

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ვახტანგ იობაძე

ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების  
მოდელირება და ეფექტურობის ამაღლების გზები

სადოქტორო პროგრამა „მანქანათმცოდნეობა,  
მანქანათმშენებლობა და საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები“

შიფრი 0408

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2020 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი  
№ 501 საწარმოო ტექნოლოგიური მანქანების და  
მექატრონიკის დეპარტამენტი

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

რეცენზენტები: ტ.მ.კ., ასოც. პროფესორი ვაჟა ქირია

ტ.მ.კ. ბელა ნავროზაშვილი

დაცვა შედგება 2020 წლის 6 თებერვალს 13 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „მექანიკის ინჟინერია,  
მექატრონიკა და საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები“ სადისერტაციო  
საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია

მისამართი: 0175, თბილისი, მ. კოსტავას ქ.68

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებ გვერდზე.

საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს  
მდივანი, პროფესორი

ნ. ნათბილაძე

## სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

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

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

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

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

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

**ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს** ავტომატიზებული საჩარხო კომპლექსების (ავტომატიზებული ჩარხებისა, ხაზების და კომპლექსების), ფუნქციონალური და სტრუქტურული აგების, საწარმოო პროცესებში მჭრელი იარაღებისა და მოწყობილობების მიმართ საწარმოო ტექნიკური მომსახურების სქემის გათვალისწინებით, აღნიშნულ სისტემათა

მწარმოებლურობის და ავტომატიზებული მოთვალთვალე ამძრავების დინამიკური მოდელირებისა და ოპტიმიზაციური კვლევის მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება, მიმართული საპროექტო გადაწყვეტილებების ხარისხისა და სამეცნიერო დასაბუთებულობის ეფექტურობის ამაღლებისაკენ.

**დასახული მიზნის მიღწევისათვის კვლევის ამოცანებში ჩართულია:**

- მანქანათა არსებული ავტომატიზებული და ავტომატური ტექნოლოგიური კომპლექსური სისტემების შემადგენლობითი და სტრუქტურული ანალიზი, წაყენებული მოთხოვნების და ფუნქციონირების შემფასებელი მახასიათებლების გამოვლენა;
- თანამედროვე ჩარხების და საჩარხო სისტემების, ამძრავთა სისტემების, მექანიზმების პროექტირებასთან და გამოკვლევებთან დაკავშირებული ნაშრომების მიმოხილვა;
- ძირითადი კანონზომიერებების გამოვლენა, ავტომატური ხაზების და მრავალსაიარაღო საჩარხო სისტემების მიერ საწარმოო პროცესების მწარმოებლურობის მაჩვენებლებთან. იარაღების და მოწყობილობების მუშაობის საიმედოობასთან დამაკავშირებელი მათემატიკური მოდელების აგება ფუნქციონირების, როგორც ტექნოლოგიური, ასევე საწარმოო-ტექნიკური მომსახურების სქემების გათვალისწინებით;
- მწარმოებლურობის ამსახველი მათემატიკური დამოკიდებულებების გამოვლენა, მოდელების აგება, კვლევის მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება. მჭრელი იარაღების და მოწყობილობების საიმედოობის მახასიათებლებთან ფუნქციონალური კავშირში სისტემებისათვის, სადაც მჭრელი იარაღების მიმართ გამოიყენება პროფილაქტიკური და მექანიზმებისა და მოწყობილობების მიმართ კი მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა;
- დინამიკის მათემატიკური ორიგინალური მოდელების შემუშავება და სინთეზის მეთოდოლოგიის შემუშავება მოცემული გარდამავალი პროცესის მიხედვით დრეკად-რგოლებიანი მექანიკური ნაწილის შემცველ ელექტრომექანიკურ მოთვალთვალე ამძრავების მიმართ;

- მოთვალთვალე ელექტრომექანიკური ამპრავის მათემატიკური მოდელირება და კვლევა დრეკადობის გათვალისწინებით სისტემის მექანიკურ ნაწილში.

**ნაშრომის სამეცნიერო ღირებულება მდგომარეობს:**

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

**ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულებას** წარმოადგენენ მრავალსაიარაღო ჩარხების და საჩარხო კომპლექსების, მწარმოებლურობის და მათი ცალკეული ამპრავთა მოთვალთვალე სისტემების, ოპტიმიზაციური გაანგარიშების და კვლევის ორიგინალური მეთოდები და მეთოდიკები.

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

**ნაშრომის აპრობაცია:** ნაშრომის ძირითადი შედეგების მოხსენებულ იქნა საერთაშორისო კონფერენციებზე:

1. Special Issue international conference. Mechanics, Tbilisi, 2014.
2. The International Scientific Conference of Mechanics, Tbilisi, 2016.

**პუბლიკაციები.** დისერტაციის მასალები წარმოდგენილია 9 სამეცნიერო სტატიაში.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავალის, ლიტერატურული მიმოხილვის, შედეგებისა და განსჯის და საერთო დასკვნებისაგან. წარმოდგენილია 133 გვერდზე, შეიცავს 21 ნახაზს, 6 ცხრილს და ლიტერატურის სიას 145 დასახელებით.

### **ნაშრომის ძირითადი შინაარსი**

**შესავალ ნაწილში** დასაბუთებულია სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალურობა.

**ლიტერატურის მიმოხილვა.** ჩატარებულია თანამედროვე ავტომატიზებული ჩარხების და საჩარხო სისტემების სტრუქტურული და ფუნქციონალური მიმოხილვა. გაანალიზებულია მათი აგებისა და ექსპლუატაციის ზოგადი კონცეპტუალური მიდგომები.

გაანალიზებულია ტექნოლოგიური მანქანების და მანქანათა სისტემების პროექტირებასა და კვლევასთან დაკავშირებული მწარმოებლურობის და საიმედოობის თეორიის საფუძვლები და მექანიზმების ამძრავების და მანქანების კვლევის საკითხები. განხილულია სისტემური მიდგომა საჩარხო სისტემების პროექტირებისადმი.

აღნიშნულია, რომ კვლევებისათვის იყენებენ ბლოკურ-იერარქიულ მიდგომას. გაანალიზებულია იერარქიული სისტემის ცალკეული დონეები და ამ დონეებთან მიმართ არსებული ამოცანები.

რაც შეეხება ამძრავთა სისტემების შემდგომი სრულყოფის ამოცანებს ყურადღება გამახვილებულია დინამიკური კვლევების არსებული მეთოდების

მიმოხილვაზე, რომელთა მეშვეობით შესაძლოა თანამედროვე რთული სტრუქტურის ავტომატიზებული ამძრავთა სისტემების სრულყოფა.

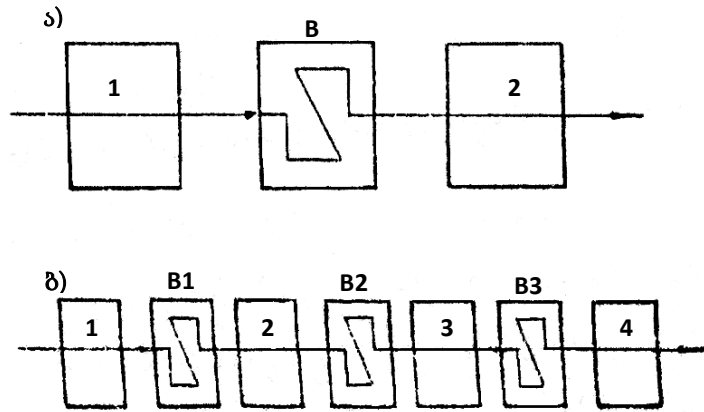
**შედეგები და განსჯა.** ჩატარებულია საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობისა და საიმედოობის კანონზომიერებების ანალიზი და მათი შემუშავების საკითხების მიმოხილვა. კერძოდ, გაანალიზებულია ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობის მათემატიკური გამოსახულებების აგების მეთოდოლოგიური მიდგომები ფუნქციონალურ კავშირში მჭრელი იარაღებისა და მოწყობილობების საიმედოობის პარამეტრებთან, რომლებიც თავის მხრივ გარკვეულ წილად განისაზღვრებიან სისტემის ტექნოლოგიური და საექსპლუატაციო პარამეტრებით და მომსახურების ფორმებით.

გაანალიზებულია რა ბლოკირებული საჩარხო სისტემების და ჩარხთაშორისი მაგროვებლებით აღჭურვილი საჩარხო ხაზების საიმედოობისა და მწარმოებლურობის გაანგარიშებების მიმართ არსებული მეთოდები და მეთოდიკები ნაჩვენებია, რომ არსებული მეთოდოლოგიების გამოყენებით დავდივართ უაღრესად რთულ მათემატიკურ კანონზომიერებებზე, რომელთა გამოყენება უაღრესად რთულია ოპტიმიზაციური ამოცანების გადაჭრის მიმართულებით.

ჩვენს ნაშრომში მიღებული იქნა ჩარხთაშორისი მაგროვებლებით აღჭურვილი ავტომატური ხაზების ფუნქციონირების ანალიზის ახალი გამოყენებითი თეორია. კერძოდ, მიღებულია საანგარიშო დამოკიდებულებები სისტემებისათვის, რომელთა სტრუქტურული სქემები მოყვანილია ნახ. 1.

ნახაზზე 1, ა მოყვანილი სქემის თანახმად უმტყუნებო სამუშაოს ერთობლივი ალბათობა შეიძლება გამოსახული იქნას როგორც ბლოკირებული (მარაგნაკეთობათა გარეშე) სისტემისა

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



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

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

მეორე ჩარხის გაჩერებისას პირველი აგრძელებს მუშაობას ჩარხთაშორის მაგროვებელზე და ეს მუშაობა განხორციელდება პირველი ჩარხის უმტყუნებო მუშაობის დროსთან დაყვანილი მეორე ჩარხზე ინსტრუმენტის გამოცვლის დროის პერიოდში. ამასთან დაკავშირებით დეტალების დამაგროვებელში უმტყუნებო მიწოდების ალბათობა განისაზღვრება ასე

$$P_{B1} = k_B e^{-u_2 t} P_1^*(t), \quad (2)$$

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.

თავის მხრივ  $k_B$  გამოსახება ასე:

$$k_B = F(t)|_0^t; \quad (3)$$

სადაც



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

$\tau$  – ჩარხთაშორისი დამაგროვებელი ტევადობის დროის მონაკვეთი.

პირველი ჩარხის გაჩერებისას მეორე ჩარხი იღებს დეტალებს დამაგროვებელიდან უმტყუნებო მუშაობის ალბათობით

$$P_{E2}(t) = e^{-u_1 t} P_{2*}(t), \quad (4)$$

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

$$P_D(t) = k_B e^{-u_2 t} e^{-u_1 t} P_{1*}(t) P_{2*}(t). \quad (5)$$

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

$$K_{GO} = \frac{T_{nocl} + t_D}{T_{nocl} + a_1^* + a_2^*}. \quad (6)$$

თავის მხრივ მწარმოებლურობა გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$\Pi = \frac{K_{GO}}{T_{uT}}, \quad (7)$$

სადაც  $T_{uT}$  – დეტალის დამუშავების ცალობრივი დრო.

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

მიღებული კანონზომიერებების შესაბამისად ნახ. 1, ბ მოცემული სისტემის მზადყოფნის კოეფიციენტი შეიძლება გამოისახოს დამოკიდებულებით

$$K_{TO} = \frac{T_{noc} + t_{D1} + t_{D2} + t_{D3}}{T_{noc} + a_{1*} + a_{2*} + a_{3*}}. \quad (8)$$

ჩვენს დეპარტამენტში ადრე ჩატარებულ სამუშაოებში განხილული იქნა მწარმოებლურობის მოდელირება და ოპტიმიზაციური კვლევა ისეთი მრავალსაიარაღო საჩარხო სისტემებისათვის, რომლებშიც ხორციელდება მჭრელი იარაღების და მოწყობილობების მომსახურება მათი მწყობრიდან გამოსვლის დროის მომენტების გათვალისწინებით.

ჩვენი ნაშრომის ამოცანაა მრავალსაიარაღო ჩარხების მწარმოებლურობის მოდელირება და ოპტიმიზაციური კვლევა მჭრელი იარაღების მიმართ შეცვლის პროფილაქტიკური სქემის გათვალისწინებით.

აღნიშნული სქემის თანახმად მჭრელი იარაღები იცვლებიან პროფილაქტიკურად დროის გარკვეულ  $T$  პერიოდებში. აქვე იგულისხმება, რომ გაწყობა მთელი ინსტრუმენტისა ხორციელდება ერთდროულად ყოველი  $T$  დროის შემდეგ და მთელი ინსტრუმენტების გამოცვლაზე იხარჯება საშუალოდ  $a$  წუთი.

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

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

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

$$k_s = \frac{T_{cp}}{T+a}. \quad (9)$$

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

$$T_{cp} = t_{cp} + \frac{r_1 v_1}{R_1} t_{cp} = \left(1 + \frac{r_1 v_1}{R_1}\right) t_{cp}, \quad (10)$$

სადაც:  $t_{cp} - T_{cp}$ -ში შემავალი ტექნოლოგიური გაწყობის ჯამური, დრო;  $\tau_1, v_1$  და  $R_1$  – შესაბამისად დამხმარე დრო, ჭრის სიჩქარე და მჭრელი წიბოს მიერ გავლილი გზა განმსაზღვრელ ოპერაციაზე, რომლებსაც შემდგომში აღვნიშნავთ  $\tau, v$  და  $R$ -ის მეშვეობით.

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

$$t_{oi} = k_i t_{0i}, \quad (11)$$

სადაც:  $t_{oi} = \frac{R_i}{V_i}$  –  $i$ -ური ოპერაციის სამანქანო დრო და  $t_{0i} = \frac{R_i}{V_i} = \frac{R}{V}$  სამანქანო

დრო განმსაზღვრელ ოპერაციაზე;  $k_i$  – პროპორციულობის კოეფიციენტები, რომლებიც განისაზღვრებიან ცალკეული ოპერაციების მანქანური დროების შეფარდების მანქანურ დროსთან განმსაზღვრელ ოპერაციებზე.

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

$$T = t_{oi} + t_{sci} = t_{oi} + \frac{T}{t_s} \tau_i, \quad (12)$$

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

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

$$P_i(t) = 1 - \int_0^{k_i t} f_i(x) dx, \quad (13)$$

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

თავის მხრივ იარაღების მთლიანი სისტემის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა გამოისახება ასე

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = \prod_{i=1}^n \left[ 1 - \int_0^{k_i t} f_i(x) dx \right]. \quad (14)$$

თავის მხრივ იარაღის ჭრის ჯამური სამანქანო დრო გამოისახება ასე

$$t_{cp} = \int_0^{t_s} xf(x)dx + t \int_{t_s}^{\infty} f(x)dx, \quad (15)$$

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

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

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

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

თავის მხრივ სისტემის მწარმოებლურობა მექანიზმებისა და ამპრავების მტყუნებათა გათვალისწინების გარეშე

$$Q = \frac{k_g}{t_s} = \frac{T_{cp}}{(T+a)t_s}, \quad (16)$$

სადაც

$$t_s = \frac{R + \nu}{\nu}. \quad (17)$$

განშლის შედეგად ვწერთ:

$$\int_0^t xf(x)dx = xF(x) \Big|_0^t - \int_0^t F(x)dx = tF(t) - \int_0^t F(x)dx; \quad (18)$$

$$\int_0^t F(x)dx = \int_0^t [1 - P(x)]dx = t - \int_0^t P(x)dx . \quad (19)$$

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე

$$\begin{aligned} \int_0^t xf(x)dx &= tF(t) - t + \int_0^t P(x)dx = t[(1 - P(t)) - t + \\ &+ \int_0^t P(x)dx] = \int_0^t P(x)dx - tP(t) . \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} t_{cp} &= \int_0^t xf(x)dx + t \int_t^{\infty} f(x)dx = \int_0^t P(x)dx = \\ &= \int_0^t P(x)dx - tP(t) + tP(t) = \int_0^t P(x)dx . \end{aligned} \quad (21)$$

შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$Q = \frac{T_{cp} \nu}{(T+a)(R+\tau)}. \quad (22)$$

თავის მხრივ გვექნება

$$Q = \frac{\nu}{R(T+a)} \int_0^{t_*} \prod_{i=1}^n P_i(x) dx, \quad (23)$$

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

ზოგადი სახით შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$T_{cpn} = T_{cp} - \sum_j \Delta t_j - \sum \Delta t_\gamma, \quad (24)$$

სადაც  $\Delta t_j$  და  $\Delta t_\gamma$  – მექანიზმებისა და მოწყობილობების დროის დანაკარგები ტექნიკური მიზეზების გამო,  $j$  და  $\gamma$  – რიგითი ნომრები მექანიზმებისათვის, რომლებიც ახორციელებენ  $T_{cp}$  დროში მოძრაობების შესაბამისად მარტო დამხმარე დროის ფარგლებში და დამხმარე და ძირითადი ტექნოლოგიური (სამანქანო) დროების ფარგლებში.

გამოვიყენოთ ფორმით გვექნება

$$\Delta t_j = \frac{T_{cp}}{T_s} \frac{t_{wj}}{T_{osj}} a_{osj}; \quad (25)$$

$$\Delta t_\gamma = \frac{T_{cp}}{T_s} \frac{\tau_{*1\gamma} a_{w\gamma}}{T_{os\gamma}} + \frac{T_{cp}}{T_s} \frac{a_{w\gamma} \tau_{*2\gamma}}{T_{os\gamma}}, \quad (26)$$

სადაც:  $t_{wj}$  – დამხმარე  $\tau$  დროის ფარგლებში მომუშავე მექანიზმის მუშაობის დროის მონაკვეთი;  $\tau_{*1\gamma}$  და  $\tau_{*2\gamma}$  – მექანიზმის მუშაობის დროთა მონაკვეთები;  $a_{osj}$  და  $a_{os\gamma}$  – მექანიზმებისა და მოწყობილობების მომსახურების საშუალო დროები ძირითადად და დამხმარე მოძრაობათა ფარგლებში; თავის მხრივ

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

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

$$Q_n = \frac{\int_0^t P_i(t)}{R(T+a)} \left( 1 - \frac{\sum t_{\tau o j}}{T_u T_{o e j}} a_{o e j} - \frac{\sum t_{\tau i j}}{T_u T_{o e \gamma}} a_{o e \gamma} - \frac{\sum K_{\tau^* \gamma}}{T_u T_{o e \gamma}} a_{o e \gamma} \right). \quad (27)$$

შემდგომი ამოცანაა დამუშავების პროცესის ოპტიმიზაცია მჭრელი იარაღების პროფილაქტიკური შეცვლის რეჟიმის გათვალისწინებით.

ამ მიზნით პირველ რიგში ვწერთ

$$\ln Q_n + \ln V - \ln R - \ln(T+a) \ln + \int_0^{t^*} P(t) + \ln \left( B_{\Sigma} - B_{\tau \gamma} \frac{1}{V} - B_q \frac{R + \tau V}{V} \right). \quad (28)$$

პარამეტრების  $T$  და  $V$  ოპტიმალურ მნიშვნელობებს ვძებთ შემდეგი დამოკიდებულებების გამოყენებით:

$$\frac{\partial}{\partial T} \ln \theta_n = \frac{\frac{\partial}{\partial T} \int_0^{t^*} P(t)}{P(t)} - \frac{1}{T+a} = 0, \quad (29)$$

$$\frac{\partial}{\partial V} \ln Q_n = \frac{1}{V} + \frac{1}{\int_0^{t^*} P(t)} \frac{\partial}{\partial V} \int_0^{t^*} P(t) + \frac{B_{\tau \gamma} \frac{1}{V^2} + B_q R \frac{1}{V^2} - B_q \tau}{B_{\Sigma} - B_{\tau \gamma} \frac{1}{V} - B_q \frac{R + \tau V}{V}}. \quad (30)$$

$$\frac{\partial}{\partial T} \int_0^{t^*} P(x, V) dx = \int_0^{t^*} \frac{R(x, V)}{R + \tau V} dx + \frac{RT}{(R + \tau V)^2} \tau P(V, t^*). \quad (31)$$

უკანასკნელის გათვალისწინებით შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$\frac{R}{R + \tau V} \frac{P(t_0, V)}{\int_0^{t^*} P(x, V) dx} - \frac{1}{T+a} = 0, \quad (32)$$

$$\frac{1}{V} - \frac{1}{\int_0^{t^*} P(x, V)} \left[ \frac{RT}{(R + \tau V)^2} \tau P(t^*, V) + \int_0^{t^*} \frac{\partial P(x, V)}{\partial V} dx \right] + \frac{B_{\tau \gamma} \frac{1}{V^2}}{B_{\Sigma} - B_{\tau \gamma} \frac{1}{V}} = 0. \quad (33)$$

$T$  და  $V$  ოპტიმალური პარამეტრების გათვალისათვის საქმე გვაქვს ანალიზური გამოკვლევებისათვის საკმაოდ რთულ დამოკიდებულებებთან და აღნიშნულთან დაკავშირებით საძიებელი მნიშვნელობების პირველადი მნიშვნელობების გამოვლენისათვის, როგორც ეს ხორციელდება მრავალ შემთხვევაში, შემთხვევით სიდიდეთა განაწილებათა ნორმალური კანონების

ნაცვლად ვისარგებლოთ მათი აპროქსიმაციული ექსპონენციალური დამოკიდებულებებით.

ამ შემთხვევაში ვოპერირებთ დამოკიდებულებებით:

$$P_i(x) = e^{-\frac{1}{T_i}k_i t}. \quad (34)$$

ექსპონენციალურ შემდგენებს ვშლით რიგში გაშლის პირველი წევრის შენარჩუნებით:

$$e^{-\sum_i \frac{k_i t}{T_i}} \approx 1 - \sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{RT}{R + \tau V}. \quad (35)$$

უკანასკნელის გათვალისწინებით ტოლობა (28) ჩაიწერება ასე:

$$\sum_i \frac{T_i}{R_i} \left( 1 - 1 + \sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{RT}{R + \tau V} \right) (R + \tau V) = R(T + a) \left( 1 - \sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{RT}{R + \tau V} \right). \quad (36)$$

ან

$$\frac{RT}{R + \tau V} (R + \tau V) = RT - \sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{R^2}{R + \tau V} T^2 + Ra - \sum_i \frac{k_i}{T_i} \frac{aR}{R + \tau V} T. \quad (37)$$

გამსხვილებული ფორმით ვწერთ:

$$T^2 + L_1(V)T - L_2(V) = 0, \quad (38)$$

სადაც:

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

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

განტოლების (38) ამოხსნის შედეგად ვიღებთ დამოკიდებულებას

$$T = f_T(V).$$

თავის მხრივ ტოლობა (34) მიიღებს სახეს

$$\frac{\partial \theta_n}{\partial V} = \frac{1}{V} - \frac{1}{\frac{1}{a(V)} (1 - e^{-a(V)t^*})} \left[ \frac{RT(V)}{(R + \tau V)^2} e^{-a(V)t^*} + B_N(V) \frac{1}{a(V)} \right] \times$$

$$\times (1 - e^{-a(V)t^*}) - \frac{RT(V)}{(R + \tau V)^2} \tau e^{-a(V)t^*} + B_{og}(V) = 0, \quad (39)$$

ზემოთ ჩამოყალიბებული პარამეტრული ოპტიმიზაციის მეთოდის აპრობაციის თვალსაზრისით ჩატარებული იქნა კონკრეტული საანგარიშო პროცედურები ორი მჭრელი იარაღით აღჭურვილი ტექნოლოგიურ სისტემებთან მიმართებაში.

გაანგარიშების შედეგად აგებული იქნა  $U(v)$  და  $T(v)$  ფუნქციონალური დამოკიდებულებების გრაფიკული გამოსახულებები, რომელთა მეშვეობით მიღებული იქნა  $T$  და  $V$  პარამეტრების ოპტიმალური მნიშვნელობებით.

ნაშრომში აგრეთვე განხილულია გაანგარიშებული პარამეტრების კორექტირების საკითხები მჭრელი იარაღების უმტყუნებო მუშაობის ალბათობათა ნორმალური კანონების გათვალისწინებით.

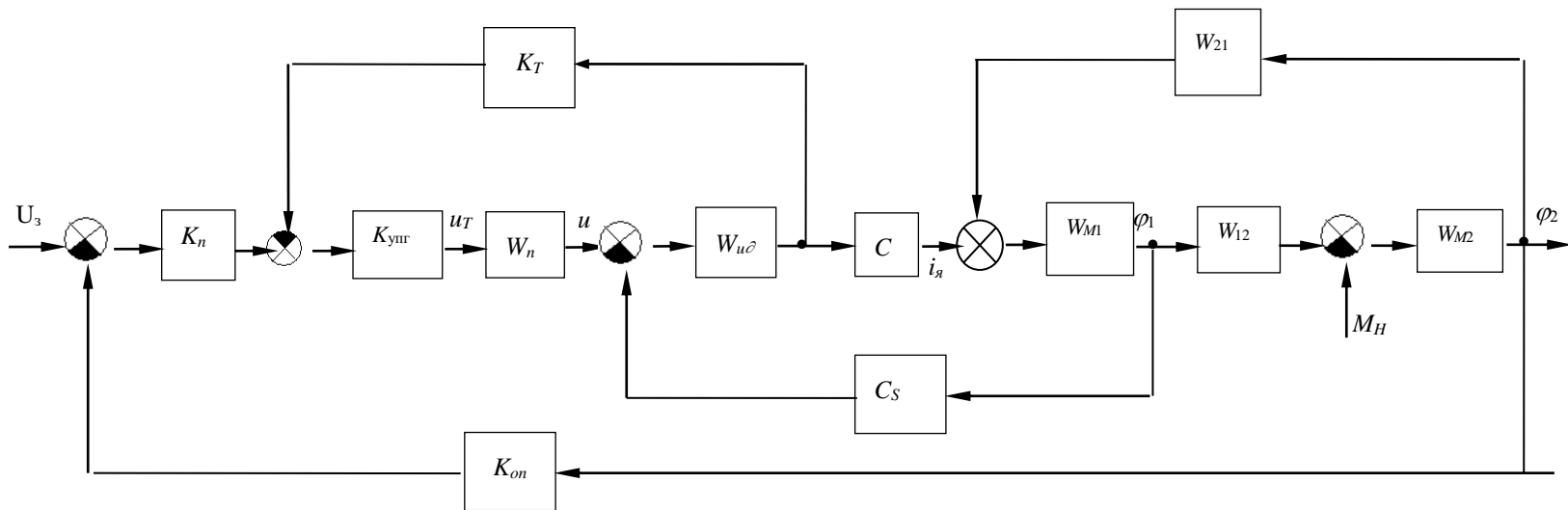
ნაშრომში აღნიშნულია, რომ ყოველივე ზემოაღნიშნული მიეკუთვნება  $n$  ინსტრუმენტალურ გაწყობას, რომელშიც იარაღები ხასიათდებიან ტოლი ან მცირედ განსხვავებული მედეგობებით და ჭრის დროებით. ნაშრომში განხილულია აგრეთვე ისეთი ამოცანა, რომელიც ითვალისწინებს იარაღების დაყოფას მედეგობისა და ჭრის დროებით ახლოს მყოფ ჯგუფებად და მათ მიმართ ოპტიმალური  $V$  და  $T$  პარამეტრების შერჩევას.

ამძრავთა სისტემების სრულყოფის თვალსაზრისით ნაშრომში განხილულია საჩარხო ავტომატიზებული მოთვალთვალე ელექტრომექანიკური სისტემის დინამიკური მოდელირება და მისი დინამიკური მაჩვენებლების შემდგომი სრულყოფის სამეცნიერო საკითხები.

ნახ. 2-ზე მოყვანილია მექანიკურ ნაწილში დრეკადი კავშირების მქონე ელექტრომექანიკური მოთვალთვალე სისტემის ერთ-ერთი სავარაუდო სქემა, რომელიც ხასიათდება იმით, რომ სისტემის სტრუქტურაში წარმოდგენილია მდებარეობის II-რეგულატორი და მექანიკური სისტემა კიდევ თავის მხრივ აპროქსიმირებულია ორმასიანი დინამიკური მოდელით.

ვიხილავთ გარდამავალი პროცესის ხარისხობრივი მაჩვენებლების სრულყოფის ამოცანას სისტემის სტრუქტურაში პარალელური მაკორექტირებელი რგოლების შემოტანით მოდალური მართვის თეორიის თანახმად.





ნახ. 2. სისტემის სტრუქტურული სქემა

ცნობილია, რომ დენის ჩაკეტილი კონტურის გადამცემი ფუნქცია შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ აპროქსიმაციული ფორმით

$$W_{\kappa m}(s) = \frac{K_m}{2\tau s + 1} = \frac{i(s)}{u_n(s)},$$

სადაც:  $K_{\tau} = \frac{1}{K_T}$ ,  $\tau$  – ტირისტორული გარდამქმნელის დროის მუდმივა.

უკანასკნელის გათვალისწინებით და ინდუქციური უკუკავშირის უგულვებელყოფით გადამცემი ფუნქცია  $U_c(t)$  გაუთანხმობის და გამომავალი კოორდინატის შორის  $M_H = 0$  პირობის დაცვით შეგვიძლია ჩაწერილი იქნას ასე:

$$W_{np1}(s) = \frac{\varphi(s)}{U_n(s)} = W_{\kappa T}(s) C W_M(s), \quad (40)$$

სადაც:

$$W_M(s) = \frac{W_{M_1}(s) W_{M_2}(s)}{1 - W_{M_1}(s) W_{M_2}(s) W_{12}(s)}, \quad (41)$$

$$W_{M_1}(s) = \frac{1}{I_1 s^2 + b_{12} s + c_{12}}, \quad (42)$$

$$W_{M_2}(s) = \frac{b_{12} s + c_{12}}{I_1 s^2 + b_{12} s + c_{12}}, \quad (43)$$

$$W_{21}(s) = b_{12} s + c_{12}. \quad (44)$$

აღვნიშნოთ, რომ დამოკიდებულებებში (42-44):  $I_1$  და  $I_2$  – ინერციის მომენტები,  $b_{12}$  და  $c_{12}$  – შესაბამისად დისიპაციისა და სიხისტის კოეფიციენტები,  $\varphi_1$  და  $\varphi_2$  – კუთხური კოორდინატები ორმასიან მექანიკურ სისტემაში.

მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის  $\varphi_{2*}(t)$  პროცესის გამოსახულება და მის საფუძველზე ვსაზღვრავთ სასურველი  $i_*(t)$ ,  $\Delta\varphi_*(t)$ ,  $\dot{\varphi}_1^*(t)$  კოორდინატების გამოსახულებებს და უკანასკნელთა გამოყენებით ვახორციელებთ პარალელურ მაკორექტირებელ კავშირებს.

შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$i_*(s) = \frac{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} \varphi_{2*}(s); \quad (45)$$

$$\Delta\varphi_*(s) = \frac{I_2 s^2}{I_{12}s + c_{12}} \varphi_{2*}(s), \quad (46)$$

$$\dot{\varphi}_{1*}(s) = \frac{I_2 s^2 + b_{12}s + c_{12}}{b_{12}s + c_{12}} \varphi_{2*}(s). \quad (47)$$

დამოკიდებულებების (45)-(47) გამოყენებით დამატებითი მაკორექტირებელი ზემოქმედება  $q(s)$ , რომელიც გადაიგზავნება დენის ჩაკეტილი კონტურის შესასვლელზე გამოისახება დამოკიდებულებით

$$g(s) = q_1(s) + q_2(s), \quad (48)$$

სადაც:

$$g_1(s) = \left[ K_i \frac{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2}{b_{12}s + c_{12}} + K_{\Delta\varphi} \frac{I_2 s^2}{b_{12}s + c_{12}} + K_{\dot{\varphi}_1} \frac{I_2 s^2 + b_{12}s + c_{12}}{b_{12}s + c_{12}} \right] \varphi_{2*}, \quad (49)$$

$$g_2(s) = K_{\varphi_2} s \varphi_{2*}, \quad (50)$$

სადაც  $K_i$ ,  $K_{\dot{\varphi}_1}$ ,  $K_{\Delta\varphi}$  და  $K_{\varphi_2}$  – პარალელური მაკორექტირებელი რგოლების საძიებელი კოეფიციენტები.

გამსხვილებული სახით შეგვიძლია ჩავწეროთ:

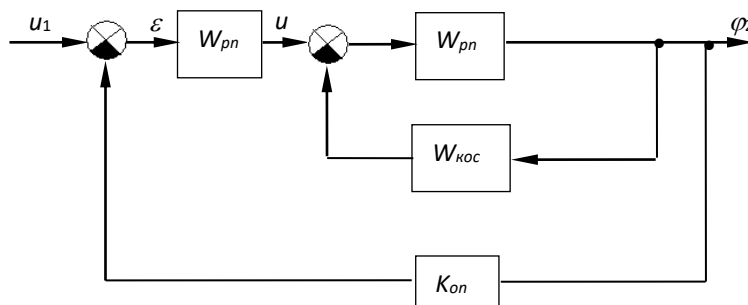
$$g(s) = W_{koc}(s) \varphi_2, \quad (51)$$

სადაც:

$$W_{koc}(s) = W_i(s)K_i + W_{\Delta\varphi}(s)K_{\Delta\varphi} + W_{\dot{\varphi}_1} K_{\dot{\varphi}_1} + K_{\varphi_2}(s)K_{\varphi_2}. \quad (52)$$

შესაბამისად სისტემის გამსხვილებული სტრუქტურული სქემა შეიძლება წარმოვიდგინოთ ნახაზ 3-ზე მოყვანილი სახით.

შიგა ჩაკეტილი კონტურის გადამცემი ფუნქცია მიიღებს სახეს:



ნახ. 3. გამსხვილებული სტრუქტურული სქემა

$$W_{II}(s) = \frac{\varphi_2(s)}{U(s)} = \frac{W_{np1}}{1 + W_{koc} W_{np8}} = \frac{K_{\pi T} C(b_{12}s + c_{12})}{A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2 + K_{\pi T} C(b_{12}s + c_{12})(W_i K_i + W_{\Delta\varphi} K_{\Delta\varphi} + W_{\phi_1} K_{\phi_1} + s K_{\phi_2})}, \quad (53)$$

ანდა

$$W_{II}(s) = \frac{A_n(s)}{B_n(s) + B_{\Delta\varphi} K_{\Delta\varphi} + B_{\phi_1} K_{\phi_1} + B_{\phi_2} K_{\phi_2}}, \quad (54)$$

შესაბამისად მთლიანი სისტემის გადამცემი ფუნქცია ჩაიწერება ასე:

$$W_0(s) = \frac{W_{pn}(s)W_{II}}{1 + W_{pn}W_{II}K_{on}} = \frac{\varphi_2(s)}{U_1(s)}.$$

ანდა გაშლილი სახით:

$$W_0(s) = \frac{W_{pn}A_n}{B_n + W_{pn}A_nK_{on} + B_iK_i + B_{\Delta\varphi}K_{\Delta\varphi} + B_{\phi_1}K_{\phi_1} + B_{\phi_2}K_{\phi_2}}. \quad (55)$$

გამოსახულება (53)-ზე დაყრდნობით გადავდივართ საკვლევი სისტემის მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ამოცანაზე წარმოსახვით სიხშირეთა მათემატიკური აპარატის გამოყენებით.

პირველ რიგში შემოგვაქვს სასურველი პროცესი  $\varphi_{\ast}(t)$  და ვწერთ მიახლოებით ტოლობას რეგულირებადი  $\varphi_2(t)$  და სასურველი პროცესს შორის:

$$\varphi_2(s) \approx \varphi_{2,\ast}(z_m s) = \frac{M_*(z_m s)}{N_*(z_m s)} U_1(s), \quad (56)$$

სადაც:  $M_*$  და  $N_*$  – შესაბამისად კოორდინატები წარმოადგენენ სასურველი

პროცესის მრიცხველსა და მნიშვნელს;

$z_m$  – დროს მასშტაბური კოეფიციენტი;

$s$  – ლაპლასის გარდაქმნის ოპერატორი.

გამოსახურების (55) თანახმად შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$\begin{aligned} M_*(B_i K_i + B_{\Delta\varphi} K_{\Delta\varphi} + B_{\phi_1} K_{\phi_1} + B_{\phi_2} K_{\phi_2} + M_* A_n K_{on} K_{pn}) + M_* B_n &= \\ = K_n A_n N_*(z_m s), & \end{aligned} \quad (57)$$

სადაც  $K_n = W_{pn}$ .

მიღებული დამოკიდებულების თანახმად ვწერთ აპროქსიმაციათა  $l$  კვანძების  $\delta = \delta_v$  ( $\delta_v$  იღებს დადებით საგნობრივ მნიშვნელობებს) მიმართ პირობით განტოლებათა სისტემას

$$\Phi_1(\delta_v)K_i + \Phi_2(\delta_v)K_{\Delta\phi} + \Phi_3(\delta_v)K_{\phi_1} + \Phi_4(\delta_v)K_{\phi_2} + \Phi_5(\delta_v)K_n = \Phi_0(\delta_v), \quad (58)$$

$$v = 1, 2, \dots, l.$$

ასეთი საშუალებით მიღებულ განტოლებათა სისტემას ვამუშავებთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდით საძიებელი  $K_{\phi_1}$ ,  $K_{\phi_2}$ ,  $K_{\Delta\phi}$ ,  $K_{p\phi}$ ,  $K_x$  და  $K_{pn}$  პარამეტრების მიმართ და ვიღებთ 6 უცნობიან განტოლებათა სისტემას.

დინამიკური მდგრადობის ანალიზისათვის შეგვიძლია ვისარგებლოთ უწყვეტი სტაციონარული სისტემის მდგრადობის ანალიზის ცნობილი მეთოდებით.

აღნიშნული მეთოდის თანახმად განიხილავენ დამხმარე პარამეტრებს  $\lambda_i$ , რომლებიც გამოისახებიან დამოკიდებულებებით

$$\lambda_i = A_{i-1}A_{i+2}/A_iA_{i+1}, \quad i = 1, \overline{n-2}. \quad (59)$$

ჩვენ შემთხვევაში გვექნება

$$\lambda_1 = A_0A_3/A_1A_2;$$

$$\lambda_2 = A_1A_4/A_2A_3;$$

$$\lambda_3 = A_2A_5/A_3A_4;$$

$$\lambda_4 = A_3A_5/A_4A_5.$$

საკვლევი სისტემის სინთეზის პროცედურების ჩატარებისათვის სასურველი პროცესის სახით შერჩეული იქნა ფუნქცია

$$\varphi_2(t) = \frac{A_0 \left( \frac{a_{\phi_1}}{2} z_m p + 1 \right)}{a_{\phi_2} z_m^2 p + a_{\phi_1} z_m + 1} = \frac{M^0(p)}{N^0(p)} = A_0 - A_1 e^{-\frac{u_1 t}{z_m}} + A_2 e^{-\frac{u_2 t}{z_m}}, \quad (60)$$

სადაც  $p$  – კარსონის ოპერატორი,  $z_m$  – მასშტაბური კოეფიციენტი.

$$A_1 = A_2 = \frac{A_0}{2}.$$

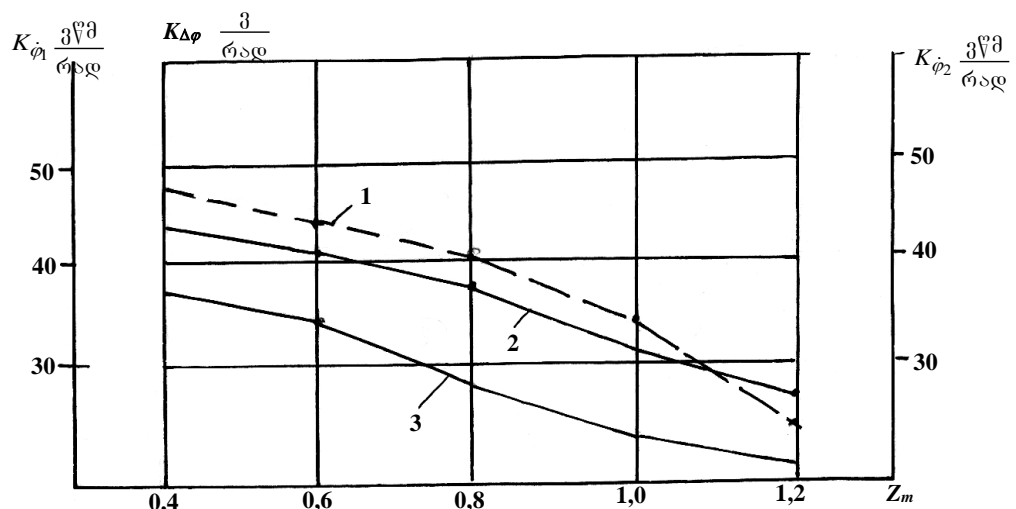
საკვლევი სისტემის სინთეზის შემოთავაზებული მეთოდის აპრობაციისათვის ვატარებთ კონკრეტულ საანგარიშო გამოკვლევებს. სისტემისათვის აღებული იქნა შემდეგი საწყისი პარამეტრები:

$$R_j = 0,07 \text{ მმ}, L_j = 0,32 \cdot 10^{-3} \text{ ჰმ}; c = 0,34 \frac{\text{მმ}}{\text{ამპ}}; K_n = 7,5, \tau = 3,3 \text{ წმ}; \tau = 3,3 \text{ მ/წმ};$$

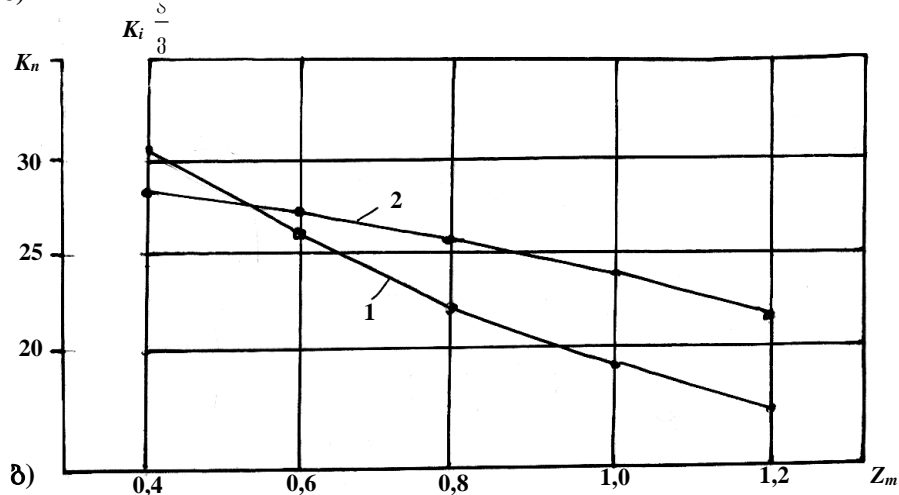
$$I_1 = 0,01 \text{ კგმ}^2; I_2 = 0,0025 \text{ კგმ}^2; C_{12} = 250 \frac{\text{მმ}}{\text{რად}}; \beta_1 = \beta_2 = 0,01 \text{ და}$$

$$\beta_{12} = 0,008 \frac{\text{მმ წმ}}{\text{რად}}.$$

ჩატარებული საანგარიშო კვლევების შედეგად ნახ. 4 მოყვანილია სინთეზირებული პარამეტრების მნიშვნელობები ფუნქციონალურ კავშირში  $z_n$  მასშტაბურ კოეფიციენტთან.



ა)

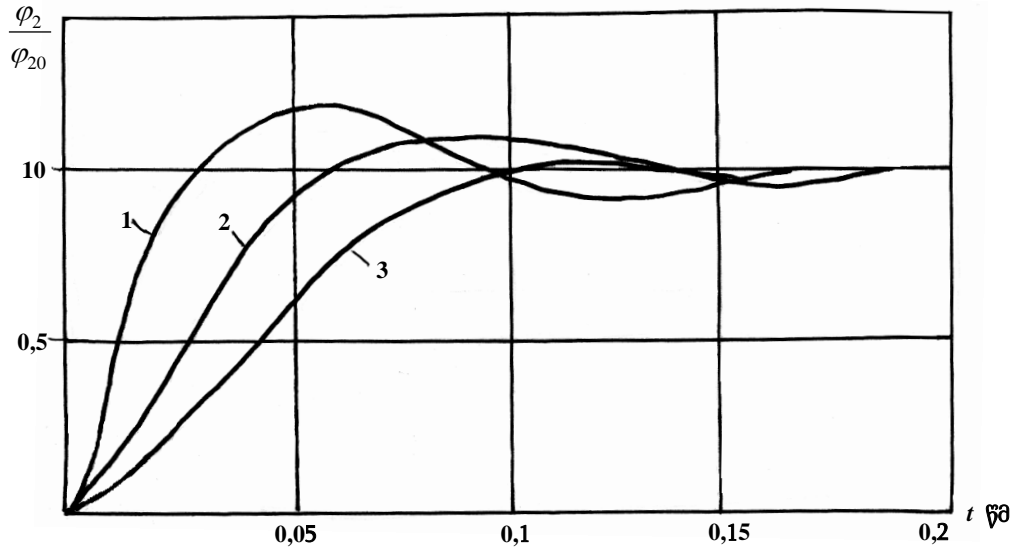


ბ)

ნახ. 4. სინთეზის შედეგად მიღებული დამოკიდებულებები

ა) 1 -  $K_{\phi_2}(z_m)$ ; 2 -  $K_{\Delta\phi}(z_m)$ ; 3 -  $K_{\phi_1}(z_m)$ .

ბ) 1 -  $K_n(z_m)$ ; 2 -  $K_i(z_m)$ .



ნახ. 5. გარდამავალი პროცესების მრუდები:  
 1 -  $Z_m = 0,4$ ; 2 -  $Z_m = 0,6$ ; 3 -  $Z_m = 1,0$

თვით გარდამავალი პროცესების მრუდები კი მოყვანილია ნახაზზე 5. დინამიკური მდგრადობის ანალიზთან დაკავშირებით შესაბამისად ნახ. 5 მოყვანილი პროცესისათვის  $\lambda$  - კოეფიციენტები ისახებიან მნიშვნელობებით.

როდესაც  $z_m = 0,4$

$$\lambda_4 = 0,36, \quad \lambda_3 = 0,31, \quad \lambda_2 = 0,38;$$

როდესაც  $z_m = 0,6$

$$\lambda_4 = 0,32, \quad \lambda_3 = 0,28, \quad \lambda_1 = 0,311;$$

როდესაც  $z_m = 1,0$

$$\lambda_4 = 0,23, \quad \lambda_3 = 189, \quad \lambda_1 = 126, \quad \lambda = 0,32.$$

მოყვანილი მონაცემები მიგვითითებენ სისტემათა მდგრადობაზე.

## დასკვნები

1. საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების სტრუქტურული აგებისა და მათი განვითარების ტენდენციების ანალიზი მიგვითითებს, რომ ფართოვდება ტექნოლოგიური მანქანების შემადგენლობა – წარმოიშვებიან ახალი სტრუქტურული დონეები. მათ პროექტირებას ემსახურება ერთიანი სისტემური მიდგომა.
2. მწარმოებლურობის და ეკონომიკური ეფექტურობის კრიტერიუმების ხარისხობრივი ანალიზი მიგვითითებს იმაზე, რომ უკანასკნელნი მრავალ წილად განისაზღვრებიან მთლიანი ტექნოლოგიური სისტემის საიმედოობრივი მახასიათებლებით. უკანასკნელნი კიდევ თავის მხრივ პირდაპირ კავშირში იმყოფებიან როგორც მჭრელი იარაღების, აგრეთვე მექანიზმებისა და მოწყობილობების მიერ განხორციელებული საწარმოო პროცესების ალბათობით მაჩვენებლებთან მათი ტექნიკური მომსახურების სქემების პარამეტრებთან.
3. ეფექტურობის კრიტერიუმების ამსახველი კანონზომიერებების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ავტომატიზებულ ჩარხებთან და საჩარხო ხაზებთან მიმართებაში უაღრესად აქტუალურია: მრავალსაიარაღო დამუშავებისა და ტექნოლოგიური პროცესების რეგულირებისა და მართვის სისტემების, ავტომატიზირებული ამძრავების სტრუქტურულ და კონსტრუქციულ სრულყოფასთან დაკავშირებული ამოცანები.
4. ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ხისტი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობის განსაზღვრის ანალიზური მოდელების აგების მეთოდოლოგიური მიდგომა მოქნილი ჩარხთაშორისი კავშირებიან სისტემებთან მიმართებაში შემოიფარგლება უმარტივესი სისტემებით, და ოპტიმიზაციურ გამოთვლებთან მიმართებაში ხასიათდებიან მეტად რთული მათემატიკური დამოკიდებულებებით.



5. გამოვლენილია, რომ მოქნილი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი სისტემების მუშაობის ცალკეული დროის ეტაპების მზადყოფნის კოეფიციენტების და გასაშუალებებული კოეფიციენტების გამოყენებით შეგვიძლია ჩამოვყალიბოთ მიახლოებითი სახის ანალიზური მოდელების აგებისათვის საჭირო კანონზომიერებები.

ჩატარებული კვლევების შედეგად მიღებულია დამაგროვებლების დამატებითი უმტყუნებლო მუშაობის დროთა განსაზღვრის და შემდგომ მთლიანი სისტემის მზადყოფნის კოეფიციენტის და მწარმოებლობის ამსახველი ორიგინალური დამოკიდებულებები.

აღნიშნული მეთოდოლოგოს შემუშავებისას განხილულია სისტემები, რომლებშიც უმტყუნებო მუშაობის გამოსახულებები დაფუძნებულნი არიან, როგორც განაწილებათა ექსპონენციალურ, აგრეთვე ნორმალურ კანონებზე.

6. შემოთავაზებულია მზადყოფნის კოეფიციენტისა და მწარმოებლობის მათემატიკური დამოკიდებულებები მრავალსაიარაღო ჩარხებისათვის და ხისტი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი ისეთი საჩარხო ხაზებისათვის, რომლებშიც მჭრელი იარაღების მიმართ გამოიყენება პროფილაქტიკური, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მიმართ კი მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა. ეს დამოკიდებულებები ფუნქციონალურ კავშირში არიან დამუშავების რეჟიმებთან და წარმოადგენენ შემდგომი ოპტიმიზაციური გაანგარიშებების თეორიულ საფუძველს.

7. ტექნოლოგიური პროცესების ეფექტურობის შემდგომი ამაღლების თვალსაზრისით გაანალიზებულია საკვლევი მანქანათა ტექნოლოგიური სისტემების ამძრავთა მოთვალთვალე ავტომატიზირებული სისტემების ტექნიკური მაჩვენებლების სრულყოფის საკითხები და მასთან დაკავშირებით დინამიკური კვლევის მეთოდები და მეთოდიკები.

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თანამედროვე ავტომატიზირებულ ტექნოლოგიურ სისტემებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს ამძრავთა მოთვალთვალე ელექტრომექანიკურმა სისტემებმა, რომელთა შემდგომი

სრულყოფისათვის. საჭიროა მათი გაანგარიშების პროცესში, როგორც სისტემათა ცალკეულ ელემენტებში მოქმედი მოვლენების უფრო ადეკვატურ გათვალისწინებას და აგრეთვე სტრუქტურული და პარამეტრული სინთეზის ოპტიმიზაციური მეთოდების შემდგომ სრულყოფას.

8. ცნობილი კვლევების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დინამიკური მოდელირებისა და კვლევების ეფექტურობის ამაღლების თვალსაზრისით უაღრესად მნიშვნელოვანია დრეკადი კავშირების გათვალისწინება სისტემის მრავალმასიან მექანიკურ ნაწილში. მექანიკური ნაწილის მოდელირებისა და კვლევის მეთოდების ეფექტური შეთანწყობა მთლიანი ელექტრომექანიკური სისტემის მოდელირებისა და კვლევის საკითხებთან.
9. მექანიკური ნაწილი მოდელირების საკითხის გადაჭრაში გამოყენებულია აპროქსიმაციულ მოდელებზე გადასვლის ორიგინალური მეთოდოლოგია, აგებული წარმოსახვით სიხშირეთა მოდიფიცირებული მახასიათებლების გამოყენებაზე.

საკვლევ სისტემათა ცალკეული ელემენტების ცნობილი და შემუშავებული მათემატიკური მოდელების და მათი შეთანწყობის საკითხების გათვალისწინებით და შემდგომი სტრუქტურული და პარამეტრული სინთეზის ამოცანების ამოხსნის მიზნით აგებულია საჩარხო მოთვალთვალე ამძრავთა სისტემის დინამიკის მათემატიკური მოდელები.

10. შემუშავებული მათემატიკური მოდელების და ცნობილი კვლევების ანალიზი მიმართული დინამიკური სინთეზის ძირითადი კრიტერიული პარამეტრების გამოვლენისაკენ მიგვითითებს სინთეზის თეორიის შემუშავების მიზანშეწონილობაზე მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით.
11. ჩატარებული კვლევის საფუძველზე ჩამოყალიბებულ ავტომატიზირებულ ჩარხებში და რობოტოტექნიკურ სისტემებში ფართოდ გამოყენებული საკვლევო ელექტრომექანიკური სისტემის

ოპტიმიზაციური სინთეზის გამოყენებითი თეორიის აგების ზოგადი სქემა.

რეგულირებადი და რეალიზაციისათვის სასურველი კოორდინატების მიახლოებითი ტოლობის მათემატიკური მოდელები ჩაწერილნი არიან ცალკეული მდგენელების ჯამის სახით ლაპლასისა (ან კარსონის) გარდაქმნებში. წრფივი მამრავლებით წარმოდგენილნი არიან განსახილველი სისტემის სინთეზირებადი კრიტერიული პარამეტრები. ამის საფუძველზე განხორციელებულია მრავალპარამეტრული სინთეზის პროცედურათა მიმდევრობითი რეალიზაციის მეთოდოლოგია, რომელიც აგებულია საძიებელ პარამეტრებთან მიმართებაში წრფივი პირობითი და შემდგომ ნორმალური განტოლებების სისტემების შედგენაზე და დინამიკური მდგრადობის პირობის შემოტანაზე, რომელიც ხორციელდება დროის მასშტაბური კოეფიციენტის ვარიაციით, სასურველი კოორდინატების გამოსახულებებში.

12. მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის თეორიის შემუშავებული ზოგადი სქემის და მისი ცალკეული შემადგენელი ელემენტები მათემატიკური მოდელების და პროცედურების გამოყენებით აგებულია სტრუქტურულ-რულ-პარამეტრული სინთეზის ამოცანების ამოხსნის ალგორითმები. საკვლევი სისტემების მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით შემუშავებული სინთეზის თეორიის გარკვეული კანონზომიერებების უტყუარობის გამოვლენისათვის ნაშრომში რეალიზებულია საკვლევი მოთვალთვალე სისტემის საანგარიშო გამოკვლევები. გაანგარიშებებმა შედეგებმა გვიჩვენეს, რომ შემუშავებული თეორია საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ სინთეზირებადი პარამეტრების მიზანდასახული შერჩევა, შედეგების რაოდენობრივი და ხარისხობრივი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ გარდამავალი პროცესები სინთეზირებულ სისტემაში საკმაოდ არიან ახლოს სასურველ პროცესებთან.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი ასახულია შემდეგ პუბლიკაციებში:

1. T. Mchelishvili, T. Diasamidze, P. Diasamidze, V. Iobadze, N. Nakashidze. On issue of optimization Synthesis of Electromechanical Follow-up Drive with elastic Coupling in mechanical Part // Problems of Mechanics. special Issue international Conference Mechanics-2014, Tbilisi, N 2(55) 2014, pp.161-166.
2. Чхолария Н.Н., Мчедлишвили 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. 80-86.
3. T. Mchelishvili, M. Kashibadze, V. Iobadze, Kh. Amkoladze, Z. Gviniashvili. To optimization of prime Cost of production Process of Camg-type mechanical Part and Wore stations / International science Conference “Mechanics-2016”, Tbilisi, 2016, pp.111-116.
4. T. Mchelishvili, V. Iobadze, M. Talakvadze, M. Kashibadze, Kh. Amkoladze. On analysis of Process efficiency on Camg-stile Machines and Machine Complexes at realization cutting tools preventive chage Process// Problems of Mechanics. Tbilisi, N 2(63) 2016, pp.24-28.
5. Мчедлишвили Т.Ф., Иобадзе В.Ш., Кашибадзе М.В., Амколадзе Х.М. К вопросу оптимизации процесса обработки на многоинструментальных станках с учетом режима профилактической смены инструмента // Транспорт и машиностроение, Тбилиси, 2017, № 1(38), с.19-26.
6. T. Mchelishvili, Z. Surmava, V. Iobadze, T. Kapnadze, G. Bagdavadze. To issue of optimization of dynamics loads in multimas mechanical Prive System Problems if Mechanics, Tbilisi, N 1(66) 2017, pp.33-38.
7. Мчедлишвили Т.Ф., Иобадзе В.Ш., Гварамадзе Т.М., Микадзе З.С. К оптимизационному синтезу электромеханического следящего привода с упругими звеньями в механической части // Транспорт и машиностроение, Тбилиси, № 3(37), 2016, с. 32-38.

8. Мchedlishvili Т.Ф., Иобадзе В.Ш., Талаквдзе М.Г., Кашибадзе М.В., Биашвили Л.А. К анализу производительности обработки на автоматических станочных линиях. // Транспорт и машиностроение, Тбилиси, № 3(40), 2017, с. 15-23.
9. T. Mchedlishvili, Z. Surmava, V. Chitaishvili, V. Iobadze, T. Kapanadze, N. Nikvashvili. To modeling of denfmcс of Electromechanical Follov- UP Systems// Problems of Mechanics, № 1 (74), Tbilisi, 2019 PP. 37-42.

## Abstract

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

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

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

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

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

The design and research of technological machines and machine systems has been conducted. In particular, are analyzing the basics of the productivity and

reliability theories, as well as the mechanisms, drives and machine systems design and research issues are reviewed. Are analyzed a mechanical component, as well as issues related to construction and research of drive systems and machine tools systems.

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

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

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

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

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

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

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

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

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