

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნოდარ ჩხოლარია

ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების ფუნქციონალური
და სტრუქტურული მოდელირება და პარამეტრული
სინთეზის ამოცანები

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
სადოქტორო პროგრამა: მანქანათმცოდნეობა, მანქანათმშენებლობა
და საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები შიფრი 0408

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივლისი, 2016 წელი

საავტორო უფლება © 2016 წელი, ნოდარ ჩხოლარია
თბილისი
2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი
საწარმოო ტექნოლოგიური მანქანების და მექატრონიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ტ.მ.დ., პროფესორი თამაზ მჭედლიშვილი

რეცენზენტები: ტ.მ.დ., ასოც. პროფესორი გივი ხვიჩია

ტ.მ.კ.

ნუგზარ სულამანიძე

დაცვა შედგება ----- წლის "-----" ივლისს, 15⁰⁰ საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და
მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 617 გ

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2015 წელი

ავტორი: ჩხოლარია ნოდარი

დასახელება: ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების
ფუნქციონალური და სტრუქტურული მოდელირება და
პარამეტრული სინთეზის ამოცანები

ფაკულტეტი : სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობა

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: თარიღი

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

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

თანამედროვე მანქანათმშენებლობისათვის დამახასიათებელია წარმოების ეფექტურობის და გამოშვებული პროდუქციის ხარისხის ამაღლების პრობლემა, რომელიც ამაღლებული ტექნიკური მახასიათებლების მქონე ცალკეული მანქანების და მანქანათა სისტემების შექმნასთან და მათი გამოყენების სფეროს გაფართოებასთან ერთად პირველ რიგში ეფუძნება წარმოების ინტენსიურ ფაქტორებს: შრომის მწარმოებლურობის და ყველა სახის საქმიანობის ეფექტურობის ამაღლებას, საშუალებების, რესურსების და შრომის იარაღების ეკონომიას.

აღნიშნულთან დაკავშირებით ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების (ავტომატიზებული ჩარხების, საჩარხო ხაზების და კომპლექსების), ფუნქციონალური და სტრუქტურული აგების, მწარმოებლურობის ოპტიმიზაციურ გაანგარიშების, ამ სისტემათა ავტომატიზებული 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:

- არსებული ავტომატიზებული და ავტომატური ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემების შემადგენლობისა და სტრუქტურის ანალიზი, წაყენებული მოთხოვნების და ფუნქციონირების შემფასებელი მახასიათებლების გამოვლენა;
- ძირითადი კანონზომიერებების გამოვლენა და მრავალსაიარაღო საჩარხო სისტემების და ავტომატური ხაზების მიერ განხორციელებული საწარმოო პროცესების მწარმოებლურობის მაჩვენებლებთან და მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მუშაობის საიმედოობასთან დამაკავშირებელი ფუნქციონირების მათემატიკური მოდელების აგება;
- ტექნოლოგიური პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება მაქსიმალური მწარმოებლურობის პირობიდან გამომდინარე სისტემებისათვის, რომლებშიც გამოიყენება მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მწყობრიდან გამოსვლის მომენტებთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა;
- მწარმოებლურობის ამსახველი ძირითადი მათემატიკური დამოკიდებულებების გამოვლენა, ფუნქციონირების მოდელების აგება, კვლევის მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება. მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების საიმედოობის მახასიათებლებთან ფუნქციონალურ კავშირში სისტემებისათვის, რომლებშიც მჭრელი იარაღების მიმართ გამოიყენება პარალელური და მექანიზმებისა და მოწყობილობების მიმართ კი მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა;
- დინამიკის მათემატიკური მოდელირება და სინთეზის მეთოდოლოგიის შემუშავება მოცემული გარდამავალი პროცესის მიხედვით დრეკად-

- რგოლებიანი მექანიკური ნაწილის შემცველ მუშა ორგანოს კუთხური სიჩქარის სტაბილიზაციის ამძრავთა ელექტრომექანიკურ სისტემაში;
- ამძრავთა ელექტრომექანიკური სისტემების მათემატიკური მოდელირება და კვლევა დრეკადობისა და ღრეჩოების გათვალისწინებით ამძრავთა მექანიკურ ნაწილში .

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

განხილულია ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემების (ავტომატური ხაზების, მოქნილი საწარმოო მოდულების, მოქნილი ავტომატური ხაზების, ავტომატური უბნების და ა.შ.) სტრუქტურული აგების თავისებურებების ანალიზთან დაკავშირებული საკითხები. გაანალიზებულია მათი გამოყენების სფეროები და ზოგიერთი პრინციპიალური მიდგომები მათ გაანგარიშებასთან და პროექტირებასთან, საჩარხო სისტემებში ფართოდ გამოყენებული ამძრავთა ავტომატიზებული სისტემების ფუნქციონალური შესაძლებლობების და მახასიათებლების შემდგომ სრულყოფასთან დაკავშირებით ჩატარებულია მათი მოდელირებისა და კვლევის საკითხების მიმოხილვა. კერძოდ გაანალიზებულია როგორც მექანიკური ნაწილის მოდელირება, ასევე მთლიანობაში ამძრავთა სისტემების აგებისა და კვლევის მეთოდები და მეთოდიკები.

ნაშრომის ძირითად ნაწილში გაანალიზებულია ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობის და საიმედოობის საფუძვლები, საიმედოობის თეორიის ძირითადი კანონზომიერებები და მათი მათემატიკური დამოკიდებულებები. ნაჩვენებია, რომ მწარმოებლურობის გაანგარიშება საიმედოობის თვალსაზრისით დაფუძნებულია ალბათობითი ფუნქციონირების კანონზომიერებებზე. გაანალიზებულია ავტომატური ხაზების მტყუნებათა და უმტყუნებო მუშაობის ალბათობების გათვლის მეთოდიკები.

შესწავლილი იქნა ჩარხთაშორისი მაგროვებლების მქონე ხაზების მწარმოებლურობის და საიმედოობის აღწერისათვის საჭირო მიდგომები.

შემოთავაზებულია პირველადი მიახლოებითი კვლევებისათვის მეტად საჭირო მზადყოფნის კოეფიციენტების განმსაზღვრელი მათემატიკური დამოკიდებულებების აგების მეთოდოლოგია.

შემუშავებულია ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობის მათემატიკური გამოსახულებების აგების მეთოდოლოგიური საფუძვლები ფუნქციონალურ კავშირში, იარაღებისა და მექანიზმების საიმედოობის პარამეტრებთან, რომლებიც თავის მხრივ წარმოდგენილნი არიან ცხადი ფუნქციონალური დამოკიდებულებებით საკვლევი სისტემების ტექნოლოგიურ პარამეტრებთან.

მიღებული იქნა მზადყოფნის კოეფიციენტების და მწარმოებლურობის გამოსახულებები, როგორც ჩარხი-ავტომატებთან (კერძოდ ვერტიკალური მრავალშპინდელიან სახარატო ჩარხებთან), აგრეთვე ავტომატურ ხაზებთან მიმართებაში. თავის მხრივ აღნიშნული საჩარხო სისტემები ახორციელებენ

მრავალიარადის დამუშავებას ტექნოლოგიურ პროცესის ორგანიზაციის შემდეგი სქემების მიხედვით:

1. იარაღების შეცვლა და მექანიზმების ტექნიკური მომსახურება, მათი მწყობრიდან გამოსვლის შესაბამისად;
2. იარაღების პარალელური შეცვლა და მექანიზმების ტექნიკური მომსახურება მათი მწყობრიდან გამოსვლის შესაბამისად.

მიღებული მათემატიკური დამოკიდებულებები საშუალებას იძლევიან, რათა განხორციელებული იქნას ტექნოლოგიური პარამეტრების ოპტიმიზაციური შერჩევა. აღნიშნულთან დაკავშირებით ნაშრომში აგრეთვე ჩატარებულია კონკრეტული საანგარიშო გამოკვლევები.

შემდგომში განიხილებიან ჩარხების მთავარი მოძრაობების და მიწოდებათა კინემატიკურ ჯაჭვებში ფართოდ გამოყენებულ ელექტრომექანიკურ ამძრავთა სისტემებთან დაკავშირებული ამოცანები. ამ სისტემათა ხარისხობრივი მაჩვენებლები მნიშვნელოვან ზემოქმედებას ახდენენ საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების მუშაობის ეფექტურობაზე.

ცალკეული ელემენტების მოდელების გათვალისწინებით აგებულია სისტემათა დინამიკური მოდელები, დინამიკური სტრუქტურული სქემები და გადამცემი ფუნქციები. დინამიკური მოდელირებისას განხილულია სისტემათა ვარიანტები მექანიკურ ნაწილში დრეკადობისა და ღრეჩოების არსებობის გათვალისწინებით.

მიღებული იქნა ორიგინალური მათემატიკური მოდელები:

განხილულია გაშლილი ფორმით საკვლევი სისტემების მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდოლოგიის ცალკეული ეტაპები და პროცედურები.

სინთეზის მეთოდოლოგიის რეალიზაციის თვალსაზრისით: შერჩეული იქნა სისტემებისათვის სასურველი პროცესების გამოსახულებები; მიღებული იქნა პირობითი და ნორმალური განტოლებათა სისტემები, ჩაწერილნი საძიებელ პარამეტრებთან მიმართებაში, მოცემულია ნორმალურ განტოლებათა სისტემის ამონახსნების გამოსახულებები და დინამიკური ანალიზისათვის საჭირო კანონზომიერებები.

კვლევის ჩამოყალიბებული პროცედურების აპრობაციისათვის ჩატარებული იქნა საინჟინრო გამოკვლევები გარკვეული საწყისი პარამეტრების მქონე სისტემასთან მიმართებაში.

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

Abstract

Modern machine building is characterized by problem of improvement of production efficiency and production quality that with development of having increased technical characteristics individual machines and machine systems and expansion of their scope, primarily is based on the intense factors of production: increasing of efficiency of labor productivity and all kinds of activities, saving in facilities, resources and labor tools.

In connection with this aim of the work is presented in the development of automated machine tools systems (automated machine tools, machine tools lines and complexes) functional and structural development, productivity optimization calculation, dynamic modeling of these systems automated driving and optimization of research methods and methodology, with a focus for improvement of design solutions quality and effectiveness of scientific validity.

To achieve the intended purposes in the research objectives are included:

- The analysis of current automated and automatic technological machines systems composition and structure, influence of raised requirements and assessment of the functionality characteristics;
- Construction of functioning mathematical models related to revealing of main objectives of laws and executed by multi-tool machine tools systems and automatic lines manufacturing processes performance indicators and cutting tools, machinery and equipment operational reliability;
- Development of technological parameters calculation methods and techniques for maximum productivity condition for a system, in that are used the maintenance scheme related to cutting tools, machinery, and equipment breakdowns moments;
- Revealing of basic mathematical dependencies foreexpression of productivity, construction of the operation models, development of research methods and techniques. For functionally relation of cutting tools, machinery, and equipment reliability characteristics with systems, in which for cutting tools are used parallel mechanisms and related to the devices failure maintenance scheme;
- Mathematical modeling of the dynamics and development of the synthesis methodology for the transition process according to the containing elastic-links mechanical part working body for the stabilization of angular velocity in electromechanical drive system;
- Mathematical modeling of drives electromechanical systems and research with taking into account elasticity and clearances in the mechanical part of the drives.

In the introduction part of the thesis is justified actuality of dissertation work, conducted review of widely used in a practice automated and automatic machine tools systems.

Are considered related to the analysis of technology machine systems (automated lines, flexible manufacturing modules, flexible automatic lines, automatic sites, etc.) structural construction features issues. Are analyzed their

application scopes and some of the principal approaches to their calculation and design of systems widely used in machine tools drives automated systems functional capabilities and characteristics further improvements have been carried out review of issues of their modeling and research. In particular are analyzed the modeling of mechanical part, as well as the whole drive systems design and research methods and methodologies.

In the main part of work is analyzed the fundamentals of machine tools and machine tools systems capability and reliability, the basic laws of the reliability theory and their mathematical relations. It is shown that the calculation of productivity in terms of reliability is based on probabilistic functioning laws. Are analyzed automated lines failure and the running work probability calculation methods.

Is studied the necessary approaches for describe the having machine tools collectors lines productivity and reliability.

Is proposed rather required for first approximation researches methodology for defining of mathematical relations construction of readiness coefficients.

Are developed methodological fundamentals for mathematical expressions construction of automated machine tools productivity in functionally relation, with tools and mechanisms reliability parameters, which in turn are represented by implicit functional relation to the technological parameters of the studied systems.

Were obtained expressions of readiness factor and productivity with respect of automatic machine (in particular vertical gangspindle turning machines), as well as automatic lines. In turn the mentioned machine tools systems perform the organization of multi-tool processing technological process according to the following schemes:

3. Change the tools and maintenance of mechanisms, according to their failure;
4. The parallel change of tools and maintenance of mechanisms according to their failure.

The obtained mathematical dependencies makes it possible to achieve the optimization selection of technological parameters. In the work also is carried out in connection with the mentioned specific reporting studies.

Then are considered the related to widely used in electromechanical drive systems of machine tools main movements and supply kinematical chains tasks. The qualitative indicators of these systems make significant impact on efficiency of operation of machine-tools technological systems.

With taking into account the models of individual elements are constructed dynamic models of systems, dynamic structural schemes and transfer functions. At dynamic modeling are considered systems options for the mechanical part with taking into account the elasticity and existence of clearances.

Are obtained the original mathematical models:

Is considered with extended form accordingly of transfer processes of systems under study the individual stages and procedures of the methodology of synthesis.

In the terms of methodology of synthesis: were selected the desired for systems process expressions; were obtained conditional and inadequate systems of equations, written down with respect to the desired parameters, are stated expressions for the normal simultaneous equations solutions and required for the dynamic analysis laws.

For the approbation of established research procedures were conducted engineering studies respect to the having certain initial parameters system.

The conducted studies have shown the practical effectiveness of developed engineering synthesis theory of systems under study in terms of the desired processes proximity and also their characteristics in terms of their further improvement.

შინაარსი

შესავალი	15
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	20
1.1. ავტომატური და ავტომატიზირებული საჩარხო სისტემები	20
1.1.1. ჩარხებისა და საჩარხო კომპლექსების აგების ზოგადი კონცეპტუალური მიდგომები	20
1.1.2. საჩარხო სისტემის ანალიზი	26
1.1.3. სისტემური მიდგომა საჩარხო სისტემების პროექტირებისადმი	35
1.2. მექანიზმებისა, ამძრავთა სისტემების და მანქანების პროექტირებისა და დინამიკური კვლევის საკითხების მიმოხილვა	38
2. შედეგები და მათი განსჯა	
2.1. ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების საიმედოობა და მწარმოებლურობის ანალიზი და ახალი დამოკიდებულებები შემუშავება	48
2.1.1. მწარმოებლურობის და საიმედოობის თეორიის საფუძვლების ანალიზი	48
2.1.2. ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობისა და საიმედოობის კანონზომიერებებისა და დამოკიდებულებების ანალიზი და შემუშავება	58
2.2. ავტომატიზებული ჩარხების და საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობის მოდელირება და პარამეტრული ოპტიმიზაცია	72
2.2.1. ავტომატიზებული ჩარხების მწარმოებლურობის მოდელირება და პარამეტრული ოპტიმიზაცია	72
2.2.2. ავტომატური საჩარხო ხაზების მწარმოებლურობის მოდელის შემუშავება	89
2.3. საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობის მოდელირება მჭრელი იარაღების შეცვლის პარალელური სქემის გათვალისწინებით	99
2.4. ოპტიმიზაციური მიდგომები საჩარხო კომპლექსების ამძრავთა სისტემების კვლევისადმი	103
2.5. საჩარხო ელექტრომექანიკური ამძრავის დინამიკური მოდელირება და კვლევა დრეკადობის გათვალისწინებით მექანიკურ ნაწილში	112

2.6. ელექტრომექანიკური სისტემების დინამიკური მოდელირება და კვლევა დრეკადობისა და ღრეჩოების გათვალისწინებით სისტემის მექანიკურ ნაწილში	117
2.7. საკვლევი სისტემის სინთეზი მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით	122
3. დასკვნები	134
გამოყენებული ლიტერატურა	141

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. გადასვლების ალბათობების მატრიცები	61
ცხრილი 2. გადასვლათა ალბათობათა მატრიცები	65
ცხრილი 3. საწყისი მონაცემები გაანგარიშებებისათვის	86
ცხრილი 4. საანგარიშო მონაცემები	87
ცხრილი 5. მჭრელი იარაღებით აღჭურვილი ციკლური მოქმედების მექანიზმების საწყისი მონაცემები	87
ცხრილი 6. საანგარიშო მონაცემები	88

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. ავტომატური ხაზების კომპანება: ა - მიმდევრობითი მოქმედების ერთნაკადიანი; ბ - პარალელური მოქმედების ერთნაკადიანი; გ - მრავალნაკადიანი; დ - შერეული	27
ნახ. 2. რ.ტ.კ-ის ტიპური კომპანებები. 1 – ჩარხი; ბ – რობოტი; 3 – დამტვირთი მაგროვებელი, 4 – გადმომტვირთი მაგროვებელი, 5 – სათადარიგო მაგროვებელი, 6 – ორსატაციანი პორტალური რობოტი	32
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	33
ნახ. 4. სატრანსპორტო მარშრუტების ძირითადი ტიპები	34
ნახ. 5. საჩარხო სისტემის იერარქიული დონეები	36
ნახ. 6. შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების ექსპერიმენტული ფუნქცია	50
ნახ. 7. განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია	50
ნახ. 8. ექსპონენციალური განაწილების ფუნქციები	53
ნახ. 9. უეცარი და თანდათანობითი მტყუნებების ერთობლივი მოქმედება, სადაც $P(t)$ ასახავს უეცარი მტყუნებების მრუდს	56
ნახ. 10. ობიექტის მდგომარეობათა გრაფი	64
ნახ. 11. ორი უზნისაგან შემდგარი და დეტალების ბუნკერული მარაგის მქონე ავტომატური ხაზის მდგომარეობათა ანალიზი	
ნახ. 12. ჩარხთაშორისი მარაგნაკეთებით აღჭურვილი ხაზის სქემები: 1, 2, 3 და 4 – საჩარხო მოდულები; B, B1, B2, B3 – ჩარხთაშორისი მაგროვებლები	67
ნახ. 13. ტექნოლოგიური პროცესის სქემა	84
ნახ. 14. საანგარიშო პროცედურის მრუდი $y(v)$	88
ნახ. 15. მწარმოებლურობისა და ჭრის სიჩქარისშორისი დამოკიდებულების მრუდი	90
ნახ. 16. რეგულირების ოპტიმალური სისტემის სქემა	108
ნახ. 17. სისტემის სტრუქტურული სქემა	113
ნახ. 18. სტრუქტურული სქემა	122

ნახ. 19. გამსხვილებული სტრუქტურული სქემა	123
ნახ. 20. სინთეზის შედეგად მიღებული დამოკიდებულებები: 1 - $K_{\Delta\phi}(z_m)$, 2 - $K_{pc}(z_m)$, 3 - $K_i(z_m)$	132
ნახ. 21. სისტემის საგნობრივი სიხშირული მახასიათებლები: 1 - $z_m = 1,0$; 2 - $z_m = 0,6$; 3 - $z_m = 0,4$	133
ნახ. 22. გარდამავალი პროცესების მრუდები 1 - $z_m = 0,4$; 2 - $z_m = 0,6$; 3 - $z_m = 1,0$	133

შესავალი

თანამედროვე მანქანათმშენებლობისათვის დამახასიათებელია წარმოების ეფექტურობის და გამოშვებული პროდუქციის ხარისხის ამაღლების პრობლემა, რომელიც ამაღლებული ტექნიკური მახასიათებლების მქონე ცალკეული მანქანების და მანქანათა სისტემების შექმნასთან და მათი გამოყენების სფეროს გაფართოებასთან ერთად პირველ რიგში ეფუძნება წარმოების ინტენსიურ ფაქტორებს: შრომის მწარმოებლურობის და ყველა სახის საქმიანობის ეფექტურობის ამაღლებას, საშუალებების, რესურსების და შრომის იარაღების ეკონომიას.

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

საწარმოო პროცესების ავტომატიზაცია წარმოადგენს ტექნოლოგიური პროცესების შემუშავების, შრომის მწარმოებლურობის უწყვეტი ზრდის უზრუნველყოფელი მაღალმწარმოებლური ავტომატურად მოქმედი წარმოების საშუალებების დანერგვის ღონისძიებათა ერთობლიობას. გაიზარდა და აგრძელებს გაზრდას მრავალინსტრუმენტალური ჩარხების, ჩარხი-ავტომატების, ნახევრადავტომატების, ავტომატური ხაზების და სხვადასხვა სახის დიდი რაოდენობის იარაღების აღჭურვილი პროგრამული მართვის ჩარხებისა და ხაზების რაოდენობა.

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

მანქანათა სისტემების შექმნა დაკავშირებულია თანამედროვე ადამიანის საწარმოო მოღვაწეობის ყველა სფეროსთან და მოიცავს მანქანათა პროექტირებასთან, მათი ფუნქციონირებისა და მართვის გამოკვლევებთან, ტექნოლოგიათა შემუშავებასთან დაკავშირებულ მრავალ საკითხებს. უაღრესად მნიშვნელოვანია არსებული მოწყობილობების სწორი და სისტემური გამოყენების, მისი რაციონალური დატვირთვის, შეთანწყობილი

ფუნქციონირების და ეფექტური ექსპლუატაციის ორგანიზაციული პრობლემები.

ამ პრობლემათა გადაჭრას აქვს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა, რომელიც გამოიხატება იმაში, რომ შეიძლება აიგოს მოცემული მახასიათებლების, ოპტიმალური სტრუქტურისა და კომპანიების მქონე სისტემები, ამოიხსნას საჭირო ელემენტებისა და კავშირების მოძიების ამოცანები, მიმართული ფუნქციონირების მოცემული მიზნისაკენ.

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

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

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

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების (ავტომატიზებული ჩარხების, საჩარხო ხაზების და კომპლექსების), ფუნქციონალური და სტრუქტურული აგების,

მწარმოებლურობის ოპტიმიზაციურ გაანგარიშების, ამ სისტემათა ავტომატიზებული 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:

- არსებული ავტომატიზებული და ავტომატური ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემების შემადგენლობისა და სტრუქტურის ანალიზი, წაყენებული მოთხოვნების და ფუნქციონირების შემფასებელი მახასიათებლების გამოვლენა;
- ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემების პროექტირების პროცესის სისტემური მიდგომის ხარისხობრივი ანალიზი და უკანასკნელის განვითარების თვალსაზრისით თანამედროვე ჩარხების და საჩარხო კომპლექსების მექანიზმებისა და ამძრავთა სისტემების პროექტირებასთან და დინამიკურ გამოკვლევებთან დაკავშირებული ნაშრომების მიმოხილვა;
- ძირითადი კანონზომიერებების გამოვლენა და მრავალსაიარაღო საჩარხო სისტემების და ავტომატური ხაზების მიერ განხორციელებული საწარმოო პროცესების მწარმოებლურობის მაჩვენებლებთან და მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მუშაობის საიმედოობასთან დამაკავშირებელი ფუნქციონირების მათემატიკური მოდელების აგება;
- ტექნოლოგიური პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება მაქსიმალური მწარმოებლურობის პირობიდან გამომდინარე სისტემებისათვის, რომლებშიც გამოიყენება მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მწყობრიდან გამოსვლის მომენტებით დაკავშირებული მომსახურების სქემა;
- მწარმოებლურობის ამსახველი ძირითადი მათემატიკური დამოკიდებულებების გამოვლენა, ფუნქციონირების მოდელების აგება, კვლევის მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება. მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების საიმედოობის მახასიათებლებთან ფუნქციონალურ კავშირში სისტემებისათვის, რომლებშიც მჭრელი

იარაღების მიმართ გამოიყენება პარალელური და მექანიზმებისა და მოწყობილობების მიმართ კი მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა;

- დინამიკის მათემატიკური მოდელირება და სინთეზის მეთოდოლოგიის შემუშავება მოცემული გარდამავალი პროცესის მიხედვით. დრეკადრგოლებიანი მექანიკური ნაწილის შემცველ მუშა ორგანოს კუთხური სიჩქარის სტაბილიზაციის ამძრავთა ელექტრომექანიკურ სისტემაში;
- ამძრავთა ელექტრომექანიკური სისტემების მათემატიკური მოდელირება და კვლევა დრეკადობისა და ღრეჩოების გათვალისწინებით ამძრავთა მექანიკურ ნაწილში .

ნაშრომის სამეცნიერო ღირებულება მდგომარეობს:

- მრავალიარადისი საცარხო სისტემების და ავტომატური ხაზების მიერ განხორციელებული საწარმოო პროცესების მწარმოებლურობის მაჩვენებლებთან და მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მუშაობის საიმედოობასთან დაკავშირებული ფუნქციონირების მათემატიკური მოდელების აგებასთან და მათი გამოყენებით ოპტიმიზაციური კვლევის ამოცანები გადაჭრასთან მიმართებაში გამოყენებულ ორიგინალურ მეთოდოლოგიურ მიდგომებში:
- ცალკეული მათემატიკური მოდელების, ცალკეული პროცედურების და მეთოდიკების ანალიზთან, დრეკადრგოლებიანი და ღრეჩოებიანი შემცველი მექანიკური ნაწილის მქონე საჩარხო ამძრავთა ელექტრომექანიკურ სისტემებთან მიმართებაში დინამიკის მათემატიკური მოდელების და მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდში სასურველი პროცესების ფორმირების და სინთეზირებადი პარამეტრების ძიების მეთოდების აგების მეთოდოლოგიურ მიდგომებში.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულებაა ავტომატიზებული საჩარხო კომპლექსების და საჩარხო ხაზების მწარმოებლურობის და მათი ცალკეული ამძრავთა სისტემების ოპტიმიზაციური გაანგარიშებისა და კვლევის ორიგინალური მეთოდები და მეთოდიკები.

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

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. ავტომატური და ავტომატიზირებული საჩარხო სისტემები

1.1.1. ჩარხებისა და საჩარხო კომპლექსების აგების ზოგადი კონცეპტუალური მიდგომები

ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემა – ეს არის საწარმოო პროცესის სარეალიზაციო სატრანსპორტო და ტექნოლოგიური მანქანების ერთობლიობა. ტექნოლოგიურ პროცესში გადამუშავდება ურთიერთდამოკიდებული მატერიალური, ენერგეტიკული და ინფორმაციული ნაკადები. ტექნოლოგიური მანქანები გადამამუშავებენ საწყის მატერიალურ ნაკადებს ნამზადების მასალისა და ნახევარფაბრიკატების სახით. ისინი იყენებენ ენერჯის ნაკადებს, შემოდინებულს ენერგეტიკული მანქანებისაგან, შესაბამისი ინფორმაციის გამოყენებით, შემოსულს ინფორმაციულ მანქანებიდან ან ადამიანისაგან. სატრანსპორტო მანქანები ახორციელებენ დამუშავების ობიექტის მდებარეობის ცვლილებას სივრცესა და დროში. ტექნოლოგიურ მანქანებს მიეკუთვნებიან ჩარხები, წნეხები, საამწყობო და სხვა მანქანები. სატრანსპორტო მანქანები უზრუნველყოფენ კავშირს ტექნოლოგიურ მანქანებს შორის [1].

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

არსებობს ტექნოლოგიური პროცესების ორგანიზაციის ორი ფორმა – ჯგუფური და ნაკადური.

ტექნოლოგიური პროცესების ორგანიზაციის ჯგუფური ფორმა ხასიათდება ნამზადების ნიშნების კონსტრუქციულ–ტექნოლოგიური ერთგვაროვნებით და სამუშაო ადგილების სპეციალიზაციით. ნამზადთა ჯგუფები დამუშავებისათვის უნდა აიწყოს დამუშავების შრომატევადობისა და გამოშვების მოცულობის გათვალისწინებით.

ნაკადური ფორმა გამოირჩევა ყოველი სამუშაო ადგილის სპეციალიზაციით გარკვეულ ოპერაციაზე, შეთანხმებული და რითმული შესრულებით ტექნოლოგიური პროცესის ყველა ოპერაციაზე გამოშვების ტაქტის მუდმივობის საფუძველზე. მას ახასიათებს ასევე სამუშაო ადგილების განლაგება თანმიმდევრობით, ტექნოლოგიური პროცესის მკაცრი შესაბამისობით.

ტექნოლოგიური პროცესის ორგანიზაციის ფორმის განმსაზღვრელი ფაქტორები და მათი შესაბამისი მახასიათებლები, განიხილება შემდეგი თანმიმდევრობით. თავიდან განსაზღვრავენ ნაკეთობების სახეებს. შემდეგ მათ აჯგუფებენ კონსტრუქციულ–ტექნოლოგიური ნიშნების ერთგვაროვნებით, რაც საშუალებას იძლევა ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში დაყენდეს ნაკეთობის გამოშვების ტიპი [1, 2].

ტექნოლოგიური პროცესის ორგანიზაციამ უნდა უზრუნველყოს ნაკეთობის რითმული გამოშვება იმ პირობისათვის, როცა ის გაივლის ყველა ოპერაციას უმოკლესი შესვენებებით, ე.ი. მაქსიმალურად მიუახლოვდება უწყვეტ ფორმას. ტექნოლოგიური პროცესის ორგანიზაციის უწყვეტი ფორმა ერთდროულად დამუშავებადი დამზადების ნომენკლატურაზე დამოკიდებულებით შეიძლება დაიყოს ერთნომენკლატურიან უწყვეტ ხაზებად. პირველი ნაკადური ხაზი ხასიათდება ერთი დასახელების ნამზადის დამუშავების ხანგრძლივი დროის განმავლობაში.

ჯგუფური ტექნოლოგიური პროცესი განკუთვნილია სხვადასხვა კონფიგურაციის ნაკეთობების ერთობლივი დამზადებისათვის წარმოების კონკრეტულ პირობებში სპეციალიზირებულ სამუშაო ადგილებზე. ჯგუფური ტექნოლოგიური პროცესი შემუშავდება მსხვილსერიანი და მასობრივი წარმოების საშუალებებისა და მეთოდების ეკონომიურად მიზანშეწონილი გამოყენების მიზნით, ერთეული და მცირესერიანი წარმოების პირობებში.

ჯგუფური ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავებას წინ სდევს წარმოების საგნების კომპლექსური ანალიზის კლასიფიკაციისა და

რეზულტატების საფუძველზე მიმდინარე დაჯგუფება ტექნოლოგიური მსგავსებით წარმოების ორგანიზაციის ძირითადი ფაქტორების გათვალისწინებით.

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

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

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

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

ამ ობიექტმა მიიღო დასახელება „დანადგარების კომპლექსი“. ლითონდამამუშავებასთან მიმართებაში ის შეიცავს სხვადასხვა დონის

ავტომატიზაციის მქონე დამამზადებელი და ლითონდამამუშავებელი საწარმოების სამჭედლო-საპრეს ლითონდამამუშავებელ, მაკონტროლებელ და სხვა დანადგარებს, აგრეგატებს, სტენდების მოწყობილობებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ ტექნოლოგიური პროცესის ყველა ოპერაციის შესრულებას. კომპლექტი შეიძლება იყოს სრული ან არასრული.

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

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

კომპლექტურობის პრინციპის მიხედვით მოქნილი ავტომატიზირებული სისტემები შეიძლება იყოს ოთხი სახის: ოპერაციული - განკუთვნილია დეტალების დამუშავების მხოლოდ ზოგიერთი ოპერაციის შესასრულებლად, საგნობრივი - უშვებენ სრულად დამზადებულ დეტალებს, კომპლექტური - უშვებენ დეტალების კომპლექტს ასაწყობად, საკვანძო - უშვებენ მზა კვანძს.

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

ოპერაციული მოქნილობა ხასიათდება დროისა და საშუალებების დანახარჯით, რომლებიც აუცილებელია ერთი გამოშვებიდან მეორეზე გადასვლისათვის საწარმოო პროგრამის და დასმული ნომენკლატურის ფარგლებში. სტრატეგიული მოქნილობა, რომელიც განსაზღვრავს მოქნილ საწარმოო სისტემის ექსპლუატაციის ეფექტურ ვადას, ხასიათდება დროისა და საშუალებების დანახარჯებით, რომელიც აუცილებელია არაგემიური პროდუქციის გამოშვებაზე გადასასვლელად.

ავტომატიზირებული ხაზის ეფექტურობა მასობრივი და მსხვილსერიული წარმოების ავტომატიზაციისათვის განპირობებულია

უმთავრესად მათი მაღალი წარმოებადობით, რომელიც მიიღწევა დამუშავების ოპერაციის კონცენტრაციის ხარჯზე, მრავალინსტრუმენტიანი გამართვის გზით პარალელურად მომუშავე ინსტრუმენტებით. ეს ტენდენცია ხასიათდება: საფეხურებრივი და კომბინირებული ინსტრუმენტის გამოყენებით, რომელიც საშუალებას იძლევა ერთ გადასვლაზე დაამუშაოს რთული გეომეტრიის მქონე ზედაპირი ან გააკეთოს დამუშავების ოპერაციები მრავალქვიანი სახეხი ინსტრუმენტის გამოყენებით.

ავტომატიზირებული ხაზის წარმოებადობის ამალღება მიიღწევა ასევე ზემტკიცე მასალისაგან გაკეთებული მჭრელი იარადის გზით, ასევე გამოსაჩარხი ინსტრუმენტებისა და ტორსული ფრეზების დანერგვით, საზეთი-გამაცივებელი სითხის ახალი მარკების გამოყენებით.

მიკროპროცესორული ტექნიკის შესაძლებლობები საშუალებას იძლევიან: უზრუნველყონ ინსტრუმენტის მდგრადობის ოპერატიული კონტროლი; ავტომატურად შეირჩეს ინსტრუმენტთა ჯგუფი მათი იძულებითი გეგმიური შეცვლისათვის; მარეგულირებელი გადამწოდების მეშვეობით განისაზღვროს მწყობრიდან გამოსული ინსტრუმენტი, რომელიც ექვემდებარება მყისიერ შეცვლას.

დამუშავებული დეტალების ზომების ავტომატური კონტროლი დამუშავების პოზიციაზე ან მის შემდეგ, მაკროპროცესორული ტექნიკის საშუალებების გამოყენებისას ივსება დამუშავების პროცესის სტატისტიკური მახასიათებლების გამომანგარიშებით, საშუალო არჩევითის, შეფასებით, დისპერსიით, რეგრესიული ანალიზით და ა.შ., რაც საშუალებას იძლევა ავტომატურად განისაზღვროს მომენტი, როდესაც აუცილებელია გამმართველის ჩარევა.

ავტომატური ხაზის შექმნის პრაქტიკაში მასობრივი და მსხვილ-სერიული წარმოებისათვის გაჩნდა ახალი ტექნიკური მიმართულება - გადასაწყობი მოქნილი ავტომატური ხაზების შექმნა. ეს ხაზები ახორციელებენ იმავე ტენდენციას სხვა გზით: წარმოების ეფექტურობის ამალღებით, დეტალების კომპლექტური მიწოდების ხარჯზე, რომლებიც

პარალელურად ხაზში დაწყობილ ჩარხებზე. გადაწყობა ხორციელდება ჩარხების მართვის ხარჯზე პროგრამირებადი ბრძანების აპარატებიდან (რაც უზრუნველყოფილია თანამედროვე მიკროპროცესორული ტექნიკით), დეტალების ტრანსპორტირების ტრაექტორია იცვლება საწარმოო რობოტით.

არაგადაწყობადი დანადგარებისაგან შედარებით იმავე წარმადობის, მოქნილი ავტომატიზირებული ხაზების ღირებულება არის მეტი, ამიტომაც აუცილებელია განიხილოს მოქნილი ავტომატიზირებული დეტალების დამზადების პერსპექტიულობა.

ამრიგად, ხაზების სტრატეგიული მოქნილობის თვალსაზრისით გასათვალისწინებელია „მოქნილობის ხარისხი“ დანადგარების შეკვეთისას. უმეტეს შემთხვევაში საჭიროა შეიქმნას „სინთეტიკური დეტალი“ თავისი ზედმეტი გეომეტრიით დამამუშავებელთან შედარებით, რომელშიც ასახულია მომავალი დეტალის თვისებები, რომლებიც იგეგმება ხაზზე გამოსაშვებად.

ამის გარდა მოქნილი ავტომატიზირებული ხაზების ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა დღის განმავლობაში საჭიროა გაიზარდოს. ამისათვის ჩარხები უნდა იყოს აღჭურვილი ნამზადების ავტომატური მაღაზიებით, დამამუშავებელი დეტალებისათვის და ინსტრუმენტებისათვის, რომლებიც უზრუნველყოფენ მათ ავტონომიურ მუშაობას დროის განმავლობაში ან კიდევ გათვალისწინებული უნდა იყოს კავშირი საწყობებთან სატრანსპორტო სისტემის მეშვეობით.

მოცემულ სამუშაოში ამოხსნილი ამოცანები ზოგად შემთხვევაში ინვარიანტულია ტექნოლოგიური მანქანების სახეობებთან მიმართებაში. მხოლოდ დასაწყისში ეს ამოცანები იყო დასმული და ამოხსნილი მექანიკურ-დამამუშავებელი მანქანებისათვის, როგორებიცაა მოქნილი საწარმო სისტემები და ავტომატური ხაზები. ტექნოლოგიური მანქანების სახით ასეთ სისტემებში წარმოჩნდებიან ლითონდამამუშავებელი ჩარხები. ამიტომ შემდგომში, როგორც ტერმინის „მექანიკურ-დამამუშავებელი ტექნოლოგიური მანქანები“ სინონიმად გამოიყენება „საჩარხო სისტემა“.

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

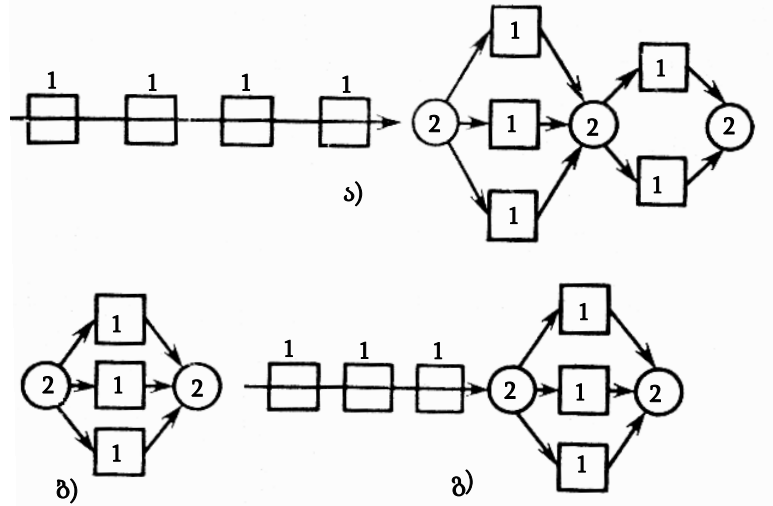
1.1.2. საჩარხო სისტემის ანალიზი

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

ავტომატიზირებული ხაზის მომსახურე პერსონალის ფუნქციაში შედის მართვა, კონტროლი აგრეგატების მუშაობაზე, მათი რემონტი და აწყობა. ხაზები, რომლებიც საწარმოო ოპერაციის შესასრულებლად ითხოვენ ადამიანის უშუალო ჩარევას (მაგალითად, ცალკეული აგრეგატების ჩართვა გამორთვას) არიან ნახევარავტომატურები. ბევრი დამხმარე ოპერაციები - წარმოების ნარჩენების მოცილება, პროდუქციის ხარისხის კონტროლი, ავტომატურ ხაზებზე გამომუშავების აღრიცხვა - მექანიზირებულია და ავტომატიზირებულია. ბევრ ხაზებზე ავტომატურად რეგულირდება ტექნოლოგიური პროცესის პარამეტრები, ხორციელდება მუშა ორგანოების ავტომატური გადაადგილება, მოწყობილობის აწყობა და გადაწყობა [2].

ნაკეთობის ტრანსპორტირების ხასიათით დამუშავების პროცესში ხაზები იყოფიან სტაციონარულსა და როტორულზე. სტაციონარულ ხაზზე დეტალები დამუშავების პროცესში არ იცვლიან თავიანთ მდებარეობას ჩარხის მიმართ მხოლოდ დამუშავების დასრულებისას გადაადგილდებიან შემდეგ პოზიციაზე. როტორული ხაზზე დეტალები გადაადგილდებიან

უწყვეტად, დამუშავება და ტრანსპორტირება ნაწილობრივ ან სრულად შეთავსებულია. როტორულ ხაზებს აქვთ პროექტირების თავისი სპეციფიკა, ამიტომ შემდეგში განხილული იქნებიან მხოლოდ სტაციონარული ხაზები.



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

ავტომატური ხაზების სტრუქტურული გაერთმთლიანება დამოკიდებულია ტექნოლოგიური პროცესის მწარმოებლობასა და ხასიათზე (ნახ. 1). ხაზები არსებობენ პარალელური და მიმდევრობითი მოქმედების, ერთნაკადიანი და მრავალნაკადიანი, შერეულ-განშტოებული ნაკადით. პარალელური მოქმედების ავტომატური ხაზებს იყენებენ ერთი ოპერაციის შესასრულებლად, როცა ხანგრძლივობა გაცილებით აღემატება გამოშვების აუცილებელ ტემპს. მრავალნაკადიანი ავტომატური ხაზები წარმოადგენენ ავტომატურ ხაზებისაგან შემდგარ სისტემას, რომელიც გამოიყენება რამოდენიმე ოპერაციის შესასრულებლად, ყოველი მათგანი ხანგრძლივობით მეტია გამოშვების მოცემულ ტემპზე. ერთიან სისტემაში შეიძლება გაერთიანდნენ რამოდენიმე მიმდევრობითი და პარალელური მოქმედების ავტომატური ხაზები. ასეთ სისტემებს ეწოდებათ ავტომატური უბნები, საამქროები და საწარმოები [2].

ხაზები მუშაობის პრინციპით იყოფიან სინქრონულად და არასინქრონულებად. სინქრონულ ავტომატურ ხაზზე ნამზადები

გადაადგილდებიან უშუალოდ ერთი ჩარხიდან მეორეზე. ასინქრონული ხაზები შედგებიან ჩარხებისაგან, ყოველი მათგანი აღჭურვილია მაგროვებლით დეტალების შესანახად და ავტომატური დამტვირთავ-გადმომტვირთავი მოწყობილობით. გამოიყენება ტრანზიტული და ჩიხური ტიპის მაგროვებლები.

სინქრონული (ხისტი) ხაზები უფრო მარტივია სტრუქტურის პროექტირებისა და დამზადების სახით. მათ უნდა ჰქონდეთ შემავალი ელემენტების მაღალი საიმედოობა, ე.ი. ნებისმიერი ელემენტის მწყობრიდან გამოსვლა აჩერებს მთელი ხაზის მუშაობას. ამ მიზეზით უფრო მეტ გავრცელებას ჰპოვებენ არასინქრონული ავტომატური ხაზები. არსებობენ ხაზები, რომლებსაც ყოფენ ავტომატურ ხაზებს სინქრონულ უბნებად. არასინქრონული ხაზებისათვის მწყობრიდან გამოსული ჩარხი ან ხაზი შეიძლება შეიცვალოს სათადარიგო მაგროვებლებით [7].

სინქრონულ და არასინქრონულ ხაზებს აპროექტებენ როგორც სამარჯვებით, ასევე მათ გარეშე. სამარჯვები იტვირთება და იცლება ხელით ხაზის საწყის პოზიციაზე. სამარჯვი თანამგზავრების დასაბრუნებლად საწყის პოზიციაზე ავტომატურ ხაზს გააჩნია სპეციალური ტრანსპორტიორი, რომელიც შეიძლება განთავსდეს გვერდიდან, ქვემოდან ან მაღლიდან მუშა ტრანსპორტიორზე და გადამტვირთი ტრანსპორტიორიდან ტრანსპორტიორზე.

ავტომატური ხაზები შეიძლება შედგებოდნენ ერთი და მრავალ-პოზიციური ჩარხებისაგან გამჭოლი და არაგამჭოლი ტრანსპორტიორებით. არასინქრონული ხაზების სინქრონულ ან არასინქრონულ უბნებს აპროექტებენ არაგამჭოლი ტრანსპორტიორით იმ შემთხვევაში, თუკი ჩარხების კონსტრუქცია ნაკეთობის გამჭოლად ტრანსპორტირების საშუალებას იძლევა. ასეთი ხაზების ნაკლია - მათი სირთულე და აუცილებლობა არსებობდეს ყოველ მუშა პოზიციაზე თავისი დამტვირთავ გადმომტვირთავი მოწყობილობა. ხაზებზე, რომლებზეც არის მაგროვებლები ყოველ ჩარხს და უბანს აქვს თავისი სატრანსპორტო სისტემა.

რთული კორპუსული ნაკეთობების დასამუშავებლად ოთხი-ექვსი მხრიდან ავტომატური ხაზები იყოფა უზნებად. თითოეულ უზანზე მუშავდება დეტალის გარკვეული მხარე. უზნებს შორის განთავსდება მოწყობილობები, რომლებიც აბრუნებენ დეტალს - მბრუნავი მაგიდები და საბრუნები [8].

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

ფართო გავრცელება ჰპოვეს აგრეგატული ჩარხებისაგან შემდგარმა ავტომატურმა ხაზებმა კორპუსული დეტალების დასამუშავებლად, ასევე ხაზებმა სპეციალური ჩარხებისაგან, რომლებიც განკუთვნილია რთული ფორმის საფეხურიანი ლილვების, საკისრების, კვილა თვლების, დგუმების დასამუშავებლად [10]. ავტომატური ხაზების კონსტრუქციების სხვადასხვა ნიმუშები მოყვანილია სამუშაოებში [11-13].

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

მოქნილი ავტომატიზირებული ხაზები (მ.ა.ხ) – მოქნილი საწარმოო სისტემაა, რომელშიც ტექნოლოგიური მოწყობილობა განლაგებულია ტექნოლოგიური ოპერაციების მიღებული თანმიმდევრობით.

ტრადიციული ავტომატური ხაზებისაგან (მ.ა.ხ) განსხვავდება გადაწყობის შესაძლებლობით ძირითადი დეტალების გამოშვებისას. მ.ა.ხ.-ის გადაწყობა ხორციელდება ჩარხების აწყობით, ტექნოლოგიური აღჭურვილობის ცალკეული ელემენტების შეცვლით ან რეგულირებით. გადაწყობის პროცესის ავტომატიზაციისათვის მ.ა.ხ. აღიჭურვება ცალკეული

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

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

მ.ა.ხ–ის მოწყობილობა, ისევე როგორც ტრადიციული ავტომატური ხაზების მოწყობილობა, განლაგებულია ტექნოლოგიური პროცესის მიხედვით. მ.ა.ხ.-ის სტრუქტურულ–კომპონირებადი სქემის საფუძვლად მიღებულია დამუშავების ჯგუფური ტექნოლოგიური პროცესი [16].

უმეტეს ხაზებში დამუშავების მარშრუტი არის ხისტი, ე.ი. დეტალი გადის თანმიმდევრულად დამუშავების ყველა პოზიციას. სხვადასხვა დეტალები შეიძლება დამუშავდეს ინსტრუმენტების სხვადასხვა კრებულებით. მაგრამ არსებობენ მ.ა.ხ დამუშავების თავისუფალი მარშრუტით [28], მაშინ ცალკეულ დეტალებს შეუძლიათ გამოტოვონ დამუშავების ცალკეული პოზიციები, ან ხაზები განტოტებული ნაკადებით, რომლებშიც ცალკეულ შტოზე მუშავდება სხვადასხვა დეტალები.

ყველაზე მეტი გამოიყენება ჰპოვეს მ.ა.ხ–მა, რომლებიც ამუშავებს კორპუსულ დეტალებს და ბრუნვითი სხეულის ტიპის დეტალებს [27].

კორპუსული დეტალების დასამუშავებლად გამოიყენებიან ორი ტიპის მ.ა.ხ.

პირველი იწყობა ავტომატური ხაზის ანალოგიურად აგრეგატულ–მოდულური მოწყობილობის ბაზაზე, ე.ი. წარმოადგენს გადაწყობად ავტომატურ ხაზებს. ჩარხები ერთმანეთს უკავშირდებიან ტრანსპორტიორით ან ტრანსპორტიორების სისტემით. ტრადიციული ავტომატურ ხაზებისაგან განსხვავებით გამოიყენება სპეციალური მექანიზმები ხელის ან ავტომატური გადაწყობით: შესაცვლელი ძალური თავები და შპინდელური საცმები,

შპინდელური თავები მოძრავი ღერძული ან რადიალური მიმართულებით, ინსტრუმენტების მაღაზიები ინსტრუმენტების შეცვლის მექანიზმით და ა.შ. მხედველობაში მიიღება სარეზერვო მუშა პოზიციები. ასეთი მ.ა.ხ. მაგალითები მოყვანილია სამუშაოებში [10, 14, 29].

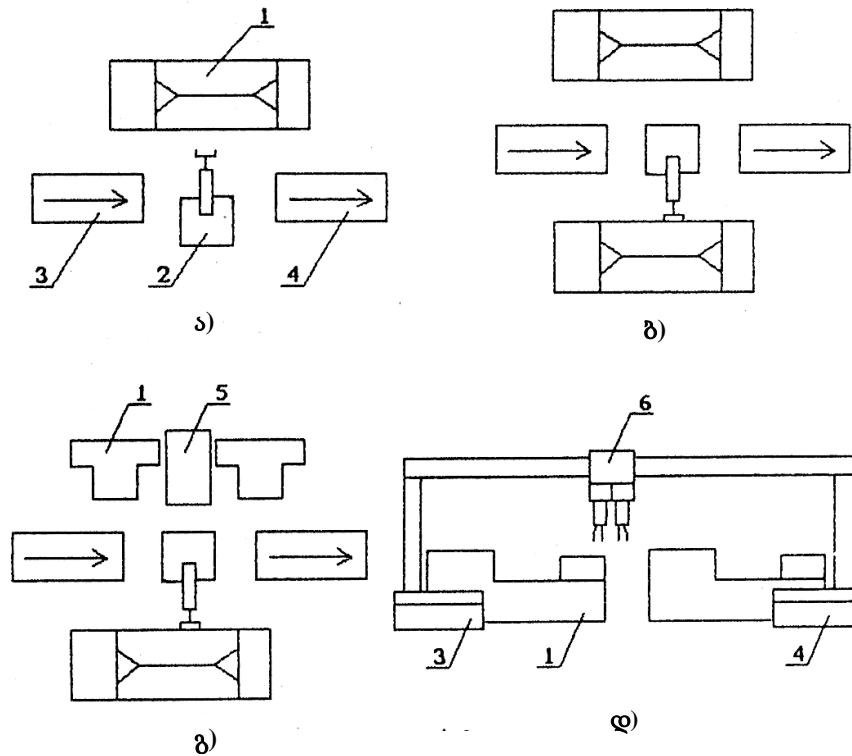
მეორე ტიპის მ.ა.ხ. აიგება მრავალმიზნობრივი ჩარხების ან მოქნილი საწარმო მოდულების ბაზაზე, რომლებიც დაკავშირებულია არაგამჭოლი ტრანსპორტიორით, დეტალები მაგრდება სამარჯვ თანამგზავრზე. ასეთი ტიპის მ.ა.ხ. პირველზე ძვირია, მაგრამ უფრო მოქნილია – ფართოა დასამუშავებელი დეტალების ნომენკლატურა, უფრო ჩქარა გადაიწყობიან.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

მ.ა.ხ-ში ბრუნვითი სხეულის ტიპის დეტალების დასამუშავებლად იწყობა სპეციალიზირებული და უნივერსალური ჩარხებისაგან, რომლებიც აღჭურვილია რობოტებით. ასეთი ხაზების სატრანსპორტო სისტემას შეადგენენ რობოტები და სატრანზიტო მაგროვებლები. გამოიყენებიან, არასრული, პორტალური, ჩარხში ჩამონტაჟებული რობოტები, როგორც ერთი, ასევე ორსატაციანი. ერთ რობოტს შეუძლია მოემსახუროს რამოდენიმე ჩარხს. ასეთი ჩარხების სისტემას ეწოდება რობოტიზირებული ტექნოლოგიური ხაზები (რ.ტ.ხ). რ.ტ.ხ. არის რობოტიზირებული ტექნოლოგიური ხაზების ერთობლიობა, რომელიც დაკავშირებულია ერთმანეთთან სატრანსპორტო საშუალებებით და მართვის სისტემით. ტექნოლოგიური მოწყობილობის რამოდენიმე ერთეულის მომსახურება ხდება ერთი ან რამოდენიმე საწარმოო რობოტით ოპერაციების შესასრულებლად მიღებული თანმიმდევრობით.

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

ნახაზზე 2 ერთი რობოტი ემსახურება ერთ, ორ და სამ ჩარხს 1. რ.ტ.კ. აღჭურვილია დამტვირთი და გადმოსატვირთი 4 მაგროვებლებით. რ.ტ.კ-ს შიგნით, ერთ ჩარხზე მეტი შემცველობით, დამუშავება 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.

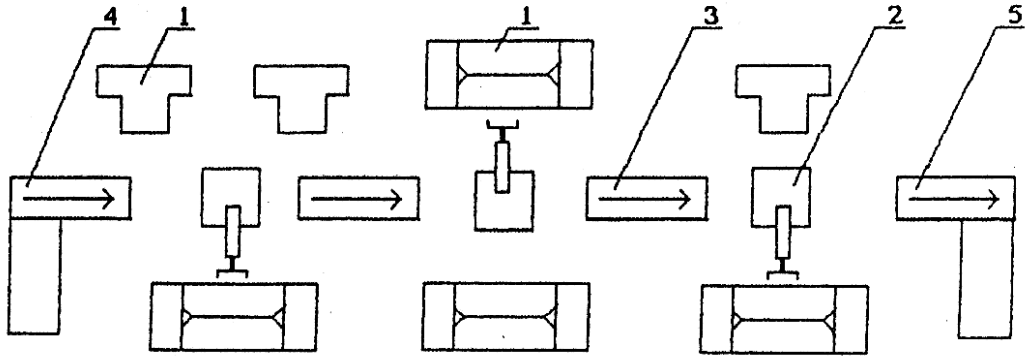
1 – ჩარხი; ბ – რობოტი; 3 – დამტვირთი მაგროვებელი, 4 – გადმომტვირთი მაგროვებელი, 5 – სათადარიგო მაგროვებელი, 6 – ორსატაციანი პორტალური რობოტი

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

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

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

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



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. მართვის სისტემა ძირითადად ორსაფეხურიანია. ქვედა საფეხური რეალიზებულია მიკროპროცესორული კონტროლიორებით ან მიკრო ე.გ.მ-თი და მართავენ ტექნოლოგიური და სატრანსპორტო მოწყობილობების მუშაობას. მართვის სისტემის მაღლითა საფეხური ორგანიზებას უწევს სატრანსპორტო და ტექნოლოგიური მანქანების მუშაობას სათადარიგო მოწყობილობების სიგნალების მიხედვით, უზრუნველყოფს მათ ბლოკირებას არადასაშვები მოქმედებებისაგან კონკრეტულ სიტუაციებში, ირჩევს რაციონალურ მოქმედებას, როდესაც შესაძლებელია მოწყობილობების მუშაობის ვარიანტები. ზემო საფეხურის რეალიზაციისათვის შეიძლება გამოყოფილი იქნეს დამატებითი მიკრო ე.გ.მ. მაგრამ ხშირად ეს ფუნქციები ნაწილდება სატრანსპორტო და ტექნოლოგიური მოწყობილობების მიკრო – ე.გ.მ-ებს შორის [30].

მ.ა.ხ-ბის ფუნქციონირების ძირითადი მაჩვენებლები არის მწარმოებლურობას, მოწყობილობის მუშაობის საიმედოობა, პროდუქციის გამოშვების რითმულობა და განისაზღვრება მ.ა.ხ-ის შესაბამისი მახასიათებლების ანალოგიურად.

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

მექანოდამუშავების მ.ა.უ. იწყობა მ.ა.მ. ან რ.ტ.კ, რომლებიც უკავშირდება ავტომატიზირებული სატრანსპორტო-საკეცი სისტემით (ა.ს.ს.ს.) და ერთიანდება მართვის ავტომატიზირებული სისტემით [16].

ა.ს.ს.ს. ასრულებენ ტრანსპორტირების ორ ძირითად ფუნქციას და დამუშავებადი დეტალების შეგროვებას [34].

ძირითადი ტიპები		მაგალითები
შეკრული	წრიული	
	რთული	
	განშტოებული	
ქსელური		
რევერსიული	ხაზოვანი	
	განშტოებული	

ნახ. 4. სატრანსპორტო მარშრუტების ძირითადი ტიპები

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

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

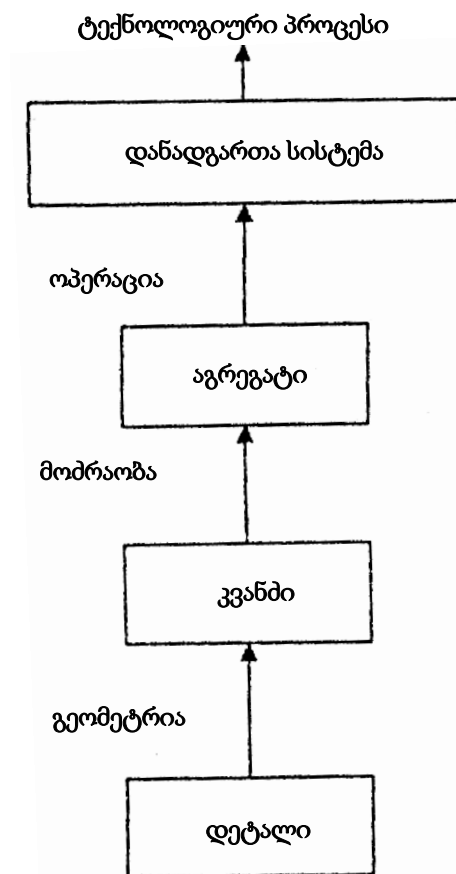
სისტემის საჭირო მახასიათებელს, რომელიც განსაზღვრავს სატრანსპორტო ოპერაციების ხანგრძლივობას და სატრანსპორტო საშუალებების დატვირთვას. [32] სამუშაოში განხილულია სატრანსპორტო მარშრუტების ძირითადი ტიპები, ისინი მოცემულია ნახ. 4–ზე. დღეისათვის უმეტესად გავრცელებულია ჩაკეტილი ნაკადები. უკანასკნელ წლებში იზრდება რევერსული ნაკადების რაოდენობა. ასეთი ნაკადების ორგანიზება საჭიროა სისტემებში ლიანდაგური ურიკებით. ქსელური და განშტოებული ნაკადები უმეტესად დამახასიათებელია ფართომასშტაბიანი სისტემებისათვის ინდუქციური ურიკებით [32, 36].

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

1.1.3. სისტემური მიდგომა საჩარხო სისტემების პროექტირებისადმი

ტექნოლოგიური მანქანების ავტომატიზებული სისტემების (ავტომატური ხაზები, მოქნილი საწარმოო სისტემები (მსს), უნივერსალური ჩარხების უბნები), შემუშავებისათვის იყენებენ ბლოკურ-იერარქიულ მიდგომას [40]. ასეთი მიდგომების ჩარჩოებში საჩარხო სისტემა წარმოგვიდგება, როგორც ოთხდონიანი იერარქიული სისტემა: საჩარხო სისტემა, აგრეგატი, კვანძი, დეტალი (ნახ. 5). საჩარხო სისტემა არის მაღალი დონის ელემენტი და ჩარხის დეტალები კიდევ მიეკუთვნებიან უმცროს დონეს. დეტალების ძირითადი მახასიათებელია მათი გეომეტრია, კვანძის გამომავალი გარკვეული ოპერაციის შესრულებით და საჩარხო სისტემა კიდევ ხასიათდება გარკვეული ტექნოლოგიური პროცესის რეალიზაციით. საჩარხო სისტემის დაყოფა ოთხი დონით არის მიახლოებითი, შესაძლოა განხილული იქნას დამატებითი ქვედონეები. მაგალითად საჩარხო

სისტემის ქვედონედ შეიძლება წარმოდგენილი იქნას საჩარხო მოდულის დონე, ჩარხის კვანძები შესაძლოა დაყოფილი იყვნენ ქვეკვანძებად (მექანიზმებად) [41]. ბლოკურ-იერარქიული მიდგომით პროექტირების ამოცანები დგებიან ყველა დონის მიმართ. ამით მარტივდება ამოცანის ზოგადი დასმა. ეს უაღრესად აქტუალურია პროექტირების კომპლექსური ავტომატიზაციისას, როდესაც რთული სისტემა შეგვიძლია შევიმუშავოთ ნაწილ-ნაწილად [42].



ნახ. 5. საჩარხო სისტემის იერარქიული დონეები

ყველა დონეს შეესაბამებიან თავისი მათემატიკური მოდელები, ამოცანათა თავისი წრე და ამოხსნის მეთოდები [43].

ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემების შემუშავებისას და მათ ტექნოლოგიურ გადაწყობებისას შესაძლოა წარმოიშვას ორი ტიპის ამოცანები:

1) საწარმოო სისტემებთან მიმართებაში მოცემული კრიტერიუმების და მოთხოვნების მიხედვით განსაზღვრული იქნას მისი ისეთი

მახასიათებლები, როგორებიცაა მოწყობილობათა შემადგენლობა, სატრანსპორტო სისტემის ტიპი და სტრუქტურა, მოწყობილობათა განლაგება, მართვის ალგორითმები და ა.შ.;

2) ელემენტებისა და ქვესისტემების ცნობილი ტექნიკური მახასიათებლების გამოყენებით განსაზღვრული იქნას მთლიანობაში საწარმოო სისტემის ისეთი მახასიათებელი მაჩვენებლები, როგორებიცაა მთლიანი მწარმოებლურობა, მოწყობილობათა დატვირთვის ხარისხი, „ვიწრო ადგილების“ არსებობა და ა.შ. [44].

პირველი ტიპის ამოცანების ამოხსნა ხორციელდება ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემების პროექტირებისას. ზოგადი მიდგომით ეს არის სტრუქტურული სინთეზის ამოცანა [45].

მეორე ტიპის ამოცანების ამოხსნა დაკავშირებულია დეტალიზებული მოდელების შიგა, კერძოდ სისტემათა ფუნქციონირების ტექნოლოგიური პარამეტრების, ოპტიმალური და უფრო მეტჯერ კვაზიოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრასთან.

აღნიშნულთან დაკავშირებით დგება საწარმოო სისტემების ფუნქციონირების უფრო დეტალიზებული მოდელების პარამეტრული ოპტიმიზაციის ამოცანა. გაღრმავებული კვლევისას პროექტირების ცალკეული ეტაპების უფრო დეტალიზებული მოდელების ანალიზი ხორციელდება ტექნიკური საშუალებების და სატრანსპორტო სისტემების ცდომილებათა ნაკადის ალბათობითი მახასიათებლების გათვალისწინებით.

ავტომატური ხაზების და მოქნილი ავტომატიზებული სისტემის დეტალური კვლევებისას ფართოდ იყენებენ ამოცანათა ამოხსნის თეორიულ-ალბათობით მიდგომებს, კერძოდ საიმედოობის თეორიისა და მასიური მომსახურების და ა.შ. ძირითად დებულებებს [46, 47].

ტექნოლოგიური მოწყობილობების ტექნიკური და ექსპლუატაციური მაჩვენებლების შემდგომი ამაღლების თვალსაზრისით ოპტიმიზაციურ კონსტრუირებასთან მიმართებაში უფრო და უფრო მნიშვნელობას იძენს ავტომატიზებული ამძრავების და მექანიკური დამუშავების პროცესების მართვის ავტომატიზებული სისტემების შემდგომი სრულყოფის ამოცანები,

რომლებიც თავის მხრივ წარმოადგენენ მთლიანობაში ტექნიკური მოწყობილობების მუშაობის ეფექტურობის ამაღლების საფუძველს [5, 6, 48, 49].

1.2. მექანიზმებისა, ამძრავთა სისტემების და მანქანების პროექტირებისა და დინამიკური კვლევის საკითხების მიმოხილვა

ამა თუ იმ დასახული თვისებების დამაკმაყოფილებელი მექანიზმებისა და სამანქანო სისტემების აგების ამოცანის გადაწყვეტა იწყება რაციონალური კინემატიკური სქემის მქონე მექანიზმის ფორმირებით.

მექანიზმების სტრუქტურასთან დაკავშირებული საკითხები პირველად იქნა განხილული ლ.ვ. ასურის და ა.გ. მალიშევის ნაშრომებში. მექანიზმების კლასიფიკაციის შემდგომი განვითარება ასახულია ი.ი. ართობოლევსკის, ვ.ვ. დობროვოლცკის [54-59] და რ. ფრანკეს [60] ნაშრომებში.

ბრტყელი მექანიზმების სინთეზის საკითხებს და მრავალრგოლიან სახსროვანი მექანიზმების კვლევებს განიხილავენ თავის შრომებში ნ.ი. ლევიტსკი [63, 64] და ს.ა. ჩერკუდინოვი [63].

დ.ს. თავხელიძის, გ.ა. ჯაბუას და ო.ს. ეზიკაშვილის [64, 65] შრომები მიძღვნილია ბრტყელი მექანიზმების კვლევის საკითხებისადმი.

გ.კ. ბარანოვის ნაშრომები [66] მიძღვნილია წინასწარ დასახული პირობების მიხედვით მექანიზმების კვლევისა და პროექტირების საკითხებისადმი, აგრეთვე მრავალსაფეხურიანი კბილანური და რთული პლანეტარული მექანიზმების კინემატიკური კვლევებისადმი.

ს.ნ. კოჟევნიკოვის წიგნში [67] შეისწავლება სტრუქტურული და კინემატიკური ანალიზების საკითხები; დგინდება მექანიზმების სტრუქტურა და განისაზღვრება რგოლების ცალკეული წერტილების ტრაექტორიები, გადაადგილებები, სიჩქარეები და აჩქარებები, აგრეთვე რგოლების ზომები წინასწარ დასახული პირობების მიხედვით. განიხილება გარეშე მამოძრავებელი და წინააღმდეგობის ძალების ზემოქმედებით გამოწვეულ რგოლების მოძრაობების განსაზღვრის მეთოდები, მოძრაობის რეგულირების, ინერციის ძალების გაწონასწორების საკითხები და სხვა.

რხევების თეორიის საფუძვლები, თავისუფლების ერთ და მრავალი ხარისხის მქონე მექანიკური სისტემების რხევების თეორია და სისტემის საკუთარი სიხშირის განსაზღვრის მეთოდები განიხილება ს.პ. ტიმოშენკოს, დ.ხ. იანგის, უ. უივერის, ფ.მ. ცზას, ი.ე. მორზეს, პ.ტ. ხინკპას შრომებში [68-70].

ვ.ა. იუდინისა და ლ.ვ. პეტროკასას ნაშრომებში აგრეთვე შემოთავაზებულია მექანიზმების ძალოვანი გათვლის მეთოდები, მანქანების აგრეგატების დინამიკური ანალიზის და სინთეზის ზოგიერთი საკითხები, რომელთაც მიეკუთვნება პერიოდული რხევების რეგულირება და მანქანების გაწონასწორების ამოცანები.

ვ.ა. კუდინოვის ნაშრომში [71] შემოთავაზებულია ჩარხების დინამიკური ხარისხის მაჩვენებლების სისტემა და მოცემულია ამ მაჩვენებლების მიხედვით ჩარხების შეფასების საკითხები, თეორიული და ექსპერიმენტული ანალიზის ჩატარების საერთო მეთოდიკა.

მიწოდების რაციონალური სიჩქარეები აუცილებელია სიმძლავრის, ტექნოლოგიური წნევების განსაზღვრა, მაღალი ხარისხის და დამუშავების სიზუსტის უზრუნველყოფის პირობების უზრუნველყოფით, ოპტიმალური წარმადობის, გაწყობის მეთოდები და მართვის საკითხები განხილულია ფ.მ. მანჟოსის ნაშრომებში [72].

ვ.ლ. ბიდერმანის წიგნში [73] გადმოცემულია წრფივი და არაწრფივი მექანიკური სისტემების რხევების თეორიის საფუძვლები და მანქანათმშენებელი კონსტრუქციების დინამიკური გათვლისთვის საერთო მეთოდების გამოყენება.

მ.ფ. დიმენტბერგის ნაშრომში [74] განხილულია მოძრაობის რამოდენიმე შესაძლებელ რეჟიმში მყოფი არაწრფივი სისტემების რხევების კვლევის საკითხები, მოყვანილია სისტემების ხარისხური და არახარისხური იდენტიფიკაციის მეთოდები რხევითი პროცესების სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე. განხილული საკითხების გადაწყვეტა ხდება ანალიზურად, ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანაზე მოდელირების გზით.

ვ.ლ. ვეიცის ნაშრომში [75] მექანიზმის კვანძების არადარტყმითი ურთიერთქმედების ამსახველ დინამიკურ მოდელებთან ერთად, განხილულია დარტყმითი და ვიბროდარტყმითი ტიპის მოდელები. მათ საფუძველზე ჩატარებულია იმულებითი რხევების კომპლექსური კვლევები, რომელიც საშუალებას გვაძლევს აღმოვაჩინოთ თვითდამუხრუჭებადი სისტემებისათვის დამახასიათებელი რიგი ახალი მოვლენებისა. აქვე მოცემულია არაწრფივი დისიპაციური ძალების კვლევები დრეკად რგოლებიანი მექანიზმების დინამიკის ამოცანებში. განხილულია დისიპაციური ძალების კორექტული ეკვივალენტური გაწრფივების საკითხები, აგრეთვე დამუშავებული მეთოდების გამოყენება თავისუფლების ერთი და მრავალი ხარისხის მქონე სისტემებში რხევების გაანგარიშებისას.

ს.ი. სერგეევის ნაშრომში [76] ძირითადი ყურადღება ექცევა ჰიდრავლიკურ დემპფერებს და ერთი ან რამდენიმე ადგილში თავმოყრილი ბლანტი ხახუნის მქონე წრფივი მექანიკური სისტემების რხევების თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემები ამის შესახებ საკმარისია დემპფერების პროექტირებისათვის ხსენებული მექანიკური სისტემებით აღჭურვილ მანქანებში.

დრეკად-პლასტიკური სხეულების შემთხვევითი რხევები შეისწავლება ვ.ა. პალმოვის ნაშრომებში [77]. სასაზღვრო ამოცანის ამოხსნა იგება გალერკინის მეთოდის ამონახსნით სხეულის თავისუფალი დრეკადი რხევების ფორმების მიხედვით რიგში დაშლის გამოყენებით. აღნიშნულია რხევების სხვადასხვა სიხშირული შემდგენების ურთიერთზემოქმედება.

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

ა.პ. კარტაშოვისა და ბ.ლ. როჟდესტვენსკის ნაშრომი [78] ეძღვნება ჩვეულებრივი დიფერენციალური განტოლებების თეორიასა და ძირითად განმარტებებს და ვარიაციული გამოთვლების მარტივ ამოცანებს.

მოცემულია აგრეთვე პირველი რიგის კერძო წარმოებულის შემცველი განტოლებების ამოხსნის მახასიათებლების მეთოდები, დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნის მიახლოებითი მეთოდები, პერიოდულ კოეფიციენტებიანი დიფერენციალური განტოლებების წრფივი სისტემები.

ამერიკელი სპეციალისტების ჯ. ფორსოტისა და კ. მოლერის გამოყენებით მათემატიკასთან დაკავშირებულ შრომებში [42] აღწერილია წრფივი ალგებრული სისტემების ეგმ-ზე ამოხსნის თანამედროვე მეთოდები. ნაშრომები [80-82] მიძღვნილია მანქანებში დინამიკური პროცესების შესწავლისადმი.

ამძრავთა მექანიკურ სისტემებში, წარმოქმნილი დინამიკური მოვლენების კვლევათა განსაკუთრებულობის თვალსაზრისით, შესაძლოა მათი, სხვადასხვა მოვლენათა სახის კლასიფიცირება.

დრეკად სისტემებში მანქანის ყველა ელემენტი, რომლებიც გადასცემენ მოძრაობას და იყოლიებენ მანქანის ნაწილებს, მიიჩნევიან დრეკადად; ამასთანავე ელემენტთა დეფორმაცია არ აღემატება სიხისტის ზღვარს, ასეც არის ნარჩენი დეფორმაციები არ გაითვალისწინება. ერთი დრეკადი კავშირის შემთხვევაში სისტემას უწოდებენ ერთკავშირიანს, ორი კავშირის შემთხვევაში – ორკავშირიანს და ა.შ. დრეკად კავშირებს შეიძლება გააჩნდეთ მუდმივი და ცვლადი სიხისტეები. პირველ შემთხვევაში სისტემის რხევითი პროცესებისა და დრეკადი კავშირების განსაზღვრის კვლევისას, დავდივართ როგორც წესი მუდმივ კოეფიციენტიანი წრფივი განტოლების ამოხსნამდე. მეორე შემთხვევაში იგივე მოვლენების კვლევისას დავდივართ არაწრფივი განტოლებების ამოხსნამდე.

სისტემები შეიძლება წარმოდგენილ იქნას შეყურსული მასების სახით დაკავშირებული ხისტი ან დრეკადი რგოლებით, ან კიდევ ელემენტთა განაწილებული მასების სახით. პირველ შემთხვევაში დინამიკის ამოცანათა გადაწყვეტა შეიძლება გამოსახული იქნას ნიუტონის დიფერენციალური განტოლებით (ხისტი კავშირები) ან ლაგრანჟის განტოლებით (დრეკადი კავშირები). გამომდინარე შეყურსულ მასათა

რაოდენობიდან სისტემა იწოდება ერთმასიანად, ორმასიანად, სამმასიანად და ა.შ.

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

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

რაიმე განსაზღვრული ნიშნის მქონე დისიპაციური სისტემები (წამყვანი რგოლის სიჩქარის შენარჩუნება, დროის ფუნქციაში დატვირთვების ცვლილების კანონის შენარჩუნება და სხვ.) ხასიათდებიან იმით, რომ მოძრაობის პროცესში არსებული ჩამხშობის ან წყაროს ხარჯზე, როგორცაა მაგალითად მოძრავი ცვლადი ძალების მნიშვნელობები, რომელიც დაკავშირებულია ძრავის თვისებებთან, ადგილი აქვს უკუცემას ან ენერგიის შემონაკადს.

კონკრეტული სისტემების დინამიკური ამოცანების გამოყვანა ადვილია, ოღონდ მანქანებისა და მექანიზმების მუშაობის კონკრეტული პირობებისათვის იშვიათად გამოიყენებიან.

წონასწორულს უწოდებენ ისეთ სისტემებს, რომლებიც ნებისმიერ მდგომარეობაში, გარე დატვირთვების არ არსებობისას ინარჩუნებენ წონასწორობას. მაგალითისათვის შეგვიძლია მოვიყვანოთ მექანიზმები ან მანქანები, შედგენილი მხოლოდ მბრუნავი ელემენტებისაგან (ვენტილატორი, სახარატო ჩარხის შპინდელის მბრუნებელი მექანიზმი და სხვ.).

არაწონასწორული სისტემები მხოლოდ ზოგიერთ მდგომარეობაში წონასწორდებიან საკუთარი წონის ძალებით (ექსცენტრული მექანიზმი, მრუდმხარა ბარბაცა და სხვ.).

ხისტი სისტემების დინამიკური ამოცანები მდგომარეობს იმაში, რომ მოცემული ძალებით ან მომენტებით განისაზღვროს სისტემის მოძრაობის

კანონი (მდგომარეობა, ნებისმიერი დროის მომენტში სისტემის ყველა წერტილის სიჩქარე და აჩქარება) ან მოცემული მოძრაობის კანონით განისაზღვროს ძალები, რომელთა მოქმედებითაც იგი ხორციელდება.

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

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

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

ან

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

დიფერენცირებისას ვიპოვოთ

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

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

$$m(x) \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{1}{2} \frac{d[m(x)]}{dx} \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = P(x, v, t). \quad (3)$$

მიღებული განტოლება საერთო სახით მათემატიკურ ფორმაში გამოსახავს ნიუტონის მეორე კანონს, სადაც $m(x) = const$ და $P(x, v, t) = const$, იგი მარტივდება და ლებულობს სახეს

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = p. \quad (4)$$

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

$$J(\varphi) \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{d\varphi} [d(\varphi)] \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = M(\varphi, \omega, t) \dots \quad (5)$$

ეს განტოლება ანალოგიურია განტოლებისა (3) სადაც $J(\varphi) = const$ და $M(\varphi, \omega, t) = const$ მივიღებთ

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = M. \quad (6)$$

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

დრეკადი სისტემების დინამიკის ამოცანები მდგომარეობს თვისებათა ცვლილებების განსაზღვრაში, რგოლების დინამიკური დატვირთვების მაქსიმალურ მნიშვნელობებში, პერიოდებსა და სიხშირულ რხევებში და სისტემის რეზონანსული მდგომარეობის პირობებში. ისევე როგორც ხისტი სისტემებისა, მანქანათა რეალურ სქემებს ცვლიან დაყვანილებით. რიგ შემთხვევებში (შეყურსულ მასათა აშკარა გამოვლინებისას) დაყვანილი სქემა გამოისახება, ერთი ან რამდენიმე თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემის სახით. დაყვანილი მასები, ასევე დრეკადი რგოლების სიხისტეები და მოქმედი გარე ძალები (ასევე მოქმედი), შეიძლება იყვნენ ცვალებადნი, დამოკიდებული მდებარეობაზე, მოძრაობის სიჩქარეზე ან დროზე.

დინამიკური დატვირთვები ყოველთვის არ არიან პირდაპირ კავშირში სისტემის დრეკად რგოლების სიხისტესთან. ყველა მექანიკური

სისტემა ფლობს დრეკადობას, ამიტომ არასწორია იმის მტკიცება, რომ ხისტი სისტემის რგოლებზე დინამიკური დატვირთვების განსაზღვრისათვის საჭირო მყარი სხეულების დინამიკის ფორმულათა გამოყენება და მხოლოდ დრეკადი რგოლებისათვის დრეკადი სისტემის დინამიკის ფორმულებისა.

ორი ან მეტი თავისუფლების ხარისხის მქონე დრეკადი სისტემის დინამიკის ამოცანათა ამოხსნისას, მოხერხებულია მიღებული კოორდინატთა რიგი დამოუკიდებელი სიდიდეებისა (მზომი ხაზობრივი ან კუთხური სიდიდეებით), რომელიც განსაზღვრავს სისტემის მდებარეობას.

თანამედროვე მანქანების ამძრავთა ჯაჭვებში გამოყენებული რეალური მიმყოლი სისტემები, ძირითადად მიეკუთვნებიან რთულ არაწრფივს, გარკვეულ შემთხვევებში კი არასტაციონარულ სისტემებს, რაც მნიშვნელოვნად ართულებს მათი გაანგარიშებისა და დაპროექტების საკითხებს [82, 83-90].

თავისუფალი და იძულებითი რხევების ანალიზის მეთოდები, დაფუძნებული ა.მ. ლიაპუნოვის მოძრაობის მდგრადობის შესახებ ფუნდამენტურ თეორიებზე, ფაზური სივრცეების სტრუქტურის გეომეტრიულ აგებასთან დაკავშირებული ტიპოლოგიური მეთოდები, დიფერენციალური განტოლებების ხარისხობრივი თეორიის მეთოდები, მორგებისა, გადამცემი ფუნქციის განსაზღვრებაზე და სისტემების სიხშირით მახასიათებლებზე დაყრდნობილი სხვაობითი მეთოდები და სხვა [91, 92], რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ მივიღოთ მკაცრად დასაბუთებული შედეგები, ჩვეულებრივად ძალიან რთულნი არიან დასაპროექტებელი სისტემების სტრუქტურისა და პარამეტრების წინასწარი შერჩევის პროცესში და ინჟინრული გათვლების პრაქტიკაში გამოყენებისათვის. ამიტომ ანალიზის ზუსტ მეთოდებთან ერთად დიდ პრაქტიკულ გამოყენებას იძენენ მიახლოებითი მეთოდები, რომლებიც ხასიათდებიან პარამეტრების წინასწარი შერჩევის პროცესში პრაქტიკული გამოყენების სიმარტივით და ცალკეული სტრუქტურული ელემენტების სისტემების საერთო სტრუქტურულ მთლიანობაში შერწყმაში გამოვლენილი მიდამოების შიგნით პარამეტრების და სტრუქტურის ზუსტი მეთოდების

გამოყენებით შემდგომი დაზუსტებით. ამასთან ძალიან ხშირად მეთოდის პრაქტიკული გამოყენების სიმარტივეს უფრო დიდი მნიშვნელობა აქვს, ვიდრე მაღალ სიზუსტეს. ეს აიხსნება იმით, რომ ნებისმიერი ხარისხის არაწრფივ სისტემებში დინამიკური პროცესების საკმარისად ზუსტი და დეტალური კვლევა (სხვადასხვა საწყის პირობებში და სხვადასხვა გარე ზემოქმედებისას) ახლანდელ დროში შეიძლება განხორციელდეს ელექტრონული სამოდელო მოწყობილობებით და გამომთვლელი მანქანებით.

არაწრფივ სისტემებში პროცესების მიახლოებითი კვლევისთვის ფართო გამოყენება ჰპოვეს ჰარმონიული გაწრფივების და მასთან მონათესავე-მცირე პარამეტრების, ჰარმონიული ბალანსის და სხვა მეთოდებმა [86, 94-97].

არაწრფივი სისტემების მიახლოებითი გათვლის მეთოდები, განხილული ი.ა. ორურკის, ვ.ი. სტანკევიჩის, ი.ი. კრინეცკის და სხვათა შრომებში [94-96], შეიძლება იყვნენ გამოყენებული მონოტონურ პროცესებთან ახლოს გარკვეულად შეზღუდულ კლასში მყოფი არაწრფივი ავტომატური სისტემების კვლევაში, რომელთა არაწრფივი ფუნქციები მოიცავენ ერთ-ორ ერთმნიშვნელოვან უბან-უბან წრფივ მახასიათებლიან არაწრფივ ფუნქციებს. ამასთან ერთად, ხსენებული მეთოდები საშუალებას გვაძლევენ ვაწარმოთ სისტემის გაანგარიშებები, რომელიმე ერთი სისტემის დინამიკური თვისების მახასიათებელი კონკრეტული კრიტერიუმის დაკმაყოფილების პირობიდან.

სამოდელო-რიგბელი მოწყობილობების და ეგმ-ის გამოყენება დასაპროექტებელი სისტემების სქემებისა და პარამეტრების არჩევისათვის, დაფუძნებულია მრავალრიცხოვან მოსინჯვებზე შემუშავებული სქემების პარამეტრების სხვადასხვა შეთანწყობისას. რადგანაც სისტემაში შემავალი ელემენტების პარამეტრების შეთანწყობა ძალიან მრავალგვარია, ხოლო სისტემის სტრუქტურული სქემების რიცხვი ძალზე დიდია, ამიტომ ყველაზე მარტივი გადაწყვეტილების მოძებნა მოითხოვს დროის დიდი რაოდენობის დახარჯვას [97].

სტრუქტურულად რთული სისტემების ეფექტურ მეთოდთა შორის, რომლებიც ხასიათდებიან როგორც პარამეტრული, აგრეთვე სტრუქტურული სინთეზის თვალსაზრისით საკმაოდ ფართო შესაძლებლობებით, წარმოადგენენ სინთეზის ცნობილი მეთოდები მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით. მათ შორის საჭიროა აღინიშნოს რეგულირების წრფივი სისტემების სინთეზის მახასიათებლების გამოყენებაზე [98–100].

2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1. ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების საიმედოობა და მწარმოებლურობის ანალიზი და ახალი დამოკიდებულებები შემუშავება

2.1.1. მწარმოებლურობის და საიმედოობის თეორიის საფუძვლების ანალიზი

მწარმოებლურობის მათემატიკურ საფუძველს შეადგენენ განტოლებები, რომლებიც აკავშირებენ მანქანათა მწარმოებლურობას და შრომის მწარმოებლურობას მოწყობილობების კონსტრუქციულ, სტრუქტურულ და სხვა მაჩვენებლებთან. ამის მეშვეობით მწარმოებლურობის თეორიის მეთოდები საშუალებას იძლევიან არა მარტო გავითვალოთ რაოდენობრივად მანქანათა მწარმოებლურობა და მათი დანერგვის ეკონომიკური ეფექტურობა, არამედ აგრეთვე გავანალიზოთ ავტომატიზირებული მოწყობილობების სხვადასხვა ვარიანტები, შევირჩიოთ ისეთი პარამეტრები, რომლებიც არიან ოპტიმალური და განსაზღვრავენ მაქსიმალურ მწარმოებლურობას ანდა უმაღლეს ეკონომიკურ ეფექტს.

მწარმოებლურობის თეორიის ძირითადი დებულებები ფორმულირებული იქნა გ. შაუმიანის მიერ ჯერ კიდევ 1932-1933 წწ. მის შემდეგ ეს სამეცნიერო მიმართულება უწყვეტად ვითარდებოდა და იღებდა განვითარებას წარმოების სხვადასხვა დარგებში. საკმაოდ მთლიანი და დასრულებული ფორმით მწარმოებლურობის თეორიის ძირითადი დებულებები წარმოდგენილია ნაშრომებში [6, 101].

გ. შაუმიანის მიერ შემოთავაზებული მეთოდის არსი შედეგა იმისაგან, რომ მათემატიკურად უშუალოდ დაკავშირებულნი არიან ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლები. ასეთი შედარებები თავის მხრივ ერთობლიობაში წარმოადგენენ ავტომატების და ავტომატური ხაზების მათემატიკურ მოდელს მწარმოებლურობისა და ეფექტურობის მხრივ.

მწარმოებლურობის თეორიის მათემატიკური მოდელების გამოყენებით შესაძლოა გაანალიზირებული იყოს როგორ მოქმედებენ ტექნოლოგიისა და

კონსტრუირების ესა თუ ის მიმართულებები ტექნიკურ პროგრესზე, ე.ი. შეიძლება შეფასებული იქნას ავტომატიზაციის მიმართულების პერსპექტიულობა.

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

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

აღნიშნულთან დაკავშირებით განვიხილოთ საიმედოობის მათემატიკური თეორიის ზოგიერთი ძირითადი ფორმულები [102, 103].

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

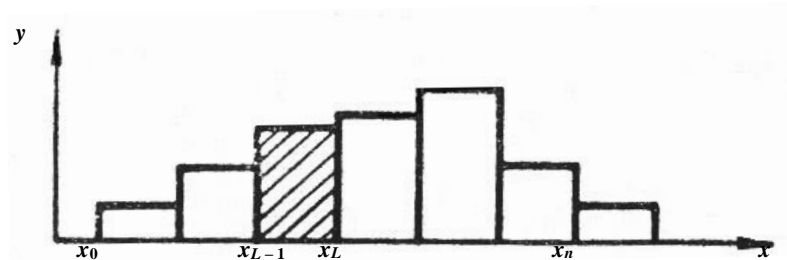
$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P(x < X < x + \Delta x)}{\Delta x} = f(x). \quad (7)$$

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

$$P(x < X < x + \Delta x) \approx f(x)\Delta x. \quad (8)$$

მრუდის $y = f(x)$ წარმოქმნის გეომეტრიული პროცესი შესაძლოა აიხსნას შემდეგი მიდგომით. განვიხილოთ ინტერვალი, რომლის გარეთ შემთხვევითი სიდიდეების მნიშვნელობათა წარმოშობა პრაქტიკულად შეუძლებელია. დავყოთ ეს ინტერვალი მწარმოებლური წერტილებით x_0, x_1, \dots, x_n , $\Delta x_{l-1} = x_l - x_{l-1}$ სიგრძის მცირე ინტერვალებად, რომლებშიც $P(x < X < x + \Delta x)$ და მივიღებთ საფეხუროვან ტახის l_n ხაზით ზემოდან შემოსაზღვრულ ფიგურად (ნახ. 6).

დავუშვათ, რომ ეს პროცესი უსასრულოა. დიფერენციალური მრუდი ეს არის ის სასაზღვრო მრუდი, რომელსაც უახლოვდება l_n n – ის ცვლილებისას $n \rightarrow \infty$.



ნახ. 6. შემთხვევით სიდიდეთა განაწილების ექსპერიმენტული ფუნქცია

ალბათობა $P(\alpha < X < \beta)$ იმისა, რომ შემთხვევით სიდიდის მნიშვნელობა მოხვდება ინტერვალში (α, β) , განისაზღვრება ფორმულით (ნახ. 7)

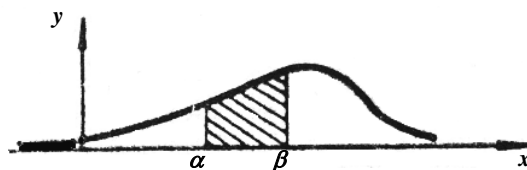
$$P(\alpha < X < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx.$$

თუ შემთხვევითი სიდიდის ყველა მნიშვნელობები იმყოფებიან ინტერვალში (α, β) , მაშინ

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

თუკი შესაძლო მნიშვნელობათა ინტერვალია $(-\infty, +\infty)$, მაშინ

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1. \tag{9}$$



ნახ. 7. განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია

შემდგომში ყოველთვის ჩავთვლით, რომ $f(x)$ ფუნქცია განსაზღვრადია ინტერვალზე $(-\infty, +\infty)$. იმ შემთხვევაში, როდესაც ამოცანის არსიდან გამომდინარეობს, რომ ფუნქცია $f(x)$ განისაზღვრება ზღვრულ ინტერვალზე (α, β) , მაშინ შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ იგი განსაზღვრადია $(-\infty, +\infty)$ ინტერვალზე, მაგრამ (α, β) ინტერვალის გარეთ:

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

განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია მთლიანად განსაზღვრავს შემთხვევით სიდიდეს.

განაწილების ინტეგრალური ფუნქცია ეწოდება ფუნქციას

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

მას აგრეთვე უწოდებენ განაწილების ფუნქციას, ანდა განაწილების ინტეგრალურ კანონს. ფუნქცია $F(x)$ -ის განმსაზღვრელი ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ x -ის მოცემულ მნიშვნელობისას განაწილების ფუნქცია რიცხობრივად უდრის განაწილების მრუდით, აბსცისთა ღერძით და განლაგებულია წერტილში X გატარებული ორდინატის მარცხენა მხარეს.

სიდიდე $F(x)$ – არის იმის ალბათობა, რომ შემთხვევითი სიდიდე მიიღებს მნიშვნელობას, რომელიც არ აღემატება ამ მნიშვნელობას. სიდიდე X –ის მოცემულ ინტერვალში (α, β) მოხვედრის ალბათობა უდრის ინტეგრალური ფუნქციის ნამატს ამ ინტერვალზე:

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

ცხადია. რომ განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია $f(x)$ და ინტეგრალური ფუნქცია $F(x)$ დაკავშირებული არიან თანაფარდობით

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

შემდგომში უმეტესად ხშირად შესასწავლი შემთხვევითი სიდიდის ხარისხში ჩვენთან ფიგურირებას იწყებს უმტყუნებო მუშაობის დრო მუშაობის დაწყებიდან ინსტრუმენტის მწყობრიდან გამოსვლამდის. ეს შემთხვევითი სიდიდე განისაზღვრება ნახევრადუსასრულო $(0, +\infty)$ ინტერვალზე. ამიტომ განაწილების ინტეგრალური ფუნქცია უმეტესად ჩაწერილი იქნება სახით

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

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

ფუნქციას

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(x)dx \quad (10)$$

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

სისტემას n იარაღებისა და მოწყობილობების (მაგალითად მრავალიარადიანი ჩარხი) უმტყუნებოდ მუშაობს ინტერვალზე $(0, t)$, მაშინ და მაშინ, როდესაც ყოველი ელემენტი ამ ინტერვალზე არ უმტყუნებს. თუ $P(t)$ -ს მეშვეობით აღვნიშნავთ ჩარხის უმტყუნებო მუშაობას ინტერვალზე $(0, t)$ და $p_1(t)$ -ის $i = 1, 2, \dots, n$ კი i -ური იარაღის უმტყუნებო მუშაობას ამავე ინტერვალზე $(0, t)$, მაშინ რადგანაც იარაღები და მოწყობილობები არიან დამოუკიდებელი, მივიღებთ

$$P(t) = p_1(t)p_2(t)\dots p_n(t). \quad (11)$$

მათი უმტყუნებო მუშაობის დროის განაწილების კანონი განისაზღვრება ექსპერიმენტიდან. უაღრესად ხშირად იარაღის უმტყუნებო მუშაობის დროის განაწილების კანონის.

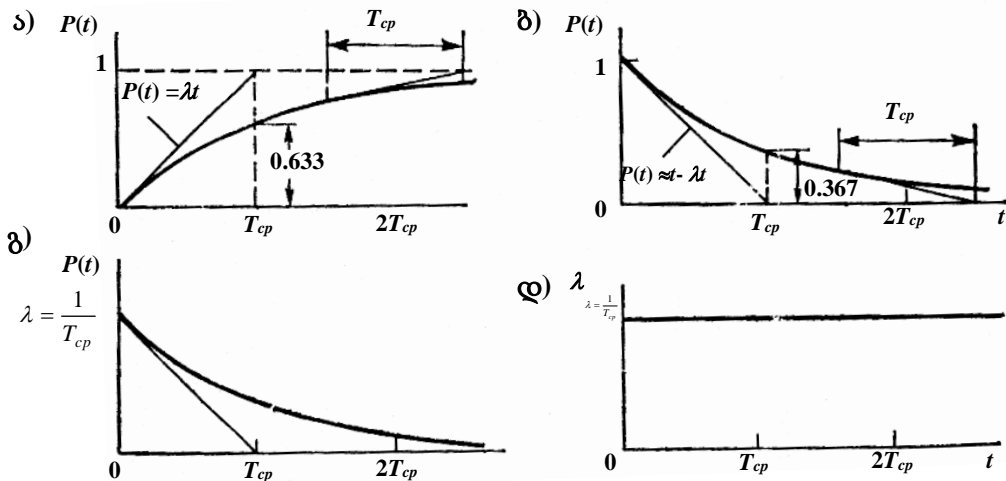
საინჟინრო გამოთვლებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს შემთხვევითი მნიშვნელობების ნორმალურმა, ლოგარითმულმა ნორმალურმა, ექსპონენციალურმა და ვეიბულის განაწილების კანონებმა [102-104, 114].

ნორმალური განაწილება. განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია განისაზღვრება ფორმულით

$$f(x) = -\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-T_{cp})^2}{2\sigma^2}}. \quad (12)$$

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

მექანიზმების, მოწყობილობების და მართვის ელემენტების დროის მიახლოებითი გამოსახვისათვის მრავალ შემთხვევაში იყენებენ ექსპონენციალურ განაწილებას (ნახ. 8, ა), რომელიც განისაზღვრება ინტენსივობის ერთი λ პარამეტრით.



ნახ. 8. ექსპონენციალური განაწილების ფუნქციები

პარამეტრი λ არის **ხდომილობის** ინტენსივობა (მაგალითად, ობიექტის ცდომილებაა, ობიექტის მუშაუნარიანობის **აღდგენადობა**). ცდომილობების ინტენსივობა ეწოდება დროის ერთეულში წარმოქმნილ ხდომილობათა საშუალო რიცხვს. ხდომილობათა მუდმივ ინტენსიურობისას მათ წარმოშობას აქვს ექსპონენციალური განაწილება და შებრუნებით მტყუნებათა წარმოქმნის დროის ექსპონენციალური განაწილებისას მათი ინტენსივობა მუდმივია. უეცარ მტყუნებათა მუდმივი ინტენსივობა ნორმალური ექსპლუატაციის პერიოდში წარმოადგენს მრავალი შემთხვევითი ფაქტორის ზემოქმედების შედეგს უცვლელი გარე პირობების დროს, როდესაც ობიექტის ცვეთისა და დაძველების მოვლენები იმდენად მცირეადაა გამოსახული, რომ შეგვიძლია მათი უგულვებელყოფა.

ინტეგრალური ფუნქციის დამატება, T გამოისახება განტოლებით

$$P(t) = \exp(-\lambda t) = \exp(-t/T_{cp}), \quad (13)$$

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

ექსპონენციალური განაწილების ინტეგრალური ფუნქცია (13) ფორმულის თანახმად უდრის (ნახ. 8, ა)

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) = 1 - \exp(-t/T_{cp}). \quad (14)$$

ექსპონენციალური განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია (ალბათობის სიმჭიდროვე) (14) ფორმულის თანახმად უდრის (ნახ. 8, გ)

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) = \frac{1}{T_{cp}} \exp\left(-\frac{t}{T_{cp}}\right). \quad (15)$$

ხდომილობათა ინტენსიურობა (15) გამოისახება ასე

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

ხდომილობათა ინტენსიურობა ექსპონენციალური განაწილების დროს არის მუდმივი სიდიდე. ეს სამართლიანია მართოდ ექსპონენციალური განაწილების დროს.

შემთხვევითი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობა (მათემატიკური ლოდინი) ექსპონენციალური კანონის დროს 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 ნაწარმის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა t პერიოდისას, თუ მან იმუშავა T დრო, ალბათობათა გადამრავლების თეორემის თანახმად უდრის

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

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

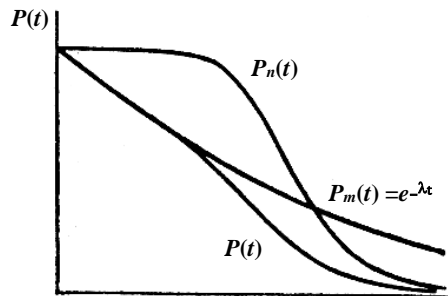
მიმდევრობითი ელემენტების შეერთებაზე აგებული სისტემისათვის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა t პერიოდში უდრის

$$P_{cm}(t) = e^{-t \sum \lambda_i} \prod \frac{P_{ni}(T+t)}{P_{ni}(t)}, \quad (16)$$

სადაც ნიშნები \sum და \prod აღნიშნავენ ჯამს და გამრავლებას.

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

ნახ. 9 ნაჩვენებია უეცარი მტყუნებების თანდათანობითი მტყუნებების და უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები უეცარი და თანდათანობითი მტყუნებების ერთობლივი მოქმედებისას.



ნახ. 9. უეცარი და თანდათანობითი მტყუნებების ერთობლივი მოქმედება, სადაც $P(t)$ ასახავს უეცარი მტყუნებების მრუდს

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

თანდათანობითი მტყუნებების პერიოდში მათი ინტენსიურობა, როგორც წესი მრავალჯერად მაღალია, ვიდრე უეცარი მტყუნებებისა.

აღდგენადი ობიექტის ექსპლუატაციის პერიოდში **ობიექტის მზადყოფნა** წარმოადგენს საიმედოობის კომპლექსურ მაჩვენებელს, რადგანაც ახასიათებს ორ თვისებას: უმტყუნებობის თვისებასა და აღდგენადობის თვისებას. ობიექტის საიმედოობის შეფასება არ იქნება **სრული** მუშაუნარიანობის აღდგენადობის დროის გათვალისწინების გარეშე. საიმედოობის მნიშვნელოვან მაჩვენებელს წარმოადგენს ობიექტის **მზადყოფნის კოეფიციენტი** - ობიექტის მუშაუნარიანი მდგომარეობის ალბათობა დროის ნებისმიერ მომენტში აღდგენადობის დროის გათვალისწინებით [104].

ობიექტის ექსპლუატაციის მოდელი აღდგენადობის **სასრული** დროით გამოიყენება ობიექტის მზადყოფნისა მოცემული ფუნქციების შესრულებისათვის დროის ნებისმიერ მომენტში და ითვალისწინებს მუშაობისა და მუშაუნარიანობის აღდგენის მომენტებს.

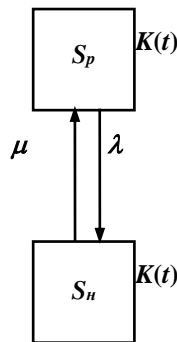
ობიექტის მუშაუნარიანობის აღდგენის დრო დამოკიდებულია ექსპონენციალურ განაწილებასთან მუდმივი μ ინტენსივობით. ობიექტის მუშაუნარიანი მდგომარეობა მტყუნების შემდეგ აღდგება ძველ დონემდე.

აღდგენადი ობიექტის ექსპლუატაციის პროცესი საიმედოობის პოზიციიდან მდგომარეობს იმაში, რომ ობიექტი ნახტომისებრ გადადის

მუშა მდგომარეობიდან არამუშა მდგომარეობაში მტყუნების შედეგად დროის შემთხვევით მომენტში, შემდეგ ობიექტი ნახტომისებრ გადადის არამუშა მდგომარეობიდან მუშა მდგომარეობაში აღდგენის შედეგად დროის შემთხვევით მომენტში და ა.შ. ეს შემთხვევითი პროცესი შეიძლება გრძელდებოდეს უაღრესად ხანგრძლივად, სანამ ობიექტის მოდელში ობიექტს გააჩნია მარტო ორი შესაძლო მდგომარეობა: მუშაუნარიანი და არამუშაუნარიანი, თუმცა ზოგადი სახით შესაძლოა სხვა მდგომარეობების.

აღდგენადი ობიექტის ექსპლუატაციის პროცესი შეიძლება ინტერპრეტირებული იქნას როგორც შემთხვევითი, რომელშიც ობიექტის გადასვლები ერთი მდგომარეობიდან მეორეში შეიძლება განვიხილოთ როგორც განხორციელებადი მტყუნებების და მუშაუნარიანობის აღდგენადობათა ზემოქმედებათა მეშვეობით [104].

ობიექტის (სისტემის) მდგომარეობათა მონიშნული გრაფი ნაჩვენებია ნახ. 10, სადაც S_p – ობიექტის მუშაუნარიანი მდგომარეობა, S_n – ობიექტის არამუშაუნარიანი მდგომარეობა.



ნახ. 10. ობიექტის მდგომარეობათა გრაფი

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

ობიექტის მუშაობის დროის ექსპონენციალური განაწილება ნორმალური ექსპლუატაციის პერიოდში და მუშაუნარიანობის აღდგენადობის დროის ექსპონენციალური კანონი ის ძირითადი პირობებია, რომელთა

გარდა შემთხვევითი პროცესი ექსპლუატაციის სისტემაში არ იქნება მარკოვის.

მარკოვის პროცესი ფიზიკურ სისტემაში მრავალი დისკრეტული მდგომარეობის და უწყვეტი დროით შეიძლება აღიწეროს ჩვეულებრივი დიფერენციალური განტოლებებით, რომლებშიც უცნობ ფუნქციებს წარმოადგენენ მდგომარეობათა ალბათობებში.

სისტემის მდგომარეობათა ალბათობები. წარმოადგენენ სისტემის მოქმედების უმნიშვნელოვანეს მახასიათებლებს. ფიზიკური სისტემა S მდგომარეობათა თვლითი სიმძლავრით $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_j, \dots, s_n$ დროს ნებისმიერ t მომენტში შეიძლება იყოს ერთ-ერთში ამ მდგომარეობათა შორის ალბათობებით

$$P_1(t), P_2(t), \dots, P_i(t), \dots, P_j(t), \dots, P_n(t), \quad (17)$$

რომლებსაც ეწოდებათ სისტემის მდგომარეობათა ალბათობები. აქ $P_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) – იმის ალბათობაა, რომ სისტემა S იმყოფება მდგომარეობაში s_i დროს t მომენტში, ე.ი. $P_i(t) = P\{S(t) = s_i\}$.

სისტემის მდგომარეობათა ყველა ალბათობის ჯამი დროის ნებისმიერი მომენტისათვის უდრის ერთს

$$P_1(t) + P_2(t) + \dots + P_i(t) + \dots + P_j(t) + \dots + P_n(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) = 1. \quad (18)$$

მდგომარეობათა ალბათობების ერთობლიობა (17) არ წარმოადგენენ პროცესის ამომწურავ მახასიათებელს.

მთლიან წარმოდგენას სისტემაში მოქმედ შემთხვევით პროცესზე იძლევიან სისტემის მდგომარეობათა ალბათობების დამოკიდებულებები დროსთან, რომლებიც შესაძლოა იყვნენ მიღებულნი წრფივ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემათა ამონახსნებიდან.

სისტემის მდგომარეობათა ალბათობების დიფერენციალურ განტოლებებს (კოლმოგოროვის განტოლებები [90]) ზოგადი მიდგომით აქვს სახე

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

$$(i = 1, 2, \dots) \quad (j = 1, 2, \dots). \quad (19)$$

ნაკადების $\lambda_{ij}(t)$ ინტენსივობები შესაძლოა იყვნენ დროზე დამოკიდებულნი, ან არადამოკიდებულნი.

მოხერხებულია დიფერენციალურ განტოლებათა შედგენა მდგომარეობათა მონიშნული გრაფის მიხედვით და შემდეგი მნემომიური ხერხით: ყველა მდგომარეობის ალბათობის წარმოებული უდრის ალბათობათა ყველა ნაკადების ჯამს, რომლებიც მოდიან მოცემულში სხვა მდგომარეობებიდან, მინუს მოცემულ მდგომარეობიდან სხვა მდგომარეობებში წასული ალბათობების ნაკადთა ჯამისა.

2.1.2. ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობისა და საიმედოობის კანონზომიერებებისა და დამოკიდებულებების ანალიზი და შემუშავება

ლითონდამუშავების მწარმოებლურობა უმეტეს შემთხვევაში ფასდება მოხსნილი ლითონის მოცულობით (მოცულობითი მწარმოებლურობით Q_v) იარაღის გამოყენების ციკლის ერთეულ დროში ან და დამუშავებული დეტალების (ცალობრივი მწარმოებლურობით Q_g) ამავე ციკლის დროში.

i -ური იარაღის გამოყენების ციკლის ქვეშ იგულისხმება მისი მედეგობის, იარაღის შეცვლის ჩარხის მუშაობის დამხმარე დროების ჯამი ცვლის დროში (ანდა პარტია დეტალების დროის განმავლობაში) შეფარდებული მოცემული იარაღის მედეგობის პერიოდთან [44].

ავტომატური ხაზების (ახ) ძირითად მაჩვენებლებს საწარმოო პირობებში წარმოადგენენ მოწყობილობათა საიმედო მუშაობა, პროდუქციის გამოშვების რითმულობა მისი ხარისხის დაკმაყოფილების პირობიდან გამომდინარე [14].

ავტომატურ ხაზებთან მიმართებაში ხაზების ციკლური მწარმოებლურობა განისაზღვრება გაცდენების მთლიან არსებობასთან დაკავშირებით, როდესაც მისი მუშაობა შედგება მუშა ციკლის პერიოდული გამეორებებით:

$$Q_c = \frac{60N}{T_c} = \frac{60}{t_0 + \tau_x}, \quad (20)$$

სადაც: T_c – ხაზის მუშაობის ციკლის ხანგრძლივობა წუთებში, რომელიც განისაზღვრება როგორც ჯამი დამუშავების ძირითადი (სამანქანო) t_0 და τ_x უქმი სვლების დროებით ხაზის ლიმიტირებად პოზიციაში.

პოტენციური მწარმოებლურობა განისაზღვრება დროის დანაკარგების გათვალისწინებით იარაღებისა და მექანიზმების მომსახურებაზე:

$$Q_{\Pi} = \frac{60}{T_u + t_u + t_{ob}}, \quad (21)$$

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

ფაქტიური მწარმოებლურობა ითვალისწინებს აგრეთვე დამატებით დანაკარგებს ორგანიზაციული მიზეზებით

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

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

ავტომატური ხაზების მწარმოებლურობის ამაღლების შესაძლებლობა დანაკარგების შემცირების ხარჯზე აისახება ზოგადი გამოყენების კოეფიციენტის სახით, რომელიც გვიჩვენებს იმას თუ დროის ნამდვილი ფონდის რა ნაწილში ხაზი მუშაობს გამართულად:

$$K_{\Sigma} = \frac{Q_f}{Q_c} = \frac{T_c}{T_c + t_u + t_{ob} + t_{opr}}. \quad (23)$$

თუ t_u და t_{ob} მოიცავენ გაცდენებს შემთხვევითი ცდომილებების შედეგად, მაშინ ფორმულა (42) განისაზღვრება მზადყოფნის კოეფიციენტით.

იმასთან დაკავშირებით, რომ ტექნიკური და საორგანიზაციო მიზეზებით გამოწვეული დანაკარგები ხასიათდებიან შემთხვევითობითი

სახით ავტომატური ხაზის მიერ პროდუქცია აგრეთვე არის ცვალებადი სიდიდე. დროის t ტოლ მონაკვეთებზე ხაზი უშვებს სხვადასხვა რაოდენობის $N(t)$ პროდუქციას. დროის j -ურ მონაკვეთს შეესაბამება $N_j(t)$ პროდუქციის მოცულობა.

შემთხვევითი $N(t)$ სიდიდის განაწილება კარგად აპროქსიმირდება ჰაუსის მრუდით (ნორმალური განაწილება) [11]. ნორმალური განაწილება აღიწერება მათემატიკური ლოდინით

$$M[N(t)] = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n N_j(t) \quad (24)$$

და დისპერსიით:

$$D[N(t)] = \frac{1}{n} \sum \{N_j(t) - M[N(t)]\}^2 \quad (25)$$

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

პროდუქციის გამოშვება ხასიათდება არასტაბილურობით

$$a(t) = M \left\{ \frac{N(t) - M[N(t)]}{N(t)} \right\} \quad (26)$$

და რითმულობის კოეფიციენტით [12]:

$$K_p(t) = 1 - \frac{1}{2} M \left\{ \frac{N(t) - M[N(t)]}{M[N(t)]} \right\} \quad (27)$$

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

აქვე შეგვიძლია აღვნიშნოთ (ეს იქნება ნაჩვენები შემდეგ) საჩარხო სისტემის პოტენციური მწარმოებლურობა შეგვიძლია აღვნიშნოთ ფორმულით

$$Q_n = K_g \cdot \frac{1}{T_c}, \quad (28)$$

სადაც K_g – მზადყოფნის კოეფიციენტი;

T_c – დეტალის დამუშავების ცალობრივი დრო.

შემდგომი მნიშვნელოვანი ამოცანაა. ავტომატური ხაზების მწარმოებლურობა და საიმედოობა [9].

მოწყობილობათა ძირითადი მახასიათებლების ისეთების, როგორებიცაა მწარმოებლურობა საიმედოობის გათვალისწინებით, ტექნიკური გამოყენება, ზედნადები დანაკარგები და სხვა, შეფასებისათვის გამოყენება ჰპოვეს საჩარხო სისტემების ალბათობითი ფუნქციონირების კანონზომიერებებზე დაფუძნებული ანალიზურმა მეთოდებმა [9].

განვიხილოთ ბლოკირებული საჩარხო სისტემის მუშაობა, რომელიც შედგება m კვანძისაგან და n იარაღისაგან. რადგანაც ასეთი კომპანიებისას ყველა მისი ელემენტი საიმედოობის მხრივ შეერთებულია მიმდევრობით, ამიტომ ხაზის მტყუნების ალბათობა განისაზღვრება ყველა ამ ელემენტის მტყუნებათა ალბათობების ნამრავლით:

$$F(t) = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_{m+n}) = 1 - e^{-t \sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i}, \quad (29)$$

სადაც λ_i – არის i ელემენტის მტყუნებათა ნაკადი.

გამოვყოთ ხაზის სამი მდგომარეობა: 1 – ყველა ელემენტი მუშაუნარიანი; 2 – მტყუნება იარაღის ბრალით; 3 – მტყუნება მექანიზმების ბრალით. ხაზის გადასვლის ალბათობა ერთი მდგომარეობიდან მეორეში დროის მცირე მონაკვეთში Δt ილუსტრირდება ალბათობათა გადასვლების მატრიცებით (ცხრილი 1). აქ λ_{oo} , λ_u , μ_{oo} , μ_u – მოწყობილობათა და იარაღების 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	$1 - \mu_{oo} \Delta t$

ალბათობა იმისა, რომ ხაზი მუშაობდა დროის t მომენტში და Δt დროში დარჩება მუშაუნარიანი განისაზღვრება გამოსახულებით $1 - (\lambda_{oo} + \lambda_u) \Delta t = 1 - \sum \lambda \Delta t$. ალბათობა იმისა, რომ ხაზი აღმოჩნდება

მუშაუნარიანი თუ იგი დროის t მომენტში იყო გაჩერებული იარაღის მიზეზით განისაზღვრება გამოსახულებით $\mu_u \Delta t$. მდგომარეობა 3-დან მდგომარეობა 1-ში გადასვლის ალბათობა უდრის $\mu_{o\sigma} \Delta t$ -ს. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ალბათობა იმისა, რომ ხაზი იქნება მუშაუნარიანი დროის მომენტში $t + \Delta t$ (ახ-ის მდებარეობა 1 მდგომარეობაში) გამოისახება ასე

$$P_1(t + \Delta t) = P_1(t)(1 - \sum \lambda \Delta t) + P_2(t)\mu_u \Delta t + P_3(t)\mu_{o\sigma} \Delta t. \quad (30)$$

შესაბამისად ხაზის ყოფნა მდგომარეობებში 2 და 3 გამოისახება ასე:

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

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

საიდანაც მივიღებთ 1, 2 და 3 მდგომარეობების ალბათობათა დიფერენციალური განტოლებების:

როდესაც $\Delta t \rightarrow 0$:

$$dP_1/dt = -P_1 \sum \lambda + P_2 \mu_u + P_3 \mu_{o\sigma}; \quad (31)$$

$$dP_2/dt = P_1 \lambda_u - P_2 \mu_u; \quad (32)$$

$$dP_3/dt = P_1 \lambda_{o\sigma} - P_3 \mu_{o\sigma}. \quad (33)$$

რადგანაც

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1 \quad (34)$$

და Δt ზრდისას პროცესის სტაციონარულობიდან გამომდინარე მდგომარეობათა ალბათობათა ცვლილებები $dP/dt = 0$ და (31)-(32)-დან შეგვიძლია მივიღოთ დამოკიდებულებები

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

$$P_3 = (\lambda_{o\sigma}/\mu_{o\sigma})/(1 - \lambda_u/\mu_u + \lambda_{o\sigma}/\mu_{o\sigma}). \quad (35)$$

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

მტყუნებათა მიერ გამოწვეული გაცდენების ალბათობები შესაბამისად იარაღებისა და მოწყობილობებისა აღიწერება ასე

$$P_2 = B_u / (1 + B_u + B_{o\delta}); \quad P_3 = B_{o\delta} / (1 + B_u + B_{o\delta}). \quad (36)$$

ე.ი. თუ ცნობილია λ და μ მახასიათებლები ბლოკირებული საჩარხო სისტემაში შემავალი ყველა კვანძისა და იარაღისათვის ნაშრომში [9] მიღებულია დამოკიდებულებები:

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

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

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

შეგვიძლია გამოვთვალოთ დასაპროექტებელი ხაზის მზადყოფნის კოეფიციენტი:

$$K_g = 1 / \left[1 + 10^{-3} \left(\frac{1}{T_y} \sum B_j \right) + \frac{1}{T_y} \sum \frac{t_{cm} T_p}{T} \right] \quad (37)$$

სადაც $\sum B_j$ – ხაზის ციკლურად და უწყვეტად მოქმედი ელემენტების ხვედრითი ხანგამძლეობა

$$\frac{1}{T_c} \sum \frac{t_{cm} T_p}{T} = \sum B_j \quad (38)$$

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

განვიხილოთ ორი უბნისა და დეტალების ბუნკერული მარაგის მქონე ხაზის მუშაობა. დავუშვათ, რომ აღნიშნულ შემთხვევაში მტყუნებათა და აღდგენების ნაკადები არიან პუასონისებრივები და დაყოფილნი, როგორც ეს იყო მიღებული ადრე. დავუშვათ მტყუნებათა არაშეთავდებადობა ერთდროულად ორი უბნისათვის და აგრეთვე გამწყობისა და მარემონტებელის მოცდის დროის არარსებობა (იწყებენ მტყუნების ლიკვიდირებას მის წარმოშობასთან ერთდროულად) [9].

თავიდან განვიხილოთ ხაზის მუშაობა საბუნკერო მარაგის არსებობის გარეშე და შემდგომ განვსაზღვროთ მარაგის სიდიდის გავლენა ზედნადები გაცდენების კომპენსაციაზე. ასეთი თანამიმდევრობა წარმოდგენილი იქნას ნაშრომში [10].

ნახაზზე 11 ნაჩვენებია ნაკადური ხაზი (1-5) მდგომარეობების ანალიზი.

ცხრილში 2 კი მოყვანილია გადასვლების ალბათობები ერთი მდგომარეობიდან მეორეში. სისტემა შეიძლება იყოს შემდეგ ხუთ მდგომარეობაში:

1 – მუშაობს ორივე უბანი P_{11}

პირველი უბანი დგას:

2 – მექანიზმების მტყუნებათა შედეგად P_{061}

3 – იარაღების მტყუნებათა შედეგად P_{011}

მეორე უბანი დგას:

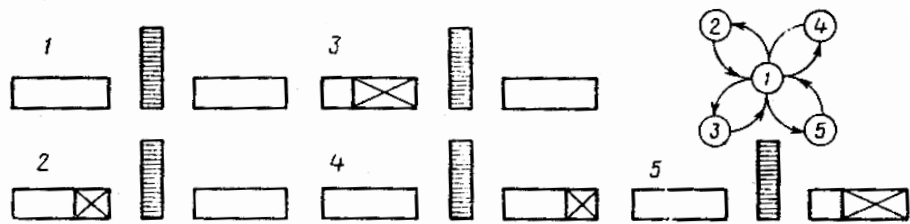
4 – მექანიზმების მტყუნებათა შედეგად P_{062}

5 – იარაღების მტყუნებათა შედეგად P_{012}

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

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

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



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

ვითვალისწინებთ რა ალდგენათა ნაკადების ჰუასონისებრივ ხასიათს განვსაზღვროთ ხდომილობები $\mu_k \Delta t P_k$, სადაც k არის ნაკადის k ინტენსიურობა და P_k მდგომარეობათა $k = 2 - 5$, ალბათობა, რომლებიდანაც

ხორციელდება გადასვლები. $k=2$ -ისათვის ხდომილობის ალბათობაა $\mu_{o\delta 1} + \Delta t P_{o\delta 1}$; $k=3 - \mu_{u1}$; $k=4 - \mu_{o\delta 2} \Delta t P_{o\delta 2}$; $k=5 - \mu_{u1} \Delta t P_{u2}$.

ცხრილი 2

გადასვლათა ალბათობათა მატრიცები

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

რადგან სისტემა არ შეიძლება ერთდროულად იმყოფებოდეს რამდენიმე მდგომარეობაში, ამიტომ

$$P_{11}(t + \Delta t) = P_{11}(t) \{ \lambda_{o\delta 1} + \lambda_{o\delta 2} + \lambda_{u1} + \lambda_{u2} \} \Delta t + \mu_{o\delta 1} \Delta t P_{o\delta 1}(t) + \mu_{u1} \Delta t P_{u1} + \mu_{o\delta 2} \Delta t P_{o\delta 2}(t) + \mu_{u2} \Delta t P_{u2}(t). \quad (39)$$

გარდავქმნით რა გამოსახულებას და გადავალთ ზღვრისაკენ $\Delta t \rightarrow 0$ მივიღებთ:

$$dP_{11}/dt = (\lambda_{o\delta 1} + \lambda_{o\delta 2} + \lambda_{u1} + \lambda_{u2}) P_{11} + \mu_{o\delta 1} P_{o\delta 1} + \mu_{u1} P_{u1} + \mu_{o\delta 2} P_{o\delta 2} + \mu_{u2} P_{u2}. \quad (40)$$

ანალოგიურად შევადგენთ დიფერენციალურ განტოლებებს სხვა მდგომარეობისათვისაც:

$$\begin{aligned} dP_{o\delta 1}/dt &= \mu_{o\delta 1} + \lambda_{o\delta 1} P_{11}; & dP_{u1}/dt &= -\mu_{u1} P_{u1} + \lambda_{u1} P_{11}; \\ dP_{o\delta 2}/dt &= \mu_{o\delta 2} + \lambda_{o\delta 1} P_{11}; & dP_{u2}/dt &= -\mu_{u2} P_{u2} + \lambda_{u1} P_{11}. \end{aligned} \quad (41)$$

სისტემის (41) პირველი განტოლება წარმოადგენს დანარჩენ განტოლებათა წრფივ კომბინაციას. ამიტომ იგი არ შეიცავს ნულოვან ამონახსნს. უკანასკნელი ოთხი განტოლებიდან და ნორმირების (41) პირობიდან გამომდინარე ვპოულობთ

$$\begin{aligned} P_{o\delta 1} &= P_{11}(t) \lambda_{o\delta 1} / \mu_{o\delta 1}; & P_{u1} &= P_{11} \lambda_{u1} / \mu_{u2}; \\ P_{o\delta 2} &= P_{11}(t) \lambda_{o\delta 2} / \mu_{o\delta 2}; & P_{u2} &= P_{11} \lambda_{u2} / \mu_{u2}. \end{aligned}$$

(41)–ის გათვალისწინებით

$$P_{11} = 1/(1 + \lambda_{o\delta 1}/\mu_{o\delta 1} + \lambda_{u1}/\mu_{u1} + \lambda_{o\delta 2}/\mu_{o\delta 2} + \lambda_{u2}/\mu_{u2}) = 1/A;$$

$$P_{u1} = (\lambda_{u1}/\mu_{u1})/A; P_{o\delta 1} = (\lambda_{o\delta 1}/\mu_{o\delta 1})/A; P_{o\delta 2} = (\lambda_{o\delta 2}/\mu_{o\delta 2})/A;$$

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

მიღებული თანაფარდობები სტრუქტურულად ანალოგიური არიან ბლოკირებული ხაზის განტოლებებისა.

დეტალების უზნებსშორისი მარაგის გათვალისწინები ნაკადური ხაზის საიმედოობაზე აღვნიშნოთ $\delta_{1,2}(x)$ –ით ხაზის მტყუნების პირობითი ალბათობა იმ პირობისათვის, როდესაც გვიმტყუნა პირველმა უზანმა. მაშინ ხაზის მტყუნებათა ალბათობა და მათემატიკური ლოდინი გამოისახება ასე:

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

$$M\{\delta_{1,2}(x)\} = \Pi + Qe^{-\mu\delta 1 U} + \int_0^U p(x)e^{-\mu\delta 1 x} dx + \int_0^U p(x)e^{-\mu u x} dx, \quad (42)$$

სადაც Π და Q – წარმოადგენენ იმის ალბათობებს, რომ ბუნკერს შესაბამისად ცარიელია ანდა სავსეა; U – ბუნკერის მაქსიმალური ტევადობა მისი მუშაობის წუთებში; $e^{-\mu U}$ – ალბათობა იმისა, რომ აღდგენის დრო მეტია, ვიდრე ბუნკერის U ტევადობა, ე.ი. ის რომ დეტალების მთლიანი მარაგი იქნება დახარჯული; $p(x)$ – შემთხვევითი x (x –ბუნკერში დეტალების მიმდინარე მარაგი).

ხაზი ჩერდება ალბათობით $P=1$, თუ პირველი უზანი დგას და მარაგი $x=0$;

მარაგი მაქსიმალურია, ე.ი. $x=U$ და მტყუნების აღდგენის დრო $\tau_{np} > x$.

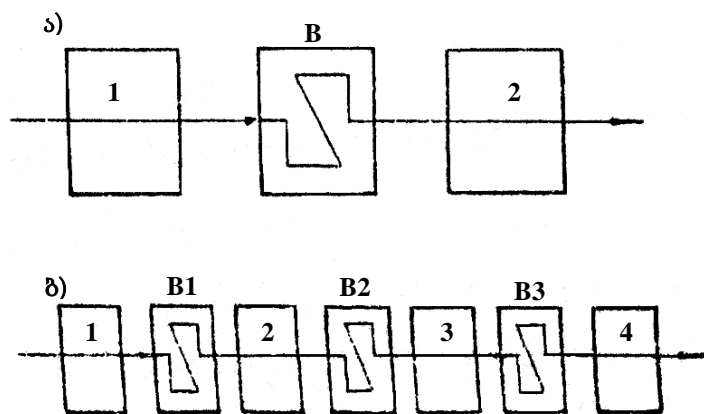
თუ ბუნკერი იმყოფება შუალედურ მდგომარეობაში და $\tau_{np} > x$, მაშინ ხაზი აგრეთვე ჩერდება ალბათობით $P=1$.

ზემომოყვანილი ტოლობების გამოყენებით დავდივართ უაღრესად რთულ დამოკიდებულებებზე, რომელთა გამოყენება უაღრესად რთულია სისტემისათვისაც კი, რომელიც შეიცავს ერთხარხათაშორის მაგროვებელს არ ვლასპარაკობთ რა უფრო რთული სტრუქტურის სისტემებზე.

გავანალიზოთ 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 გაანგარიშებისათვის და რეალური პროცესების იმიტაციური აღწარმოებისათვის საჭირო ალგორითმები და სტანდარტული პროგრამები [9, 10].

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

$$P_{ce}(t) = P_{1*}(t)P_{2*}(t), \quad (43)$$

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:

$$P_{1*}(t) = 1 - \int_0^{k_1 t} f_1(t) dt; \quad (44)$$

$$P_{2*}(t) = 1 - \int_0^{k_2 t} f_2(t) dt, \quad (45)$$

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 მამაგროვებელზე 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

$$P_{B1} = k_B e^{-u_{2n} t} P_{1*}(t), \quad (46)$$

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:

$$k_B = F(t)|_0^r; \quad (47)$$

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

$$P_{B2}(t) = e^{-u_1 t} P_{2*}(t), \quad (48)$$

სადაც

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

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

$$P_D(t) = k_B e^{-u_2 t} e^{-u_1 t} P_{1*}(t) P_{2*}(t). \quad (49)$$

თუ გამოვიყენებთ საჩარხო მოდულების უმტყუნებო მუშაობის აპროქსიმაციას ექსპონენციალური დამოკიდებულებებით დამოკიდებულება (49)–ის გამოთვლით დამატებით ჯაჭვის უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დროს, რომელიც განისაზღვრება ასე:

$$t_{D*} = k_B \int_0^{\infty} e^{-(u_1+u_2)t} e^{-(\lambda_1+\lambda_2)t} dt, \quad (50)$$

სადაც

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

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

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

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

$$t_D = \frac{T_{no}}{T_{p1}} t_{D*}, \quad (51)$$

სადაც

$$T_{noc} = \int_0^{\infty} P_{1*}(t)P_{2*}(t)dt . \quad (52)$$

ზემოაღნიშნული დამოკიდებულებების თანახმად სისტემის მზადყოფნის კოეფიციენტი ჩაიწერება ასე

$$K_g = \frac{T_{no} + t_D}{T_{no} + a_{1*} + a_{2*}} . \quad (53)$$

შემთხვევითი სიდიდეების ნორმალური განაწილების შემთხვევაში შეგვიძლია ვიხელმძღვანელოთ შემდეგი საწყისი მიდგომებით. ბუნებრივია, რომ ისეთი ჩარხების ურთიერთკავშირისას, რომლებზედაც ცალცალკე ხორციელდება მარტო ერთი ტექნოლოგიური გადასვლა, დეტალების დამატებითი მიწოდება პირველი ჩარხიდან მეორეზე $a_{1*} + a_{2*}$ დროს მონაკვეთში, როდესაც საქმე გვაქვს შეუზღუდავი სიდიდის დამაგროვებელთან რეგლამენტირებული იქნება a_{1*} –სა და a_{2*} –ს შორის ნაკლები სიდიდით. ზოგადი მიდგომით ეს სიდიდე შეგვიძლია გამოვსახოთ $a_{\min x}$ -ის აღნიშვნით. აღნიშნულთან დაკავშირებით მიახლოებით დამატებითი ჯაჭვის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა $a_{1*} + a_{2*}$ დროს მონაკვეთში გამოისახება დამოკიდებულებით

$$P'_D(t) = \frac{a_{\min*}}{a_{1*} + a_{2*}} P_{1*}(t)P_{2*}(t) . \quad (54)$$

T_{no} დროსთან მისადაგებით გვექნება

$$P_D(t) = \frac{(a_{1*} + a_{2*})a_{\min*}}{T_{no}} P_{1*}(t)P_{2*}(t)$$

და ამასთან შესაბამისად მივიღებთ

$$t_D = \frac{(a_{1*} + a_{2*})a_{\min*}}{T_{no}} \int_0^{\infty} P_{1*}(t)P_{2*}(t) dt \approx a_{\min*} . \quad (55)$$

აქვე აღვნიშნავთ, რომ მიღებული საკმაოდ ადეკვატურია განხილვადი ორი ჩარხისაგან შემდგარი სისტემისათვის, როდესაც ამ ჩარხებზე ხორციელდება შესაბამისად ერთი და ერთი ტექნოლოგიური გადასვლები და ამასთან ერთად საქმე გვაქვს შეზღუდვასთან $T_c > a_{\min*}$.

საწინააღმდეგო გამოყენება ხდება ნაკლებად მიახლოებული რეალურ პროცესთან.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ მიღებული დამოკიდებულებები მთლიანად კანონზომიერნი არიან აგრეთვე შემთხვევითი სიდიდების ექსპონენციალური კანონებიანი სისტემებისათვისაც.

იმ შემთხვევაში, როდესაც $T_c > a_{\min^*}$, საიმედოობის დიდი მარაგით ტექტური დამთხვევების დამაგროვებელის გარეშე ფუნქციონირებაზე გადართვის შემთხვევებში შეგვიძლია გამოვიყენოთ დამოკიდებულება

$$t_D \approx T_c .$$

ისეთ შემთხვევისას, როდესაც დამაგროვებელი განთავსებულია ჩარხების ჯგუფთა შორის, მაგალითისათვის ისე, როგორც ნახაზის 12, ბ-ს შესაბამისად ჩარხები 1, 2 და 3, 4 ფუნქციონალურად შეერთებულნი არიან ხისტად და მათ შორის არსებობს ერთი დამაგროვებელი B (ნახაზზე 12), ზოგადი მიდგომით მზადყოფნის კოეფიციენტი ჩაიწერება ასე:

$$K_g = \frac{T_{no} + t_D}{T_{no} + a_{12^*} + a_{34^*}} , \quad (56)$$

სადაც:

$$a_{12^*} = a_{1^*} + a_{2^*} ;$$

$$a_{34^*} = a_{3^*} + a_{4^*} .$$

ვატარებთ რა მთლიან ანალოგიას წინამორბედ ამოცანასთან აქ ასევე ვირჩევთ a_{\min^*} -ს a_{12^*} და a_{34^*} -ს შორის და ვწერთ

$$t_0 \approx a_{\min^*} .$$

ეს წარმოადგენს გარკვეული ზღვრულად შესაძლოდ დასაშვებ t_D -ს სიდიდეს შემთხვევისათვის, როდესაც გადართვები $a_{1^*} + a_{2^*}$ და $a_{3^*} + a_{4^*}$ წარმოიშვებიან სისტემაში ერთი მეორის მიმდევრობითად აქ, როგორც წინა ამოცანაში საიმედოობის გარკვეული მარაგით მიზანშეწონილად მიგვაჩნია გამოყენება დამოკიდებულებისა

$$t_D \approx 2T_c .$$

ზემოთ მიღებული კანონზომიერებები გვამღევენ საშუალებას უფრო

რთული სტრუქტურის სისტემათა (ნახ. 12, ბ) ალბათობითი მახასიათებლების გამოვლენისა.

ზემოთ აღწერილი ხერხით ნახ. 12 მოცემული სისტემისათვის შეგვიძლია განვსაზღვროთ t_D -ს მნიშვნელობები სისტემებისათვის: ჩარხი 1 - დამაგროვებელი 1 - ჩარხი 2; ჩარხი 2 - დამაგროვებელი 2 - ჩარხი 3 და ასე შემდეგ.

2.2. ავტომატიზებული ჩარხების და საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობის მოდელირება და პარამეტრული ოპტიმიზაცია

2.2.1. ავტომატიზებული ჩარხების მწარმოებლურობის მოდელირება და პარამეტრული ოპტიმიზაცია

ზოგადი მიდგომით ავტომატიზებული მოწყობილობების (ჩარხი – ავტომატების და ავტომატური ხაზების) მწარმოებლურობა განისაზღვრება დამოკიდებულებით [109, 111].

$$Q_{II} = \frac{1}{T_u + \sum_i^m t_{ui} + \sum_j^n t_{oBj}}, \frac{\det.}{wT} \quad (57)$$

სადაც: T_u – მუშა ციკლის ხანგრძლიობა; $\sum t_u + \sum t_{oo}$ – გაცდენები ტექნიკური მიზეზებით ($\sum t_u$ – მჭრელი იარაღების შეცვლაზე, რეგულირებაზე და გაწყობაზე, $\sum t_{oB}$ – დანაკარგები სხვადასხვა მექანიზმებისა და მოწყობილობების რემონტზე, რეგულირებაზე და გაწყობაზე), განხორციელებულნი ციკლის ხანგრძლივობის დროში.

ეს პოტენციური მწარმოებლურობა შესაძლოა გამოვსახოთ განხილვადი ტექნოლოგიური სისტემის მზადყოფნის K_g კოეფიციენტის მეშვეობით, რომელიც გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$Q_{II} = K_g \Pi_u, \quad (58)$$

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

$$K_r = \frac{1}{1 + \frac{1}{T_y} + \sum_i^n t_u + \frac{1}{T_y} \sum_q^m t_{0B}}. \quad (59)$$

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

თუ განვიხილავთ m მუშა კვანძებისაგან (მექანიზმებისაგან და მოწყობილობებისაგან) და n ინსტრუმენტებით შემდგარ ბლოკირებული საჩარხო სისტემის მუშაობას, მაშინ საკითხი ასეთი დაყენებისას სისტემის ყველა ელემენტები საიმედოობის თვალსაზრისით შეერთებულნი არიან მიმდევრობითად და ნებისმიერი ელემენტის მტყუნება იწვევს მთელი სისტემის მტყუნებას. ამ შემთხვევაში სისტემის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა განისაზღვრება ყოველი მისი ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობათა ნამრავლით [112, 113–115]:

$$P_{\Pi}(t) = \prod P_{\text{mi}}(t) P_{\text{no}}(t), \quad (60)$$

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

თავის მხრივ

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{mi}}(t) &= \prod_i^n P_{\text{mi}}(t), \\ P_{\text{no}}(t) &= \prod_i^m P_{\text{noj}}(t). \end{aligned} \right\} \quad (61)$$

იარაღის უმტყუნები მუშაობის დროის განაწილების დიფერენციალური ფუნქციები მრავალ შემთხვევაში კარგად აღიწერებიან განაწილების ნორმალური კანონით, მაგრამ გარკვეულ შემთხვევებში მიზანშეწონილია სხვა კანონების, კერძოდ ვეიბულის და ლოგარითმული ნორმალური [6], გამოყენება. თავის მხრივ მოწყობილობათა უმტყუნები მუშაობათა ალბათობები $P_{o\sigma}(t)$ და, როგორც მექანიზმებისა და მოწყობილობების $F_{Bo}(t)$, ასევე იარაღების F_{Bu} აღდგენადობების ალბათობები კარგად

აპროქსიმირდებიან შემდეგი სახის ეკონენციალური კანონზომიერებებით [115]:

$$P_{oe}(t) = e^{-\lambda_{oe}t}, F_{Bo}(t) = e^{\mu_{oe}t},$$

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

სადაც: λ_{OB} – მოწყობილობა მტყუნებების ნაკადები;

μ_{OB} და μ_u – შესაბამისად მოწყობილობების და იარაღების აღდგენადობის ნაკადები:

$$\lambda_{oe} = \frac{1}{T_0}; \mu_u = \frac{1}{T_{uB}}; \mu_{oe} = \frac{1}{T_{oeB}};$$

T_0 – მოწყობილობის უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დრო; T_{uB} და T_{oeB} – იარაღისა და მოწყობილობის აღდგენადობათა საშუალო დროები.

თუ ჩვენს მიერ შერჩეულია განაწილების ნორმალური კანონი, მაშინ

$$P_{nu}(t) = 1 - \int_0^{k_i t} f_i(x) dx, \quad (62)$$

სადაც: $f_i(x)$ – შემთხვევითი სიდიდის განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია; k_i – პროპორციულობათა კოეფიციენტები, განსაზღვრული ცალკეული ოპერაციის სამანქანო დროის შეფარდებით განმსაზღვრელი ოპერაციის სამანქანო დროსთან [112], რომლებიც ზოგადი მიდგომით თავის მხრივ წარმოადგენენ i -ური ოპერაციის სიჩქარეთა ფუნქციებს.

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

1) დროის მონაკვეთით t_w განმსაზღვრელი ოპერაციის დამხმარე τ დროის ფარგლებში და 2) დროის მონაკვეთი $t_p = \tau_{*1} + \tau_{*2}$.

აქ τ_{*1} და τ_{*2} შესაბამისად დამხმარე τ და სამანქანო $T_{მანქ}$ დროთა ფარგლებში მექანიზმების მიერ მუშაობების დროის მონაკვეთები. აღვნიშნავთ, რომ ნაშრომი [12] თანახმად

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

სადაც: R_i და V_i – შესაბამისად იარაღის დამამუშავებელ დეტალთან კონტაქტის წერტილის გზის სიგრძე და i -ური იარაღის ჭრის სიჩქარე. თავის

მხრივ, თუ გავითვალისწინებთ V_i -სა და V -ის თანაკავშირის კანონზომიერებას

$$V_i = A_i V,$$

სადაც V – არის ჭრის სიჩქარე განმსაზღვრელ ოპერაციაზე, შეგვიძლია დავწეროთ

$$\tau_{*2} = \frac{R_i}{A_i V} = \frac{K_{\tau^*}}{V}. \quad (63)$$

აქედან გამომდინარე:

$$P_{no\sigma}(t) = \prod_q P_{no1q}(t) \prod_\gamma P_{no2\gamma}(t), \quad (64)$$

სადაც:

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

$$P_{no2\gamma} = e^{-k_{o\gamma}\lambda_\gamma t};$$

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

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

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

ზემოაღნიშნულის თანახმად

$$\sum_i t_u = \sum_i \frac{a_i T_c}{T_{pi}}, \quad (65)$$

$$\begin{aligned} \sum_j t_{o\sigma} &= \sum_q t_{o\sigma q} + \sum_\gamma t_{o\sigma \gamma} = \sum_q \frac{t_{\omega q} a_{o\sigma q}}{T_{o\sigma q}} + \sum_\gamma \left(\frac{\tau_{*1\gamma} + K_{\tau^*\gamma} \frac{1}{V}}{T_{o\sigma \gamma}} \right) a_{o\sigma \gamma} = \\ &= \sum_q \frac{t_{\omega q} a_{o\sigma q}}{T_{o\sigma q}} + \sum_\gamma \frac{\tau_{*1\gamma} a_{o\sigma \gamma}}{T_{o\sigma \gamma}} + \sum_q \frac{a_{o\sigma \gamma} K_{\tau^*\gamma}}{T_{o\sigma \gamma} V}, \end{aligned} \quad (66)$$

სადაც: T_{pi} – i -ური იარაღის უმტყუნებო მუშაობის დრო; a_i – აღდგენის (i -ური იარაღის შეცვლის, რეგულირებისა და გაწყოების) საშუალო დრო; $T_{o\sigma q}$ და $T_{o\sigma \gamma}$ – უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დროები; $a_{o\sigma q}$ და $a_{o\sigma \gamma}$ – აღდგენის საშუალო დროები.

გამოვსახოთ T_p და T_c ჭრის სიჩქარესთან და იარაღის მედეგობასთან ურთიერთკავშირში.

ვწერთ:

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

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

ჭრის დრო, როგორც ცნობილია, გამოისახება ფორმულით

$$T_{pe} = \frac{R}{V}, \quad (67)$$

კერძოდ, ბრუნვითი საგნების დამუშავებისას R განისაზღვრება ფორმულით

$$R = \frac{\pi d L}{1000 s}, \quad (68)$$

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

s – მიწოდება ბრ/წთ.

რანდვის, გაწელვის და ამოტეხვისას

$$R = i L_1,$$

სადაც L_1 – ერთი გასვლის სიგრძე,

i – გასვლების რაოდენობა.

ფრეზერების დროს ჭრის განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$T_{pe} = \frac{L}{S_m}, \quad (69)$$

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

თავის მხრივ

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

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

საბოლოოდ გვექნება

$$T_{pe} = \frac{LD}{1000 z \cdot v}. \quad (70)$$

საბოლოოდ ციკლური დრო განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$T_s = \frac{R}{v} + \tau = \frac{R + \tau v}{v}. \quad (71)$$

ნაშრომის [112] თანახმად T_{pi} შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ სახით:

$$T_{pi} = T_i + \bar{T}_i, \quad (72)$$

სადაც:

$$T_i = \frac{T_i}{T_{i0}} \tau_i.$$

აქ \bar{T}_i წარმოადგენს ჯამურ დამხმარე დრო წუთებში.

უკანანასკნელის გათვალისწინებით

$$T_{pi} = T_i \frac{R + \tau V}{R}. \quad (73)$$

ჭრის სიჩქარისა და მედეგობას შორის ცნობილი დამოკიდებულების გამოყენებით [115, 116] შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$T_i = T_{i0} = \left(\frac{V_{i0}}{V_i} \right)^{\frac{1}{m_i}}, \quad (74)$$

სადაც: T_i – ჭრის სიჩქარის V შესატყვისი მედეგობა, T_{i0} და V_{i0} – ცხრილებიდან აღებული მედეგობის და ჭრის სიჩქარის მნიშვნელობები; m_i – იარაღის შეფარდებითი მედეგობის მაჩვენებელი [115].

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

განმსაზღვრელი იარაღის ჭრის სიჩქარის ცვლილებასთან პროპორციულად იცვლებიან ერთად მომუშავე ყველა იარაღის ჭრის სიჩქარეები, რადგანაც ყველა ოპერაციის სამანქანო დრო სიჩქარის პირველი ხარისხის პროპორციულია, აქედან გამომდინარეობს, ყველა ოპერაციების სამანქანო დროები ურთიერთკავშირში არიან ერთი და იგივე პროპორციული დამოკიდებულებებით.

მივიღოთ

$$T_{1.M} = k_1 T_M, \quad (75)$$

სადაც: $T_{1.M}$ – ერთი დეტალის დამუშავების დრო i -ურ ოპერაციებზე;

T_M – ერთი დეტალის დამუშავების დრო განმსაზღვრელ ოპერაციებზე;

k_1 – მუდმივი სიდიდის პროპორციულობის კოეფიციენტი.

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

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

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

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

.....

$$T_n = \frac{L_n}{n s_n}.$$

ამ შემთხვევაში k კოეფიციენტები შესაბამისად მიიღებენ შემდეგ მნიშვნელობებს:

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

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

.....

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

მეორე შემთხვევა: პოზიციებს ბრუნთა რიცხვები განსხვავებულნი არიან. ამ შემთხვევაში სამანქანო დროები გამოისახებიან ასე:

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

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

.....

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

შესაბამისად გვექნება:

$$k_1 = \frac{T_{1,m}}{T_{1,m}} = 1;$$

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

.....

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

მიუხედავად იმისა, რომ ცალკეული ოპერაციების სამანქანო დროები განსხვავებულნი არიან, დეტალის წარმოების ციკლური დრო

$$T_S = T_{1,m} + \tau_i \quad (76)$$

ყველა ოპერაციისათვის იქნება ერთმანეთის ტოლი. ფორმულა (76) საშუალებას იძლევა სხვადასხვა ოპერაციების დახმარებით დროები τ_i გამოვსახოთ განმსაზღვრელი ოპერაციის პარამეტრებით.

გვექნება

$$T_{i,m} + \tau_i = T_m + \tau.$$

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

ფორმულა (m)–ის გამოყენებით ვიღებთ

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

აქედან

$$\tau_1 = (1 - k_1) T_m + \tau. \quad (77)$$

განმსაზღვრელი ოპერაციის სამანქანო დრო გამოისახება დამოკიდებულებით:

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

სადაც

$$R = \frac{\pi s L}{1000 s}. \quad (78)$$

გამოსახულება (78)–ის ჩასმით ფორმულაში (77), მივიღებთ

$$\tau_1 = (1 - k_1) \frac{R}{v} + \tau. \quad (79)$$

დამოკიდებულება (79) საშუალებას იძლევა i -ური ოპერაციის დამხმარე დრო გამოვსახოთ განმსაზღვრელი ოპერაციის პარამეტრებით.

შემდგომში i -ური იარაღის მუშაობის T_{1p} დროის (ორი გადალესვის შიგა დროის) ფარგლებში დეტალების ცვლის საერთო დრო შეიძლება გამოვსახოთ ასე

$$\tau_{i\text{saer}} = \frac{T_i}{T_{\text{imanq}}} \tau, \quad (80)$$

სადაც $T_i - V_1$ სიჩქარის შესაბამისი მედეგობა, რომელიც აღიწერება (74) დამოკიდებულებით.

დამოკიდებულებაში (80) გამოვსახოთ რა პარამეტრებს T_1 , $T_{1\text{manq}}$ და τ_1 ფორმულებით (74), (75), (80), მივიღებთ:

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

ფორმულა (79)–ის გამოყენებით:

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

ანდა

$$\tau_{fos} = \frac{T_{i_0}}{Rk_1} \left(\frac{v_{i_0}}{v_i} \right)^{\frac{1}{m_i}} [(1 - k_1)R + \tau]. \quad (81)$$

ყველა V_1 სიჩქარე შეგვიძლია გამოვსახოთ განმსაზღვრელი ოპერაციის სიჩქარესთან ურთიერთკავშირში დამოკიდებულებების (69) და (79) 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

$$A_i = \frac{d_i}{d} \cdot \frac{L_i}{L} \cdot \frac{s}{s_i} \cdot \frac{1}{k_i}. \quad (82)$$

დამოკიდებულებების (81) და (82) გათვალისწინებით

$$\tau_{ios} = \frac{T_{i0}}{Rk_i} \left(\frac{v_{10}}{A_i v} \right)^{\frac{1}{m_i}} [(1-k_i)R + \tau v]. \quad (83)$$

შეგვიძლია ჩავწეროთ T_{ip} -ის გამოსახულება:

$$\begin{aligned} T_{ip} &= T_1 + \tau_{ios} = T_{i0} \left(\frac{v_{10}}{A_i v} \right)^{\frac{1}{m_i}} + \frac{T_{i0}}{Rk_i} \left(\frac{v_{10}}{A_i v} \right)^{\frac{1}{m_i}} [(1-k_i)R + \tau v]; \\ T_{ip} &= T_{i0} \left(\frac{v_{10}}{A_i v} \right)^{\frac{1}{m_i}} \left\{ 1 + \frac{1}{Rk_i} [(1-k_i)R + \tau v] \right\} \\ T_{ip} &= T_{i0} \left(\frac{v_{10}}{A_i v} \right)^{\frac{1}{m_i}} \left\{ 1 + \frac{1}{k_i} - 1 + \frac{\tau v}{Rk_i} \right\}. \\ T_{ip} &= \frac{T_{i0}}{Rk_i} \left(\frac{v_{10}}{A_i v} \right)^{\frac{1}{m_i}} (R + \tau v). \end{aligned} \quad (84)$$

ყოველივე ზემოაღნიშნულის თანახმად გვექნება:

$$\begin{aligned} Q_{\Pi} &= \frac{V}{R + \tau v} \sum_q \frac{1}{1 + \frac{1}{R + \tau v} \sum_i \frac{a_i k_i R}{T_{io}} \left(\frac{A_i V}{V_{io}} \right)^{\frac{1}{m_i}} + \frac{V}{R + \tau v} \sum_q \frac{t_{\omega q} \cdot a_{osq}}{T_{osq}} +} \\ &+ \frac{V}{R + \tau v} \sum_j \frac{\tau_{*1\gamma} a_{os\gamma}}{T_{os\gamma}} + \frac{V}{R + \tau v} \sum_{\gamma} \frac{K_{\tau^* \gamma} \cdot a_{os\gamma}}{V T_{os\gamma}}. \end{aligned} \quad (85)$$

ან და უფრო გამსხვილებულად:

$$Q_{\Pi} = \frac{V}{R + \tau v + \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}} + V \sum_q \frac{t_{\omega q} \cdot a_{osq}}{T_{osq}} + V \sum_j \frac{\tau_{*1\gamma} a_{os\gamma}}{T_{os\gamma}} + V \sum_{\gamma} \frac{K_{\tau^* \gamma} \cdot a_{os\gamma}}{T_{os\gamma}}}, \quad (86)$$

სადაც

$$D_i = \frac{a_i k_i R}{T_{io}} \left(\frac{A_i}{V_{io}} \right)^{\frac{1}{m_i}}. \quad (87)$$

მეორე მიდგომით შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$Q_n = \frac{1}{T_u + \sum \frac{k_i T_M}{T_i} \cdot a_i + \sum_q \frac{k_i T_M}{T_{OBq}} a_{OBq}}. \quad (88)$$

თუ გავითვალისწინებთ დამოკიდებულებას (73) შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$\sum_i \frac{k_i T_M}{T_i} a_i = \sum_i \frac{a_i k_i \cdot v_i^{m_i}}{T_{io} \cdot v_{io}^{m_i}} \left(\frac{R}{v} \right) = R \sum_i \frac{a_i k_i}{T_{io}} \left(\frac{A_i V}{V_{io}} \right)^{\frac{1}{m_i}}. \quad (89)$$

უკანასკნელის გათვალისწინებით Q_n მიიღებს სახეს:

$$Q_n = \frac{V}{R + \tau V + \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}} + V \sum_q \frac{t_{oq} \cdot a_{oq}}{T_{oq}} + V \sum_j \frac{\tau_{*1\gamma} a_{o\gamma}}{T_{o\gamma}} + V \sum_\gamma \frac{K_{\tau^*\gamma} \cdot a_{o\gamma}}{T_{o\gamma} V}}, \quad (90)$$

რომელიც მთლიანად ანალოგიური ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულებისა.

გამოსახულებების T_{ip} თანახმად შეგვიძლია ვიხელმძღვანელოთ მზადყოფნის კოეფიციენტის აპროქსიმაციული დამოკიდებულებით

$$K_{ga} = K_{gu} \cdot K_{gm} \approx K_g. \quad (91)$$

აქ:

$$K_{gu} = \sum_i \frac{T_{pi}}{T_{pi} + a_i}; \quad (92)$$

$$K_{gm} = \frac{1}{1 + \frac{V}{R + \tau V} \left[\sum_q \frac{t_{oq} a_{oq}}{T_{oq}} + \sum_j \frac{t_{*1\gamma} a_{o\gamma}}{T_{o\gamma}} + \sum_j \frac{t_{\tau^*\gamma} a_{o\gamma}}{V T_{o\gamma}} \right]}. \quad (93)$$

და შემდგომ შესაბამისად:

$$\begin{aligned} K_g &= \frac{1}{1 + \frac{1}{R + \tau V} \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}} + \frac{1}{R + \tau V} \sum_q \frac{t_{oq} \cdot a_{oq}}{T_{oq}} + \frac{1}{R + \tau V} \sum_j \frac{\tau_{*1\gamma} a_{o\gamma}}{T_{o\gamma}} + \frac{1}{R + \tau V} \sum_\gamma \frac{K_{\tau^*\gamma} \cdot a_{o\gamma}}{T_{o\gamma} V}} \\ &= \frac{1}{1 + \sum \frac{a_i}{T_{pi}}}. \end{aligned} \quad (94)$$

სხვადასხვა ოპერაციებზე სიჩქარეთა ოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრისათვის გაუტოლოთ ნულს წარმოებული $\frac{\partial Q}{\partial v}$ ან $\frac{\partial \ln Q}{\partial v}$,

რადგანაც $\ln Q$ წარმოადგენს დადებითი მაქსიმუმს Q -სთან ერთად.

ვწერთ:

$$\ln Q_{II} = \ln V - \ln \left[R + \tau V + \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}} + V \sum_q \frac{t_{\omega q} \cdot a_{\omega eq}}{T_{\omega eq}} + V \sum_j \frac{\tau_{*j} a_{\omega e j}}{T_{\omega e j}} + \sum_{\gamma} \frac{K_{\tau^* \gamma} \cdot a_{\omega e \gamma}}{T_{\omega e \gamma}} \right]. \quad (95)$$

(95)–ის დიფერენცირებით V ცვლადი მიმართ გვექნება:

$$\frac{\partial \ln Q_{II}}{\partial v} = \frac{1}{V} - \frac{\tau + \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}-1} + \sum_q \frac{t_{\omega q} \cdot a_{\omega eq}}{T_{\omega eq}} + \sum_j \frac{\tau_{*j} a_{\omega e j}}{T_{\omega e j}}}{R + \tau V + \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}} + V \sum_q \frac{t_{\omega q} \cdot a_{\omega eq}}{T_{\omega eq}} + V \sum_j \frac{\tau_{*j} a_{\omega e j}}{T_{\omega e j}} + \sum_{\gamma} \frac{K_{\tau^* \gamma} \cdot a_{\omega e \gamma}}{T_{\omega e \gamma}}}. \quad (96)$$

(96)–ის ნულთან გატოლებით და შემდგომში გარდაქმნების გამოყენებით დავდევართ ტოლობაზე

$$\left(\frac{1}{m_i} - 1 \right) \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}} = R + \sum_j \frac{K_{\tau^* \gamma} a_{\omega e \gamma}}{T_{\omega e \gamma}}. \quad (97)$$

ნაშრომში [112] მიღებული შედეგების თანახმად გამოსახულება D_i შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ სახით

$$D_i = \frac{D_{ik}}{k_i^{\left(\frac{1}{m_i} - 1 \right)}}, \quad (98)$$

რაც მიგვითითებს იმაზე, რომ მწარმოებლურობის შემდგომი ვარიაცია შეგვიძლია განვახორციელოთ კოეფიციენტების k_i მნიშვნელობათა ვარიაციის საფუძველზე, ეს კი თავის მხრივ მიგვითითებს ჭრის სიჩქარეთა V_i შემდგომი ვარიაციის შესაძლებლობებზე დამატებითი ტექნიკური შეზღუდვების გათვალისწინებით.

გამოსახულება τ_{2^*} შეგვიძლია აგრეთვე ჩავწეროთ სახით

$$\tau_{2^*} = k_{\gamma} \frac{R}{V} \quad (99)$$

და უკანასკნელის გათვალისწინებით მივიღებთ

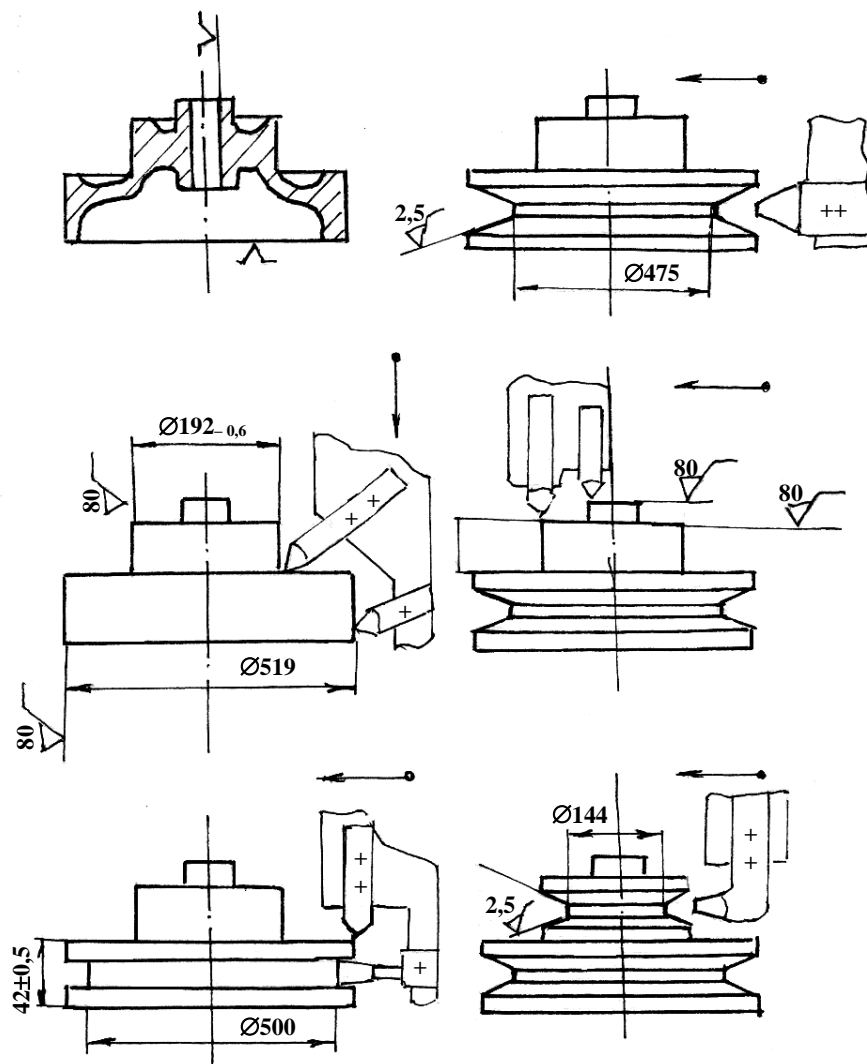
$$\frac{a_{\omega B \gamma}}{T_{\omega B \gamma}} K_{\tau^* \gamma} = E_{\gamma} = \frac{a_{\omega P \gamma}}{T_{\omega P \gamma}} k_{\gamma} R, \quad (100)$$

სადაც

$$k_{\gamma} R = K_{\tau^*}.$$

ზემოთ ჩამოყალიბებული პარამეტრული ოპტიმიზაციის მეთოდის აპრობაციისათვის განვიხილოთ C4 1886 მარკის რუხი თუჯიდან დამზადებული შკივის ავტომატიზებულ ჩარხზე ანდა საჩარხო კომპლექსზე მექანიკურ დამუშავებასთან დაკავშირებული საკითხები. კერძოდ, ასეთი ჩარხის მაგალითად შესაძლია გამოყენებული იქნას მიმდევრობითი მოქმედების ვერტიკალური მრავალშპინდელიანი ავტომატები.

ნახ. 13 მოცემულია ტექნოლოგიური პროცესის სქემა და ოპერაციული ესკიზები ჭრის რეჟიმების გაანგარიშებისათვის საჭირო მონაცემებით.



ნახ. 13. ტექნოლოგიური პროცესის სქემა

ტექნოლოგიური პროცესი აგებული შემდეგნაირად:

ტექნოლოგიური გადასვლა (ტ.გ.) 1. ფერდოს შემოჩარხვა დიამეტრამდის 519 მმ გამავალი საჭრისით მარკით BK-6.

ტ.გ. 2. ფერსოს შემოჩარხვა დიამეტრამდის 192 მმ შემჭრელი საჭრისით. მჭრელი იარაღის მარკა BK-6.

ტ.გ. 3. კილოს გაჭრა დიამეტრიდან 519 შესაჭრელი საჭრისით. მჭრელი იარაღით მარკა BK-2.

ტ.გ. 4. კილოს ტორსის შემოჭრა ზომით 42 მმ გამავალი საჭრისით. საჭრისის მარკა BK-8.

ტ.გ. 5. ღარულის გაჩარხვა დიამეტრზე 519 მმ. 38°-ის კუთხით. მაპროფილებელი საჭრისით. საჭრისის მარკა BK-2.

ტ.გ. 6. ზემო კილოს ტორსის შემოჭრა ზომით. 82 მმ გამავალი საჭრისით. მჭრელი იარაღის მარკა BK-8.

ტ.გ. 7. მორგვის ტორსის შემოჭრა ზომაზე 68 მმ გამავალი საჭრისით. მჭრელი იარაღის მარკა BK-8.

ტ.გ. 8. ღარული გაჩარხვა კუთხით 38° მაპროფილებელი საჭრისით. საჭრისის მარკა BK-2.

განხილვად ამოცანაში γ წარმოადგენს შესაბამისად ჩარხის მაგიდის I-V მუშა პოზიციებში მონაწილე მჭრელი იარაღების გადაადგილებებში მონაწილე მექანიზმების (ძალოვანი თავებისა) რიგით ნომერს.

ჩვენს ამოცანაში $\gamma = 1, 2, 3, 4$ და 5 შეესაბამებინ ამძრავ მოწყობილობებს, რომლებიც ახორციელებენ:

როდესაც $\gamma = 1$ 1-სა და მე-2-ე ტექნოლოგიურ გადასვლებს;

როდესაც $\gamma = 2 - 3$ და 4 გადასვლებს;

როდესაც $\gamma = 3 -$ გადასვლა 5;

როდესაც $\gamma = 4 -$ გადასვლებს 6 და 7;

როდესაც $\gamma = 5 -$ გადასვლას 8.

ბუნებრივია, რომ $\tau_{2*\gamma}$ -ს ხარისხში ჩარხის მაგიდის ყველა პოზიციაში უნდა იქნას შერჩეული γ პოზიციაში მოქმედ გადასვლათა შორის უდიდესი სამანქანო დროები.

ჩვენი მაგალითის მიმართ ჩასატარებელი გაანგარიშებების საჭირო მონაცემები მოყვანილია ცხრ. 3 [117–119]. აქ:

L_1, L_2, \dots, L_8 – ყოველი იარაღის დამუშავების ჯამური სიგრძე მოცემულ ტექნოლოგიურ პროცესში, მმ;

d_1, d_2, \dots, d_8 – დასამუშავებელი ზედაპირების დიამეტრები, მმ;

s_1, s_2, \dots, s_8 – მიწოდებები, მმ/ზრ;

m_1, m_2, \dots, m_8 – შესაბამისი დამუშავების და იარაღის მედეგობის ფარდობითი მაჩვენებლები;

$v_{10}, v_{20}, \dots, v_{80}$ – ცხრილებიდან მიღებული სიჩქარეები, $\frac{m}{WT}$;

$T_{10}, T_{20}, \dots, T_{80}$ – ცხრილებიდან მიღებული მედეგობები, წთ;

$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_8$ – ოპერაციათა დამხმარე დროები, წთ;

a_1, a_2, \dots, a_8 – იარაღების შეცვლისათვის საჭირო დროები, წთ.

ცხრილი 3

საწყისი მონაცემები გაანგარიშებებისათვის

გადასვლების N, j	$L, მმ$	$d, მმ$	$S \frac{mm}{br}$	$T_0, წთ$	$T_m, წთ$	$V_j, მ/წთ$	$a, წთ$	m
1	55	519	0,243	90	4,97	74	10	0,2
2	36	192	0,243	90	3,26	27,4	10	0,2
3	36	519	0,218	90	7,18	37,5	10	0,2
4	14	519	0,218	90	2,79	37,5	10	0,2
5	36	519	0,218	90	7,18	37,5	15	0,2
6	15	192	0,338	90	0,43	62,1	10	0,2
7	20	55	0,338	90	0,57	17,8	10	0,2
8	20	192	0,218	90	2,02	41	15	0,2

ტექნოლოგიური გადასვლა 3 ვირჩევთ განმსაზღვრელი გადასვლის როლში და აღნიშვნებთან დაკავშირებით გრაფაში i ვახორციელებთ ოპერაციათა გადაჯგუფებას (ცხრ. 5) და ვსაზღვრავთ პარამეტრებს:

$$k_i = \frac{T_{im}}{T_1}; \quad (101)$$

$$\tau_{2*\gamma} = \frac{K_{\tau*\gamma}}{V}; \quad (102)$$

$$A_i = \frac{d_i L_i s_i}{d_1 L_1 s_1 k_1}. \quad (103)$$

ანალოგიურად ცხრილისა 4 ცხრილში 5 მოყვანილია მჭრელი იარაღებით აღჭურვილი ციკლური მექანიზმების საწყისი მონაცემები γ მექანიზმების გარდა ტექნოლოგიურ პროცესში მონაწილეობენ აგრეთვე q რიგითი ნომრებით აღნიშნული მექანიზმები, რომლებიც არ არიან აღჭურვილნი მჭრელი იარაღებით. ესენი კერძოდ, არიან:

$q = 1$ – მობრუნებადი მაგიდა;

$q = 2$ – მუშა ელექტრომოწყობილობები;

$q = 3$ – გაცივება;

$q = 4$ – დეტალის დამაგრება 0–გან პოზიციაში.

ცხრილი 4

საანგარიშო მონაცემები

i	j	γ	k_i	A_i	k_γ	A_γ
2	1	I	0,692	1,99	0,692	1,99
3	2		0,454	0,79		
1	3	II	1	1	1	1
4	4		9,389	1		
5	5	III	1	1	1	1
6	6	IV	0,06	1,66		
7	7		0,08	0,48	0,08	0,48
8	8	V	0,281	1,1	0,281	0,281

ცხრილი 5

მჭრელი იარაღებით აღჭურვილი ციკლური მოქმედების მექანიზმების საწყისი მონაცემები

γ	i	j	$K_{\tau^* \gamma}$	E_γ	$\tau^*_{1\gamma}$	$a_{ab\gamma\text{წთ}}$	$T_{ab\gamma\text{წთ}}$
I	2	1	185	3,7	0,1	20	980
	3	2					
II	1	3	269	5,4	0,1	20	980
	4	4					
III	5	5	269	5,4	0,2	20	980
IV	6	6	21,5	0,43	0,1	20	980
	7	7					
V	8	8	75,7	1,52	0,1	20	980

აღნიშნული მექანიზმების და მოწყობილობების საწყისი საანგარიშო მონაცემები მოცემულია ცხრილ 6-ში.

საანგარიშო მონაცემები

q	$a_{ab\gamma}$,წთ	$T_{ab\gamma}$,წთ	$t_{\omega q}$,წთ
1	20	1000	0,1
2	15	1500	T_c
3	15	2500	T_c
4	15	2500	0,13

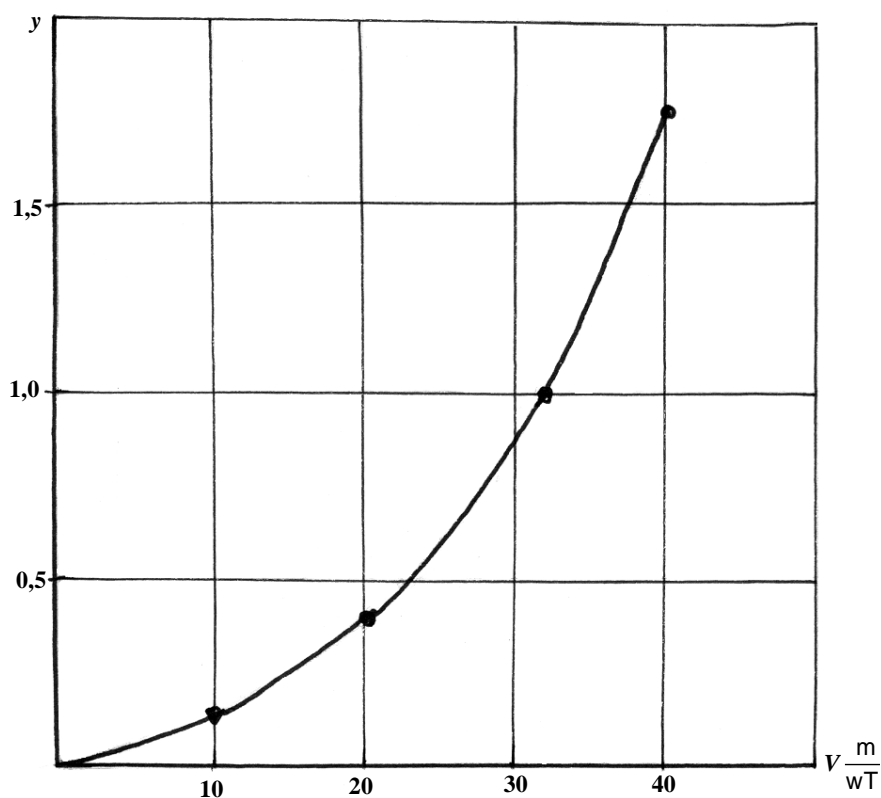
შემდგომი განგარიშებისათვის ვიყენებთ ფორმულას

$$Y = \sum \left(\frac{1}{m_i} - 1 \right) D_{*i} V^{m_i} = 1,0, \quad (104)$$

სადაც

$$D_{*i} = \frac{D_i}{E + \sum_{\gamma} \frac{K_{\tau*\gamma} a_{OBy}}{T_{OBy}}}. \quad (105)$$

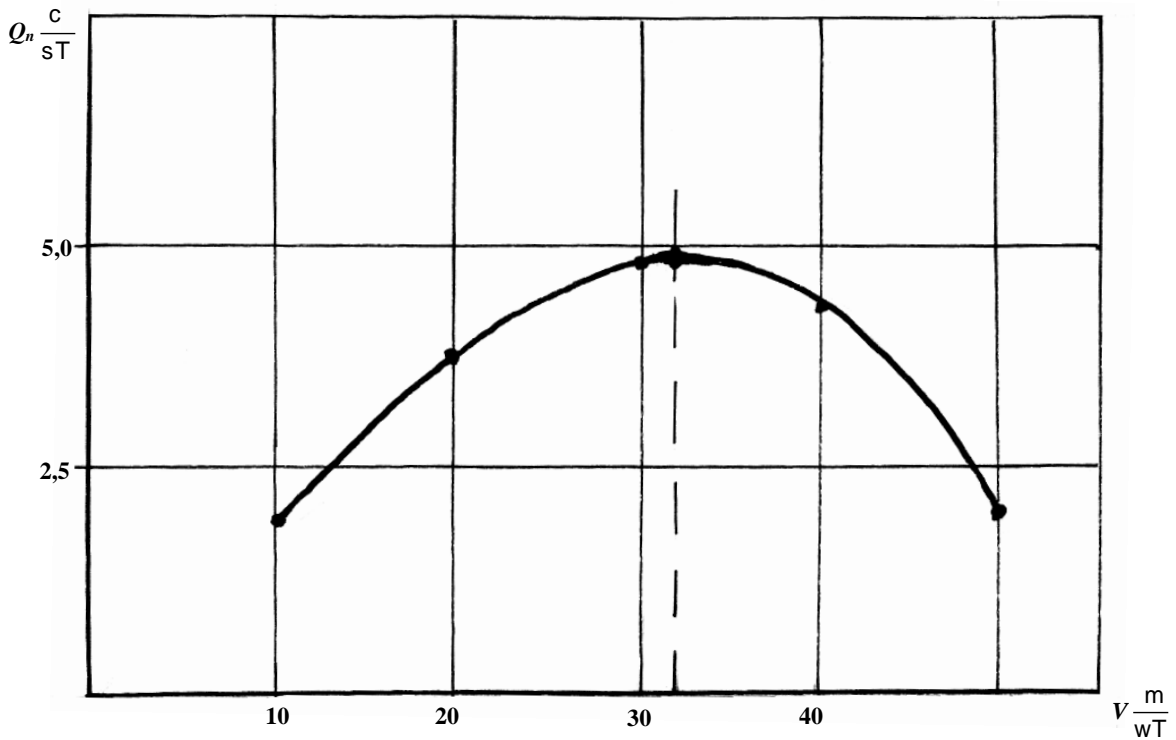
განტოლება (104)-ის ამოსახსნელად ვიყენებთ გრაფიკულ მეთოდს – ვაგებთ მრუდს $y(v)$ და მის გადაკვეთაში $y=1$ ვპოულობთ V -ს ოპტიმალურ მნიშვნელობას. ყოველივე აღნიშნული მოცემულია ნახ. 14.



ნახ. 14. საანგარიშო პროცედურის მრუდი $y(v)$

შემდგომ ნახ. 15 მოცემულია მრუდი $Q_n = f_0(v)$.

ტოლობის (104) ამონახსნის მისაღებად ვიყენებთ გრაფიკულ მეთოდს. ნახ. 14 მოცემულია ფუნქციის (104) გრაფიკული გამოსახულება. ნახ. 14-ის თანახმად სიჩქარის V საძიებელი მნიშვნელოვა არის $32 \frac{m}{wT}$. ნახ. 15-ზე მოცემულია ფუნქციის $Q_n = f_n(v)$ გრაფიკული გამოსახულება.



ნახ. 15. მწარმოებლურობისა და ჭრის სიჩქარის შორის დამოკიდებულების მრუდი

2.2.2. ავტომატური საჩარხო ხაზების მწარმოებლურობის მოდელების შემუშავება

იმ შემთხვევაში, როდესაც საქმე გვაქვს ავტომატურ ხაზებთან [120] მწარმოებლურობის ოპტიმიზაციის ამოცანა შეიძლება გაწყობის იქნას ამოხსნილი V_j (j – ჭრის სიჩქარეთა გაწყობის მექანიზმების რაოდენობა) სიჩქარეთა მნიშვნელობების ვარიაციის საფუძველზე.

თუ განვიხილავთ ავტომატიზებულ ხაზს, რომელშიც ყველა ელემენტარული ოპერაციები ხორციელდებიან ცალკეულ ჩარხებზე ამ

შემთხვევაში გვექნება $j=i$ და მწარმოებლურობა გამოისახება დამოკიდებულებით, სადაც i -ს მაგივრად გვაქვს აღნიშვნები j .

აღნიშნულ შემთხვევაში შეიძლება ვიხელმძღვანელოთ მწარმოებლურობის ზემოთ მიღებულ გამოსახულებებით, რომელშიც ვარირებადებად წარმოდგენილი იქნებიან პარამეტრები V და k_j , რომელთა მეშვეობით V_j პარამეტრებზე გადასვლა ხორციელდება ფორმულით

$$V_j = A_j V = A_* \frac{1}{k_j} V. \quad (106)$$

სინთეზის შემდგომი პროცედურების ჩატარებისათვის ვწერთ საწყის ტოლობებს

$$\frac{\partial \ln Q_n}{\partial V} = 0; \quad (107)$$

$$\frac{\partial \ln Q_n}{\partial k_1} = 0; \quad (108)$$

.....

$$\frac{\partial \ln Q_n}{\partial k_{n_1}} = 0, \quad (109)$$

სადაც $1, \dots, n_1$ – წარმოადგენს j -ს მნიშვნელობების არეს.

შემდგომი პროცედურების ჩატარებისათვის საჭიროა Q_n გამოვსახოთ ფუნქციონალური დამოკიდებულებით

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

ამ მიზნისათვის ვწერთ

$$D_j = \frac{a_j k_j R}{T_{j0}} \left(\frac{A_* \frac{1}{k_j}}{V_{j0}} \right)^{\frac{1}{m_j}} = \frac{a_j R}{T_{j0}} \left(\frac{A_*}{V_{j0}} \right)^{\frac{1}{m_j}} k_j^{1-\frac{1}{m_j}} = B_{j*} k_j^{-n_j}, \quad (110)$$

სადაც:

$$A_* = \frac{d_j L_j s}{d L s_j}; \quad (111)$$

$$n_j = \frac{1}{m_j} - 1, \quad (112)$$

$$B_{r^*} = \frac{a_j R}{T_{j_0}} \left(\frac{A^*}{V_{j_0}} \right)^{\frac{1}{m_j}}. \quad (113)$$

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით

$$Q_n = \frac{V}{R + rV + \sum_j B_{*j} k_j^{-n_j} V^{\frac{1}{m_j}} + V \sum_q \frac{t_{\omega q} a_{OBq}^*}{T_{obq}^*} + V \sum_j \frac{\tau_{*1j} a_{OBj}}{T_{OBj}} + V \sum_j \frac{a_{OBj}}{T_{OBj}} \cdot K_{\tau^*}}. \quad (114)$$

გაშლილი სახით

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

და აქედან გამომდინარე შეგვიძლია ჩავწეროთ

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

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

გამოსახულება (114)–ის ლოგარითმებით ვიღებთ

$$\ln Q_n = \ln V - \ln \left[R + \tau V + \sum_j B_j k_j^{-n_j} V^{\frac{1}{m_j}} + V \sum_q \frac{t_{\omega q} a_{OBq}^*}{T_{OBq}} + V \sum_k \frac{\tau_{*1k} a_{OBk}}{T_{OBk}} + \sum_j E_j k_j \right]. \quad (115)$$

პარაგრაფში 2.2.1 მოყვანილ კონკრეტულ ამოცანასთან მიმართებაში შეგვიძლია მივიღოთ, რომ ხაზი შედგება V_{γ} ჩარხისაგან.

ამ შემთხვევაში გვექნება:

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

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

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

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

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

და ვარიაციის დააქვემდებარებიან პარამეტრები V_j .

ყოველი ჩარხისათვის ვირჩევთ j , განმსაზღვრელ ოპერაციას:

$\gamma = \text{I}$ -ისათვის განმსაზღვრელი იქნება $j = 1$;
 $\gamma = \text{II}$ -ისათვის განმსაზღვრელი იქნება $j = 3$;
 $\gamma = \text{III}$ -ისათვის განმსაზღვრელი იქნება $j = 5$;
 $\gamma = \text{IV}$ -ისათვის განმსაზღვრელი იქნება $j = 7$;
 $\gamma = \text{V}$ -ისათვის განმსაზღვრელი იქნება $j = 8$.
 ყოველი j -ს შიგნით ვსაზღვრავთ შიგა k_{j} -ებს.

ჩვენს შემთხვევაში გვექნება:

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

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

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

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

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

გამომდინარე ბოლო დამოკიდებულებებიდან შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$Q_n = \frac{T_c}{T_c + F_{ul} + F_{ull} + F_{ulll} + F_{ulIV} + F_{uV} + F_{os}}, \quad (116)$$

სადაც

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

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

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

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

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

F_{oe} – მექანიზმებისა და მოწყობილობების საიმედოობებით განსაზღვრული წევრები.

შემდგომ გადავდივართ V_j განსაზღვრაზე პირობებიდან:

$$\frac{R_1}{V_I} + \tau_1 = \frac{R_3}{V_{II}} + \tau_3; \quad (117)$$

$$\frac{R_5}{V_{III}} + \tau_5 = \frac{R_3}{V_{II}} + \tau_3; \quad (118)$$

$$\frac{R_7}{V_{IV}} + \tau_7 = \frac{R_3}{V_{II}} + \tau_3, \quad (119)$$

$$\frac{R_8}{V_V} + \tau_8 = \frac{R_3}{V_{II}} + \tau_3. \quad (120)$$

შემდგომში ჩაწერათა გამარტივებისათვის განსაზღვრელი ოპერაციის V_{II} სიჩქარეს აღვნიშნავთ სიმბოლოთი V .

მარტივი გარდაქმნების შედეგად გვექნება:

$$V_I = \frac{R_1}{\frac{R}{V} + \Delta\tau_I}; \quad (121)$$

$$V_{II} = V_3 = V; \quad (122)$$

$$V_{III} = \frac{R_5}{\frac{R}{V} + \Delta\tau_{III}}; \quad (123)$$

$$V_{IV} = \frac{R_7}{\frac{R}{V} + \Delta\tau_{IV}}; \quad (124)$$

$$V_V = \frac{R_8}{\frac{R}{V} + \Delta\tau_V}, \quad (125)$$

სადაც

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

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

მიღებული დამოკიდებულებების გათვალისწინებით ვწერთ:

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

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

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

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

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

ანალოგიურად:

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

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

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

დამოკიდებულებებიდან (121-125) გამომდინარე Q_n გამოსახულების მნიშვნელი წევრები, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან იარაღების მუშაობასთან, ჩაიწერებინ ასე:

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

$$+ \frac{\frac{R_5}{V_{III}} V_{III}^{\frac{1}{m}}}{T_{50} \cdot V_{50}^{\frac{1}{m}}} a_5 + \left(\frac{\frac{R_7}{V_{IV}} V_{IV}^{\frac{1}{m}}}{T_{70} V_{70}^{\frac{1}{m}}} a_7 + \frac{k_{IV6} \frac{R_7}{V_{IV}} A_{76} V_{IV}^{\frac{1}{m}}}{T_{60} \cdot V_{60}^{\frac{1}{m}}} a_6 \right) + \frac{\frac{R_8}{V_V} V_V^{\frac{1}{m}}}{T_{80} \cdot V_{80}^{\frac{1}{m}}} a_8. \quad (126)$$

ას

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

$$\begin{aligned}
& + \frac{R_5 a_5}{T_{50} V_{50}^{\frac{1}{m}}} V_{III}^{\frac{1}{m}} + \left(\frac{R_7}{T_{70} V_{70}^{\frac{1}{m}}} a_7 + \frac{k_{IV6} R_7 A_{76}}{T_{60} V_{60}^{\frac{1}{m}}} a_6 \right) V_{IV}^{\frac{1}{m}-1} + \frac{R_8 a_8}{T_{80} V_{80}^{\frac{1}{m}}} V_V^{\frac{1}{m}} = \\
& + B_I V_I^{\frac{1}{m}-1} + B_{II} V_{II}^{\frac{1}{m}-1} + B_{III} V_{III}^{\frac{1}{m}-1} + B_{IV} V_{IV}^{\frac{1}{m}-1} + B_V V_V^{\frac{1}{m}-1}. \quad (127)
\end{aligned}$$

აღნიშნულის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\begin{aligned}
F_{os} &= \sum_q \frac{t_{\omega q} a_{os\gamma}}{T_{osq}} + \sum_\gamma \frac{\tau_{*1\gamma} a_{os\gamma}}{T_{os\gamma}} + \frac{a_{osI} R_1}{T_{osI} V_I} + \frac{a_{osII} R_3}{T_{osII} V_{II}} + \frac{a_{osIII} R_5}{T_{osIII} V_{III}} + \frac{a_{osIV} R_7}{T_{osIV} V_{IV}} + \\
& + \frac{a_{osV} R_8}{T_{osV} V_V} = F_{osq} + F_{os\gamma_0} + \frac{d_I}{V_I} + \frac{d_{II}}{V_{II}} + \frac{d_{III}}{V_{III}} + \frac{d_{IV}}{V_{IV}} + \frac{d_V}{V_V}. \quad (128)
\end{aligned}$$

F_{os} -ს გამოსახულებასთან მიმართებაში ვსარგებლობთ საწყისი დამოკიდებულებებით:

$$\tau_{*2\gamma} = \frac{R_\gamma}{V_\gamma}; \quad (129)$$

უფრო კონკრეტულად გვექნება:

$$\tau_{*2I} = \tau_{*21} = \frac{R_1}{V_I};$$

$$\tau_{*2II} = \tau_{*31} = \frac{R_3}{V_{II}};$$

$$\tau_{*2III} = \tau_{*51} = \frac{R_5}{V_V};$$

$$\tau_{*2IV} = \tau_{*71} = \frac{R_7}{V_{IV}};$$

$$\tau_{*2V} = \tau_{*81} = \frac{R_8}{V_V}.$$

შეგვიძლია ჩავწეროთ:

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

სადაც

$$T_c = \frac{R_3 + \tau V_3}{V_3} = \frac{R_3 + \tau V_{II}}{V_{II}} + \frac{R_3 + \tau V}{V} + \frac{R + \tau V}{V}. \quad (130)$$

დამოკიდებულებების (129) გათვალისწინებით შეგვიძლია ჩავწეროთ.

$$\frac{d_I}{V_I} = \frac{a_{oeI} \left(\frac{R}{V} + \Delta \tau_I \right)}{T_{oeI}}; \quad (131)$$

$$\frac{d_{III}}{V_{III}} = \frac{a_{oeIII} \left(\frac{R}{V} + \Delta \tau_{III} \right)}{T_{oeIII}}; \quad (132)$$

$$\frac{d_{IV}}{V_{IV}} = \frac{a_{oeIV} \left(\frac{R}{V} + \Delta \tau_{IV} \right)}{T_{oeIV}}, \quad (133)$$

$$\frac{d_V}{V_V} = \frac{a_{oeV} \left(\frac{R}{V} + \Delta \tau_V \right)}{T_{oeV}}. \quad (134)$$

$$B_I V_I^{\frac{1}{m}-1} = B_I R_1^{\frac{1}{m}-1} \cdot \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_I} \right)^{\frac{1}{m}-1} = B_I^* \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_I} \right); \quad (135)$$

$$B_{II} V_{II}^{\frac{1}{m}-1} = B_{II} V_I^{\frac{1}{m}-1}, \quad (136)$$

$$B_{III} V_{III}^{\frac{1}{m}-1} = B_{III} R_5^{\frac{1}{m}-1} \cdot \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{III}} \right)^{\frac{1}{m}-1} = B_{III}^* \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{III}} \right); \quad (137)$$

$$B_{IV} V_{IV}^{\frac{1}{m}-1} = B_{IV} R_7^{\frac{1}{m}-1} \cdot \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{IV}} \right)^{\frac{1}{m}-1} = B_{IV}^* \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{IV}} \right); \quad (138)$$

$$B_V V_V^{\frac{1}{m}-1} = B_V R_8^{\frac{1}{m}-1} \cdot \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_V} \right)^{\frac{1}{m}-1} = B_V^* \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_V} \right). \quad (139)$$

უკანასკნელად მწარმოებლურობის გამოსახულება ჩაიწერება ასე:

$$Q_n = \frac{\frac{R + \tau V}{V}}{\frac{R + \tau V}{V} + B_1^* \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_I} \right) + B_{II} V^{\frac{1}{m}-1} + B_{III}^* \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{III}} \right) + B_{IV}^* \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{IV}} \right) + B_V^* \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_V} \right) + F_{osq} + F_{os\gamma 0} + F_{osv}(V)}, \quad (140)$$

მიღებული გამოსახულება საშუალებას იძლევა მოვიძიოთ მწარმოებლურობის მაქსიმალური მნიშვნელობასთან დაკავშირებული V -ის მნიშვნელობა პროცედურების გამოყენებით, რომლებიც იქნა გამოყენებული წინამორბედ პარაგრაფებში.

ჩვენი პარაგრაფის ბოლოში ვიხილავთ ჩარხთაშორისი მაგროვებლების მქონე სისტემის მოდელირების საკითხებს. ადრე იყო მიღებული:

$$K_{go} = \frac{T_{noc} + t_D}{T_{noc} + a_1^* + a_2^*} = \frac{T_{noc} + t_D}{T_{noc} + \frac{T_{nos}}{T_{p1}} a_1 + \frac{T_{nos}}{T_{p2}} a_2}. \quad (141)$$

თავის მხრივ შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$K_{go} = \frac{T_{noc} + t_D}{T_{noc}} = \frac{1}{1 + \frac{a_1}{T_{p1}} + \frac{a_2}{T_{p2}}} = \frac{T_{noc} + t_D}{T_{noc}} \cdot K_g = K_\xi K_g. \quad (142)$$

უკანასკნელი დამოკიდებულება საშუალებას გვაძლევს ჩარხთაშორისი მაგროვებელიანი სისტემის მწარმოებლურობა Q_{no} გამოვსახოთ ასე

$$Q_{no} = K_\xi Q_n, \quad (143)$$

სადაც Q_n -ს მნიშვნელობა ეკუთვნის ხისტი ჩარხთაშორისი კავშირებიან სისტემას.

კოეფიციენტის K_ξ განსაზღვრისათვის პირველ რიგში საჭიროა მივიღოთ T_{noc} -ის გამოსახულება, რომელიც მექანიზმების მტყუნებათა გათვალისწინებით გამოისახება ასე:

$$T_{noc} = \int_0^\infty e^{-\sum U_i t} \cdot P_{1*}(t) P_{2*}(t) dt, \quad (144)$$

სადაც $e^{-\sum U_{it}}$ – მექანიზმებისა და მოწყობილობების უმტყუნებო მუშაობის საერთო ალბათობაა, U_{it} -ის მნიშვნელობებია მოცემული ქვეპარაგრაფში 2.2.1.

დამოკიდებულებების (148) ინტეგრირებისათვის, როდესაც მასში $P_{1*}(t)$ და $P_{2*}(t)$ განაწილებები, როგორც წესი განისაზღვრებიან ნორმალური ან მასთან ახლოს მყოფი კანონებით, შეგვიძლია ვიხელმძღვანელოთ ცნობილი „საშუალო მნიშვნელობის განზოგადოებული თეორემით“. აღნიშნული თეორემის თანახმად - ორი ფუნქციის (სადაც $f(x)$). უწყვეტი ფუნქცია, $[a, b]$ კიდევ ინტერვალში $\varphi(x)$ არ იცვლის ნიშანს) ნამრავლის ინტეგრალი შეიძლება გამოისახოს ასე:

$$\int_a^b f(x)\varphi(x)dx = f(\varepsilon)\int_a^b \varphi(x)dx. \quad (145)$$

აქ თავის მხრივ $f(\varepsilon)$ განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$f(\varepsilon) = \frac{\int_a^b f(x)dx}{a-b}. \quad (146)$$

ჩვენს შემთხვევასთან მიმართებაში

$$f(x) = e^{-\sum U_{it}} \quad (147)$$

და

$$\varphi(x) = P_{1*}(t)P_{2*}(t).$$

ინტეგრალის

$$\int_a^b \varphi(x)dx = \int_0^\infty P_{1*}(t)P_{2*}(t). \quad (148)$$

გამოთვლისას შეგვიძლია ვიხელმძღვანელოთ ინტეგრირებას მიახლოებითი რიცხობრივი მეთოდებით, კერძოდ სიმპსონის და ტრაპეციის მეთოდებით.

იმ შემთხვევაში კი, როდესაც ვიყენებთ $P_{1*}(t)$ და $P_{2*}(t)$ გამოსახულებებში ექსპონენციალურ ფუნქციებს ინტეგრირებათა ანალიზური ამოხსნები არ წარმოადგენენ არანაირ სირთულეს.

2.3. საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობის მოდელირება მჭრელი იარაღების შეცვლის პარალელური სქემის გათვალისწინებით

საჩარხო სისტემის მწარმოებლურობა იარაღის პარალელური შეცვლის დროს

წინამორბედ პარაგრაფებში გამოკვლეულია მუშაობის რეჟიმის გავლენა ლითონსაჭრელი ჩარხის მწარმოებლურობაზე იარაღის მიმდევრობითი შეცვლის დროს – როდესაც საიარაღო გაწყობის ყოველი იარაღი იცვლება მისი მწყობრიდან გამოსვლასთან შესაბამისად. იგი წარმოადგენს ტექნოლოგიური პროცესის ერთ–ერთ ძირითად სქემას. ასეთი სქემა უაღრესად ხელსაყრელია იმ შემთხვევებში, როდესაც ჩარხის იარაღების მედეგობა მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. ასეთი სქემის პარალელურად ლითონდამუშავების პრაქტიკაში ფართოდ გავრცელებულია ტექნოლოგიური პროცესის ორგანიზაციის სხვა სქემაც, რომელსაც საფუძვლად უდევს იარაღების ეგრეთ წოდებული პარალელური ცვლა. პარალელური შეცვლისას ჩარხი მუშაობს ერთი რომელიმე იარაღის მწყობრიდან გამოსვლამდე, რის შემდეგაც მას აჩერებენ და იცვლება ყველა იარაღები.

ამკარაა, რომ პარალელური შეცვლა კარგი არის იმ შემთხვევებში, როდესაც იარაღები ერთნაირია ან და მათ გააჩნიათ მედეგობათა ახლო მნიშვნელობები. ასეთი შეცვლის ხელსაყრელობა მკაფიოდ ვლინდება მაშინ, როდესაც ყოველი იარაღის შეცვლისას საჭიროა გარკვეული ოპერაციის ცალ–ცალკე გამეორება და რამდენიმე იარაღის შეცვლისას საკმარისია ასეთი ოპერაციის ერთხელ შესრულება. ერთიარაღიანი ჩარხისათვის იარაღის მიმდევრობითი და პარალელური ცვლა ერთმანეთს ემთხვევიან.

შესაძლოა აგრეთვე იარაღის ნახევრადპარალელური შეცვლის გამოყენება. ნახევრადპარალელური ცვლის დროს ხორციელდება შემდეგი სქემა. ჩარხის იარაღები დაყოფილია ჯგუფებად. ერთი რომელიმე იარაღის მწყობრიდან გამოსვლისას ერთად იცვლება იმ ჯგუფის იარაღები, რომელსაც ეკუთვნის მწყობრიდან გამოსული იარაღი.

იარაღის პარალელური შეცვლის დროს საჩარხო მოწყობილობა მუშაობს მწყობრიდან ერთ–ერთი იარაღის გამოსვლიდან, რის შემდეგაც ბლოკირებული საჩარხო სისტემა ჩერდება და ყველა იარაღი იცვლება ერთდროულად. აშკარაა, რომ იარაღის პარალელური შეცვლა მიზანშეწონილია იმ შემთხვევებში როდესაც საქმე გვაქვს ერთნაირ, ანდა ახლო მედეგობის იარაღებთან.

ამასთან ერთად იყენებენ აგრეთვე იარაღების ნახევრად პარალელურ შეცვლას, როდესაც იარაღები იყოფა ჯგუფებად და მათ მიმართ ხორციელდება პარალელური შეცვლის სქემა.

მთლიანი ტექნოლოგიური სისტემის მწარმოებლურობის განხილვისას საჭიროა გავანალიზოთ საკითხები, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან არა მარტო მჭრელ იარაღებთან, არამედ ტექნოლოგიურ მოწყობილობათა მუშა კვანძების (მექანიზმებისა და მოწყობილობების) მტყუნებებთანაც.

აღნიშნულთან დაკავშირებით პირველ რიგში ვიხილავთ ამოცანას, რომელშიც მჭრელ იარაღებთან მიმართებაში ვიყენებთ პარალელურ შეცვლას და მუშა კვანძებთან მიმართებაში კი შეცვლას ყოველი იარაღის მწყობრიდან გამოსვლის მიხედვით.

ასეთი მიდგომისას [112, 113, 116] პოტენციური მწარმოებლურობა შეგვიძლია გამოვსახოთ დამოკიდებულებით

$$Q_n = \frac{k_{gu} k_{gou}}{T_{cm}} \quad (149)$$

სადაც k_{gu} – იარაღების მზადყოფნის კოეფიციენტი, k_{gou} – მოწყობილობის მზადყოფნის კოეფიციენტი.

თუ როგორც ადრე [112] სხვადასხვა იარაღების მუშათა დროები T_{ip} დამოკიდებულნი არიან

$$T_{ip} = k_i T_{ipo} \quad i = 1, 2, 3, \dots, \quad (150)$$

სადაც T_{ipo} – სამანქანო დრო განმსაზღვრელ ოპერაციაზე, მაშინ მრავალსაიარაღო გაწყობის უმტყუნებო დროის ალბათობა $P(t)$ გამოისახება დამოკიდებულებით

$$P(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) = \prod_{i=1}^n \left[1 - \int_0^{k_i t} f_1(x) dx \right]. \quad (151)$$

სადაც $P(t)$ – მთლიანი საიარალო გაწყობის საიმედოობის ფუნქცია და $f_i(x)$ – საიმედოობის დიფერენციალური ფუნქცია.

საიარალო სისტემის მუშაობის საშუალო t_{cp} განისაზღვრება ასე

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (152)$$

ამ დროის განმავლობაში დამუშავებული იქნება

$$N = \frac{t_{cp}}{\frac{R_1}{v_1}} = \frac{v_1}{R_1} t_{cp} \quad (153)$$

რაოდენობის დეტალები.

ამასთან ერთად თუ აგრეთვე განვიხილავთ განმსაზღვრელი ოპერაციის დამხმარე τ დროს, მაშინ ინსტრუმენტალური გაწყობის საშუალო კალენდარული დრო გამოისახება ასე

$$T_{ecn} = \tau_1 N = \frac{\tau_1 v_1}{R_1} t_{cp} \quad (154)$$

სადაც R_1 – იარაღის დასამუშავებელ ზედაპირთან შეხების წერტილის დამუშავებისას, v_1 – პირველი იარაღის ჭრის სიჩქარე, τ_1 – პირველი იარაღის მუშაობის ერთი ციკლის დამხმარე დრო.

ასეთი მიდგომით

$$T_{cp} = t_{cp} + \frac{\tau_1 v_1}{R_1} t_{cp} = \left(1 + \frac{\tau_1 v_1}{R_1} \right) t_{cp}, \quad (155)$$

ან

$$T_{cp} = \frac{R_1 + \tau_1 v_1}{R_1} t_{cp}, \quad t_{cp} = \frac{R_1 + T_{CD}}{R_1 + \tau_1 v_1},$$

თავის მხრივ ასევე მიახლოვებით შეგვიძლია ჩავწეროთ [2]:

$$k_{go} = \prod_{\gamma} k_{go\gamma} \prod_q k_{goq}, \quad (156)$$

სადაც

$$k_{go} = \frac{1}{1 + \frac{t_{noq} a_{o6}}{T_{o6}}}, \quad (157)$$

$$k_{go} = \frac{1}{1 + \frac{\tau_{*1} a_{o6\gamma}}{T_{o6\gamma}} + \frac{K_{m^*\gamma} a_{o6\gamma}}{T_{o6\gamma} V_1}}. \quad (158)$$

შეგვიძლია ჩვენერთ

$$k_g = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + a}, \quad (159)$$

$$k_{gu} = \frac{\left(1 + \frac{\tau_1 v_1}{R_1}\right) t_{cp}}{\left(1 + \frac{\tau_1 v_1}{R_1}\right) t_{cp} + a}. \quad (160)$$

აქ a – ყველა იარაღის შეცვლის დრო

უფრო გაშლილი ფორმით გვექნება

$$k_{gu} = \frac{(R + \tau_1 v_1) \int_0^{\infty} P(t) dt}{(R_1 + \tau_1 v_1) \int_0^{\infty} P(t) dt + a R_1}, \quad (161)$$

ცალობითი დროისათვის შეგვიძლია ვისარგებლოთ დამოკიდებულებით

$$T_s = \frac{R_i + \tau_1 v_1}{v_1}. \quad (162)$$

შემდგომ ყოველი ზემოაღნიშნულის თანახმად, გვექნება

$$Q = \frac{v_1}{R_1 + \tau_1 v_1} \cdot \frac{(R + \tau_1 v_1) \int_0^{\infty} P(t) dt}{(R_1 + \tau_1 v_1) \int_0^{\infty} P(t) dt + a R_1}, \quad (163)$$

საბოლოოდ:

$$Q = \frac{V_1 \int_0^{\infty} P(t) dt}{(R_1 + \tau_1 v_1) \int_0^{\infty} P(t) dt + a R_1}.$$

$$\prod_q \frac{1}{1 + \frac{t_{noq} a_{oq}}{T_{oq}}} \prod_\gamma \frac{1}{1 + \frac{\tau_{*1} a_{o\gamma}}{T_{o\gamma}} + 1 + \frac{K_{T*1} a_{o\gamma}}{T_{o\gamma} V_1}}. \quad (164)$$

ერთნაირი იარაღებიანი ტექნოლოგიური სისტემისათვის გვექნება

$$P(t) = \left[1 - \int_0^t f(x) dx \right]^n,$$

სადაც $f(x)$ – ცალკეული იარაღის ჯამური დროის განაწილების სიმკვრივე ორ გადალესვათა შორის.

გამსხვილებული სახით შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$Q = \frac{VI_0}{(R + \tau V)I_0 + \frac{aR}{\sigma}} \cdot \prod_q \frac{1}{1 + E_{oq}} \cdot \prod_\gamma \frac{1}{1 + E_{1\gamma} + E_{2\gamma} \frac{1}{V_1}}, \quad (165)$$

სადაც

$$I_0 = \int_{-\frac{T_0}{\sigma_0}}^{\frac{T_0}{\sigma_0}} [0,5 - \Phi(z)]^n dz,$$

$\Phi(z)$ – ლაპლასის ფუნქციაა

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx. \quad (166)$$

T_0 – მედეგობის საცხრილო მონაცემი;

σ_0 – ფაქტობრივი მედეგობის საშუალო კვადრატული გადახრა T_0 –იდან.

2.4. ოპტიმიზაციური მიდგომები საჩარხო კომპლექსების ამძრავთა სისტემების კვლევისადმი

საჩარხო ავტომატიზებული სისტემის ოპტიმიზაციური კვლევის შემდგომი მნიშვნელოვანი ამოცანაა ავტომატიზებული ჩარხების მთავარი მოძრაობის და მიწოდებატა კინემატიკურ ჯაჭვებში ფართოდ გამოყენებული ელექტრომექანიკური სისტემების ოპტიმიზაციური დინამიკური კვლევა. ამ სისტემათა ხარისხობრივი მაჩვენებლები მნიშვნელოვან ზემოქმედებას ახდენენ საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების მუშაობის ეფექტურობაზე.

აღნიშნულ ამპრავთა სისტემების კვლევისას, როგორც ეს იყო ნაჩვენები ზევით, საქმე გვაქვს მექანიკურ ტრანსმისიებთან [130-132]. მექანიკური სისტემების მოდელირებისა დინამიკური ანალიზის და მათი აპროქსიმაციული მოდელების აგების საკითხები განხილულია ნაშრომებში [133-135], რომელთა გამოყენებით შეგვიძლია შევირჩიოთ მთლიან დინამიკურ სისტემაში ოპტიმალურად გამოსაყენებელი მექანიკური ნაწილის დინამიკური მოდელები.

რაც შეეხება ამპრავთა სისტემებში გამოყენებული გამაძლიერებლების, გადამწოდების და შემსრულებელი ელემენტების აღმწერი განტოლებები ფართოდაა მოცემული ნაშრომებში [129, 134, 136, 154] და დინამიკური კვლევის საკითხებთან თავის მხრივ დაკავშირებულია ნაშრომები [137, 138].

ნაშრომებში [137, 138] წარმოდგენილია სინთეზის მეთოდი მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით, რომელიც აგებულია წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების გამოყენებაზე.

ამ მახასიათებელთა გამოყენების საფუძველს წარმოადგენს ის გარემოება, რომ მახასიათებლების საკმაოდ ზუსტი დამთხვევას სიხშირეთა მნიშვნელოვან არეში შეესაბამება ორიგინალების დამთხვევა [138, 139, 140].

ორიგინალის $f(t)$ წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებელს მივიღებთ თუ $F(p) \doteq f(t)$ გამოსახულების არგუმენტს, სადაც p – ლაპლასის ოპერატორია, მოვანიჭებთ რიგ საგნობრივ $p = \delta$, მნიშვნელობებს და δ -ს განვიხილავთ წარმოსახვით სიხშირედ $\omega = -j\delta$.

წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების სიახლოვის პირობიდან გამომდინარე ორიგინალების სიახლოვის პრინციპზე არის აგებული ორიგინალების მიახლოებითი განსაზღვრის მეთოდი.

წარმოსახვით სიხშირეთა მააპროქსიმირებელი მახასიათებლები ზოგადი მიდგომით აიგებიან განუსაზღვრელი a_i და b_i კოეფიციენტების შემცველი შემდეგი სახის გამოსახულება გამოყენების ბაზაზე

$$F^\circ(p) = \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^3}{a_0 + a_1 p + a_2 p^3 + p^3}; \quad (167)$$

$$F^\circ(p) = \frac{b_0 + b_1 p}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2}. \quad (168)$$

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

სინთეზის პერიოდში a_i და b_i კოეფიციენტები არიან მოცემულნი და სამიეზლებს მიეკუთვნებიან სინთეზირებადი სისტემის რეგულირებადი კოორდინატის $F(p)$ გამოსახულებაში წარმოდგენილი კოეფიციენტები. ზოგადი მიდგომით სინთეზირებადი და სასურველი კოორდინატების გამოსახულებები შესაძლოა ჩაწერილი იქნან ასე:

$$F(p, \sigma_j) = \frac{M(p) + \sum_{j=1}^s \sigma_j M_j(p)}{N(p) + \sum_{j=1}^s \sigma_j N_j(p)} = x(t) \quad (169)$$

და

$$F^\circ(p) = \frac{M^\circ(p)}{N^\circ(p)} = x^\circ(t), \quad (170)$$

სადაც M° , M , N° და $N - p$, გარკვეული პოლინომები, σ_j – სინთეზირებადი კოეფიციენტები (პარამეტრები).

პროცესების ინტეგრალური მიახლოება

$$(p, \sigma_j) \cong F^\circ(p) . \quad (171)$$

გამოიღო სახით მიიღებს სახეს

$$M^\circ(p) \sum_{j=1}^n \sigma_j N_j(p) - N^\circ(p) \sum_{j=1}^n \sigma_j M_j(p) = N^\circ(p) M(p) M^\circ(p) N(p). \quad (172)$$

მიღებული (172) გამოსახულების თანახმად ჩაიწერება პირობითი განტოლებები $p = \delta$ აპროქსიმაციათა l კვანძებისათვის.

ნაშრომში [138] რეკომენდირებულია δ_v სიხშირეთა განთავსება მოცემული გეომეტრიული პროგრესიის

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

თანახმად, რომლის მნიშვნელი $q = 2$.

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

ამ ნამრავლების (წონითი კოეფიციენტების) განსაზღვრისათვის

საჭირო თეორიული მიდგომები და მათემატიკური გამოსახულებები აგრეთვე მოყვანილია ნაშრომში [138].

წარმოსახვით სიხშირეთა გამოყენებაზე დაფუძნებული სინთეზის მეთოდის ეტაპს წარმოადგენს გაანგარიშებებით სინთეზირებადი სისტემის დინამიკური მდგრადობის დამაკმაყოფილებელი პირობის შემოტანა ხორციელდება ორი ვარირებადი პარამეტრის ვარიაციის მეშვეობით.

ნაშრომებში [137, 138] წარმოდგენილია რეგულირების არაწრფივი სისტემების სინთეზის მეთოდი მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით. ამ ნაშრომებში არაწრფივი სისტემების პროცესების სასურველ პროცესებთან ინტეგრალური მიახლოების მათემატიკური აპარატის თვალსაზრისით გამოყენებულია Φ_g ფუნქციონალები არაწრფივი რგოლების ამონახსნების მიხედვით [138]

$$\Phi_g = \int_0^{\tau_g} \varphi_g^2[\bar{x}_i(t); \bar{\varepsilon}(t)] dt, \quad (173)$$

სადაც $\bar{\varepsilon}_i(t)$ და $\bar{x}_i(t)$ – სასურველი პროცესები, $\varphi_g(t) = 0$ – არაწრფივი დიფერენციალური განტოლებები, τ_g – დროის ინტერვალები, რომლებზედაც რეალიზდებიან ინტეგრალური მიახლოების პროცესები.

აღნიშნულ ნაშრომებში განხილულია ამოცანები: სასურველი პროცესების მოცემისა, ფუნქციონალური ურთიერთკავშირის განსაზღვრისა სინთეზირებად პარამეტრებსა და სასურველ პროცესებთან შორის, სინთეზირებად სისტემაში მდგრადობის პირობის შემოტანისა.

სინთეზირებადი რეგულირების სისტემის i -ური არაწრფივი რგოლების სასურველ შემავალი $\bar{\varepsilon}(t)$ და გამომავალი $\bar{x}(t)$ კოორდინატების განსაზღვრისათვის არაწრფივ სისტემასთან შესაბამისობაში შემოდის კონკრეტული დროში ფიქსირებული პარამეტრების შემცველი განსაზღვრული „სასურველი პროცესის წრფივი სისტემა“. ასეთ მიდგომისას $\bar{\varepsilon}_i(t)$ და $\bar{x}_i(t)$ წარმოადგენენ „სასურველი პროცესის წრფივი სისტემის“ i -ური რგოლების შემომავალ და გამომავალ კოორდინატებს.

განსახილველ სინთეზის მეთოდში თანახმად ნაშრომისა [131] მდგრადობის პირობის შემოტანა რეალიზდება სასურველ პროცესებში

შემოტანილი კომპლექსური z_m – დროის მასშტაბური კოეფიციენტის ვარიაციის მეშვეობით, მასთან დაკავშირებით შემავალ და გამომავალ კოორდინატებს განვიხილავთ სახით

$$\left. \begin{array}{l} \bar{x}_i\left(\frac{1}{z_m}, t\right) \\ \bar{\varepsilon}_i\left(\frac{1}{z_m}, t\right) \end{array} \right\} \quad (174)$$

წარმოდგენილი მეთოდი საშუალებას იძლევა სინთეზის პროცედურის განხორციელების გარდამავალი პროცესების გარკვეული მაჩვენებლების დაკმაყოფილების პირობიდან გამომდინარე მთელი რიგი ზემოქმედებების დროს.

ასეთივე პარამეტრული სინთეზის ამოცანები გადაჭრილია ელექტრომექანიკურ სისტემებთან მიმართებაში ნაშრომებში [142-144].

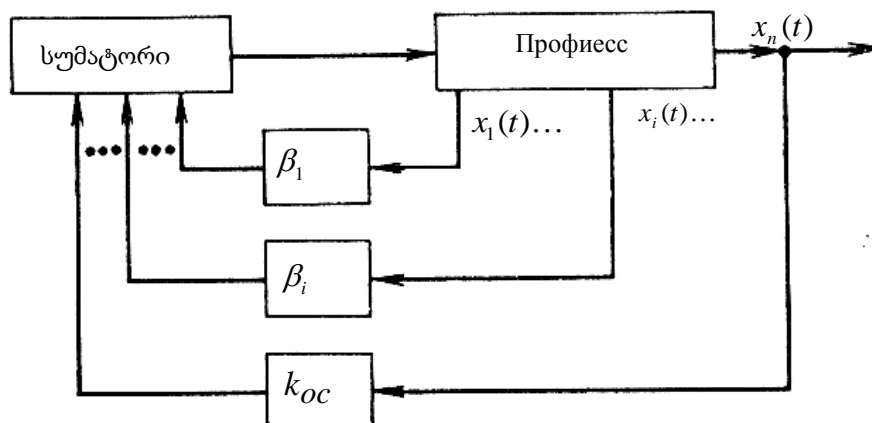
შესამუშავებელი სისტემების ეფექტურობის შემდგომი ამაღლების ტენდენციები მოითხოვენ ოპტიმიზაციური დინამიკური სინთეზისაკენ მიმართული დინამიკური კვლევების მეთოდებისა და მეთოდიკების შემდგომ სრულყოფას, აგებულს სისტემათა როგორც პარამეტრულ, აგრეთვე სტრუქტურულ ვარიაციაზეც.

ზოგადი მიდგომით ავტომატური რეგულირების სისტემის სტრუქტურა მოიცავს გამომავალი კოორდინატის მიმართ უკუკავშირებით შემოწვდომით რეგულატორსა და რეგულირების ობიექტს. ამასთან ერთად სისტემაში შესაძლოა არსებობდეს სისტემის შემაჯამებელ მოწყობილობაში შემავალი უკუკავშირები დამატებითი კოორდინატების მიმართ [145, 148].

აღნიშნულთან დაკავშირებით ნახ. 16–ზე მოყვანილია დამატებითი სინთეზირებადი $\beta_i(t)$ ($i = 1, \dots, n$) უკუკავშირების მეშვეობით მართვის ოპტიმალური კანონის რეალიზაციის ცნობილი ბლოკ–სქემა. აქ უკუკავშირების 1 რაოდენობა უდრის სისტემა 2–ის რიგს. უკუკავშირების სიგნალები წარმოადგენენ სისტემის ზომვად კოორდინატებს.

უკვე აღნიშნავთ ასეთი სქემით იგება ჩაკეტილი სისტემის გადამცემ ფუნქციაში პოლუსების მოცემული განაწილების განმხორციელებელი სინთეზის მეთოდი, რომელმაც თავიდან მიიღო სტანდარტული

კოეფიციენტების და შემდგომ კი მოდალური მართვის დასახელება [146–147].



ნახ. 16. რეგულირების ოპტიმალური სისტემის სქემა

რეგულირების სისტემის ნორმალურ განტოლებათა სისტემა შეგვიძლია ჩავწეროთ სახით

$$\dot{X} = AX + G(t), \quad (175)$$

სადაც

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{bmatrix}; \quad G(t) = \begin{bmatrix} g_1(t) \\ g_2(t) \\ \vdots \\ g_n(t) \end{bmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix}; \quad (176)$$

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

ერთგანზომილებიან სისტემასთან მიმართებაში ტოლობა (176)

შეგვიძლია ჩავწეროთ ასე:

$$\dot{X} = AX + G(t); \quad (177)$$

$$Y = CX, \quad (178)$$

სადაც Y – სისტემის გამომავალი კოორდინატი;

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

აქ

$$G(t) = \begin{bmatrix} g_1(t) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (179)$$

ლაპლასის გამოსახვებში მატრიცული ფორმით მრავალგანზომილებიანი სისტემებთან მიმართებაში გვექნება [149–150].

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

სადაც E – ერთეული მატრიცა.

ერთგანზომილებიან სისტემებთან მიმართებაში გვექნება

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

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

სისტემის სინთეზისას მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით პირველ რიგში უნდა იქნას შედგენილი რეგულირების სისტემის არაკორექტირებადი გადამცემი ფუნქცია. შემდგომ სისტემის სტრუქტურაში შემოგვაქვს დამატებითი უკუკავშირები.

ე.ი. იმისათვის, რომ სისტემის გამოსასვლელში გვექნოდეს სასურველი $x_{\text{მე}}(t)$ რეგულირებადი კოორდინატი სისტემის შემაჯამებელ მოწყობილობაში უნდა შემოვიდეს ზემოქმედება

$$g_{\text{მე}}(t) = g_{\text{მე}}(t) - g(t). \quad (180)$$

ამ გამოსახულებაში:

$g_{\text{მე}}(t)$ – სასურველი კოორდინატის რეალიზაციასთან კავშირში განხილვადი ზემოქმედება; $g(t)$ – სისტემაში შემომავალი ზემოქმედება.

აქ:

$$g_{\text{მე}}(s) = \frac{1}{W_{kc}(s)} x_{\text{მე}}(s) - g(s), \quad (181)$$

სადაც

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

წარმოადგენს არაკორექტირებადი სისტემის გადამცემ ფუნქციას.

აღვნიშნავ, რომ სასურველი პროცესების გამოსახულებების შერჩევით ვხელმძღვანელობთ ტიპური მახასიათებლები განტოლებებით.

დამატებით $g_{g\mathcal{M}}(s)$ ზემოქმედებების შემდგომი ამოცანა ხორციელდება დამატებითი მაკორექტირებელი რგოლების შემოტანით.

$$g_{g\mathcal{M}}(s) \approx \sum_i \beta_i x_i(s) + g_{ig}(s)_{noc}. \quad (182)$$

ან

$$x_{g\mathcal{M}}(t) = \sum_{i=1}^n \beta_i W(s) x_{\mathcal{M}}(t) + W(s) [g_{gx} - k_{oc} x_{\mathcal{M}}(t)] \quad (183)$$

აქ: $W(s)$ – არაკორექტირებული სისტემის გადამცემი ფუნქცია (სისტემა კონტურული უკუკავშირის გარდა), სადაც $x_{g\mathcal{M}}(t)$ – სასურველი გამომავალი კოორდინატი; $g_{g\mathcal{M}}(s)_{noc}$ – მიმდევრობითი მაკორექტირებელი რგოლის გამომავალი კოორდინატი.

განტოლებებთან (177–178) მიმართებაში სასურველი კოორდინატები $x_{g\mathcal{M}}(t)$ განისაზღვრებიან შემდეგი სახით

$$\dot{X} = AX + G(t) + G_{o\mathcal{M}}(t); \quad (184)$$

$$Y_{\mathcal{M}} = CX,$$

სადაც:

$$G_{g\mathcal{M}}(t) = [(g_{\mathcal{M}}(t) \ 0 \ 0 \dots 0)]^T; \quad (185)$$

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

$X_{i\mathcal{M}}$ – სინთეზირებადი სისტემის სასურველი კოორდინატები.

შესაბამის ორიგინალურ მიმართებაში პარამეტრული სინთეზის ამოცანა შეიძლება იქნას რეალიზებული შემდეგი კვადრატული ფუნქციონალების მინიმიზაციით:

$$\Phi_g = \int_0^{\tau} \left[g_{g\mathcal{M}}(t) - \sum_i \beta_i x_i \mathcal{M}(t) \right]^2 dt \quad (186)$$

ან

$$\Phi_g = \int_0^{\tau} \left[x_{g\mathcal{M}}(t) - \sum_i \beta_i x \beta_i(t) + x_{bo}(t) \right]^2 dt, \quad (187)$$

სადაც: $X_{g\mathcal{M}}(t)$ – სისტემის სასურველი გამომავალი კოორდინატი; $X_{ei}(t)$ – გახსნილ არაკორექტირებული სისტემის i -ური $\beta_i X_{i\mathcal{M}}(t)$ მდგენელების შესაბამისი გამომავალი კოორდინატები; $X_{eo}(t)$ სისტემის ამონახსნი

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

ზემოქმედების შესაბამისი k_{oc} - კონტურული უკუკავშირის კოეფიციენტი (მოთვალთვალე სისტემაში მდებარეობის მიმართ უკუკავშირისა).

ფუნქციონალების მინიმიზაციის განხორციელების პარალელური მაკორექტირებელი რგოლების პარამეტრების შერჩევით.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ მრავალ შემთხვევაში საანგარიშო ნაწილის გამარტივების მიზნით ფუნქციონალებს (186) და (187) მინიმიზაციის მაგივრად ახორციელებენ პირობით განტოლებათა დამუშავებას უმცირეს კვადრატთა მეთოდით.

უფრო ზოგადი მიდგომით კოორდინატები $X_{ioc}(t)$ ვსაზღვრავთ განტოლებათა (177-178) ბიჯური ამოხსნით მოცემული $Y_{oc}(t_v)$, სადაც t_v - რიცხობრივი ამოხსნების ბიჯი. უფრო მარტივ შემთხვევებში შეგვიძლია ვიხელმძღვანელოთ ანალიზური საანგარიშო დამოკიდებულებებით.

მიღებული $X_{ioc}(t_v)$ დამოკიდებულების მიხედვით ვაფორმირებთ მატრიცებს

$$G_{igoc}(t_v) = \beta_i G_{\beta i}(t_v) = \beta_i [-X_{ioc}(t_v) \ 0 \dots 0]^T, \quad (188)$$

რომლებიც ჯამურად განსაზღვრავენ მატრიცით $G_{goc}(t)$

$$G_{goc}(t) = \sum G_{igoc}(t_v),$$

და შემდგომ მატრიცული განტოლებების გამოყენებით

$$X_i = A_1 X_i + G_1(t) + G_{\beta igoc}(t_v)$$

$$Y_i = C X_i,$$

სადაც: A_1 - არაკორექტირებული სისტემის გადაცემის მატრიცა მდებარეობის მიმართ კონტურული უკუკავშირის გათვალისწინების გარეშე:

$$G_i(t_v) = [g_1(t_v) - K_{oc} Y_{oc}(t_v) \ 0 \ 0 \dots 0]^T, \quad (190)$$

ბიჯურად ვსაზღვრავთ $Y_{oc}(t_v)$ და $X_i(t)$ -ს მნიშვნელობებს.

აქ $Y_{oc}(t_v)$ - შეესაბამება შემდეგი სისტემის ამოხსნას:

$$\dot{X}_i = A_1 X_i + G_1(t_v); \quad (191)$$

$$Y_i = C X_i, \quad (192)$$

და კოორდინატებს $X_i(t)$ ვიღებთ განტოლებების

$$X_i = AX_{i-1} + G \beta_{ig} x(t_v) \quad (193)$$

$$Y_i = C X_i \quad (194)$$

ამოხსნით.

მიღებული შედეგების გამოყენებით დავდივართ პირობით განტოლებებზე რიცხობრივი ინტეგრირების წერტილებში.

გადამუშავებთ რა ამ პირობით განტოლებებს უმცირეს კვადრატთა მეთოდით დავდივართ ნორმალურ განტოლებათა სისტემაზე საძიებელ β_i -ების მიმართ.

ცნობილი მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდის შესაბამისად სასურველ კოორდინატს ვიძლევი ფუნქციონალურ კავშირში z_m დროის მასშტაბურ კოეფიციენტთან, რაც იძლევა სინთეზირებადი პროცესების სასირველებთან დამატებით მიახლოების საშუალებას და აგრეთვე შესაძლოა მრავალკრიტერიული ამოცანის გადაჭრა.

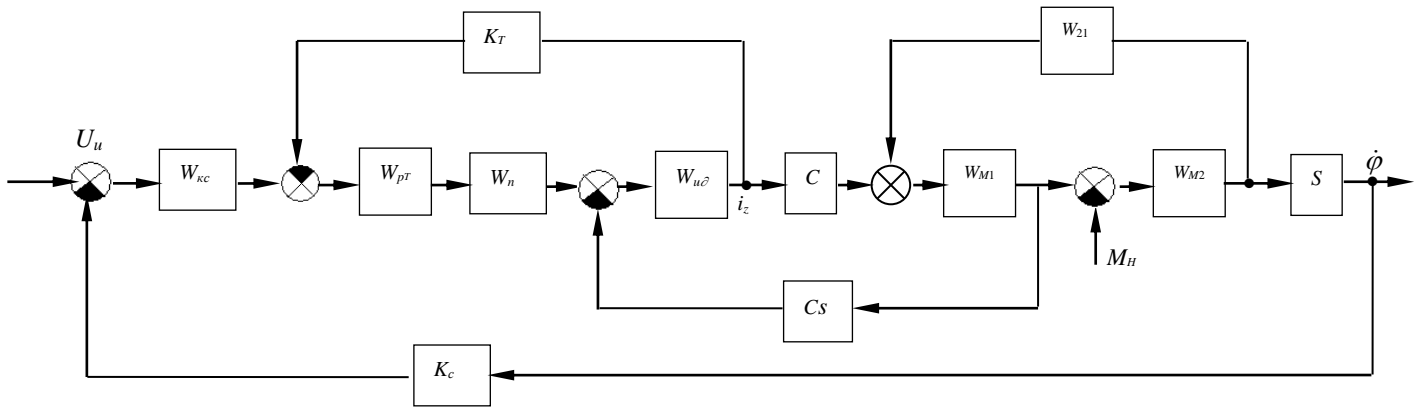
უკანასკნელის განვითარებით პარალელური მაკორექტირებელი რგოლების სინთეზის მიმართებაში დავდივართ წრფივ ნორმალურ განტოლებებზე საძიებელ და კოეფიციენტებთან მიმართებაში [151–152]:

$$\beta_1 x_1(Z_m t_v) + \beta_2 x_2(Z_m t_v) + \beta_{n-1} x_{n-1}(Z_m t_v) = y_m(Z_m t_v) - y_{BO}(Z_m t_v).$$

ამ განტოლებათა სისტემის დამუშავებით უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით დავდივართ საძიებელ პარამეტრებთან β_i მიმართებაში წრფივ ნორმალურ განტოლებებზე.

2.5. საჩარხო ელექტრომექანიკური ამძრავის დინამიკური მოდელირება და კვლევა დრეკადობის გათვალისწინებით მექანიკურ ნაწილში

ნახ. 17 მოყვანილია მექანიკურ ნაწილში დრეკადი რგოლების შემცველი ელექტრომექანიკური სისტემის სტრუქტურული სქემა, რომელიც ხასიათდება იმით, რომ სისტემის სტრუქტურაში წარმოდგენილია მიმდევრობითი მაკორექტირებელი რგოლები სიჩქარის კონტურის II და დენის კონტური II რეგულატორების სახით. უკანასკნელნი ნახ. 17 აღნიშნულები არიან W_{pc} და W_{pr} სიმბოლოები [154, 158, 160].



ნახ. 17. სისტემის სტრუქტურული სქემა

განვიხილოთ გარდამავალი პროცესების ხარისხობრივი მაჩვენებლების ამდლებს ამოცანა სისტემის სტრუქტურაში მოდალური მართვის თეორიის შესაბამისად პარალელური მაკორექტირებელი უკუკავშირების შემოტანის საფუძველზე.

ამასთან ვთვლით, რომ დენის ჩაკეტილი კონტურის პარამეტრები წარმოადგენენ შერჩეულებს დაქვემდებარებული რეგულირების ცნობილი თეორიის შესაბამისად და საძიებლების სახით წარმოგვიდგებიან სიჩქარის II – რეგულატორის (კოეფიციენტი K_{pc}) და პარალელური უკუკავშირების β_i გადამცემი კოეფიციენტები [3].

აქვე აღვნიშნავთ, რომ K_c – სიჩქარის უკუკავშირის გადამცემი კოეფიციენტია.

განვიხილოთ სისტემის დინამიკა პარალელური უკუკავშირების და სიჩქარის II – რეგულატორის გათვალისწინების აღიწერება განტოლებათა სისტემით:

$$u_c = K_{pn} \varepsilon; \quad (195)$$

$$\varepsilon = u_3 - K_c \dot{\phi}_2 - g(t); \quad (196)$$

$$T_{pT} \dot{u}_T = K_{pT} T_{pT} \varepsilon_T - K_{pT} \varepsilon_T; \quad (197)$$

$$\varepsilon_T = u_c - K_T i_a; \quad (198)$$

$$T_n \dot{u} + u = K_c u_T; \quad (199)$$

$$T_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + i_{\text{я}} = \frac{1}{R_{\text{я}}} u - \frac{c}{R_{\text{я}}} \dot{\varphi} = K_{\text{я}} u - K_{\text{я}} c \dot{\varphi}; \quad (200)$$

$$I_1 \ddot{\varphi}_1 + b_{\varphi 1} \dot{\varphi}_1 + c_{12} \varphi_1 = C i_{\text{я}} + b_{12} \dot{\varphi}_2 + c_{12} \varphi_2; \quad (201)$$

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 + b_{\varphi 2} \dot{\varphi}_2 + c_{12} \varphi_2 = -M_{\text{н}} + b_{12} \dot{\varphi}_1 + c_{12} \varphi_1, \quad (202)$$

სადაც: $g(H) = \beta_1 \ddot{\varphi}_2 + \beta_2 \dot{\varphi}_1 + \beta_3 C_{12} \varphi + \beta_4 i_{\text{я}} + \beta_5 u + \beta_6 u_T$.

მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ამოცანის ამოხსნის გამოსახულება $\varphi_{2,\text{ж}}(t)$ და უკანასკნელთან შესაბამისად ვავლენთ შუალედური კოორდინატების სასურველ გამოსახულებებს [156]:

φ_1 , $i_{\text{я}}$, u და u_T , რომლებსაც შემდგომში ვაფიქსირებთ «*» ინდექსების მეშვეობით [158]:

$$\ddot{\varphi}_{2,\text{ж}}(s) = s^2 \varphi_{2*}(s); \quad (203)$$

$$\omega_{1,\text{ж}}(s) = \dot{\varphi}_{1*}(s) = A_1(s) \varphi_{2*}(s) = A_1 \omega_{2*}(s); \quad (204)$$

$$C_{12} \Delta \varphi_{\text{ж}}(s) = C_{12} [\varphi_{1*}(s) - \varphi_{2*}(s)]; \quad (205)$$

$$i_{\text{я},\text{ж}}(s) = A_3(s) \varphi_{2*}(s); \quad (206)$$

$$U_{\text{ж}}(s) = A_4(s) \varphi_{2*}(s); \quad (207)$$

$$U_{T,\text{ж}}(s) = A_5(s) \varphi_{2*}(s), \quad (208)$$

სადაც ω_1 და ω_2 – კუთხური სიჩქარეები.

რეგულირების საკვლევი სისტემის მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის პროცედურების რეალიზაციისათვის წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების აპარატის [136] გამოყენებით პირველ რიგში ვწერთ კოორდინატთა საწყის მიახლოვებით ტოლობას

$$\omega_2(s) \approx \omega_{2*}(s), \quad (209)$$

სადაც $\omega_2(s)$ – რეგულირებადი კოორდინატის გამოსახულება, $\omega_{2,\text{ж}}(s)$ – გამოსავალი კოორდინატის სასურველი გამოსახულება.

გამოიღო სახით გვაქვს:

$$\omega_2(s) = [g_{\varphi*}(s) + \varepsilon_0(s)] K_{pc} W_{\kappa}(s), \quad (210)$$

სადაც: $\varepsilon_0(s) = u_3 - K_c \omega_2$;

$W_{\kappa\omega}(s) = \frac{\omega_2(s)}{U_c(s)}$ – არაკორექტირებელი გახსნილი სისტემის გადამცემი

ფუნქცია.

$W_{\kappa\omega}(s)$ -ს განსაზღვრისათვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ დამოკიდებულება

$$W_{\kappa\omega}(s) = SW_{\kappa}(s),$$

სადაც $W_{\kappa}(s)$ შემოტანილია ნაშრომიდან [5].

გაშლილი სახით გვექნება

$$U_c(s) = K_{pc}\varepsilon_0(s) + f_u(K_{\beta i}, s), \quad (211)$$

სადაც:

$$\begin{aligned} f_u(K_{\beta i}, s) &= K_{\beta 1}s\omega_{2*}(s) + K_{\beta 2}\omega_{1*}(s) + K_{\beta 3}C_{12}\Delta\varphi_*(s) + \\ &+ K_{\beta 4}i_{q*}(s) + K_{\beta 5}u_*(s) + K_{\beta 6}u_{T*}(s); \\ K_{\beta i} &= K_{pc}\beta_i. \end{aligned}$$

პროცესების $\omega_2(s)$ და $\omega_{2*}(s)$ ინტეგრალური მიახლოების პროცედურების ჩატარებით დავდივართ ალგებრულ K_{pc} და β_i კოეფიციენტების მიმართ წრფივ განტოლებათა ნორმალურ სისტემაზე.

გარკვეულ შემთხვევებში სისტემის სტრუქტურულ სქემაში პარამეტრული სინთეზის შესაძლებლობების გაფართოებისათვის სიჩქარის რეგულატორად იყენებენ ПИ – რეგულატორს. განხილვად შემთხვევაში თუ სინთეზის პროცედურას განვახორციელებთ ზემოთ წარმოდგენილი სქემით კოორდინატთა საწყისი ტოლობა (199) გამოსახება ასე

$$\omega_2(s) = [g_{g*}(s) + \varepsilon_0(s)]W_{pc}W_{k*}(s) = \omega_{2*}(s), \quad (212)$$

სადაც:

$$\begin{aligned} \varepsilon(s)W_p(s) &= K_{pc} \frac{1+T_{pc}(s)}{T_{pc}s} \varepsilon(s) = K_{pc} \cdot \varepsilon(s) + K_{\varepsilon} \frac{1}{s} \varepsilon(s) = u_c(s); \\ K_{\varepsilon} &= \frac{K_{pc}}{T_{pc}}, \end{aligned}$$

K_{pc} და T_{pc} – შესაბამისად ПИ-რეგულატორის გამლიერების კოეფიციენტი და დროის მუდმივა.

გაშლილი სახით გვექნება:

$$\left[K_{pc} \varepsilon_0(s) + K_\varepsilon \frac{1}{s} \varepsilon_0(s) + K_{pc} g_{\rho^*}(s) + K_\varepsilon \frac{1}{s} g_{\rho^*}(s) \right] W_{\kappa\omega}(s) \approx \omega_{2^*}(s), \quad (213)$$

სადაც:

$$g_{\rho^*}(s) = \beta_1 s \omega_{2^*}(s) + \beta_2 \omega_{1^*}(s) + \beta_3 C_{12} \omega_{2^*}(s) + \beta_4 i_{\rho^*}(s) + \beta_5 u_*(s) + \beta_6 u_{T^*}(s).$$

ვანალიზებთ რა დამოკიდებულებას (213) მივდივართ დასკვნაზე, რომ საწყისი ტოლობის რეალიზაციის საფუძველზე წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების აპარატის გამოყენებით დავდივართ ალგებრულ განტოლებებზე, რომლებშიც პარამეტრები K_{pc} , K_ε და β_i წარმოდგენილი არიან საკმაოდ რთულ მათემატიკურ დამოკიდებულებებში, რაც მნიშვნელოვნად ართულებს საძიებელი ვარირებადი პარამეტრების შერჩევის ამოცანას.

გადასაჭრელი ამოცანის გამარტივებისათვის სიჩქარის ПИ-რეგულატორიანი სისტემისათვის შემოთავაზებულია მიმდევრობითი ამოხსნების პროცედურა, რომელიც დაფუძნებულია ПИ – რეგულატორის პარამეტრების პირველად შერჩევაზე П – რეგულატორიანი სისტემისათვის მიღებული პარამეტრების სიახლოვეში. ამოცანას ვხსნით მცირე ნამატებში ΔK_{pc} , ΔK_ε და $\Delta \beta_i$ ინდექსით * აღნიშნული П-რეგულატორიანი სისტემის პარამეტრების სიახლოვეში.

ნათქვამიდან მიმართებაში ვწერთ

$$U_c(s) = K_{pc} \varepsilon_0(s) + K_\varepsilon \frac{1}{s} \varepsilon_0(s) + f_u(K_{pc}, K_\varepsilon, \beta_i, s). \quad (214)$$

(264)–ის შეცვლით მისი რიგში დაშლით და დაშლის პირველი წევრების აღებით გვექნება:

$$U_c(s) = u_{c^*}(K_{pc^*}, K_{\varepsilon^*}, \beta_{i^*}, s) + \frac{\partial U_{c^*}}{\partial K_{pc^*}} \Delta K_{pc} + \frac{\partial U_{c^*}}{\partial K_{\varepsilon^*}} \Delta K_\varepsilon + \sum_i \frac{\partial U_{c^*}}{\partial K_{\beta_i^*}} \Delta \beta_i. \quad (215)$$

გამოყენებული განშლის თანახმად საძიებელი პარამეტრების მნიშვნელობები გამოისახებიან ასე:

$$K_{pc} = K_{pc^*} + \Delta K_{pc};$$

$$K_\varepsilon = K_{\varepsilon^*} + \Delta K_\varepsilon;$$

$$\beta_i = \beta_{i^*} + \Delta\beta_{ic}.$$

ნაშრომებში [156, 158] განხილულია მოყვანილი სინთეზის მეთოდოლოგია საკვლევი სისტემისათვის, როდესაც მისი ძირითადი ფუნქცია მოთვალთვალე მოძრაობა. ასეთი სახის სისტემებმა ფართო გამოიყენება ჰპოვეს ჩარხების და საჩარხო სისტემების მიწოდებათა კინემატიკურ ხაზებში.

ამძრავთა მოთვალთვალე მრავალგანზომილებიანი სისტემების დინამიკური მოდელირებისა და კვლევის საკითხები განხილულია ნაშრომებში [156, 159].

2.6. ელექტრომექანიკური სისტემების დინამიკური მოდელირება და კვლევა დრეკადობისა და ღრეჩობის გათვალისწინებით სისტემის მექანიკურ ნაწილში

ზემოთ მოყვანილი იქნა მექანიკურ ნაწილში დრეკადრგოლებიან ამძრავთა ელექტრომექანიკური სისტემების სტრუქტურული სქემები, რომლებშიც მექანიკური ნაწილი (მნ) აღიწერება ორმასიანი მოდელის შემდეგი სახის დიფერენციალური განტოლებებით:

$$I_1\ddot{\phi}_1 + b_1\dot{\phi}_1 + b_{12}\Delta\dot{\phi} + c_{12}\Delta\phi = Ci_r, \quad (216)$$

$$I_2\ddot{\phi}_2 + b_2\dot{\phi}_2 - b_{12}\Delta\dot{\phi} - c_{12}\Delta\phi = -M_n, \quad (217)$$

სადაც: $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$, $\Delta\dot{\phi} = \dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2$;

ϕ_1 და ϕ_2 – ინერციის მომენტების I_1 და I_2 –ის მოძრაობათა კუთხური კოორდინატები მექანიკური ნაწილის ორმასიან მოდელში.

გარდაქმნილი სახით სისტემა (216-217) შეიძლება ჩაიწეროს სახით:

$$I_1\ddot{\phi}_1 + b_1\dot{\phi}_1 + b_{12}\Delta\dot{\phi}_1 + c_{12}\phi = Ci_r + b_{12}\dot{\phi}_2 + c_{12}\phi_2; \quad (218)$$

$$I_2\ddot{\phi}_2 + b_2\dot{\phi}_2 + b_{12}\Delta\dot{\phi}_2 + c_{12}\phi_2 = b_{12}\dot{\phi}_1 + c_{12} - M_n. \quad (219)$$

უმეტეს რეალურ ელექტრომექანიკურ ამძრავებში წარმოდგენილია ისეთი არსებითი არაწრფივობები, როგორებიცაა ლუფტი და მშრალი ხახუნი, რომლებიც მრავალი კვლევის თანახმად ახდენენ არსებით ზემოქმედებას სისტემის დინამიკურ მახასიათებლებზე [85, 163, 164].

ღრეჩოს შემცველი მექანიკური ნაწილის მქონე ამძრავის ანალიზიდან, რომელიც მოყვანილია ნაშრომში [162], გამომდინარეობს, რომ მექანიკური ნაწილის მოძრაობა, როდესაც ლუფტი აღმოფხვრილია აღიწერება სისტემით (218–219) და ლუფტის მუშაობისას კი საქმე გვექნება ორ დამოუკიდებელ განტოლებებთან:

$$I_1\ddot{\phi}_1 + b_1\dot{\phi}_1 = Ci_{\alpha}; \quad (220)$$

$$I_2\ddot{\phi}_2 + b_2\dot{\phi}_2 = -M_{\alpha}. \quad (221)$$

ლუფტის გეომეტრიული მოდელის თანახმად [163] მორგების პირობები განისაზღვრებიან დამოკიდებულებებით

$$\phi_2 = \phi_1 - b, \text{ როდესაც } \dot{\phi}_2 > 0;$$

$$\phi_2 = \phi_1 + b, \text{ როდესაც } \dot{\phi}_2 < 0,$$

როდესაც $|\phi_2 - \phi_1| < b$ განტოლებები (220) და (221) იყვანებიან დამოუკიდებლად და მეორე მასის თავისუფალი მოძრაობა განისაზღვრება ϕ_2 -ს წარმოებულების საწყისი მნიშვნელობებით. აქ b – არის ლუფტის სიდიდე.

განტოლებებთან (218, 219) ჰარმონიული გაწრფივების თეორიის საკითხების მისადაგების თვალსაზრისით ფორმალური მიდგომის თანახმად, აღნიშნული განტოლებები ჩაიწერებიან შემდეგი სახით:

$$I_1\ddot{\phi}_1 + b_1\dot{\phi}_1 + b_{12}\dot{\phi}_1 + c_{12}\phi = Ci_{\alpha} + F_{\alpha}(\dot{\phi}_2, \phi_2), \quad (222)$$

$$I_2\ddot{\phi}_2 + b_2\dot{\phi}_2 + F_{\alpha}(\dot{\phi}_2, \phi_2) = b_1\dot{\phi}_1 + c_{12}\phi_1 - M_{\alpha}. \quad (223)$$

აქ $F_{\alpha}(\dot{\phi}_2, \phi_2)$ – ლუფტით განსაზღვრული არაწრფივობის პირობითი აღნიშვნა.

თავის მხრივ შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$F_{\alpha}(\dot{\phi}_2, \phi_2) = F_{\alpha 1}(\dot{\phi}_2) + F_{\alpha 2}(\phi_2),$$

და შემდგომ არაწრფივობის $F_{\alpha 1}(\dot{\phi}_2)$ და $F_{\alpha 2}(\phi_2)$ გაწრფივება შეგვიძლია განვახორციელოთ შესაბამისად ცნობილი დამოკიდებულებებისა [162, 163]:

$$F_{\alpha 1}(\dot{\phi}_2) \approx \left[q(a) + \frac{q'(a)}{\omega_0} p \right] \dot{\phi}_2; \quad (224)$$

$$F_{\alpha 2}(\phi_2) \approx \left[q(a) + \frac{q'(a)}{\omega_0} p \right] \phi_2, \quad (225)$$

სადა ც:

$$q(a) = \frac{1}{\pi} \left[\frac{\pi}{2} + \arcsin \left(1 - \frac{2b}{a} \right) + 2 \left(1 - \frac{2b}{a} \right) \right] \sqrt{\frac{b}{a} \left(1 - \frac{2b}{a} \right)}; \quad (226)$$

$$q'(a) = -\frac{4b}{\pi a} \left(1 - \frac{2b}{a} \right), \quad (227)$$

$x_2(t) \approx a \sin \omega_0 t$ და p – დიფერენცირების ოპერატორი.

შემდგომი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მოყვანილი ფორმალური მიდგომის თანახმად ლუფტის მუშაობის ზღვრებში დავდივართ განტოლებათა სისტემაზე:

$$I_1 \ddot{\phi}_1 + b_1 \dot{\phi}_1 + b_{12} \dot{\phi} + c_{12} \Delta \phi = C i_s; \quad (228)$$

$$I_2 \ddot{\phi}_2 + b_2 \dot{\phi}_2 = b_{12} \dot{\phi} - c_{12} \Delta \phi - M_n. \quad (229)$$

ორ დამოუკიდებელ განტოლებათა ნაცვლად, რაც მუგვითითებს მოყვანილი გაწრფივების მიდგომის არაგანზომიურობაზე, რადგანაც მასთან თანახმად ლუფტის ზღვრებში მოძრაობათა კავშირი არ ირღვევა. უკანასკნელი შეგვიძლია ავიცილოთ, თუ გადავალთ განტოლებებზე:

$$I_1 \dot{\phi}_1 + b_1 \phi_1 = C i_s + H(\Delta \phi, \Delta \dot{\phi}); \quad (230)$$

$$I_2 \dot{\phi}_2 + b_2 \phi_2 + H(\Delta \phi, \Delta \dot{\phi}) = -M_n, \quad (231)$$

და გაწრფივებულ დამოკიდებულებებს (224) და (225) გაუწევთ რეალიზაციას მიახლოებითი დამოკიდებულებებით:

$$H_1(\Delta \phi) \approx \left[q(a) + \frac{q'(a)}{\omega_0} p \right] \Delta \phi; \quad (233)$$

$$H_2(\Delta \dot{\phi}_2) \approx \left[q(a) + \frac{q'(a)}{\omega_0} p \right] \Delta \dot{\phi}_2, \quad (234)$$

რომლებშიც კოეფიციენტები $q(a)$ და $\frac{q'(a)}{\omega_0}$ გამოითვლებიან თანახმად დამოკიდებულებებისა (228) და (229).

დავდივართ მექანიკური ნაწილის ჰარმონიულად გაწრფივებულ განტოლებებზე:

$$(A_{\phi_{12}} s^2 + A_{\phi_{11}} s + A_0) \phi_1(s) = (B_{\phi_2} s^2 + B_{\phi_1} s + B_{\phi_0}) \phi_2(s) + C i_s(s); \quad (235)$$

$$(A_{\varphi 22}s^2 + A_{\varphi 21}s + A_0)\varphi_2(s) = (B_{\varphi 2}s + B_{\varphi 1}s + B_{\varphi 0})\varphi_1(s) - M_n, \quad (236)$$

სადაც: $A_{\varphi 12} = I_2 + \frac{q'(a)}{\omega_0} b_{12};$

$$A_{\varphi 11} = b_1 + b_{12}q(a) + c_{12} \frac{q'(a)}{\omega_0};$$

$$A_0 = B_{\varphi 0} = c_{12}q(a);$$

$$B_{\varphi 2} = \frac{q'(a)}{\omega_0} b_{12};$$

$$B_{\varphi 1} = b_{12}q(a) + c_{12} \frac{q'(a)}{\omega_0};$$

$$A_{\varphi 22} = I_2 + \frac{q(a)}{\omega_0} b_{12};$$

$$A_{\varphi 21} = b_2 + b_{12}q(a) + c_{12} \frac{q'(a)}{\omega_0},$$

და s – ლაპლასის გარდაქმნის ოპერატორია.

განტოლებათა (235) და (236), შეკრების თანახმად ვიღებთ

$$(I_1 + I_2)\ddot{\phi}_1 + I_2\Delta\ddot{\phi} + b_1(\dot{\phi}_1 - \Delta\dot{\phi}) + b_1\Delta\dot{\phi} = Ci_r - M_n,$$

ანდა

$$I_{\Sigma}\ddot{\phi}_1 + (b_1 + b_2)\dot{\phi}_1 = I_2\Delta\ddot{\phi} + b_1\Delta\dot{\phi} + Ci_r - M_n, \quad (237)$$

განტოლებიდან (237) კიდევ შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$I_1(\ddot{\phi}_1 - \Delta\ddot{\phi}) + b_2(\dot{\phi}_1 - \Delta\dot{\phi}) - \frac{q'(a)}{\omega_0} b_{12}\Delta\ddot{\phi} - \left(b_{12}q(a) + c_{12} \frac{q'(a)}{\omega_0} \right) \Delta\dot{\phi} - c_{12}q(a)\Delta\dot{\phi} = 0. \quad (238)$$

ანდა უფრო კომპაქტური სახით

$$I_{\Delta\varphi}\Delta\ddot{\phi}_2 + b_{\Delta\varphi}\Delta\dot{\phi}_2 + c_{\Delta\varphi}\Delta\dot{\phi} = I_2\dot{\phi} + b\dot{\phi}_1, \quad (288)$$

სადაც:

$$I_{\Delta\varphi} = I_2 + \frac{q'(a)}{\omega_0} b_{12};$$

$$b_{\Delta\varphi} = b_2 + b_{12}q(a) + c_{12} \frac{q'(a)}{\omega_0};$$

$$C_{\Delta\varphi} = c_{12} + q(a).$$

უკანასკნელი დამოკიდებულებების გამოყენებით დავდივართ ნაშრომში [160], მოყვანილ სტრუქტურულ სქემაზე, რომელთანაც დაკავშირებით პრინციპიალური მიდგომით შემდგომში გამოკვლევები შესაძლოა აგებულნი იყვნენ ნაშრომში [160] მოყვანილი გამოკვლევების შესაბამისად.

შემდგომ შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ მექანიკური ნაწილის განხილული დინამიკის ორმასიანი მოდული ლუფტის მუშაობის ფარგლებში განტოლებებში (220) და (221) აგრძელებენ მოქმედებას ღრეჩოებში პირაპირების გახსნილობის წინამორბედი დრეკად კავშირებში დაგროვილი დრეკადი მომენტები.

ამასთან დაკავშირებით უფრო მიზანშეწონილია სამ და ორმასიანი მოდელების გამოყენება, რომლებიც აღიწერებიან განტოლებებით:

$$I_1\ddot{\phi}_1 + b_1\dot{\phi}_1 + b_{12}(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) + c_{12}(\phi_1 - \phi_2) = Ci_{\alpha}; \quad (239)$$

$$I_2\ddot{\phi}_2 + b_2\dot{\phi}_2 - b_{12}(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) - c_{12}(\phi_1 - \phi_2) + b_{23}(\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_3) + c_{23}(\phi_2 - \phi_3) = 0; \quad (240)$$

$$I_3\ddot{\phi}_3 + b_3\dot{\phi}_3 - b_{23}(\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_3) + c_{23}(\phi_2 - \phi_3) - M_{\alpha} = 0, \quad (241)$$

როდესაც ლუფტი ამოკრეფილია, და განტოლებებით:

$$I_1\ddot{\phi}'_1 + b_1\dot{\phi}'_1 + b'_{12}(\dot{\phi}'_1 - \dot{\phi}'_2) + c'_{12}(\phi'_1 - \phi'_2) = Ci_{\alpha}; \quad (242)$$

$$I'_2\ddot{\phi}'_2 + b'_2\dot{\phi}'_2 + b'_{12}(\dot{\phi}'_2 - \dot{\phi}'_1) + c'_{12}(\phi'_2 - \phi'_1) = 0; \quad (243)$$

$$I''_2\ddot{\phi}''_2 + b'_1\dot{\phi}''_2 + b''_{23}(\dot{\phi}''_2 - \dot{\phi}''_3) + c''_{12}(\phi''_2 - \phi_3) = 0; \quad (244)$$

$$I_3\ddot{\phi}_3 + b_3\dot{\phi}_3 + b'_{23}(\dot{\phi}_3 - \dot{\phi}''_3) + c'_{23}(\phi_2 - \phi_3) = M_{\alpha}, \quad (245)$$

როდესაც ლუფტი არსებობს.

უკანასკნელ დამოკიდებულებებში:

$$I_2 = I'_2 + I''_2,$$

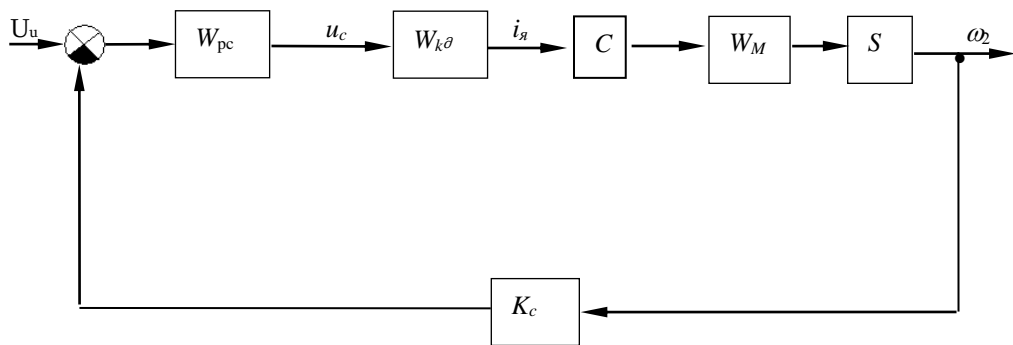
I'_2 და I''_2 – დაყვანილი მასები ორმასიანი აპროქსიმაციული მოდელებისათვის შესაბამისად ძრავას ლილვიდან ლუფტამდის და ლუფტიდან მუშა ორგანომდე უკანასკნელის ჩათვლით.

$$\text{ამოკრეფილი ღრეჩოსათვის } \phi_2 = \phi'_2 = \phi''_2.$$

ჩატარებული გამოკვლევების თანახმად მიღებულია საკვლევი სისტემების პარამეტრული ანალიზისა და სინთეზის ამოცანების შემდგომი რეალიზაციისათვის საჭირო საწყისი დამოკიდებულებები.

2.7. საკვლევი სისტემის სინთეზი მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით

თუ გავითვალისწინებთ დენის ჩაკეტილი კონტიროს პარამეტრების შერჩევის საკითხს დაქვემდებარებული რეგულირების სისტემის თანახმად პირველი მიახლოებით წინა პარაგრაფში მოცემული სტრუქტურული სქემა შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ ნახ. 18 მოყვანილი სახით.



ნახ. 18. სტრუქტურული სქემა

ტექნიკური ოპტიმიზაციის მიხედვით გაწყობის შემთხვევაში დენის კონტურის გადამცემი ფუნქცია გამოისახება ასე:

$$W_{Kt}(s) \approx \frac{1}{K_t} \frac{1}{1 + 2\tau s},$$

სადაც τ – ტირისტორული გარდამქმნელის დროის მუდმივაა.

საკვლევი სისტემის სინთეზისას ვისარგებლოთ $i(s)$ და $\Delta\varphi(s)$ კოორდინატების მიმართ უკუკავშირებით, რომლებიც სასურველი $\omega_{2*}(t)$ კოორდინატის მიმართ გამოისახებიან ასე

$$i_{j*}(s) = \frac{a_4 s^2 + a_3 s^2 + a_2 s}{b_{12} s + c_{12}} \omega_{2*}(s), \quad (246)$$

$$\Delta\varphi_*(s) = \frac{I_2 s}{b_{12} s + c_{12}} \omega_{2*}(s). \quad (247)$$

ამასთან ერთად ვიყენებთ ასევე სიჩქარის ПИ - რეგულატორის შერჩევის საკითხს გადამცემი ფუნქციით

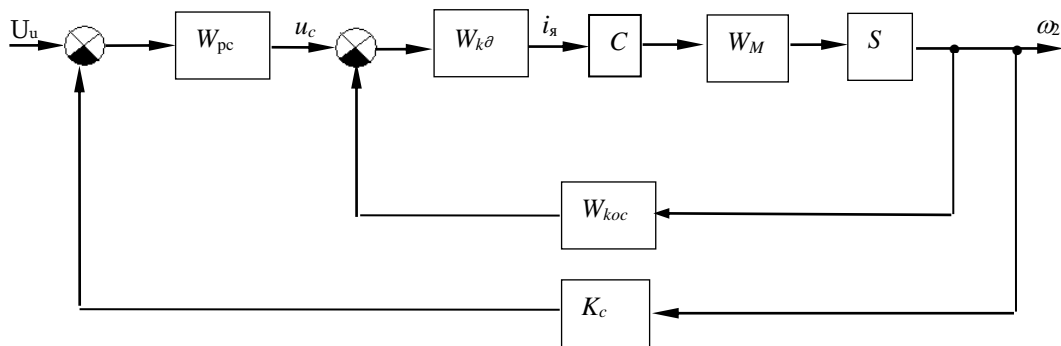
$$W_{kc}(s) = K_{pc} \frac{1 + T_{pc} s}{T_{pc} s}.$$

მოცემული დამოკიდებულებების გათვალისწინებით საკვლევი სისტემის სტრუქტურული სქემა გამსხვილებული სახით მოცემულია ნახ. 19.

ნახ. 19:

$$W_{km}(s) = \frac{1}{2Ts + 1} = \frac{i_a(s)}{U_c(s)}. \quad (248)$$

$$W_M(s) = \frac{W_{M_1}W_{M_2}}{1 - W_{M_1}W_{M_2}W_{21}}. \quad (249)$$



ნახ. 19. გამსხვილებული სტრუქტურული სქემა

გამოილი სახით გვექნება:

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

სადაც:

$$a_3 = I_1I_2$$

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

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

თავის მხრივ:

$$W_{koc}(s) = K_i B_i(s) + K_{\Delta M\phi} B_{\Delta\phi}(s) = \frac{U_k(s)}{\omega_2(s)}, \quad (250)$$

სადაც

$$B_{\Delta\phi}(s) = \frac{I_2s}{b_{12}s + c_{12}};$$

$$B_i(s) = \frac{a_4s^2 + a_3s^2 + a_2s}{b_{12}s + c_{12}}.$$

ნახაზზე 19 საქმე გვავს ორკონტურიან სისტემასთან. შიგა კონტურის გადამცემი ფუნქცია გამოისახება დამოკიდებულებით

$$W_I(s) = \frac{W_{kT} c W_M s}{1 + W_{kT} c W_M s \cdot W_{koc}} = \frac{W_{np1^*}(s)}{1 + W_{np1^*}(s) W_{koc}} = \frac{B_I(s)}{A_I(s)} = \frac{\omega_2(s)}{U_c(s)}, \quad (251)$$

სადაც:

$$W_{np1^*}(s) = \frac{K_{\tau T} c (b_{12}s + c_{12})}{(2\pi s + 1)(a_4 s^3 + a_3 s^2 + a_2 s)} = \frac{K_{\tau T} c (b_{12}s + c_{12})}{A_{n4} s^4 + A_{n3} s^3 + A_{n2} s^2 + A_{n1} s};$$

$$A_{n4} = 2\pi a_4;$$

$$A_{n3} = 2\pi a_3 + a_4;$$

$$A_{n2} = 2\pi a_2 + a_3;$$

$$A_{n1} = a_2;$$

$$K_{\tau T} = \frac{1}{K_T}.$$

აღნიშნულის გათვალისწინებით გვექნება:

$$\begin{aligned} W_I(s) &= \frac{K_{\tau T} c (b_{12}s + c_{12})}{A_{n4} s^4 + A_{n3} s^3 + A_{n2} s^2 + A_{n1} s + K_{\tau T} c (b_{12}s + c_{12})(K_i B_i(s) + K_{\Delta\phi} B_{\Delta\phi}(s))} = \\ &= \frac{K_{\tau T} c (b_{12}s + c_{12})}{A_{WI}(s) + K_i A_{Bi}(s) + K_{\Delta\phi} B_{\Delta\phi}(s)}, \end{aligned} \quad (252)$$

სადაც

$$K_{T\tau} c [K_i (a_4 s^3 + a_3 s^2) + a_3 s + K_{\Delta\phi} I_2 s] = K_{T\tau} c [K_i (a_4 s^3 + a_3 s^2 + a_3 s) + K_{\Delta\phi} I_2 s].$$

სადაც

$$A_{WI}(s) = A_{n4} s^4 + A_{n3} s^3 + A_{n2} s^2 + A_{n1} s.$$

მთლიანი სისტემის გადამცემი ფუნქცია მიიღებს სახეს:

$$W_0(s) = \frac{W_I(s) \cdot W_{kc}(s)}{1 + K_c W_I(s) W_{kc}(s)}, \quad (253)$$

სადაც:

$$W_{kc}(s) = K_{pc} \left(\frac{1}{T_{pc} s} + 1 \right) = K_{pc} + \frac{K_{pc}}{T_{pc}} \frac{1}{s} = K_{pc} + K_{Tpc} \frac{1}{s} = \frac{K_{pc} s + K_{Tpc}}{s},$$

ანდა გარდაქმნების შემდეგ:

$$W_I(s) = \frac{K_{\tau} c(b_{12}s + c_{12})(K_{pc}s + K_{Tpc})}{[A_{WI}(s) + K_i A_{Bi}(s) + K_{\Delta\omega} A_{B\omega}(s)] + K_c c(b_{12}s + c_{12})(K_{pc}s + K_{Tpc})}. \quad (254)$$

გამსხვილებული სახით შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$W_0(s) = \frac{D_{B1}(s)K_{pc} + D_{B2}(s)K_{Tpc}}{A_{WI}(s)s + K_i A_{Bi}(s)s + K_{\Delta\omega} A_{BH\phi}(s)s + K_c D_{B1}(s)K_{pc} + K_c D_{B2}(s)K_{npc}} = \frac{\omega_2(s)}{U_3(s)}. \quad (255)$$

$$D_{B1}(s) = K_{\tau} c(b_{12}s + c_{12})s,$$

$$D_{B2}(s) = K_{\tau} c(b_{12}s + c_{12}).$$

თავის მხრივ

$$D_{B2}(s) = K_{\tau} c b_{12}s + K_{\tau} c C_{12}.$$

ასეთი მიდგომით

$$W_0(s) = \frac{D_{B1}(s)K_{pc} + (K_{\tau} c b_{12})sK_{Tpc} + K_{\tau} c C_{12}K_{Tpc}}{A_{WI}(s)s + K_i A_{Bi}(s)s + K_{\Delta\omega} A_{BH\phi}(s)s + K_c D_{B1}(s)K_{pc} + \frac{K_{\tau} c C_{12}K_{Tpc}}{+ K_c D_{B2}(s)K_{npc}}}. \quad (256)$$

ვწერთ კოორდინატთა საწყის ტოლობას

$$\omega_2(s) \approx \omega_{2*}(s).$$

გამოიღო სახით გვექნება

$$\begin{aligned} & (K_{c*} D_{B1}(s)K_{pc} + K_{c*} D_{B2}(s)K_{Tpc}) (a_{k2} z_m^2 s^2 + a_{k1} z_m s + 1) = \\ & = A_{WI}(s)s + K_i A_{Bi}(s)s = K_{\Delta\omega} A_{B\Delta\phi}(s)s = K_c D_{B1}(s)K_{pc} + K_c D_{B2}(s)K_{Tpc}. \end{aligned} \quad (257)$$

სასურველი გადამცემი ფუნქცია შეგვიძლია ჩავწეროთ სახით:

$$W_0(s)_{\text{ж}} = \frac{1}{K_{c*}} \frac{1}{a_{k2} z_m^2 s^2 + a_{k1} z_m s + 1}, \quad (258)$$

სადაც

$$a_{k2} = 16\tau^2,$$

$$a_{k1} = 4\tau.$$

z_m – დროის მასშტაბური კოეფიციენტი, რომლის მეშვეობითაც ხორციელდება სასურველი პროცესის ვარირება.

შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ უკუკავშირები შეგვიძლია ავადოთ სქემით, რომელშიც პარალელური უკუკავშირით $\Delta\varphi$ სიგნალის ნაცვლად მივაწოდებთ სიგნალს $\Delta\phi$.

ამ შემთხვევაში გვექნება

$$W_{koc}(s) = K_i B_i(s) + K_{\Delta\phi} B_{\Delta\phi}(s) = \frac{U_k(s)}{W_2(s)}, \quad (259)$$

სადაც

$$B_{\Delta\phi}(s) = \frac{I_2 s^2}{b_{12}s + c_{12}}.$$

მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის პროცედურების რეალიზაციისათვის შემდგომში გამოვიყენებთ წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების აპარატს.

ტოლობა (259) შეგვიძლია ჩავწეროთ სახით:

$$\Phi_1(s)K_{pc} + \Phi_2(s)K_{Tpc} + \Phi_3(s)K_i + \Phi_4(s)K_{\Delta\phi} = \Phi_0(s), \quad (260)$$

სადაც:

$$\Phi_1(s) = K_c D_{B1}(s) - K_{c^*} D_{B1}(s) \cdot A_z(s);$$

$$\Phi_2(s) = K_c D_{B2}(s) - K_{c^*} D_{B2}(s) \cdot A_z(s);$$

$$\Phi_3(s) = A_{Bi}(s)s;$$

$$\Phi_4(s) = A_{B0\phi}(s)s,$$

$$\Phi_0(s) = A_{WI}(s)s.$$

მიღებული დამოკიდებულების (260) თანახმად ვწერთ აპროქსიმაციათა l კვანძების $\delta = \delta_v$ (δ_v იღებს დადებით საგნობრივ მნიშვნელობებს) მიმართ პირობით განტოლებათა სისტემას

$$\Phi_1(\delta_v)K_{pc} + \Phi_2(\delta_v)K_{Tpc} + \Phi_3(\delta_v)K_i + \Phi_4(\delta_v)K_{\Delta\phi} = \Phi_0(\delta_v), \quad (261)$$

$$v = 1, 2, \dots, l.$$

რადგანაც პირობით სიხშირეთა მახასიათებლების სხვადასხვა ნაწილების მნიშვნელობა ორიგინალის აღწარმოება სიზუსტის თვალსაზრისით განსხვავებულია, ამიტომ აპროქსიმაციის კვანძები განლაგდებიან არათანაბრად (მეტი სიხშირით $\delta \rightarrow 0$ არეში) და

განტოლებათა სისტემა მარაგდება წონითი კოეფიციენტებით. ნაშრომში [107] რეკომენდებულია აპროქსიმაციების კვანძების განლაგება ისეთი გეომეტრიული პროგრესიის თანახმად

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

რომლის ფუძე q 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 (261) მრავლდება წონით მამრავლზე $\gamma_v(\delta_v)$, რომელიც განისაზღვრები შემდეგი ფორმულებით [107]:

$$\begin{aligned} \gamma_v(\delta_v) &= \frac{\theta}{\Omega_v}; \\ \Omega_v &= \frac{\Phi_1(\delta_v) + \Phi_2(\delta_v) + \Phi_3(\delta_v) + \Phi_0(\delta_v)}{4}; \\ \theta &= \frac{\sum_{v=1}^l \Omega_v}{l}, \quad v = 1, \dots, l. \end{aligned}$$

ასეთი საშუალებით მიღებულ განტოლებათა სისტემას ვამუშავებთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდით საძიებელი K_{pc} , K_{Tpc} , K_i და $K_{\Delta\phi}$ პარამეტრების მიმართ და ვიღებთ

$$\begin{aligned} K_{pc} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1^2(\delta_v) + K_{Tpc} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_2(\delta_v) + K_i \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_3(\delta_v) + \\ + K_{\Delta\phi} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_4(\delta_v) = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_1(\delta_v); \end{aligned} \quad (262)$$

$$\begin{aligned} K_{pc} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_2(\delta_v) + K_{Tpc} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_2^2(\delta_v) + K_i \sum_v \gamma_v^2 \Phi_3(\delta_v) \Phi_2(\delta_v) + \\ + K_{\Delta\phi} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4(\delta_v) \Phi_2(\delta_v) = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_2(\delta_v); \end{aligned} \quad (263)$$

$$\begin{aligned} K_{pc} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_3(\delta_v) + K_{Tpc} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_2(\delta_v) \Phi_3(\delta_v) + K_i \sum_v \gamma_v^2 \Phi_3^2(\delta_v) + \\ + K_{\Delta\phi} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4(\delta_v) \Phi_3(\delta_v) = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_3(\delta_v); \end{aligned} \quad (264)$$

$$K_{pc} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_4(\delta_v) + K_{Tpc} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_2(\delta_v) \Phi_4(\delta_v) + K_i \sum_v \gamma_v^2 \Phi_3(\delta_v) +$$

$$+ K_{\Delta\varphi} \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4^2(\delta_v) = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_4(\delta_v). \quad (265)$$

შემოგვაქვს აღნიშვნები:

$$D_{11} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1^2(\delta_v);$$

$$D_{12} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_2(\delta_v);$$

$$D_{13} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_3(\delta_v);$$

$$D_{14} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_4(\delta_v);$$

$$D_{22} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_2^2(\delta_v);$$

$$D_{23} = \sum_v \delta_v^2 \Phi_3(\delta_v) \Phi_2(\delta_v);$$

$$D_{24} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4(\delta_v) \Phi_2(\delta_v);$$

$$D_{33} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_3^2(\delta_v);$$

$$D_{34} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_4^2(\delta_v);$$

$$D_{01} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_1(\delta_v);$$

$$D_{02} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_2(\delta_v);$$

$$D_{03} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_3(\delta_v);$$

$$D_{04} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_4(\delta_v).$$

და განტოლებათა სისტემა (262-265) იღებს სახეს:

$$D_{11} K_{pc} + D_{12} K_{Tpc} + D_{13} K_i + D_{14} K_{\Delta\varphi} = D_{01}; \quad (266)$$

$$D_{12} K_{pc} + D_{22} K_{Tpc} + D_{23} K_i + D_{24} K_{\Delta\varphi} = D_{02}; \quad (267)$$

$$D_{13} K_{pc} + D_{23} K_{Tpc} + D_{33} K_i + D_{34} K_{\Delta\varphi} = D_{03}, \quad (268)$$

$$D_{14} K_{pc} + D_{24} K_{Tpc} + D_{34} K_i + D_{44} K_{\Delta\varphi} = D_{04}. \quad (269)$$

სისტემის (266)–(269) ამოხსნით უცნობების მიმართ მივიღებთ:

$$K_{pc} = \frac{D_{K_{pc}}}{D}; \quad (270)$$

$$K_{Tpc} = \frac{D_{K_{Rpc}}}{D}; \quad (281)$$

$$K_i = \frac{D_{K_i}}{D}; \quad (272)$$

$$K_{\Delta\phi} = \frac{D_{K_{\Delta\phi}}}{D}, \quad (273)$$

სადაც

$$D_{K_{pc}} = \begin{vmatrix} D_{01} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{02} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{03} & D_{23} & D_{33} & D_{34} \\ D_{04} & D_{24} & D_{34} & D_{44} \end{vmatrix};$$

$$D_{K_{Tpc}} = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{01} & D_{13} & D_{14} \\ D_{12} & D_{02} & D_{23} & D_{24} \\ D_{13} & D_{03} & D_{33} & D_{34} \\ D_{14} & D_{04} & D_{34} & D_{44} \end{vmatrix};$$

$$D_{K_i} = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{01} & D_{14} \\ D_{12} & D_{22} & D_{02} & D_{24} \\ D_{13} & D_{23} & D_{03} & D_{34} \\ D_{14} & D_{24} & D_{04} & D_{44} \end{vmatrix};$$

$$D_{K_{\Delta\phi}} = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{01} \\ D_{12} & D_{22} & D_{23} & D_{02} \\ D_{13} & D_{23} & D_{33} & D_{03} \\ D_{14} & D_{24} & D_{34} & D_{04} \end{vmatrix}.$$

მთლიანი სისტემის გადამცემი ფუნქცია შეგვიძლია ჩავწეროთ შემდეგი სახით

$$W_0(s) = \frac{A_{b_2} s^2 + A_{b_1} s + A_{b_0}}{a_5^* s^5 + a_4^* s^4 + a_3^* s^3 + a_2^* s^2 + a_1^* s + K_c A_{b_0}}, \quad (274)$$

სადაც:

$$A_{b_2} = K_{pc} b_{12};$$

$$A_{b_1} = c_{12} K_{pc} + K_{Tpc} b_{12};$$

$$A_{b_0} = c_{12} T_{pc};$$

$$a_5^* = \frac{A_{L4}}{K_L};$$

$$a_2^* = \frac{A_{K1}}{K_K} + K_c A_{b_2};$$

$$a_4^* = \frac{A_{L3}}{K_L};$$

$$a_3^* = \frac{A_{L2}}{K_L};$$

$$a_1^* = K_c A_{b_1};$$

$$A_{L3} = K_L a_4 K_i + A_{n3};$$

$$A_{L2} = A_{n2} + K_L a_3 K_i;$$

$$A_{L1} = A_{n1} + K_L a_2 K_i + K_L I_2 K_{\Delta\varphi};$$

$$K_L = T_{T\tau} c.$$

აქვე გვინდა აღვნიშნოთ, რომ ჩანაწერთა სიმარტივიდან გამომდინარე შემდგომში * ინდექსით აღნიშნული კოეფიციენტების ნაცვლად ვიხელმძღვანელებთ მათ გარეშე მოყვანილი ჩანაწერებით. მე-5-ე ხარისხის მახასიათებელი განტოლებისათვის მდგრადობის ანალიზისათვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ ლიენარ-შიპარის კრიტერიუმი, რომელიც ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$a_1 > 0; a_2 > 0; a_3 > 0; a_4 > 0; a_5 > 0;$$

$$\alpha(a_i) = a_1 a_2 a_3 - a_3^2 - a_1^2 a_4 + a_1 a_5 > 0; \quad (275)$$

$$\alpha_1(a_i) = (a_1 a_2 a_3 - a_3^2 - a_1^2 a_4 + a_1 a_5) a_4 - (a_1 a_3^2 - a_1 a_4 - a_1 a_3 + a_5) a_5 > 0. \quad (276)$$

აქვე შეგვიძლია ვისარგებლოთ უწყვეტი სტაციონარული სისტემის დინამიკური მდგრადობის ანალიზის ცნობილი მეთოდიკით.

აღნიშნული მეთოდიკის თანახმად განიხილავენ დამხმარე პარამეტრებს λ_i , რომლებიც გამოისახებიან დამოკიდებულებებით:

$$\lambda_i = a_{i-1} a_{i+2} / a_i a_{i+1}, \quad i = 2, n - 2. \quad (277)$$

ჩვენ შემთხვევაში გვექნება:

$$\lambda_1 = a_0 a_3 / a_1 a_2;$$

$$\lambda_2 = a_1 a_4 / a_2 a_3 ;$$

$$\lambda_3 = a_2 a_5 / a_3 a_4 .$$

საკვლევი სისტემის მდგრადობისათვის საკმარისია სრულდებოდეს პირობა:

$$\lambda_i < \lambda^* = 0,465, \quad \forall i = 1, \overline{n-2};$$

გადავდივართ ამპლიტუდურ-ფაზურ მახასიათებლებზე, რისთვისაც ω კოორდინატის გამოსახულებაში s ოპერატორის ნაცვლად შემოგვაქვს არგუმენტი $j\omega$, სადაც ω – წრიული სიხშირე და j – წარმოსახვითი ერთიანია. ვიღებთ ამპლიტუდურ ფაზურ მახასიათებელს [90–91]:

$$\omega_2(j\omega) = \frac{Q(j\omega)}{P(j\omega)} = \frac{-A_{b_2} \omega^2 + A_{b_1} j\omega + b_0}{a_5 \omega^5 + a_4 \omega^4 + a_3 \omega^3 - a_2 \omega^2 + a_1 j\omega + a_0}. \quad (278)$$

უკანასკნელის გამოყენებით ვაგებთ საკვლევი სისტემის საგნობრივ-სიხშირულ მახასიათებელს

$$U(\omega)R_e[\varphi(j\omega)] = \frac{R_\theta(\omega)R_p(\omega) + I_\theta(\omega)I_p(\omega)}{R_p^2(\omega) + I_p^2(\omega)}, \quad (279)$$

სადაც

$$R_p(\omega) = a_0 - a_2 \omega^2 + a_4 \omega^4, \quad (280)$$

$$I_p(\omega) = a_1 \omega - a_3 \omega^3 + a_5 \omega^5, \quad (281)$$

$$R_\theta(\omega) = A_{b_0} - A_{b_2} \omega, \quad (282)$$

$$I_\theta(\omega) = A_{b_1} \omega. \quad (283)$$

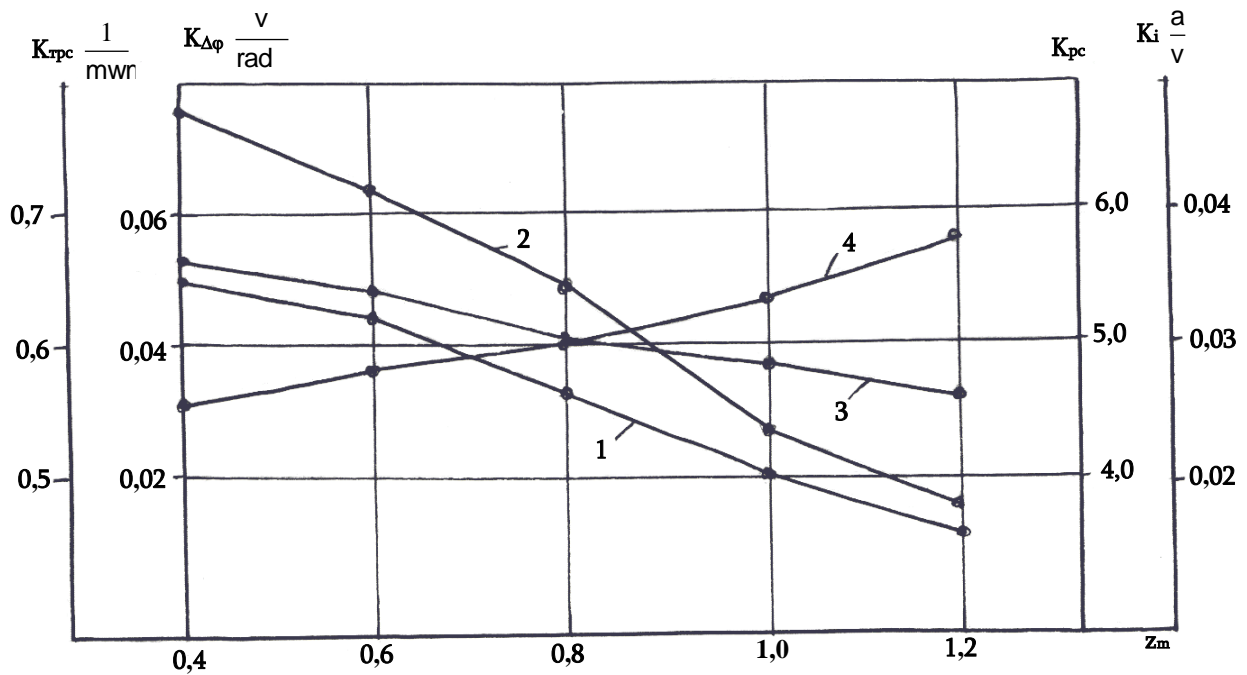
საკვლევი სისტემის სინთეზის შემოთავაზებული მეთოდის აპრობაციისათვის ვატარებთ კონკრეტულ საანგარიშო გამოკვლევებს. სისტემისათვის აღებული იქნა შემდეგი საწყისი პარამეტრები:

$$R_j = 0,07 \text{ ომ}, \quad L_j = 0,32 \cdot 10^{-3} \text{ ჰმ}; \quad c = 0,34 \frac{\text{ნმ}}{\text{ამწ}}; \quad K_n = 7,5, \quad \tau = 3,3 \text{ წმ}; \quad \tau = 3,3 \text{ მ/წმ};$$

$$I_1 = 0,01 \text{ კგმ}^2; \quad I_2 = 0,0025 \text{ კგმ}^2; \quad C_{12} = 250 \frac{\text{ნმ}}{\text{რად}}; \quad \beta_1 = \beta_2 = 0,01 \text{ და}$$

$$\beta_{12} = 0,008 \frac{\text{ნმწმრ}}{\text{რად}}.$$

ჩატარებული საანგარიშო კვლევების შედეგად ნახ. 20 მოყვანილია სინთეზირებული პარამეტრების მნიშვნელობები ფუნქციონალურ კავშირში z_n მასშტაბურ კოეფიციენტთან



ნახ. 20. სინთეზის შედეგად მიღებული დამოკიდებულებები:

1 – $K_{\Delta\phi}(z_m)$, 2 – $K_{რც}(z_m)$, 3 – $K_i(z_m)$

ნახ. 21 მოყვანილია საგნობრივი სიხშირული მახასიათებლები მრუდები (მრუდები 2 და 3), რომლებიც შეესაბამებიან სინთეზის პროცედურებს, როდესაც $z_m = 0,4$, $z_m = 0,6$ და $z_m = 1,0$.

თვით გარდამავალი პროცესების მრუდები კი მოყვანილია ნახ. 22. აქ მრუდები 1, 2 და 3 შეესაბამებიან მასშტაბური კოეფიციენტის მნიშვნელობებს: 0,4, 0,6, 1,0.

დინამიკური მდგრადობის ანალიზთან დაკავშირებით ნახ. 20 მოყვანილი პროცესებისათვის, როდესაც $z_m = 0,6$ λ კოეფიციენტების თანმიმდევრობები შესაბამისად აისახებიან მნიშვნელობებით:

$$\lambda_3 = 0,31, \lambda_2 = 0,38, \lambda_1 = 0,454.$$

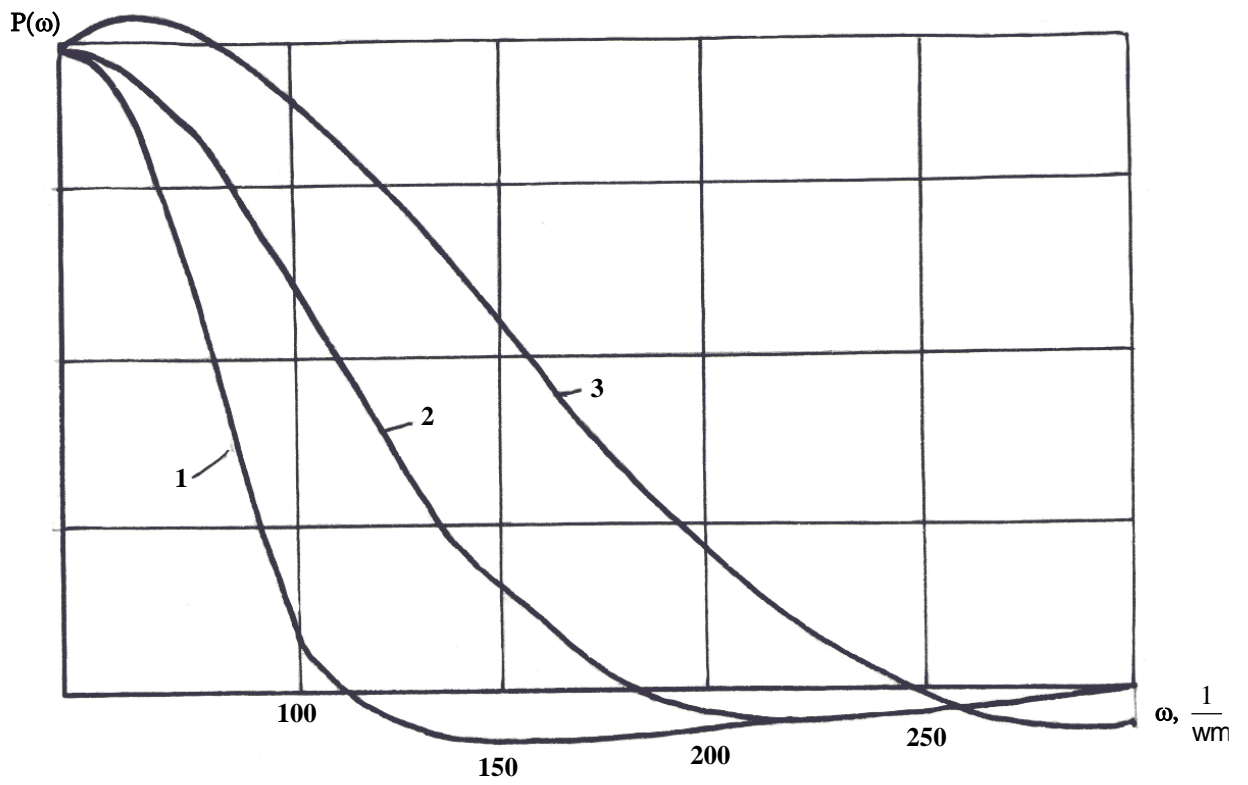
იმ შემთხვევაში კი როდესაც $z_m = 0,4$ გვაქვს თანამიმდევრობები

$$\lambda_3 = 0,199, \lambda_2 = 0,28, \lambda_1 = 0,311.$$

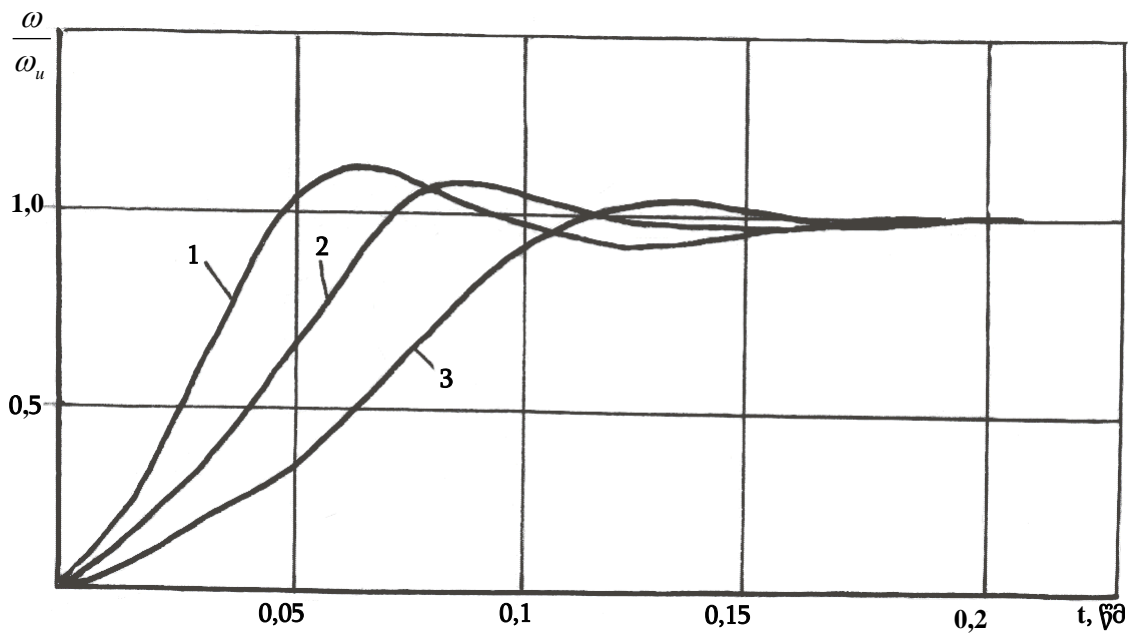
მდგრადობის განსაზღვრისას ლიენარ–შიჰესის მეთოდით მივიღებთ:

$$\alpha(a_i) = 0,07 \text{ და } \alpha_1(a_i) = 0,031, \text{ როდესაც } z_m = 0,6;$$

$$\alpha(a_i) = 0,051 \text{ და } \alpha_1(a_i) = 0,029, \text{ როდესაც } z_m = 0,4.$$



ნახ. 21. სისტემის საგნობრივი სიხშირული მახასიათებლები:
 1 - $z_m = 1,0$; 2 - $z_m = 0,6$; 3 - $z_m = 0,4$



ნახ. 22. გარდამავალი პროცესების მრუდები
 1 - $z_m = 0,4$; 2 - $z_m = 0,6$; 3 - $z_m = 1,0$.

3. დასკვნები

1. თანამედროვე საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების ტექნოლოგიური პროცესების ორგანიზაციის თავისებურებების, სტრუქტურული აგებისა და მათი შემდგომი განვითარების ტენდენციების მიმართ ჩატარებული ანალიზი მიგვითითებს, რომ მათი სტრუქტურული მრავალსახეობის მოქნილობის ხარისხის ზრდასთან ერთად ფართოვდება ტექნოლოგიური მანქანების შემადგენლობა – წარმოიშვებიან ახალი ქვესისტემები და იერარქიის სტრუქტურული დონეები, იზრდება ალტერნატიული ვარიანტების რაოდენობა ტექნოლოგიური მანქანების პროექტირების ერთიანი პროცესის გამოვლენას ემსახურება სისტემური მიდგომა. მისი დახმარებით განისაზღვრებიან პროექტირების ამოცანები და მათი ამოხსნის შესაძლო მეთოდები. პროექტირების პროცესების ეტაპები წარმოგვიდგებიან ინტერაქტიული იტერაციული პროცედურებით, რომლებშიც საპროექტო გადაწყვეტილებების ანალიზის ფუნქციას ასრულებენ მათემატიკური მოდელები და მათი გამოყენება მიმართულია სტრუქტურული და პარამეტრული ოპტიმიზაციის ამოცანების ამოხსნაზე როგორც ტექნოლოგიური პროცესების, აგრეთვე განხილვადი ტექნოლოგიურ სისტემების ტექნოლოგიურ მოწყობილობებთან მიმართებაში. ამ ოპტიმიზაციური ამოცანების ამოხსნა აგრეთვე დაკავშირებულია ოპტიმიზაციის კრიტერიუმების ტექნოლოგიური მოწყობილობების ტექნოლოგიური, კონსტრუქციული და საექსპლუატაციო მაჩვენებლებთან დამაკავშირებელი მათემატიკური კანონზომიერებების ეფექტურ გამოყენებასთან.

ამ ოპტიმიზაციური ამოცანების ამოხსნა კიდევ პირდაპირ კავშირია ისეთ მათემატიკურ კანონზომიერებების გამოყენებასთან, რომლებიც აკავშირებენ ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებს ტექნოლოგიური მოწყობილობების ტექნოლოგიურ, კონსტრუქციულ და ექსპლუატაციურ მაჩვენებლებთან.

2. ეფექტურობის კრიტერიუმების (მწარმოებლურობის და ეკონომიკური ეფექტურობის) ხარისხობრივი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ უკანასკნელნი თავის მხრივ იმყოფებიან მნიშვნელოვან კავშირში მთლიანობაში ტექნოლოგიური სისტემის საიმედოობასთან, რომელიც თავის მხრივ განისაზღვრება როგორც მექანიზმების, აგრეთვე მჭრელი იარაღების საიმედოობებით, მათი ალბათობითი მაჩვენებლებით საწარმოო ექსპლუატაციის პროცესში.
3. ეფექტურობის კრიტერიუმებთან ურთიერთკავშირში მყოფი ძირითადი კანონზომიერებების ანალიზის შედეგად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ თუ ჩარხ-ავტომატებთან და ავტომატურ ხაზებთან მიმართებაში უაღრესად აქტუალურია მრავალსაიარაღო დამუშავებასთან დაკავშირებული საკითხები, ავტომატიზებული ტექნოლოგიური მანქანების და მანქანათა სისტემების ფართო სპექტრთან მიმართებაში. ერთ-ერთი უაღრესად აქტუალურია ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატური რეგულირებისა და მართვის სისტემათა შემდგომი სტრუქტურული და კონსტრუქციული ოპტიმიზაციის ამოცანები, რომლებიც პირდაპირ კავშირში არიან. შემდგომ შეთანწყობაში ამძრავთა ავტომატიზირებული ამძრავების გაანგარიშების შემდგომ ოპტიმიზაციურ მეთოდების გამოყენებასთან.
4. ავტომატური საჩარხო სისტემების საიმედოობისა და ეფექტურობის ოპტიმიზაციური გაანგარიშებების ზოგადი თეორია იგება თანაეტაპურ გადასვლაზე საანგარიშო ანალიზური მეთოდებიდან პროცესების შემდგომ იმიტაციურ მოდელირებაზე. ანალიზური მოდელების გამოყენებით ხორციელდება პარამეტრების პირველადი შერჩევა. ვლინდება ოპტიმალურთან ახლო მყოფი პარამეტრების არე მათი შემდგომი დაზუსტებით სტატისტიკური მოდელების გამოყენებით. უკანასკნელთა მიმართ შესაძლოა გამოყენებული იქნას წრფივი მრავალფაქტორული ანალიზის მეთოდები საძიებელი პარამეტრების წრფივ ნამატთა არეში.

5. ანალიზმა გვიჩვენა, რომ თუ ხისტი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი ავტომატიზებული საჩარხო სისტემებისათვის ანალიზური მოდელების აგების მეთოდოლოგია პრინციპიალური მიდგომით შეიძლება ჩაითვალოს გადაჭრილად, მოქნილი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი სისტემებთან (უფრო ფართო გაგებით ნაკადური ხაზებისათვის) არსებული მიდგომები ანალიზური მოდელების აგების მხრივ შემოიფარგლება უმარტივესი სისტემებით და მეტად რთული და შემდგომი ოპტიმიზაციური გამოთვლების მიმართ მოუხერხებელი მათემატიკური დამოკიდებულებებით მეორეს მხრივ ტექნოლოგიური პარამეტრების ოპტიმიზაციური მოძიების თვალსაზრისით სინთეზის მეთოდოლოგია ჩარხი-ავტომატებისაგან განსხვავების ავტომატურ ხაზებთან მიმართებაში მოითხოვს შემდგომ სრულყოფას სინთეზის ეფექტურობის ამაღლების თვალსაზრისით.

6. გამოვლენილია, რომ მზადყოფნის კოეფიციენტების და სისტემის მუშაობათა ცალკეული დროის ეტაპების გასაშუალებებული კოეფიციენტების გამოყენებით მოქნილი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი სისტემებისათვის შეგვიძლია მივიღოთ მიახლოებითი სახის ანალიზური მოდელების აგებისათვის საჭირო კანონზომიერებები. ავტომატურ ხაზებთან მიმართებაში გამოვლენილია ოპტიმიზაციური სინთეზის პროცედურების ჩატარებისათვის საჭირო ახალი ორიგინალური კანონზომიერებები.

განხილვაში შემოტანილი მზადყოფნის კოეფიციენტების მოდიფიცირებული გამოსახულებები, რომლებიც თავის მხრივ წარმოადგენენ ჩარხთაშორისი დამაგროვებლების მუშაობით განპირობებული უმტყუნებლო მუშაობათა დაყვანილი მნიშვნელობების ფუნქციებს; მიღებულია მწარმოებლურობის ნაკლებად რთულიდან უფრო სტრუქტურულ მოდელებზე გადასვლისათვის საჭირო რეკურენტული კანონზომიერებები.

შემუშავებულია აპროქსიმაციული მოდელირების კანონზომიერებები წარმოადგენენ საფუძველს მოქნილი ჩარხთაშორისი კავშირების მქონე საჩარხო ხაზების პროექტირებისათვის.

7. მრავალსაიარაღო ჩარხებისათვის და ხისტი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი საჩარხო ხაზებისათვის შემოთავაზებულია მზადყოფნის კოეფიციენტისა და მწარმოებლურობის შემოთავაზებულია მათემატიკური დამოკიდებულებები შემთხვევებისათვის: 1) როდესაც იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობები მიმართ კი გამოიყენება მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა.

2) როდესაც მჭრელი იარაღების მიმართ გამოიყენება პარალელური და მექანიზმებისა და მოწყობილობების მიმართ კი მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა. ეს დამოკიდებულებები გამოსახულნი არიან ცხად ფუნქციონალურ კავშირში დამუშავების რეჟიმებთან და წარმოადგენენ შემდგომი ოპტიმიზაციური გაანგარიშებების თეორიულ საფუძველს.

8. ავტომატიზებულ ჩარხებზე და საჩარხო კომპლექსებზე ტექნოლოგიური პროცესების ეფექტურობის შემდგომი ამაღლების ამოცანებთან დაკავშირებით გაანალიზებულია საკვლევი ავტომატიზებული მანქანათა ტექნოლოგიური კომპლექსების ამძრავთა ავტომატიზირებული სისტემების სტრუქტურულ და კონსტრუქციული ამაღლების საკითხები, დინამიკური კვლევის მეთოდები და მეთოდიკები.

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თანამედროვე ავტომატიზირებულ ჩარხებში და საჩარხო კომპლექსებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს ამძრავთა მრავალკონტურიანმა ელექტრომექანიკურმა სისტემებმა, რომელთა შემდგომი სრულყოფა მოითხოვს, როგორც სისტემათა ცალკეულ ელემენტებში მოქმედი მოვლენების უფრო ადეკვატურ გათვალისწინებას, აგრეთვე სტრუქტურული და პარამეტრული სინთეზის ოპტიმიზაციური მეთოდები შემდგომ სრულყოფას.

9. ცნობილი კვლევების ხარისხობრივი და რაოდენობრივი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დინამიკური მოდელირებისა და კვლევების ეფექტურობის ამაღლების თვალსაზრისით საჭიროა სისტემების მრავალმასიანი მექანიკური ნაწილის დრეკადი კავშირების და უფრო

გალრმავებული მიდგომით აგრეთვე გადაცემათა კინემატიკურ რგოლებში არსებული ღრეჩოების გათვალისწინება. უკანასკნელი კი თავის მხრივ დაკავშირებულია მექანიკური ნაწილის მოდელირებისა და კვლევის მეთოდების შეთანწყობასთან მთლიანი ელექტრომექანიკური სისტემის მოდელირებისა და კვლევის საკითხებთან.

10. საკვლევი სისტემების ცალკეული ელემენტების მათემატიკური მოდელების აგების ძირითადი მიდგომების, შემუშავებული მოდელების და მათი შეთანწყობის საკითხების გათვალისწინებით აგებულია მთლიან სისტემათა მათემატიკური მოდელები. მექანიკური ნაწილი მოდელირების საკითხის გადაჭრაში მთლიანი სისტემის სტრუქტურასთან შეთანწყობაში გამოყენებულია აპროქსიმაციულ მოდელებზე გადასვლის ორიგინალური მეთოდოლოგია, აგებული წარმოსახვით სიხშირეთა მოდიფიცირებული მახასიათებლების გამოყენებაზე.
11. სტრუქტურული და პარამეტრული ოპტიმიზაციის შემდგომი ამოცანების ამოხსნის მიზნით აგებულია მუშა ორგანოს კუთხური სიჩქარის სტაბილიზაციის ამძრავთა სისტემის დინამიკის მათემატიკური მოდელები.
12. ამძრავთა განხილვადი ელექტრომექანიკური სისტემების მათემატიკური მოდელირების საკითხების ანალიზის საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ მექანიკური ნაწილის აპროქსიმაციული ორ- და სამმალიანი მოდელების აგების შემუშავებული მეთოდოლოგია ეფექტურად გამოყენებადია არა მარტო გარდამავალი პროცესების ანალიზისათვის დრეკადრგოლებიანი მექანიკური ნაწილის მქონე სისტემებში, არამედ კინემატიკურ წყვილებში არსებული ღრეჩოებით განპირობებული არაწრფივობის გათვალისწინებისათვის.

ჩატარებული კვლევების შედეგად დასაბუთებულია მიზანშეწონილობა და ჰარმონიული გაწრფივების კანონზომიერებების გამოყენებით ჩაქრობად პროცესებთან აპროქსიმაციულ მოდელებთან მიმართებაში აგებული იქნა მექანიკური ნაწილის ჰარმონიულად გაწრფივებული

განტოლებები და აგრეთვე საწყისი მათემატიკური მოდელები, რომლებიც თავის მხრივ შეადგენენ საკვლევი დინამიკური სისტემების მეთოდოლოგიური ანალიზის საფუძველს „ზოგადი ამონახსნისათვის მაღალსიშირული მდგენელის გამოყოფით“.

13. განსახილველი დინამიკური სისტემების სტრუქტურულ-პარამეტრული სინთეზი შემდგომი პრაქტიკული რეალიზაციის მიზნით წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების აპარატის გამოყენებით აგებულია გამსხვილებული გარდაქმნილი სტრუქტურული სქემები, რეგულირებადი და რეალიზაციისათვის სასურველი კოორდინატების მიახლოვებითი ტოლობის მათემატიკური მოდელები ცალკეული მდგენელების ჯამის სახით, რომლებშიც წრფივი მამრავლები (კოეფიციენტების) სახით წარმოდგენილია განსახილველი სისტემის სინთეზირებადი კრიტერიული პარამეტრები. ამის საფუძველზე განხორციელებულია მრავალპარამეტრული სინთეზის პროცედურათა მიმდევრობითი რეალიზაცია შემდეგი სქემით: საძიებელ პარამეტრებთან მიმართებაში წრფივი პირობითი და შემდგომ ნორმალური განტოლებების სისტემების შედგენა, დინამიკური მდგრადობის შემდგომი შემოტანით სასურველი კოორდინატების გამოსახულებებში არგუმენტების სახით არსებული დროის მასშტაბური კოეფიციენტის ვარიაციით.

14. მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის თეორიის შემუშავებული ზოგადი სქემის და აგრეთვე რეგულირებადი კოორდინატების სასურველებთან ინტეგრალური მიახლოვების შემადგენელი მათემატიკური მოდელების და პროცედურების გამოყენებით იმავდროული მდგრადობის პირობის შემოტანით აგებულია პარამეტრული სინთეზის ამოცანების ამოხსნის ალგორითმები.

საკვლევი მრავალკონტურიანი სისტემების მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით შემუშავებული სინთეზის თეორიის გარკვეული კანონზომიერებების და უტყუარობის გამოვლენისათვის ნაშრომში რეალიზებულია საკვლევი ელექტრომექანიკური სისტემის საანგარიშო გამოკვლევების გარკვეული წრე.

განგარიშების შედეგებმა გვიჩვენეს, რომ შემუშავებული თეორია საშუალებას იძლევა ჩავატაროთ სინთეზირებადი პარამეტრების მიზანდასახული შერჩევა, მიღებული შედეგების რაოდენობრივი მაჩვენებლები საკმაოდ ახლოს არიან სასურველ პროცესებთან.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Артоболевский И.И., Ильинский Д.Я. Основы синтеза систем машин автоматического действия. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 280 с.
2. Ковшов А.Н. Технология машиностроения. М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
3. Проектирование оптимальных технологических систем машин. Сборник статей / Под ред. д.т.н., проф. А.И. Дащенко и д.т.н., проф. Я. Буды. М.: Машиностроение, 1989. – 344 с.
4. Имитационное моделирование производственных систем / Под общ. ред. А.А. Вавилова. – М.: Машиностроение; Берлин, Техника, 1983. – 416 с.
5. Кузнецов М.М., Усов Б.А., Стародубов В.С. Проектирование автоматизированного оборудования. – М.: Машиностроение, 1987. – 288с.
6. Кузнецов М.М., Волчкевич Л.И., Замчалов Ю.П. Автоматизация производственных процессов. М.: Высшая школа, 1978. – 431 с.
7. Волчкевич Л.И. Надежность автоматических линий. – М.: Машиностроение, 1969. – 209 с.
8. Автоматические линии в машиностроении. Справочник. В 3-х томах. / Под ред. А.И. Дащенко. – М.: Машиностроение, 1976.
9. Дащенко А.И., Белоусов А.П. Проектирование автоматических линий: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов. – 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, Ж.Э. Тартаковский, В.Б. Генин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 487 с.
13. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. – М.: Машиностроение, 1973. – 640 с.
14. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы. В 14 кн. Кн. 10. Б.И. Черпаков, В.В. Земляной, А.Н. Феофанов и др. Гибкие автоматизированные линии массового и крупносерийного производства. Практич. пособие / Под. ред. Б.И. Черпакова. М.: высш. школа, 1989. – 122 с.
15. Жукова Э.Л. Ритмичность выпуска продукции автоматическими линиями / Механизация и автоматизация производства. 1985. № 9.
16. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы. Практич. пособие. В 14 кн.: Кн. 1. Б.И. Черпаков, И.В. Брук. Гибкие механообрабатывающие производственные системы / Под. ред. Б.И. Черпакова. М.: высш. школа, 1989. – 127 с.

17. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы. Практ. пособие. В 14 кн. Кн. 3. Л.М. Кордыш, В.Л. Косовский. Гибкие производственные модули / Под. ред. Б.И. Черпакова. М.: высш. школа, 1989. – 111 с.
18. Волоценко П.В. Агрегатно-модульный принцип построения многооперационных сверлильно-фрезерно-расчетных станков. – М.: НИИМАШ, 1982.
19. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9-ти кн. Кн. 7. Гибкие автоматизированные производства в отраслях промышленности: Учебн. пособие для вузов / И.М. Макаров, П.Н. Белянин, Л.В. Лобиков 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 / В.Ф. Горнев, А.М. Савинов, В.И. Валиков. Комплексные технологические процессы ГПС. Практ. пособие под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Высшая школа, 1989.- 112 с.
21. Гибкие производственные комплексы / Под ред. П.Н. Белянина и В.А. Лещенко. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.
22. Меткин Н.П., Лапин М.С., Клейменов С.А., Еритский В.М. Гибкие производственные системы. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 310 с.
23. Модульное оборудование для гибких производственных систем механической обработки: Справочник / Р.Э. Сафроган, Г.А. Кривов, В.Н. Татаренко и др.: Под ред. Р.Э. Сафрогана. – К.: Тэхника, 1989. – 175 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. Изд. 6-е переработ. и доп. – М., Высш. школа. 1960. – 480 с.
27. Воеводин В.М., Черпаков Б.И. Гибкие автоматические линии (Классификация. Принципы построения) // Станки и инструмент. 1985. № 10.
28. Хартли Дж. ГСП в действии: Пер. с англ. – М.: Машиностроение. 1987. – 328 с.
29. Kearney and Trecker Corp. Eand T's Worls of Manufackturing sistems. Nilwankee, Wis., 1980.
30. Промышленная робототехника и гибкие автоматизированные производства: Опыт разработки и внедрения / Под ред. проф. Е.И. Юревича. – Л.: Лениздат, 1984. – 223 с.
31. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы: Практ. пособие. В 14 кн. Кн. 6. Б.И. Черпаков, В.Б. Великович. Робототехнические комплексы / Под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Высш. школа, 1989. – 95 с.

32. Гибкие производственные системы Японии / Пер. с яп. А.Л. Семенова: Под ред. Л.Ю. Лищинского. – М.: Машиностроение. 1987. – 232 с.
33. Автоматизация дискретного производства / Б.Е. Бонев, Г.И. Бохачев, И.К. Бояджиев и др.; Под общ. ред. Е.И. Семенова, Л.И. Волчкевича. – М.: Машиностроение: София: Техника, 1987. – 376 с.
34. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы. В 14 кн.: Кн. 4. Л.И. Волчкевич, Б.А. Усов. Транспортно-накопительные системы ГСП. Практ. пособие / Под ред. Б.И. Черпакова. М.: Высш. школа, 1989. – 112 с.
35. Гибкие производственные системы в металлообработке (Обзор отечественной и зарубежной информации в области стандартизации ГСП) / О.А. Барский, С.Д. Вайс, Ю.Я. Венгеровский и др. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 76 с.
36. ГПС Европы и США. – Масинесуто, 1981.
37. Лищинский Л.Ю. Техничко-экономический анализ и методы выбора рациональных структур гибких производственных систем: Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. – М.: ВНИИТЭМР, 1985. – 64 с.
38. Морозов В.П., Дымарский Я.С. Элементы теории управления ГАП. – Л.: Машиностроение, 1984. – 384 с.
39. Гибкое автоматическое производство / В.О. Азбель, В.А. Егоро, А.Ю. Звоницкий и др.; 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. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. – М.: Высшая школа. 1986. – 304 с.
41. Васильев Г.Н. Автоматизация проектирования металлорежущих станков. – М.: Машиностроение. 1987. – 280 с.
42. Саркисян С.А., Ахундов В.М., Минаев Э.С. Большие технические системы. Анализ и прогноз развития. – М.: Наука. 1977. – 350.
43. Системы автоматизированного проектирования. В 9-ти кн. Кн. 6. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования. Учебн. пособие для вузов / Н.М. Капустин, Г.Н. Васильев; Под ред. И.П. Норенкова. – М.: Высш. шк.; 1986. – 191 с.
44. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9-ти кн. Кн. 5. Моделирование робототехнических систем и гибких автоматизированных производств: Учебн. пособие для втузов / С.В. Пантюшин, В.М. Назаретов, О.А. Тягунов и др.; Под ред. И.М. Макарова. – М.: Высш. школа, 1986. – 175с.
45. Системы автоматизированного проектирования. Учебн. пособие для втузов: В 9-ти кн. / И.П. Норенков. Кн. 1. Принципы построения и структура. – М.: Высш. школа, 1986. – 127 с.
46. Технологические основы ГПС/В.А. Медведев, В.П. Вороненко, В.Н. Брюханов и др. Под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Машиностроение, 1991. – 240 с.

47. Гнеденко Б.М., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 1987. – 336 с.
48. Михайлов О.П. Перспективы развития автоматизированного электропривода металлорежущих станков// Электричество, 1985, № 10, с. 11-17.
49. Лещенко В.А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением. М.: Машиностроение, 1975, 288с.
50. Производственные системы, управляемые от ЭВМ / Доклад акад. Везеслиндтнера на симпозиуме фирмы «Sharmann». – М., Станкоимпорт, 1983.
51. Лищинский Л.Ю. Структуры гибких автоматизированных станочных систем. – «Станки и инструмент», 1983. № 9, с. 4-7.
52. Модестов М.Б. Измерительные головки для обрабатывающего и измерительного оборудования ГАП. – Проблемы машиностроения и автоматизации. Москва – Будапешт, 1986, № 12.
53. Асфаль Р. Роботы и автоматизация производства / Пер. с англ. М.Ю. Евстегнеева и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 448 с.
54. Артоболевский И.И. Теория механизмов. – М.: Наука, 1967. – 720 с. с ил.
55. Артоболевский И.И. Анализ и синтез механизмов. – М.: Машгиз, 1960. – 212 с.
56. Артоболевский И.И. Курс теории механизмов и машин. – М.: Высшая школа, 1975. – 320 с.
57. Артоболевский И.И., Левитский И., Ческудинов С.А. Синтез плоских механизмов. – М.: Физматгиз, 1959. – 1084 с.
58. Артоболевский И.И., Эдельштейн Б.В. Сборник задач по теории механизмов и машин. – М.: Наука, 1975. – 156 с.
59. Добровольский В.В., Артоболевский И.И. Структура и классификация механизмов. – М.: Изд-во А СССР. 1939. – 66 с.
60. Franke R. Eine vergiechende Schalt und Getziebelchre. Neue Wege der. Kinematik Munchen n. Berlin, Oldenburg. 1930.
61. Левитский И. Теория механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1979, 252 с.
62. Левитский И. Колебания в механизмах. – М.: 1981. – 276 с.
63. Черкудинов С.А. Синтез плоских шарнирно-рычажных механизмов. Изд. А СССР. 1959.
64. 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.
65. Тавхелидзе Д.С. Исследование плоских пятизвенных механизмов с двумя степенями подвижности. – Тбилиси, изд. Мецниереба, 1972. – 154 с.
66. Баранов Г.Г. Курс теории механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1975. – 494 с.
67. Кожевников С.И., Есипенко А.И., Раскин Я.М. Механизмы. М.: Машиностроение, 1973. – 584 с., с ил.

68. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уйвер У. Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
69. Цзе Ф.С., Морзе И.Е., Хинка Р.Т. Механические колебания. – М.: Машиностроение, 1966. – 508 с.
70. Юдин В.А., Петроскас Л.В. Теория механизмов и машин. 2-е изд., перераб. и доп. – Высшая школа, 1971. – 403 с.
71. Кудинов В.А. Динамика станков. – М.: 1967. – 356 с.
72. Манжос Ф.М. Деревообрабатывающее оборудование. Машгиз, 1962 – 575 с.
73. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. – М.: Наука, 1980. – 368 с.
74. Диментберг М.Ф. Нелинейные стохастические задачи механических колебаний. – М.: Наука, 1980. – 368 с.
75. Нелинейные задачи динамики и точности машин / Под ред. В.А. Вейца – П., Изд-во Ленинград, Ун-та, 1983. – 335 с.
76. Сергеев С.И. Демпфирование механических колебаний. – М.: Физматгиз, 1959. – 407 с.
77. Пальмов В.А. Колебания упруго-пластических тел. – М.: Наука, 1976. – 327 с.
78. Карташев А.П. Рождественский Б.Л. Обыкновенные дифференциальные уравнения и основы вариационного исчисления. – М.: Наука, 1980. – 287 с.
79. Вейц В.Л., Коловский М.З., Когура А.Е. Динамика управляемых машинных агрегатов. – М.: 1984. – 352 с., с ил.
80. Вейц В.Л., Дондошанский В.К., Чиряев В.И. Вынужденные колебания в металлорежущих станках. – М.: Машгиз, 1989. – 286 с.
81. Коловский М.З. Динамика машин. Л.: Машиностроение, 1989. – 263 с.
82. Тавхелидзе Д.Д., Кобалава Б.Г. Исследование приводного механизма листоукладывателя с учетом влияния динамических характеристик исполнительной системы. Сб. трудов ГПИ им. В.И. Ленина, 1989. – С.5-7.
83. Гидравлический следящий привод / Под ред. В.А. Лешенко. – М.: Машиностроение, 1968. – 564 с., с ил.
84. Герц Е.В., Кребник Г.В. Расчет пневмоцилиндров. Справочное пособие. Б.К. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с., с ил.
85. Зельченко В.Я., Шаров С.Н. Расчет и проектирование автоматических систем с нелинейными динамическими звеньями. Л.: Маш-ние, 1986 – 174 с.
86. Вульфсон И.И., Коловский М.З. Нелинейные задачи динамики машин. – Л.: Машиностроение, 1968. – 284 с., ил.
87. Вульфсон И.И. Колебания машин с механизмами циклового действия. – Л.: Машиностроение, 1990. – 309 с.
88. Островский М.Я., Чечурин С.Л. Стационарные модели системы автоматического управления с периодическими параметрами. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 208 с., ил.

89. Виноградов Е.Е., Котченко В.В., Островский М.Я. Расчет линейных периодических нестационарных систем. В кн.: Сложные системы управления. Л. – Изд-во ЛГУ. 1985. Вып. С.С. 122-129.
90. Воронов А.А. Основы теории автоматического регулирования. Часть II. – Л.: Энергия, Ленинград. отделение, 1965. – 208 с., ил.
91. Красовский А.А., Поспелов Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики. – М.-Д.: Госэнергоиздат, 1962. – 600 с., ил.
92. Биссекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – 3-ие изд. – М.: Наука, 1975. – 768 с., ил.
93. Нелинейные системы автоматического управления. / Под общ ред. Е.П. Попова. – М.: Машиностроение, 1979. – 568 с., ил.
94. Кринецкий И.И. Расчет нелинейных автоматических систем. – Киев: Техника, 1968. – 312 с., ил.
95. Орурк И.А. Новые методы синтеза нелинейных и некоторых нелинейных динамических систем. – М.-Л.: Наука, 1965. – 208 с., ил.
96. Станкевич В.И. Выбор быстродействия сорвопривода в нелинейной системе регулирования. – Киев: Гостехиздат УССР, 1963. – 168 с., ил.
97. Белов Д.А., Кузин Р.Е. Применение ЭВМ для анализа и синтеза автоматических систем управления. / Под ред. А.В. Етушина. – М.: Энергия, 1979. – 264 с., ил.
98. Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления // Под ред. А.А. Воронова и И.А. Орурка. М.: Наука, 1984. – 344 с.
99. Мchedlishvili Т.Ф., Бокерия Р.А. К синтезу сложных нелинейных систем регулирования. // Металлорежущие станки. Респ. Межведомственный сборник, вып. 10, Киев.: Техника, 1982. – С. 15-19.
100. Мchedlishvili Т.Ф. Некоторые вопросы синтеза многосвязной системы приводов манипуляционного робота. // Гидравлические системы металлорежущих станков и промышленных роботов. Межвузовский сборник научных трудов. Изд-во Мосстанкина, М.: 1985. С. 157-178.
101. Шаумян Г.А., Кузнецов М.М., Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов. М.: Высш. школа, 1967. – 471 с.
102. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. М.: Наука, 1983. – 231 с.
103. Гордиенко Б.И., Краплин М.А. Оптимальные режимы металлорежущих станков. Ростов-на-Дону. Книжное издание. 1969. – 408 с.
104. Брауде В.И., Семенов Л.Н. Надежность подъемно-транспортных машин. Л.: Машиностроение, 1986. – 183 с.
105. Севостьянов Б.А. Задача о влиянии бункеров на среднее время простоя автоматической линии станков / Теория вероятностей и ее применение. Том VII. 1964. вып. 4.
106. Дашченко А.И. Моделирование работы агрегатных станков на ЭВМ. В сб.: Автоматизация процессов отделочной и точной обработки в машиностроении. М.: Наука, 1975.

107. Гордиенко Б.И., Краплин М.А. Качество инструмента и производительность. Ростов. Изд-во Ростовского университета, 1974. – 580 с.
108. Гордиенко Ю.И., Мchedlishvili Т.Ф., Чодришвили А.В., Мchedlishvili О.Г. К определению производительности работы автоматических технических комплексов // Кинематика и динамика механизмов. Труды ГПИ, Тбилиси. 1986. № 15(312), с.23-28.
109. Мchedlishvili Т.Ф. К вопросу производительности и режимов обработки на автоматических технологических линиях // Обработка материалов резанием. Труды ГПИ, Тбилиси, 1990, № 8(364), с. 21-24.
110. Сырицын Т.А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов. М.: Машиностроение, 1986. – 183 с.
111. Мchedlishvili Т.Ф. К вопросу оптимизации многоинструментальной обработки на автоматических станочных линиях // Транспорт и машиностроение, № 4(12), Тбилиси, 2008, с. 76-83.
112. Мchedlishvili Т.Ф., Гордиенко Б.И., Краплин М.А., Деметрашвили К.Г., Чхолария Н.Н. Повышение эффективности производственных процессов на автоматизированных станках и станочных комплексах. Комитет ИФТоММа Грузии. Тбилиси. 2013, 206 с.
113. Дашченко А.И., Белоусов А.П. Проектирование автоматических линий. М.: Высш. шк., 1983, 328 с.
114. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. М.: Высш. шк., 1985, 304 с.
115. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. М.: Высш. шк., 304с.
116. Чхолария Н.Н., Мchedlishvili Т.Ф., Иобадзе В.Ш., Гвиниашвили З.М., Кашибадзе М.В. К оптимизации производительности производственного процесса на многоинструментальных станках и станочных комплексах // Транспорт и машиностроение. Тбилиси № 3(31), 2014. с. 80-85.
117. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / А.А. Панов и др. Под общ. ред. А.А. Панова, М.: Машиностроение, 1983. 736 с.
118. Долматовский Г.А. Справочник технолога по обработке металлов резанием. М.: Машгиз. 1962. 1232 с.
119. Допуски и посадки. Справочник / Мягков В.Д. и др. Л.: Машиностроение. ч. 1. 1982. 543 с.
120. Металлорежущие станки / Под ред. В.Э. Пуша. М.: Машиностроение, 1985. 256 с.
121. Металлорежущие станки / Под ред. В.К. Тенинкичиева. М.: Машиностроение, 1973. 472 с.
122. Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения. М.: Высш. шк. 1976. 534 с.
123. Кузнецов М.М. и др. Автоматизация производственных процессов. М.: Высш. шк. 1978. 431 с.
124. Рубашкин И.Б., Алешин А.А. Микропроцессорное управление режимами металлообработки. Л.: Машиностроение, 1989. 160 с.
125. Маталик А.А. и др. Многооперационные станки. М.: Машиностроение, 1974. 320 с.

126. Маталин А.А. Технология машиностроения. Л.: Машиностроение, 1985. 496 с.
127. Справочник технолога по автоматическим линиям / А.Г. Киселев и др. Под ред. А.Г. Киселевой. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.
128. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т.В. Алексеева и др. Под общей ред. Т.М. Башты. М.: Машиностроение, 1989, 264 с.
129. Михайлов О.П. Динамика электромеханического привода металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1989. 224 с.
130. Банах Л.Я. Упрощение расченных схем динамических систем. // В кн. Колебания и динамическая прочность элементов машин. М.: Наука, 1976. с. 39-46.
131. Якубович В.А., Старжинский В.М. Параметрический резонанс в нестационарных системах. М.: Наука, 1987. – 328 с.
132. Казак С.А. Динамика мостовых кранов. М.: Машиностроение, 1968. – 332 с.
133. Mchedlishvili T., Balamtsarashvili Z. To question of dinamic processes and synthesis in drives mechanical systems // Problems of Mechanicm, Tbilisi, 2010, N 1(38), pp. 49-52.
134. Андреев Г.И., Бесинзон М.А., Кондриков А.И. Электроприводы главного движения металлообрабатывающих станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1980. 152 с.
135. Mchedlishvili, Navrosashvili B. To qyestuoan of construction of upproxinating models for mechanical systems of drives with elastion jont // Problems of Mechanism. Tbilisi, 2008, N 1(30), pp. 62-66.
136. Огурк И.А. Новые методы синтеза нелинейных и некоторых нелинейных динамических систем. – М.-Л.: Наука, 1965. – 208 с., ил.
137. Белов Д.А., Кузин Р.Е. Применение ЭВМ для анализа и синтеза автоматичесаких систем управления. / Под ред. А.В. Етушина. – М.: Энергия, 1979. – 264 с., ил.
138. Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления // Под ред. А.А. Воронова и И.А. Огурка. М.: Наука, 1984. – 344 с.
139. Мчедлишвили Т.Ф. Некоторые вопросы синтеза многосвязной системы приводов манипуляционного робота. // Гидравлические системы металлорежущих станков и промышленных роботов. Межвузовский сборник научных трудов. Изд-во Мосстанкина, М.: 1985. С. 157-178.
140. Ниорадзе Г.Г., Мчедлишвили Т.Ф. К синтезу многосвязной системы приводов манипуляционного робота // Georgian Engineering News, Тбилиси, 2000. с. 68-100.
141. Мчедлишвили Т.Ф., Бокерия Р.А. К синтезу сложных нелинейных систем регулировния. // Металлорежущие станки. Респ. Межведоственный сборник, вып. 10, Киев.: Техника, 1982. – С. 15-19.
142. Диасамидзе Т.А., Романадзе И.Р., Диасамидзе А.А., Диасамидзе Р.Р. К исследованию динамики электромеханической управлением курсом судна / Транспорт и машиностроение, № 1(23), Тбилиси, 2012, с. 101-106.

143. Мchedlishvili T.Ф. Научные основы и прикладные задачи синтеза нелинейных систем приводов по заданным переходным процессам. Тбилиси, Технический университет, 2008. – 273 с.
144. Диасамидзе Т.А., Тавадзе А.Т., Романадзе И.Р., Диасамидзе М.Р. К вопросу динамики судовой системы электромеханической системы привода руля / Транспорт и машиностроение, № 2(277), Тбилиси, 2013. с.71-77.
145. Ту Ю. Современная теория управления. М.: Машиностроение 1971. – 472 с.
146. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. М.: Наука, 1986. – 616 с.
147. Иванов В.А., Медведев В.С., Чемоданов Б.К., Ющенко А.С. Математические основы теории автоматического регулирования. Том. I. М.: Высшая школа. 1977. – 516.
148. Соколов Н.И. Аналитический метод синтеза линеаризованных систем автоматического регулирования. – М.: Машиностроение, 1986. – 328 с.
149. Диасамидзе Р.А., Тавадзе А.Т., Мchedlishvili T.Ф. К синтезу электрогидравлической системы управления курсом судна // Транспорт, Тбилиси, № 3-4 (47-48), 2012. с. 14-15.
150. Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления // Под ред. А.А. Воронова и И.А. Огурка. М.: Наука, 1984. – 344 с.
151. Яворский В.Н., Макшанов В.И., Ермалин В.П. Проектирование нелинейных следящих систем с тиристорным управлением исполнительными двигателями. Л.: Энергия, 1978. – 208 с.
152. Мchedlishvili T.Ф., Мchedlishvili Н.П. К вопросу оптимизационного синтеза сложных систем регулирования по заданным переходным процессам // Транспорт и машиностроение, № 1. Тбилиси, 2012, с. 22-28.
153. Мchedlishvili T.Ф., Чхолария Н.Н., Кобесашвили Н.И., Хартишвили И.А. К синтезу электромеханического привода стабилизации угловой скорости по заданным переходным процессам // Транспорт и машиностроение, № 1(20), 2013, Тбилиси, с. 39-47.
154. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. М.: Машиностроение, 1990, - 304 с.
155. Мchedlishvili T.Ф., Зубиашвили Г.М., Амколадзе Х.М., Чхолария Н.Н. К моделированию динамики двухкоординатной системы // Транспорт и машиностроение, № 4(22), 2011, Тбилиси. с. 50-56.
156. Мchedlishvili T.Ф., Мchedlishvili Н.П. К вопросу оптимизационного синтеза сложных систем регулирования по заданным переходным процессам / Транспорт и машиностроение, №1(23), Тбилиси, 2012. с. 22-28.
157. Дудик Г.А., Коновалов А.С., Огурк И.А., Осипов Л.А. Анализ и динамический синтез на ЭВМ систем управления. М.: Наука, 1984. – 344с.
158. Мchedlishvili T.Ф., Романадзе И.Р., Диасамидзе Т.А., Чхолария Н.Н. К вопросу оптимизационного синтеза электромеханических следящих приводов по заданным переходным процессам // კობზ.: 21 საუკუნის

მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი პარადიგმები. ტ. II, თბილისი, 2012, გვ. 191-195.

159. Зубиашвили Г.М., Амколадзе Х.М., Чхолария Н.Н., Анджапаридзе Т.Н. К динамическому анализу двухкоординатной следящего привода копировального станка // Транспорт и машиностроение. Тбилиси, « 2(24), 2012. с. 46-52.
160. Мчедlishვილი Т.Ф., Чхолария Н.Н., Романадзе И.Р., Балахадзе Д.Д. К вопросу динамических исследований электромеханических систем приводов с учетом упругостей звеньев и зазоров в механической части // Транспорт и машиностроение, № 1(23), 2012, с. 117-122.
161. Мчедlishვილი Т.Ф., Кирия В.И., Романадзе И.Р., Голетиани Г. К вопросу динамика электромеханической системы привода с упругими звеньями в механической части. Сб. научных трудов международной конференции «Иновационные технологии и материалы». Тбилиси, «Техн. университет», 2011. – с. 80-86.
162. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Тиристорные системы электропривода с упругими связями. Л.: Энергия, 1979. – 160 с.