Franke R., << Eine vergiechende Schalt und Getziebelchre>>. Neue Wege der. Kinematik Munchen n. Berlin, Oldenburg. 1930.
54. Левитский И. Теория механизмов. – М.: Машиностроение, 1979, 252 с.
55. Левитский И. Колебания в механизмах. М.: 1981., – 276 с.
56. Черкудинов С.А., << Синтез плоских шарнирно-рычажных механизмов>>. Изд. А СССР. 1959.
57. Джабуа Г.А., Езикашвили О.С. „Аналитическое определение ускорений звеньев в плоских семизвенных шарнирно-рычажных механизмах“. /Труды Грузинского политехнического института им. В.И. Ленина. / № 1, 1975., - 174 с.
58. Баранов Г.Г., Теория механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1975., – 494 с.
59. Тавхелидзе Д.С., << Исследование пятизвенных>>. – Тбилиси, изд. Мецниереба. , 1972. – 154 с.
60. Кожевников С.И., Раскин Я.М., Есипенко А.И., Механизмы. М.: Машиностроение, - 1973., – 584 с.

61. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985., 472 с.
62. Цзе Ф.С., Хинка Р.Т., - „Колебания машин“ . – М.: Машиностроение, 1966. – 508 с.
63. Юдин В.А., Петроскас Л.В. Курс теории механизмов и машин. Высшая школа, 1971. – 403 с.
64. Кудинов В.А., Динамика станков. – М.: 1967., – 356 с.
65. Манжос Ф.М. Деревообрабатывающее оборудование. 1962 – 575 с.
66. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. – М.: Наука, 1980. – 368 с.
67. Диментберг М.Ф., Нелинейные стохастические задачи механических колебаний. – М.: Наука, 1980.. – 368 с.
68. Тавхелидзе Д.Д., Аль-Марджи А.Л. <<К вопросу определения собственных чисел шарнирных механизмов>. Сб. трудов ГПИ им. В.И. Ленина, 1989. – С.7-9.
69. Орурк И.А., Приближенная машинная оптимизация нелинейных САУ // Приборостроение, 1981, № 2, с. 35-40.
70. <Нелинейные задачи динамики и точности машин> / Под ред. В.А. Вейца – П., Изд-во Ленинград, Ун-та, 1983. – 335 с.
71. Пальмов В.А. Колебания пластических тел. М.: Наука, 1976., – 327 с.
72. Сергеев С.И., Демпфирование колебаний. / М.: Маш. 1959., – 407 с.
73. Карташев А.П. Дифференциальные уравнения и основы вариационного исчисления. – М.: Наука, 1980. – 287 с.
74. Вейц В.Л., Когура А.Е; Коловский М.З.,. Динамика управляемых машинных агрегатов. / М.: 1984. – 352 с.
75. Вейц В.Л., Чиряев В.И. „Колебания в металлорежущих станках“. – М.: Машгиз, 1989. – 286 с.
76. Коловский М.З. , Динамика машин. Л.: Машиностроение, 1989., – 263 с.
77. Тавхелидзе Д.Д., <<Исследование механизма листоукладывателя с учетом динамических характеристик исполнительной системы>> . Сб. трудов ГПИ им. В.И. Ленина, 1989, . – С.5-7.
78. Казак С.А., Динамика мостовых кранов. / М.: Машиностроение, -1968, 332 с.
79. Комаров М.С., Динамика механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1968, . - 332 с.
80. Адамия Р.Ш., „Оптимизация динамических нагрузок прокатных станов“. М.: Металлургия, 1978., – 232 с.
81. Голубенцев А.Н., Интегральные методы в динамике. Киев.: Техніка, 1967,. – 350 с.
82. Вейц В.Л., Дондошанский В.К., <<Колебания металлорежущих станков>>. – М.-Л. 1959. – 285 с.
83. Красников Ю.Д., Хургин З.Я и др. <Оптимизация привода выемочных и проходческих машин>. М.: Недра, 1983. - 264 с.
84. Гидравлический следящий привод / Под ред. В.А. Лешенко. – М.: 1968. – 564 с., с ил.

85. Герц Е.В., Кребник Г.В. Расчет пневмоцилиндров. Б.К. - М.: Машиностроение, 1975. – 272 с., с ил.
86. Хлыпало Е.И. Нелинейные системы автоматического регулирования. – Л.: Энергия, Ленинград. от-ие, 1967. – 452 с., ил.
87. Вульфсон И.И., << Колебания машин циклового действия>>. – Л.: Машиностроение, 1990. – 309 с.
88. Вульфсон И.И., Коловский М.З. <<Задачи динамики машин>>. – Л.: Машиностроение, 1968. – 284 с., ил.
89. Островский М.Я., Чечурин С.Л. Стационарные модели системы автоматического управления. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 208 с., ил.
90. Воронов А.А., Основы теории автоматического регулирования. Часть II. – Энергия, 1965., – 208 с., ил.
91. Виноградов Е.Е., Островский М.Я. Расчет периодических нестационарных систем. Изд-во ЛГУ. 1985. 122-129 с.
92. Красовский А.А., Поспелов Г.С. <<Основы автоматики и технической кибернетики>>. – М.-Д.: Госэнергоиздат, 1962. – 600 с., ил.
93. Биссекерский В.А., „Теория систем автоматического регулирования“. М.: Наука, 1975. – 768 с., ил.
94. Кринецкий И.И. Расчет нелинейных автоматических систем. – Киев: 1968., – 312 с.
95. Нелинейные системы управления. – М.: Машиностроение, 1979. – 568 с., ил.
96. Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления. // Под ред. А.А. Воронова и И.А. Огурка. / М.: Наука, 1984., – 344 с.
97. Огурк И.А. <<Новые методы синтеза нелинейных и некоторых нелинейных динамических систем>>. – М.-Л.: Наука, 1965. – 208 с.
98. Саркисян С.А., Ахундов В.М., Минаев Э.С. Большие технические системы. – М.: Наука. 1977., – 350с.
99. Робототехника и гибкие автоматизированные производства Кн. 5. Моделирование робототехнических систем /; Под ред. И.М. Макарова. – М.: Высш. школа, 1986. – 175с.
100. Системы автоматизированного проектирования. Кн. 6. /Под ред. И.П. Норенкова. – М.: Высш. шк.; 1986. – 191 с.
101. Системы автоматизированного проектирования. В 9-ти кн. / И.П. Норенков. Кн. 1. Принципы построения и структура. М.: Высш. школа, 1986, . – 127 с.
102. Технологические основы ГПС/ Под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Машиностроение, 1991, 240 с.
103. Гнеденко Б.М., Коваленко И.Н., Введение в теорию массового обслуживания. - М.: Наука, 1987., – 336 с.
104. Михайлов О.П. Перспективы развития автоматизированного электропривода металлорежущих станков// Электричество, 1985, № 10, с. 11-17.
105. Мchedlishvili Т.Ф. К вопросу производительности автоматических технологических линиях // Обработка материалов резанием. Труды ГПИ, Тбилиси, 1990, № 8(364), с. 21-24.
106. Лещенко В.А. Гидравлические следящие приводы станков с. М.: Машиностроение, 1975, 288с.

107. ნ. ჩხოლარია. “ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების ფუნქციონალური და სტრუქტურული მოდელირება და პარამეტრული სინთეზის ამოცანები”. - დისერტაცია სადოქტორო აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად. - თბილისი, 2016. - 150 გვ.
108. Мchedlishvili Т.Ф., Гордиенко Б.И., Деметрашвили К.Г., Чхолария Н.Н. Повышение эффективности производственных процессов на станках и станочных комплексах. Комитет ИФТоММа Грузии. - Тбилиси. 2013., - 206 с.
109. V. Iobadze., T. Mchedlishvili., M. Kachibadze., Kh. Amkoladze., Z. Gviniashvili. <<To optimization of prime Cost of producion Process of Canc-type mechanical Pant>> // Procedings of Mechanocs 2016. The International Scientific Conference of Mechanics, Tbilisi, 2016, pp. 111-116.
110. Дашенко А.И. Проектирование автоматических систем. М.: Высш. шк., 1983, 328 с.
111. Решетов Д.Н., Фадеев В.З., Иванов А.С. Надежность машин. М.: Высш. шк., 1985, - 304 с.
112. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. М.: Высш. шк., 304с.
113. Мchedlishvili Т.Ф., Краплин М.А., Деметрашвили К.Г., <<Повышение производственных процессов на автоматизированных станках >> / Комитет ИФТоММа Грузии, Тбилиси, 2015. -206 с.
114. Иобадзе В.Ш., Чхолария Н.Н., Мchedlishvili Т.Ф., Гвინиашвили З.М., Кашибадзе М.В. “К оптимизации производительности производственного процесса на многоинструментальных станках и станочных комплексах” / Транспорт и машиностроение, № 3(31), Тбилиси, 2014, - 80-86 с..
115. Иобадзе В.Ш., Мchedlishvili Т.Ф., Кашибадзе М.В., Амколадзе Х.М. <<К вопросу оптимизации процесса обработки на многоинструментальных станках с учетом режима профилактической смены инструмента>> // Транспорт и машиностроение. Тбилиси № 1(38), 2017., с. 19-26.
116. Гордиенко Б.И., Качество инструмента и производительность. Издательство Ростовского университета, Ростов, 1966. 580 с.
117. V. Iobadze., T. Mchedlishvili., 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.
118. Вйзерман М.А., Гантмахер Ф.Р. Об определении периодических режимов в нелинейной динамической системе. Прикладная математика и механика, 1956, т. 20, вып. 5, с. 225-233.
119. Банах Л.Я. <<Упрощение расченных схем динамических систем>>. // В кн. Колебания и динамическая прочность элементов машин. М.: Наука, 1976., 39-46с.
120. Ривин Е.И., Динамика приводов станков. М.: Машиностроение, 1966., - 206с.
121. Динамика машин и управление машинами / В.К. Асташев, В.И. Бабицкий и др. - М.: Машиностроение, 1988., 240 с.

122. Казак С.А. “Динамика мостовых кранов” . - М.: Машиностроение, 1968. – 332 с.
123. Михайлов О.П. Динамика электромеханического привода. М.: Машиностроение, 1989. 224 с.
124. Огурк И.А. Новые методы синтеза нелинейных динамических систем. – М.-Л.: Наука, 1965. – 208 с., ил.
125. Оптимальный синтез систем управления // Под ред. А.А. Воронова., И.А. Огурка. - М.: Наука, 1985., – 344 с.
126. Мchedlishvili Т.Ф. Некоторые вопросы синтеза многосвязной системы приводов манипуляционного робота. // Межвузовский сборник научных трудов. Изд-во Мосстанкина, М.: 1985. С. 157-178.
127. Ниорадзе Г.Г., К синтезу многосвязной системы приводов манипуляционного робота // Georgian Engineering News, Тбилиси, 2000. с. 68-100.
128. Мchedlishvili Т.Ф. К синтезу сложных нелинейных систем регулирования. // Респ. Межведоственный сборник, вып. 10, Киев.: Техника, 1982. – С. 15-19.
129. Диасамидзе Т.А., Диасамидзе А.А., Диасамидзе Р.Р., Романадзе И.Р. « К исследованию динамики электромеханической управления курсом судна” / Транспорт и машиностроение, № 1(23), Тбилиси, 2012. - 101-106 с.
130. Мchedlishvili Т.Ф. Научные основы и прикладные задачи синтеза нелинейных систем приводов по заданным переходным процессам. Технический университет., - Тбилиси, 2008., – 273 с.
131. Ту Ю. Современная теория управления; - М.: Машиностроение 1971., – 472 с.
132. Диасамидзе Т.А., Диасамидзе М.Р. К вопросу динамики судовой системы привода руля / Транспорт и машиностроение, № 2(277), Тбилиси, 2013. с.71-77.
133. Иванов В.А., Медведев В.С., Чемоданов Б.К.<<Основы теории автоматического регулирования>>. М.: Высшая школа. 1977., – 516.
134. Первозванский А.А., <<Курс теории управления>>. М.: Наука, 1986. – 616 с.
135. Соколов Н.И., Аналитический метод синтеза линеаризованных систем автоматического регулирования. М.: Машиностроение. 1986. – 328 с.
136. Тавадзе А.Т., Диасамидзе Р.А., Мchedlishvili Т.Ф. К синтезу электрогидравлической системы управления // Транспорт, Тбилиси, 2012. № 3-4 (47-48)., 14-15 с..
137. Анализ и оптимальный синтез систем управления // Под ред. А.А. Воронова. М.: Наука, 1984. – 344 с.
138. Яворский В.Н., Макшанов В.И., Ермалин В.П. Проектирование нелинейных следящих систем. Л.: Энергия, 1978. – 208 с.
139. Мchedlishvili Т.Ф., Романадзе И.Р. <<К вопросу оптимизационного синтеза электромеханических следящих приводов>> // The international

- scientific conference dedicated to the 90th anniversary of Georgian technical university. Tbilisi, Georgia, 2012, pp. 191-195.
140. V. Iobadze., T. Nchedlishvili., T. Diasamidze., P. Diasamidze., N. Nakashidze. "On issue of optimization synthesis of Electromechanical Follow-up Drives with elastic Coupling in mechanical Part" // Problems of Mechanics, Special Issue international Conference Mechanics - 2014, Tbilisi, № 2(55), pp.161-166.
 141. Мчедlishvili Т.Ф. К вопросу синтеза сложных систем регулирования по заданным процессам // Транспорт и машиностроение. № 1. 2012, Тбилиси, с. 22-28.
 142. Мчедlishvili Н.П. <К вопросу оптимизационного синтеза сложных систем регулирования>/Транспорт и машиностроение, №1(23), Тбилиси, 2013. с. 55-56.
 143. Мчедlishvili Т.Ф., Кирия В.И., Голетиани Г. "К вопросу динамика электромеханической системы привода с упругими звеньями в механической части". / «Иновационные технологии и материалы». Тбилиси, технический университет, 2011, с. 80-91.
 144. Иобадзе В.Ш., Мчедlishvili Т.Ф., Гварамадзе Т.М., Микадзе З.И., Сурмава З.С. <<К оптимизационному синтезу электромеханического следящего привода с упругими звеньями в механической части>> // Транспорт и машиностроение, №3(37), Тбилиси, 2016 с 32-38.
 145. V. Iobadze., T. Nchedlishvili., Z. Surmava., T. Kapanadze., G. Bagdavadze. "To issue of optimization of dynamic loadz in multimas mechanical Drive System" // Problems of Mechanics, Tbilisi, № 1(66), 2017, pp. 33-38.