

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მარინე ქაშიბაძე

ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების  
მოდელირება და ტექნიკურ-ეკონომიკური  
ოპტიმიზირება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

**ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი**

სადოქტორო პროგრამა „მანქანათმცოდნეობა,  
მანქანათმშენებლობა და საწარმოო ტექნოლოგიური“  
პროცესები, შიფრი 0408

თბილისი

2019 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტზე № 501 საწარმოო ტექნოლოგიური მანქანების და მექატრონიკის დეპარტამენტში

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

რეცენზენტები: ტ.მ.კ., გიორგი ჯაფარიძე

ტ.მ.კ. ბელა ნავროზაშვილი

დისერტაციის დაცვა შედგება 2019 წლის „—“ „ივლისს“ 15 საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს სადისერტაციო კოლეგიის სხდომაზე.

მისამართი: 0175, თბილისი, მ. კოსტავას ქ. 68<sup>ა</sup>.

I კორპუსი, აუდ.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებ გვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,  
ასოცირებული პროფესორი

ნია ნათბილაძე

## სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალობა.** 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 ეკონომიკური ეფექტურობის ამაღლებას, საშუალებების, რესურსების და შრომის იარაღების ეკონომიას, რაც თავის მხრივ პირდაპირ კავშირშია. საწარმოო პროცესების თვითღირებულების მაჩვენებლების შემდგომ სრულყოფასთან.

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

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

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

რაციონალური დატვირთვის, შეთანწყობილი ფუნქციონირების და ეფექტური ექსპლუატაციის ორგანიზაციული პრობლემები.

ამგვარად, მისი შექმნისა ახალ ტექნიკაში, ჩადებული საექსპლუატაციო მაჩვენებლებმა ამ ტექნიკის ექსპლუატაციის დროს უნდა უზრუნველყოფს განსაზღვრული ეკონომიკური ეფექტი.

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

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

**ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს** ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების (ავტომატიზებული ჩარხების; საჩარხო ხაზებისა და კომპლექსების), ფუნქციონალური და სტრუქტურული ანალიზის, საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების საწარმოო ექსპლუატაციის ოპტიმიზაციური გაანგარიშებების, ამ სისტემათა ავტომატიზებული მოთვალთვალე ამძრავების დინამიკური მოდელირების და ოპტიმიზაციური კვლევისა და მეთოდიკების შემუშავება, რომელიც მიმართულია საპროექტო გადაწყვეტილებების ხარისხისა და სამეცნიერო დასაბუთებულობის ეფექტურობის ამაღლებისკენ.

დასახული მიზნის მიღწევისათვის კვლევის ამოცანებში ჩართულია:

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

პროცესების მიხედვით; სისტემებისთვის, სისტემათა კოორდინატების მიმართ როგორც მათ, აგრეთვე არამთლიან დამკვირვებლობებთან;

- შემუშავებული მეთოდებისა და სისტემების თავისებურებების და ეფექტურობის ხარისხის გამოვლენა, კონკრეტული მოთვალთვალე სისტემების კვლევა.

ნაშრომის სამეცნიერო ღირებულება მდგომარეობს:

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

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

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

ნაშრომის აპრობაცია ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა საერთაშორისო კონფერენციაზე. The International Scientific Conference of Mechanics 2016.

**პუბლიკაციები:** დისერტაციის მასალები წარმოდგენილია 7 სამეცნიერო სტატიაში.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავალის და განსჯის და საერთო დასკვნებისაგან. წარმოდგენილია 140 გვერდზე, შეიცავს 18 ნახაზს, 7 ცხრილს და ლიტერატურის სიას 156 დასახელებით.

### **ნაშრომის ძირითადი შინაარსი**

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

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

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

აღნიშნულია, რომ ტექნოლოგიური მოწყობილობების ტექნიკური და ექსპლუატაციური მახასიათებლები შემდგომი სრულყოფა მრავალ წილად განპირობებულია მათ მიერ რეალიზებული პროცესების მწარმოებლურობის

და თვითღირებულების მახასიათებლებით, რომლებიც თავის მხრივ მრავალ წილად დაკავშირებულნი არიან ტექნოლოგიური სისტემების საიმედოობასთან. გაანალიზებულია საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების საიმედოობის თეორიის საფუძვლები, ტექნოლოგიური სისტემების მტყუნებათა და უმტყუნებო მუშაობის ალბათობათა გათვლის მეთოდები.

მიღებული იქნა თვითღირებულების, მზადყოფნის კოეფიციენტებისა და მწარმოებლურობის გამოსახულებები ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების მიმართ, რომლებიც ახორციელებენ მრავალსაიარალო დამუშავების ტექნოლოგიურ პროცესების ორგანიზაციას მომსახურების სქემებისათვის, რომლებშიც ხორციელდება იარაღების და მექანიზმების მომსახურება მათი მწყობრიდან გამოსვლის შესაბამისად.

აგრეთვე ჩამოყალიბებული იქნა მეთოდოლოგია, მიმართული საწარმოო პროცესის პარამეტრული ოპტიმიზაციისაკენ მინიმალური თვითღირებულების კრიტერიუმის მიხედვით. მიღებული დამოკიდებულების გამოყენებით ნაშრომში ჩატარებული იქნა კომპრეტული საანგარიშო გამოკვლევები.

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

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

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

სადაც:  $v$  – გადაღესვის ღირებულება,

$\mu$  – იარაღის ღირებულება.



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

$$g_t = \frac{i_u v}{i_u + 1} + g_u + \frac{\mu}{i_u - 1} + g_g, \quad (2)$$

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

თავის მხრივ:

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

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

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

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

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

$t_s$  – დამუშავების ცალობითი დრო;

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

$t_{on}$  – ოპერატიული დრო;

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

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

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

დამოკიდებულების (1) გამოყენებით შეგვიძლია გადავიდეთ ერთ დეტალზე მოსული ტექნოლოგიური ოპერაციის (მექანიზმებისა და მოწყობილობების მომსახურების გარეშე) ღირებულებაზე

$$q_t = \frac{g_t}{N_t}, \quad (3)$$

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

$$q_t = \frac{g_t R}{TV_p}, \quad (4)$$

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

მრავალსაიარაღო დამუშავების დროს გვექნება:

$$q_t = \sum_{i=1}^n q_{tu} = \sum_{i=1}^n g_1 B_i V^{m_i} + \sum_{i=1}^n g_{ui} \frac{R_i}{TV_i} + g_g \frac{R}{TV} + (1 + \eta) p t_s, \quad (5)$$

სადაც:

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

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

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

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

თანახმად ერთ დეტალზე მოსული ამორტიზაციული დანახარჯები განისაზღვრებიან ფორმულით

$$q_c = \frac{Q(R + \tau V)}{k_g M V}, \quad (6)$$

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

$k_g$  – საკვლევი ტექნოლოგიური სისტემის მზადყოფნის კოეფიციენტი.

შემდგომში დამუშავების თვითღირებულების მთლიანი სურათისათვის საჭიროა გავითვალისწინოთ დანახარჯები სხვადასხვა მექანიზმების რეგულირებაზე, გამართვაზე და მიმდინარე რემონტზე.

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

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

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

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

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

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

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

$$\frac{T_{obj}}{t_{\omega j}} \text{ и } \frac{T_{ob\gamma}}{t_{\varphi \gamma}}$$

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

$$q_{obj} = p_1 a_{obj} \frac{t_{\omega j}}{T_{ob\gamma}} \quad (7)$$

და

$$q_{ob\gamma} = p_q a_{ob\gamma} \frac{t_{\varphi \gamma}}{T_{ob\gamma}}, \quad (8)$$

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

საბოლოოდ დამუშავების თვითღირებულება გამოისახება დამოკიდებულებით

$$E = \sum_{i=1} q_{ii} + \frac{Q}{M\Pi_n} + \sum_{j=1} p_1 a_{oej} \frac{t_{\pi j}}{T_{obj}} + \sum_{\gamma} p_1 a_{oe\gamma} \frac{t_{\eta\gamma}}{T_{oe\gamma}}, \quad (9)$$

სადაც:  $\Pi_n$  – ციკლური მწარმოებლურობა.

გაშლილი სახით გვექნება:

$$E = \sum_{i=1} g_{ii} B_i V^{m_i - 1} + \sum_{i=1} g_{ui} \frac{R_i}{T_i A_i V} + (1 + \eta) p \chi \left( \frac{R}{V} + \tau \right) + \frac{Q}{MN_n} + \sum_{j=1} p_1 a_{oej} \times \\ \times \frac{t_{\tau ij}}{T_{oej}} + \sum_{\gamma} \frac{p_1 \tau_{*1\gamma} a_{ie\gamma}}{T_{oe\gamma}} + \sum_{\gamma} \frac{p_1 a_{op\gamma} K_{\tau^* \gamma}}{T_{oe\gamma} V}, \quad (10)$$

სადაც:

$$N_n = \frac{V}{R + \tau V + \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}} + V \sum_q \frac{t_{\pi q} \cdot a_{oej}}{T_{oej}} + V \sum_j \frac{\tau_{*1\gamma} a_{oe\gamma}}{T_{oej}} + V \sum_{\gamma} \frac{K_{\tau^* \gamma} a_{oe\gamma}}{T_{oe\gamma} V}}, \quad (11)$$

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

შემდგომი ამოცანაა  $V$  სიჩქარის მნიშვნელობის მოძიება, რომელიც განისაზღვრება განტოლების

$$\frac{\partial E}{\partial V} = 0 \quad (12)$$

ამოხსნებიდან.

ზოგადი მიდგომით ავტომატიზებული მოწყობილობების (ჩარხი – ავტომატების და ავტომატური ხაზების) მწარმოებლურობა განისაზღვრება დამოკიდებულებით.

$$Q_{\pi} = \frac{1}{T_u + \sum_i^m t_{ui} + \sum_j^n t_{0Bj}}, \frac{\text{დპბ}}{\text{წთ}} \quad (13)$$

სადაც:  $T_u$  – მუშა ციკლის ხანგრძლიობა;  $\sum t_u + \sum t_{ob}$  – 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 გამოსახება დამოკიდებულებით:

$$Q_{\pi} = K_g \Pi_u, \quad (14)$$

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

$$K_r = \frac{1}{1 + \frac{1}{T_u} + \sum_i^n t_u + \frac{1}{T_u} \sum_q^m t_{0B}}. \quad (15)$$

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

ნაშრომში აგრეთვე მოყვანილია ავტომატური ხაზების მწარმოებლურობის გათვლის ორიგინალური მეთოდოლოგია.

ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულებიდან გამომდინარე გაშლილი სახით შეგვიძლია ჩავწეროთ:

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

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

ანდა გამსხვილებულად:

$$E = \frac{L_1}{V} + L_2 + \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{M} a_i + g_{ii} \right) B_i V^{m_i - 1}, \quad (16)$$

სადაც:

$$L_1 = \frac{Q}{M} + (1+\eta) p \chi R + \sum_{i=1}^n g_{ui} \frac{R_i}{T_i A_i} + \left( \frac{Q}{M} + p \right) \sum_{\gamma} \frac{a_{op\gamma} K_{\tau*\gamma}}{T_{o\gamma}}; \quad (17)$$

$$L_2 = \frac{Q \Sigma}{M} + (1+\eta) p \chi R + \left( \frac{Q}{M} + p \right) \left( \sum_{\gamma} \frac{\tau_{\omega q} a_{o\gamma j}}{T_{o\gamma j}} + \sum_{\gamma} \frac{\tau_{\tau*\gamma} a_{o\gamma}}{T_{o\gamma}} \right). \quad (18)$$

$V$  სიჩქარის ოპტიმალური მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის გადავდივართ დამოკიდებულებაზე:

$$\frac{\partial E}{\partial V} = -L_1 \frac{1}{V^2} + \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{M} a_i + g_{ii} \right) \left( \frac{1}{m_i} - 1 \right) B_i V^{m_i - 2}. \quad (19)$$

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

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{Q}{M} a_i + a_{ii} \right) B_i \left( \frac{1}{m_i} - 1 \right) V^{\frac{1}{m_i}} = L_1. \quad (20)$$

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

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

დახმარებით გადავდივართ კონკრეტული ოპერაციების სიჩქარეთა მნიშვნელობებზე.

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

მიღებული მეთოდოლოგიის პრაქტიკული რეალიზაციის თვალსაზრისით ნაშრომში განხილულია დეტალის დამუშავების ავტომატზე, რომელზედაც ხორციელდება 6 სხვადასხვა სახის ოპერაცია.

ნაშრომში მოცემულია გაანგარიშებების ჩატარებისათვის ყველა საჭირო მონაცემები. განსაზღვრული იქნა  $V$  სიჩქარის მნიშვნელობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ დამუშავების მინიმალურ თვითღირებულებას შესაბამისად ერთსმენიან, ორსმენიან და სამსმენიან მუშაობისას.

შემდგომში განიხილებიან ჩარხების და რობოტექნიკური სისტემების კინემატიკურ ჯაჭვებში ფართო გამოყენებულ ამძრავთა მოთვალთვალე ელექტრომექანიკურ სისტემების კვლევებთან დაკავშირებული ამოცანები. ამ სისტემათა ხარისხობრივი მაჩვენებლები მნიშვნელოვან ზემოქმედებას ახდენენ საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების მუშაობის ეფექტურობაზე.

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

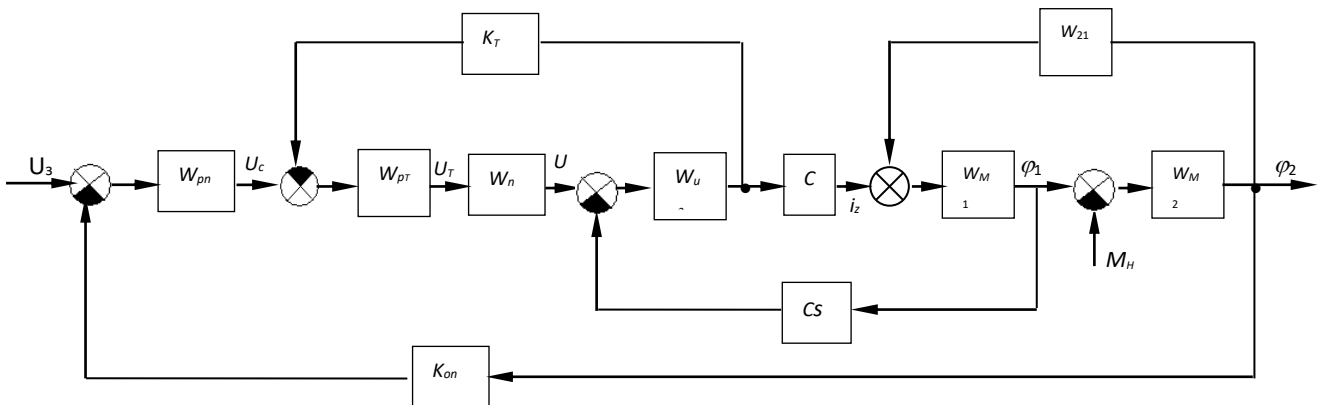
ნახ. 1 მოყვანილია ამძრავის მექანიკურ ნაწილში დრეკადკავშირებიანი ელექტრომექანიკური სისტემის ერთ–ერთ შესაძლო სტრუქტურული სქემა, რომელიც ხასიათდება იმით, რომ სისტემის სტრუქტურაში არსებობენ მიმდევრობითი მაკორექტირებელი რგოლები მდებარეობენ  $\Pi$  – რეგულატორის და დენის კონტურის  $\Pi\Pi$  – რეგულატორის სახით.

უკანასკნელთა გადამცემი ფუნქციები აღნიშნულნი არიან სიმბოლოებით  $W_{pn}$  და  $W_{pr}$ .

განვიხილოთ გარდამავალი პროცესების ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუმჯობესების საკითხი სისტემის სტრუქტურაში პარალელური

მაკორექტირებელი უკუკავშირების შემოტანით მოდალური მართვის თეორიის შესაბამისად.

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



ნახ. 1. სისტემის სტრუქტურული სქემა.

განხილვადი სისტემის დინამიკა პარალელური უკუკავშირების და მდებარეობის  $\Pi$  – რეგულატორის გათვალისწინებით აღიწერება განტოლებებით

$$u_c = K_{pn} \varepsilon_{np}; \quad (21)$$

$$\varepsilon_{np} = u_3 - K_{on} \phi_2 - g(t); \quad (22)$$

$$T_{pc} \dot{u}_T = K_{pT} T_{pT} \dot{\varepsilon}_T - K_{pT} \varepsilon_T; \quad (23)$$

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

$$T_n \dot{u} + u = K_u u_T; \quad (24)$$

$$T_a \frac{di_a}{dt} + i_a = \frac{1}{R_a} u - \frac{c}{R_a} \dot{\phi} = K_a u - K_a c \dot{\phi}; \quad (25)$$

$$I_1 \ddot{\phi}_1 + b_{\phi 1} \dot{\phi}_1 + c_{12} \phi_1 = C i_a + b_{12} \dot{\phi}_2 + c_{12} \phi_2; \quad (26)$$

$$I_2 \ddot{\phi}_2 + b_{\phi 2} \dot{\phi}_2 + c_{12} \phi_2 = -M_H + b_{12} \dot{\phi}_1 + c_{12} \phi_1, \quad (27)$$



სადაც:

$$g(t) = \beta_1 s \varphi_2 + \beta_2 s \varphi_1 + \beta_3 \Delta \varphi_n + \beta_4 i_r + \beta_5 u + \beta_6 u_T. \quad (28)$$

შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$W_{np1}(s) = \frac{\varphi(s)}{U_n(s)} = W_{KT}(s) C W_M(s), \quad (29)$$

სადაც:

$$W_M(s) = \frac{W_{M_1}(s) W_{M_2}(s)}{1 - W_{M_1}(s) W_{M_2}(s) W_{12}(s)}, \quad (30)$$

$$W_{M_1}(s) = \frac{1}{I_1 s^2 + b_{12} s + c_{12}}, \quad (31)$$

$$W_{M_2}(s) = \frac{b_{12} s + c_{12}}{I_1 s^2 + b_{12} s + c_{12}}, \quad (32)$$

$$W_{21}(s) = b_{12} s + c_{12}. \quad (33)$$

$I_1$  და  $I_2$  – ინერციის მომენტები,  $b_{12}$  და  $c_{12}$  – შესაბამისად დისიპაციური და სიხისტის კოეფიციენტები,  $\varphi_1$  და  $\varphi_2$  – კუთხური კოორდინატები მექანიკური ნაწილის ორმასიან დინამიკურ მოდელში.

უკანასკნელი დამოკიდებულებების გათვალისწინებით გვაქვს:

$$W_M(s) = \frac{b_{12} s + c_{12}}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2},$$

$$W_{np1}(s) = \frac{K_{IT} C (b_{12} s + c_{12})}{A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2},$$

სადაც:

$$a_4 = I_1 I_2;$$

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

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

$$A_5 = 2\pi a_4;$$

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

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

$$A_2 = 2a_2.$$

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

შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$i_*(s) = \frac{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} \varphi_{2*}(s) ; \quad (34)$$

$$\Delta\varphi_*(s) = \frac{I_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} \varphi_{2*}(s) , \quad (35)$$

$$\dot{\varphi}_{1*}(s) = \frac{I_2 s^2 + b_{12} s + c_{12}}{b_{12} s + c_{12}} \varphi_{2*}(s) . \quad (36)$$

დამოკიდებულებების (33)-(36) გამოყენებით დენის ჩაკეტილი კონტური შესასვლელზე გაგზავნილი დამატებითი მაკორექტირებელი ზემოქმედება  $q(s)$  გამოისახება დამოკიდებულებით

$$g(s) = q_1(s) + q_2(s) , \quad (37)$$

სადაც:

$$g_1(s) = \left[ K_i \frac{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} + K_{\Delta\varphi} \frac{I_2 s^2}{b_{12} s + c_{12}} + K_{\dot{\varphi}_1} \frac{I_2 s^2 + b_{12} s + c_{12}}{b_{12} s + c_{12}} \right] \varphi_{2*} , \quad (38)$$

$$g_2(s) = K_{\dot{\varphi}_2} s \varphi_{2*} , \quad (39)$$

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

ჩავწეროთ:

$$W_I(s) = \frac{W_{np1}}{1 + W_{n1} q_1(s)} = \frac{K_{\pi} C (b_{12} s + c_{12})}{D_5 s^5 + D_4 s^4 + D_3 s^3 + D_2 s^2 + D_1 s} ; \quad (40)$$

$$\begin{aligned} W_{II}(s) &= \frac{W_I}{1 + W_I K_{\dot{\varphi}_2} s} = \frac{K_{\pi} C (b_{12} s + c_{12})}{N_1(s)} = \\ &= \frac{K_{\pi} C (b_{12} s + c_{12})}{(D_5 s^5 + D_4 s^4 + D_3 s^3 + D_2 s^2 + D_1 s) + K_{\pi} C (b_{12} s + c_{12}) s} , \end{aligned} \quad (41)$$

სადაც:  $D_5 = A_5$

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

$$D_3 = A_3 + K_{\tau T} (K_i a_3 + K_{\phi_1} I_2)$$

$$D_2 = A_2 + K_{\tau T} (K_i a_a + K_{\Delta\phi} I_2 + K_{\phi_1} b_{12})$$

$$D_1 = K_{\tau T} K_{\phi_2} C_{12}.$$

მთლიანი სისტემის გადამცემი ფუნქცია ჩაიწერება ასე:

$$W_0(s) = \frac{W_{pn}(s)W_{II}(s)}{1 + W_{II}(s)W_{pn}(s)} = \frac{M(s)}{N(s)}, \quad (42)$$

სადაც, როდესაც  $W_{pn}(s) = K_n$

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

$$\begin{aligned} N(s) = N_1(s) + K_n K_{\tau T}^* (b_{12}s + c_{12}) = & A_5 s^5 + [A_4 + K_i K_{\tau T}^* a_4] s^4 + \\ & + [A_3 + K_i K_{\tau T} a_3 + K_{\phi_1} K_{\tau T}^* I_2] s^3 + [A_2 + K_{\tau T}^* (K_i a_2 + K_{\Delta\phi} I_2 + K_{\phi_1} b_{12}) + \\ & + K_{\tau T}^* b_{12}] s^2 + K_{\tau T}^* K_n C_{12}, \end{aligned} \quad (43)$$

და  $K_{\tau T}^* = K_{\tau T} C$ .

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

ჩვენი მახასიათებელი განტოლება (43) მიიღებს სახეს

$$N_*(s) = s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2 + A_1 s + A_0, \quad (44)$$

სადაც:

$$A_{4*} = \frac{1}{A_5} [A_4 + K_i K_{\tau T}^* a_4], \quad (45)$$

$$A_{3*} = \frac{1}{A_5} [A_3 + K_i K_{\tau T}^* a_3 + K_{\phi_1} K_{\tau T}^* I_2], \quad (46)$$

$$A_{2*} = \frac{1}{A_5} [A_2 + K_{\tau T}^* (K_i a_2 + K_{\Delta\phi} I_2 + K_{\phi_1} b_{12}) K_{\tau T}^* b_{12}], \quad (47)$$

$$A_{1*} = \frac{1}{A_5} [K_{\phi_1} K_{\tau T}^* C_{12} + K_{\phi_2} K_{\tau T}^* K_n b_{12}], \quad (48)$$

$$A_{0*} = \frac{1}{A_5} K_{\tau T}^* K_n c_{12} . \quad (49)$$

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

$$K_B = \frac{t_{H2}}{t_{H2*}} . \quad (50)$$

ასეთ შემთხვევაში სასურველი კოეფიციენტები სინთეზირებადი სისტემის მახასიათებელ განტოლებაში გამოსახებიან ასე

$$A_{4\text{ჯ}} = K_B A'_4 ,$$

$$A_{3\text{ჯ}} = K_B^2 A'_3 ,$$

$$A_{2\text{ჯ}} = K_B^3 A'_2 ,$$

$$A_{1\text{ჯ}} = K_B^4 A'_1 ,$$

$$A_0 = K_B^5 .$$

II-რეგულატორის  $K_n$  და უკუკავშირების საძიებელი კოეფიციენტების მნიშვნელობები ამოიხსნებიან ტოლობებიდან

$$A_4 + K_i K_{\tau T}^* a_4 = A_5 A_{4\text{ჯ}} , \quad (51)$$

$$A_3 + K_i K_{\tau T}^* a_3 + K_{\phi_1} K_{\tau T}^* = A_5 A_{3\text{ჯ}} , \quad (52)$$

$$A_2 + K_{\tau T}^* (K_i a_3 + K_{\Delta\phi} I_2 + K_{\phi_1} b_{12}) + K_{\tau T} b_{12} = A_5 A_{2\text{ჯ}} , \quad (53)$$

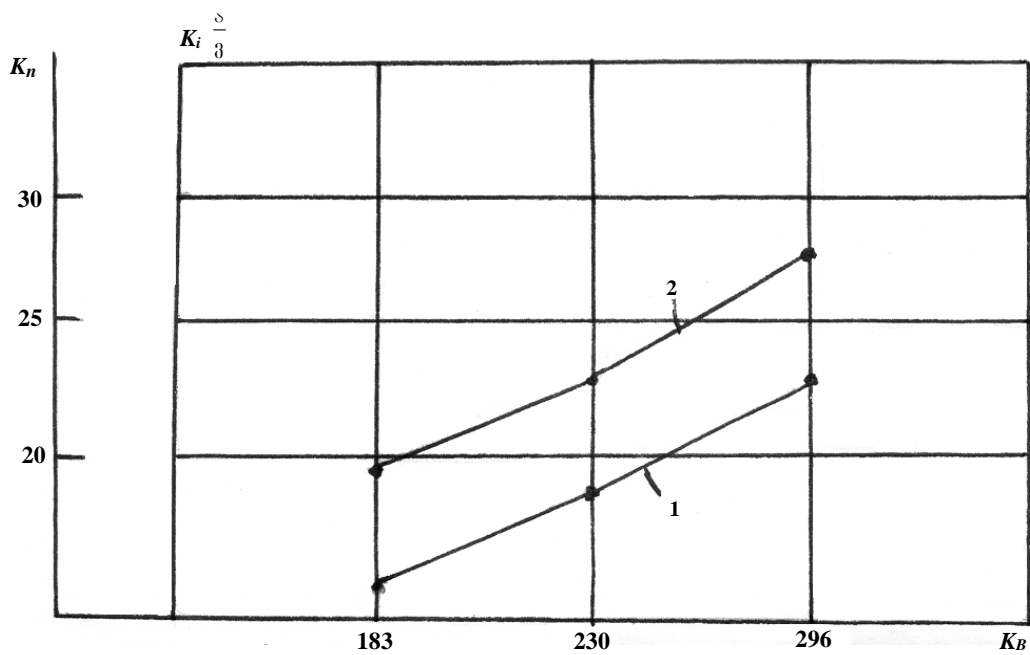
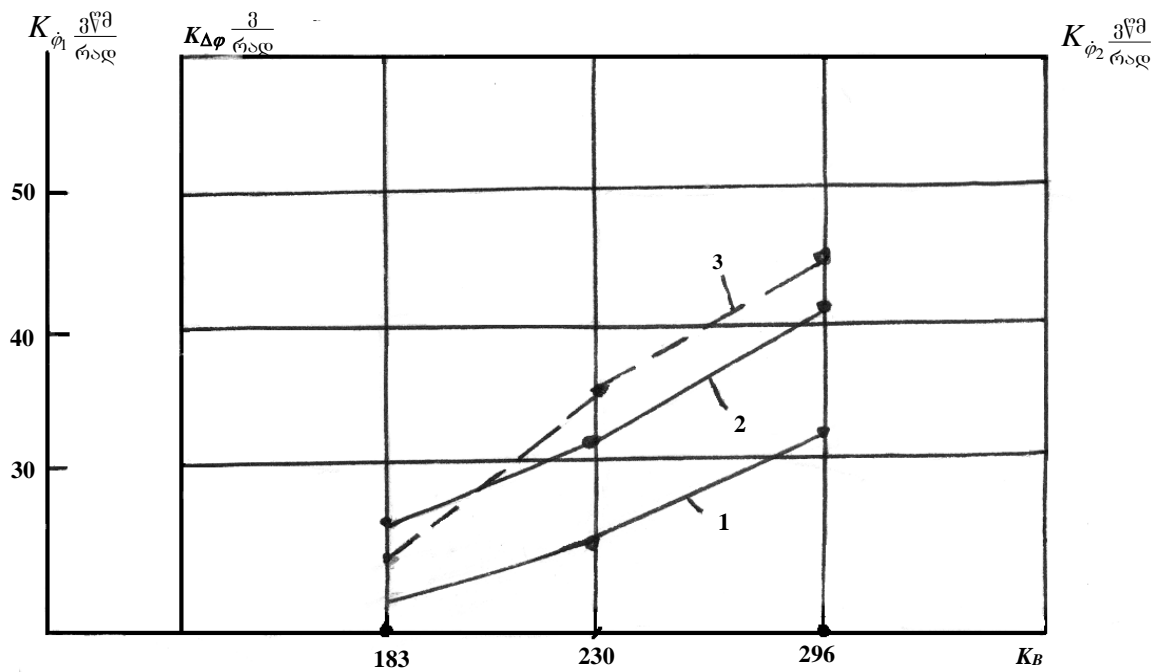
$$K_{\phi_1} K_{\tau T}^* c_{12} + K_{\phi_2} K_{\tau T} c_{12} + K_{\tau T}^* K_n = A_5 A_{1\text{ჯ}} , \quad (54)$$

$$K_{\tau T}^* K_n c_{12} = A_5 A_{0\text{ჯ}} . \quad (55)$$

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

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

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



ნახ. 2. სინთეზის შედეგად მიღებული დამოკიდებულებები:

ა) 1 –  $K_{\phi}(K_B)$ ; 2 –  $K_{\Delta\phi}(K_B)$ ; 3 –  $K_{\phi_2}(K_B)$

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

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

ჩატარებული საანგარიშო კვლევების შედეგად ნახ. 2 მოყვანილია სინთეზირებული პარამეტრების მნიშვნელობები ფუნქციონალურ კავშირში  $K_B$  კოეფიციენტებთან და საგნობრივი სიხშირული მახასიათებლების გამოყენებით აგებული იქნა გარდამავალი პროცესების მრუდები.

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

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

თანახმად ზემოთ მოყვანილი სტრუქტურული ორმასიანი მექანიკური ნაწილი შემსრულებელ ძრავასთან ერთად აღიწერება განტოლებათა სისტემით:

$$I_1 \ddot{\phi}_1 + b_1 \dot{\phi}_1 + b_{12}(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) + c_{12}(\phi_1 - \phi_2) = C_{in} - M_{H1}; \quad (56)$$

$$I_2 \ddot{\phi}_2 + b_2 \dot{\phi}_2 + b_{12}(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) - c_{12}(\phi_1 - \phi_2) = -M_{H2}; \quad (57)$$

$$L_{\pi} \frac{d_{in}}{dt} + R_{in} = U_{\pi} - C \dot{\phi}_1. \quad (58)$$

განტოლებათა სისტემას გარდაქმნის სახით:

$$I_1 \ddot{\phi}_1 + b_1 \dot{\phi}_1 + b_{12} \Delta \dot{\phi} + c_{12} \Delta \phi = C_{in} - M_{H1}, \quad (59)$$

$$I_2 \ddot{\phi} + -I_2 \Delta \ddot{\phi}_1 + b_2 \dot{\phi}_1 - b_2 \Delta \dot{\phi} - b_{12} \Delta \dot{\phi} - c_{12} \Delta \phi = M_{H2}. \quad (60)$$

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

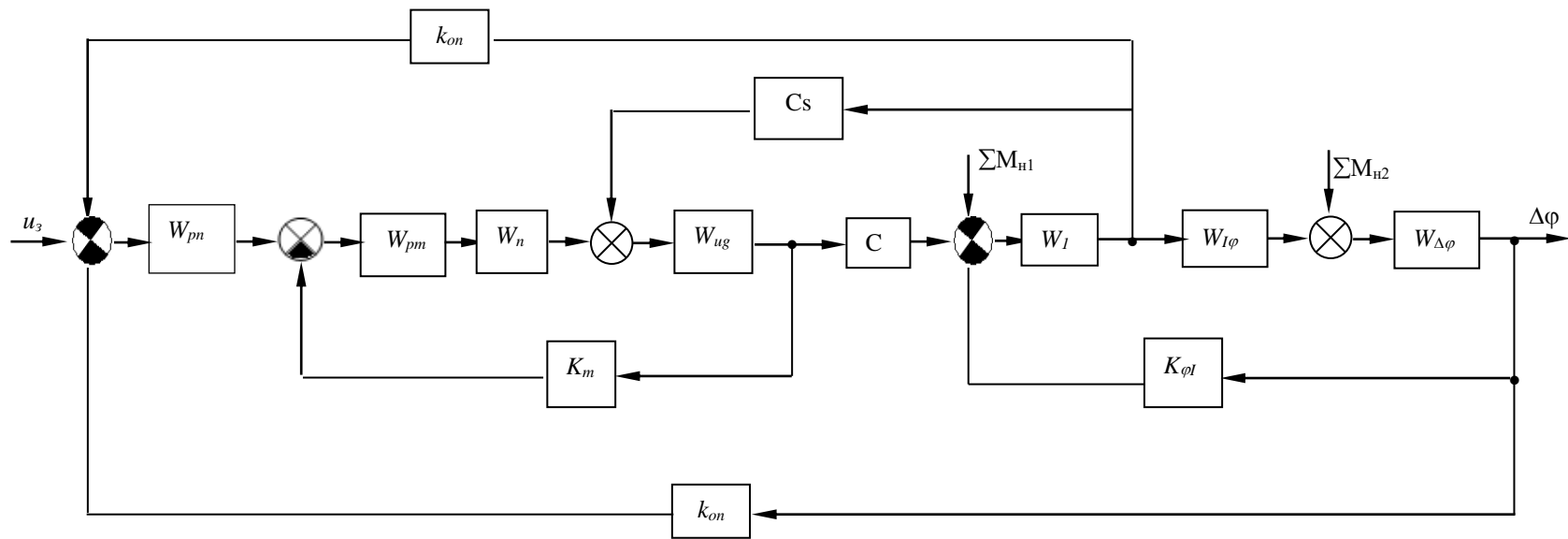
განტოლებათა შეჯამებით შეგვიძლია გადავიდეთ სისტემაზე

$$(I_1 + I_2) \ddot{\phi}_1 + (b_1 + b_2) \dot{\phi}_1 = C_{in} + I_2 \Delta \ddot{\phi} + b_2 \Delta \dot{\phi} - M_{H1} - M_{H2}; \quad (61)$$

$$I_2 \Delta \ddot{\phi} + (b_1 + b_{12}) \Delta \dot{\phi} + c_{12} \Delta \phi = I_2 \ddot{\phi}_1 + (b_1 + b_2) \Delta \dot{\phi} + M_{H0}. \quad (62)$$

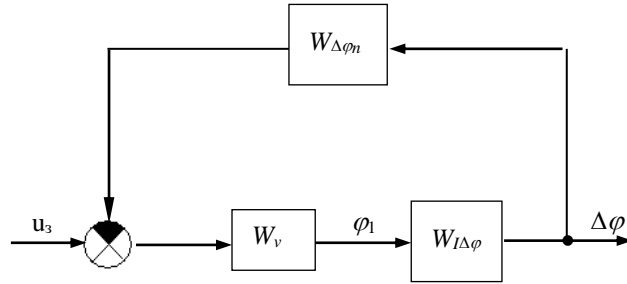
აღნიშნულის თანახმად გადავდივართ სტრუქტურულ სქემაზე (ნახ.3).

გარდაქმნების მეშვეობით დავდივართ ორკონტურიან სისტემაზე, რომელიც გამსხვილებული სახით მოყვანილია ნახ. 4. იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ვიხილავთ მარტო მმართველ ზემოქმედებას. ნახაზზე შიგა კონტურის სისტემად წარმოდგენილი  $K_{om}$  უკუკავშირით შემორტყმული გადამცემი ფუნქცია  $W_{vp}$ .



ნახ.3. სისტემის სტრუქტურული სქემა





ნახ. 4. გამსხვილებული სტრუქტურული სქემა

სინთეზის შემდგომი ამოცანა იგება სქემით: შიგა კონტურის ოპტიმიზაციური სინთეზი სასურველი პროცესის ვარიაციით  $z_m$  კოეფიციენტის მეშვეობით.

აღნიშნულთან დაკავშირებით საძიებელი პარამეტრებია:

$$K_n, K_{n^*}, K_{p\phi}.$$

და თავის მხრივ

$$W_v = \frac{cK_{km}K_{n^*} + cK_{km}K_n s}{(a_3 s^4 + a_2 s^3 + a_1 s^2) + K_n cK_{km}K_{on} s + K_{n^*} cK_{km}K_{on}}. \quad (63)$$

გამოსახულება (70)-ის გამოყენებით გადავდივართ სისტემის სინთეზის ამოცანაზე მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების აპარატის გამოყენებით.

ამასთან დაკავშირებით მოცემულ სასურველ პროცესთან  $\phi_{2^*}(t)$  შესაბამისად ვწერთ საწყის მიახლოვებით ტოლობას  $\phi_1(t)$  რეგულირებადი და  $\phi_{2^*}(t)$  სასურველ კოორდინატთა შორის, რომელიც ლაპლასის გარდაქმნებში მიიღებს სახეს:

$$\phi_1(s) \approx \phi_{1^*}(z_m s) = \frac{M(z_m s)}{N(z_m s)} u_1(s), \quad (64)$$

სადაც:  $M$  და  $N$  – შესაბამისად წარმოადგენენ სასურველი კოორდინატის გამოსახულების მრიცხველსა და მნიშვნელს;  $z_m$  – სასურველი პროცესის ვარიაციის განხორციელებისათვის საჭირო დროის მასშტაბური კოეფიციენტი.

დამოკიდებულების (64) გამოყენებით ვწერთ:

$$\begin{aligned}
& [K_{\phi\Sigma}s^2 + K_n c K_{km} K_{on} + K_{n^*} c K_{km} K_{on} + B_1(s)] M_*(z_m, s) = \\
& = (K_{n^*} K_{km} c + K_n K_{km} c s) N_*(z_m, s) .
\end{aligned} \tag{65}$$

უკანასკნელიდან გადავდივართ დამოკიდებულებაზე

$$\Phi_1(z_m, s) K_{\phi\Sigma} + \Phi_2(z_m, s) K_n + \Phi_3(z_m, s) K_{n^*} = \Phi_0(z_m, s) , \tag{66}$$

სადაც:

$$\begin{aligned}
\Phi_1 &= M_* s^2 ; \\
\Phi_2 &= (c K_{km} K_{on} M_* - K_{km} c) s N_*(z_m, s) ; \\
\Phi_3 &= c K_{km} K_{on} M_* - K_{km} c N_* ; \\
\Phi_0 &= (a_3 s^4 + a_2 s^3 + b_{1\Sigma} s^2) M_* ; \\
B_1 &= a_3 s^4 + a_2 s^3 + b_{1\Sigma} s^2 .
\end{aligned}$$

მიღებული დამოკიდებულების (66) თანახმად ვწერთ აპროქსიმაციათა  $l$  კვანძების  $\delta = \delta_v$  ( $\delta_v$  იღებს დადებით საგნობრივ მნიშვნელობებს) მიმართ პირობით განტოლებათა სისტემას

$$\begin{aligned}
\Phi_1(\delta_v) K_{\phi\Sigma} + \Phi_2(\delta_v) K_n + \Phi_3(\delta_v) K_{n^*} &= \Phi_0(\delta_v) , \\
v &= 1, 2, \dots, l .
\end{aligned} \tag{67}$$

ასეთი მიდგომით მიღებულ განტოლებათა სისტემას ვამუშავებთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდით საძიებელი პარამეტრების მიმართ, რაც გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ მათი მნიშვნელობები.

შემდგომი ამოცანაა რხევითი მდგენელის სინთეზი. ამ მიზნით ვწერთ მთლიანი სისტემის გადამცემ ფუნქციას.

და ვწერთ სისტემის მახასიათებელ განტოლებას:

$$\begin{aligned}
& (A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2) + (K_{km} c I_2 I_{\phi_1}) s^3 + K_{km} c (K_{\Delta\phi} I_2 + K_{\phi_1} b_{12} + \\
& + K_{\phi_2} b_{12}) s^2 + [K_{km} c (K_{\phi_1} c_{12} + K_{\phi_2} c_{12}) + K_n k_{on} K_{\tau T} b_{12}] s + K_n k_{on} K_{\tau T} c C_{12} = 0 ,
\end{aligned} \tag{68}$$

ანდა გამსხვილებულად:

$$A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_{3^*} s^3 + A_{2^*} s^2 + A_{1^*} s + A_{0^*} - K_{\tau T} c I_2 I_{\phi_2} s^3 + K_{\tau T} c I_2 K_{\Delta\phi} s^2 = 0 . \tag{69}$$

გადავდივართ მახასიათებელი განტოლების წარმოსახვით და ნამდვილ მდგენელებზე:

$$A_5(a_{s5} + jb_{s5}) + A_4(a_{s4} + jb_{s4}) + A_3^*(a_{s3} + jb_{s3}) + A_2^*(a_{s2} + jb_{s2}) + A_1^*(\varepsilon + j\omega) + A_0^* - K_{\tau T} c I_2 K_{\phi 2} (a_{s3} + jb_{s3}) + K_{\tau T} c I_2 K_{\Delta\phi} (a_{s2} + jb_{s2}) = 0.$$

$$A_5 a_{s5} + A_4 a_{s4} + A_3^* a_{s3} + A_2^* a_{s2} + A_1^* \varepsilon + A_0^* + K_{\tau T} c I_2 K_{\Delta\phi} a_{s2} + K_{\tau T} c I_2 K_{\phi 2} a_{s3} = 0; \quad (70)$$

$$A_5 b_{s5} + A_4 b_{s4} + A_3^* b_{s3} + A_2^* b_{s2} + A_1^* \omega + K_{\tau T} c I_2 K_{\Delta\phi} b_{s2} - K_{\tau T} c I_2 K_{\phi 2} b_{s3} = 0. \quad (71)$$

მივიღეთ ორი განტოლება ორი უცნობით  $K_{\Delta\phi}$  და  $K_{\phi 2}$ .

სინთეზის ამოცანის გადაჭრისათვის შემოგვაქვს  $z_m$ -ის,  $\omega$ -ს და  $\varepsilon$ -ის მნიშვნელობები და ვსაზღვრავთ სინთეზირებადი პარამეტრების მნიშვნელობებს.

### დასკვნები

1. საჩარხო ტექნოლოგიურითანამედროვე სისტემების ტექნოლოგიური პროცესების ორგანიზაციის თავისებურებასა და სტრუქტურული აგების და შემდგომი განვითარების ტენდენციების მიმართ ჩატარებული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სტრუქტურული მრავალსახეობის ხარისხის ზრდასთან ერთად ფართოვდება ტექნოლოგიური მანქანების შემადგენლობა, სადაც წარმოიქმნებიან ახალი ქვესისტემები და იერარქიის სტრუქტურული დონეები. სისტემურიმიდგომითიზრდება ალტერნატიული ვარიანტების რაოდენობა, რომელიც ემსახურება ტექნოლოგიური მანქანების პროექტირების ერთიანი პროცესის გამოვლენას. შესაბამისად განისაზღვრება პროექტირების ამოცანები და მათი ამოხსნის შესაძლო მეთოდები.

ოპტიმიზაციური ამოცანების ამოხსნა პირდაპირ კავშირშია ისეთი მათემატიკურ კანონზომიერებების გამოყენებასთან, რომელიც აკავშირებს ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებს ტექნოლოგიური მოწყობილობის ტექნოლოგიურ, ექსპლუატაციურ და კონსტრუქციულმაჩვენებლებთან.

2. მწარმოებლურობის და ეკონომიკური ეფექტურობისკრიტერიუმების, საწარმოო პროცესების თვითღირებულების ხარისხობრივი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ უკანასკნელნიტექნოლოგიური სისტემის

საიმედოობასთან მნიშვნელოვან კავშირში იმყოფებიან, რომელიც თავის მხრივ განისაზღვრება მექანიზმებისა და მჭრელი იარაღების საიმედოობებით, საწარმოო ექსპლუატაციის პროცესში მათი ალბათობითი მაჩვენებლებით.

3. ურთიერთკავშირში მყოფი ეფექტურობის კრიტერიუმების ძირითადი კანონზომიერებების გაანალიზებით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ თუ ავტომატურ ხაზებთან და ჩარხ-ავტომატებთან მიმართებაში მნიშვნელოვნად აქტუალურია მრავალსაიარაღო დამუშავებასთან დაკავშირებული საკითხები, მაშინ ავტომატიზებული ტექნოლოგიური მანქანებისა და მანქანათა სისტემების ფართო სპექტრში ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატური რეგულირებისა და მართვის სისტემათა სტრუქტურული და კონსტრუქციული ოპტიმიზაციის ამოცანები, რომლებიც შემდგომ შეთანწყობაში პირდაპირ კავშირშია ამძრავთა ავტომატიზებული ამძრავების გაანგარიშების ოპტიმიზაციური მეთოდების გამოყენებასთან.
4. შემოთავაზებული მზადყოფნის კოეფიციენტის და საწარმოო პროცესის თვითღირებულების მათემატიკური საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემებისათვის, რომლებშიც გამოიყენება მჭრელი იარაღებისა და მექანიზმებისა და მოწყობილობების მწყობრიდან გამოსვლის მომენტებთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა.

დამოკიდებულებები გამოსახულნი არიან ცხად ფუნქციონალურ კავშირში დამუშავების რეჟიმებთან და წარმოადგენენ შემდგომი ოპტიმიზაციური გაანგარიშებების თეორიულ საფუძველს.

შემუშავებული მეთოდოლოგიის ეფექტურობის განსაზღვრის თვალსაზრისით ჩატარებული იქნა გარკვეული საწყისი პარამეტრების მქონე მრავალსაიარაღო პროცესის სარეალიზაციო ტექნოლოგიური სისტემის ვარირებადი მჭრელი იარაღების ტექნოლოგიური პარამეტრების და მექანიზმებისა და მოწყობილობების საექსპლუატაციო პარამეტრების ოპტიმიზაციური შერჩევის საანგარიშო პროცესურები,

მიმართული საწარმოო პროცესის თვითღირებულების გამოსახულების მინიმიზაციისაკენ.

გაანგარიშების შედეგებმა გვიჩვენეს ჩამოყალიბებული მეთოდოლოგიის პრაქტიკული სახის ეფექტურობა.

5. აღნიშნულთან დაკავშირებით მნიშვნელოვნად აქტუალურია გამოსაკვლევი ავტომატიზებული მანქანათა ტექნოლოგიური კომპლექსების, ამირავთა ავტომატიზებული სისტემების სტრუქტურული და კონსტრუქციული ამაღლების საკითხები, დინამიკური კვლევის მეთოდები და მეთოდიკები.

აღნიშნულია, რომ გამოსაკვლევი ავტომატური დაავტომატიზირებული ტექნოლოგიური სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური პარამეტრების სრულყოფა, ამ სისტემებში გამოყენებული მოთვალთვალე ამირავების მაღალი ტექნიკური მახასიათებლებითაა მნიშვნელოვნად განპირობებული.

როგორც ანალიზიდან ჩანს, გამოსაკვლევი მოთვალთვალე სისტემების შემდგომი სრულყოფა მოითხოვს სისტემათა ცალკეულ ელემენტებში მოქმედი მოვლენების უფრო ადეკვატურ გათვალისწინებას და ასევე სტრუქტურული და პარამეტრული სინთეზის ოპტიმიზაციური მეთოდების შემდგომ სრულყოფას.

6. ხარისხობრივი და რაოდენობრივი ანალიზის ცნობილი კვლევები გვიჩვენებს, რომ დინამიკური მოდელირებისა და კვლევის ეფექტურობის ამაღლება საჭიროა, მრავალმასიანი მექანიკური სისტემების დრეკადი კავშირების გაღრმავებული მიდგომებით. ეს უკანასკნელი კი თავის მხრივ დაკავშირებულია, მექანიკური ნაწილის მოდელირებისა და კვლევის მეთოდების შეთანწყობასთან, როგორც მთლიანი ელექტრომექანიკური სისტემის კვლევის საკითხებთან.

7. გამოსაკვლევი სისტემების ცალკეული ელემენტების შემუშავებული მათემატიკური მოდელებისა და მათი შეთანწყობის საკითხების გათვალისწინებით აგებულია მოთვალთვალე სისტემათა ძირითადი მათემატიკური მოდელები. მექანიკური ნაწილის მოდელირების საკითხის

გადაჭრისათვის გამოყენებულია აპროქსიმაციულ მოდელებზე გადასვლის ორიგინალური მეთოდოლოგია, რომელიც აგებულია წარმოსახვით სიხშირეთა მოდიფიცირებული მახასიათებლების გამოყენებაზე.

სტრუქტურული და პარამეტრული ოპტიმიზაციის შემდგომი ამოცანების ამოხსნის უზრუნველსაყოფად აგებულია საჩარხო მოთვალთვალე ამძრავთა სისტემების დინამიკის მათემატიკური მოდელები.

8. შემუშავებული მათემატიკური მოდელების და აგრეთვე ცნობილი კვლევების ანალიზი დინამიკური სინთეზის ძირითადი კრიტერიული პარამეტრების გამოვლენის თვალსაზრისით მიგვითითებს საკვლევი სისტემის სინთეზის თეორიის შემუშავების მიზანშეწონილობაზე მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდოლოგიების გამოყენების საფუძველზე შემოთავაზებულია სინთეზის გამოყენებითი მეთოდების აგების ორი სახის ზოგადი სქემები, რომლებიც მიმართულია ტექნიკური მაჩვენებლების ოპტიმიზაციისკენ.

პირველი სქემის თანახმად სინთეზირებადი პარამეტრების გამოვლენის მეთოდოლოგია აგებულია სისტემის კოორდინატთა მთლიანი დამკვირვებლობის პირობის შემცველი მოდალური მართვის ალგორითმენზე. სასურველი პროცესის მიღების თვალსაზრისით განხილვაში შემოტანილია საკვლევი სისტემის გადამცემი ფუნქციის მნიშვნელის პოლინომის ხარისხის მქონე ნორმირებული გადამცემი ფუნქციები და შემდგომ სინთეზის პროცედურების თვალსაზრისით სასურველი ნორმირებული და საკვლევი სისტემის გადამცემი ფუნქციების მახასიათებელი განტოლებების ცალკეული წევრების ტოლობის პირობიდან გამომდინარე განისაზღვრება სისტემის სინთეზირებად პარამეტრები.

9. მეორე სახის სინთეზის ზოგადი სქემა აგებულია საკვლევი და სასურველი პროცესების მიახლოებით ტოლობაზე. რომელიც განსახილველია

დინამიკური სისტემის სტრუქტურულ-პარამეტრული სინთეზის პრაქტიკული რეალიზაციისთვის. ცალკეული მდგენელების ჯამის სახითაგებულია რეგულირებადი და რეალიზაციისათვის სასურველი კოორდინატების მიახლოებითი ტოლობის მათემატიკური მოდელები და გამსხვილებული გარდაქმნილი სტრუქტურული სქემები, რომელშიც წრფივი მამრავლების სახით წარმოდგენილია განსახილველი სისტემის სინთეზირებადი პარამეტრები. რის საფუძველზეც ხორციელდება მრავალპარამეტრული სინთეზის მიმდევრობითი რეალიზაცია შემდეგი სქემით: გამოსაკვლევ პარამეტრებთან წრფივი და ნორმალური განტოლების სისტემების შედგენა და ასევე დინამიკური მდგრადობის შემოტანით, სასურველი კოორდინატების გამოსახულებაში არგუმენტების სახით არსებული დროის მასშტაბური კოეფიციენტების ვარიაციით.

10. ნაშრომში რეალიზებულია საკვლევი მოთვალთვალე სისტემის საანგარიშო გამოკვლევების გარკვეული წრე, რომელიც მიზნად ისახავს სინთეზის თეორიის გარკვეული კანონზომიერებისა და უტყუარობის გამოვლენას, რაც თავის მხრივ შემუშავებულია საკვლევი მრავალპროფილიანი სისტემების მთლიანი დამკვირვებლობის პირობიდან გამომდინარე, გარდამავალი პროცესების მიხედვით. გაანგარიშების შედეგებმა აჩვენეს, რომ შემუშავებული თეორია საშუალებას გვაძლევს ჩავატაროთ სინთეზირებადი პარამეტრების მიზანდასახული შერჩევა და მიღებული შედეგების რაოდენობრივი მაჩვენებლები ძლიან ახლოს არიან სასურველ პროცესებთან.

**დისერტაციის ძირითადი შინაარსი ასახულია შემდეგ პუბლიკაციებში:**

1. Чхолария Н.Н., Мchedlishvili Т.Ф., Иобадзе В.Ш., Гвინиашвили З.М., Кашибадзе М.В. К оптимизации производительности производственного процесса на многоинструментальных станках и станочных комплексах / Транспорт и машиностроение, № 3(31), Тбилиси, 2014, с. 80-86.

2. T. Mchedlishvili, V. Iobadze, M. Talakvadze, M. Kashibadze, Kh. Amkoladze. On analysis of Process efficiency on Cans-style Machines and Machine complexes at realization gutting Tools preventive change Process / Problems of Mechanical/ International Scientific Journal of IFToMM, Tbilisi, 2016, pp. 24-28.
3. T. Mchedlishvili, M. Kachibadze, V. Iobadze, Kh. Amkoladze, Z. Gviniashvili. To optimization of prime Cost Production Process on gang-type Machines and Work stations // Problems of Mechanics 2016, The International Scientific Conference on Mechanics 2016, Tbilisi, 2016, pp. 111-116.
4. T. Mhedlishvili, M. Kashibadze, T. Kapanadze, L. Marsagishvili, Kh. Amkoladze. To optimizarion synthesic of Follow-UP Drive with elastic in Mechanical Part || Proceodings Mechanics 2016. The International Scientific Confenerce on Mechanics, Tbilisi, 2016, pp. 105-110.
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. Мчедлишвили Т.Ф., Иобадзе В.Ш., Талаквадзе 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.
7. Мчедлишвили Т.Ф., Кашибадзе М.В., Тавадзе А.Т., Никвашвили Н.К. К вопросу параметрической оптимизации производственного процесса на многоинструментальных станках по критерию минимальной себестоимости // Транспорт и машиностроение. №3(43), Тбилиси, 2018, с. 12-17.



## Abstract

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

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

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

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

The scientific value of the work is:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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