

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი ზუბიაშვილი

მაკოპირებელი ჩარხის მოთვალთვალე ამპრავის  
ჰიდრომექანიკური სისტემის მოდელირება  
და დინამიკური გამოკვლევები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი  
2013 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის N 133 საწარმოო ტექნოლოგიური მანქანების და მექატრონიკის დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სრული პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

თ. მჭედლიშვილი

რეცენზენტები:

1. ტ.მ.დ., სრული პროფესორი

ბ. ბოქოლიშვილი

2. ტ.მ.კ., სსიპ რ. დვალის მანქანათა მექანიკის

ინსტიტუტის უფროსი მეცნ. თანამშრომელი

რ. ფარცხალაძე

დაცვა შედგება 2013 წლის "15" ივლისი , 14<sup>00</sup> საათზე

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

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 68ბ.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატის - სტუ-ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი  
სტუ-ს ასოცირებული პროფესორი

დავით ბუცხრიკიძე

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის განვითარების თანამედროვე ეტაპი მჭიდრო კავშირშია ეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვაზე დაფუძნებული წარმოების სრულყოფაზე და მუშების შრომის გამაუმჯობესებელი, შრომატევადი საწარმოო პროცესების მექანიზირებისა და ავტომატიზირებისათვის საჭირო მაღალმწარმოებლური მოწყობილობების შექმნაზე.

ტექნოლოგიურ პროცესებს, რომლებიც ხასიათდებიან მნიშვნელოვანი სირთულეებით, მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის ხარისხის ამაღლების მხრივ, განეკუთვნება თანამედროვე ტექნიკაში, კერძოდ საავეჯო წარმოებაში, გამოყენებული რთულპროფილიანი ზედაპირის მქონე დეტალების დამუშავება.

ცნობილია, რომ მექანიკური დამუშავებით დეტალების რთულპროფილიანი ზედაპირების ფორმაწარმოქმნას აქვს საკმაოდ ფართო ტექნოლოგიური გამოყენება. ამ მხრივ საკოპირე მექანიზმების, მრუდსაზობრივი (გაღუნული და მრუდწირულ-ფასონური) დეტალების მექანიკურად დასამუშავებელი ჩარხებისა და საჩარხო სისტემების შექმნა და შემდგომი სრულყოფა წარმოადგენს მნიშვნელოვან ფაქტორს.

თანამედროვე ავეჯის რთულპროფილიან ზედაპირის მქონე დეტალების დამუშავების მექანიზირებისა და ავტომატიზირებისაკენ სწრაფვამ მიგვიყვანა, მექანიკური კოპირების პირდაპირი მოქმედების და მთლიანი გარე დატვირთვის კოპირის ზედაპირზე პირდაპირი ზემოქმედების რიგი სპეციალიზირებული და საკოპირე-სახეხი სპეციალიზირებული ჩარხების შექმნის აუცილებლობასთან.

შემუშავებული და შემუშავებაში მყოფი საკოპირე ჩარხების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ:

- დღევანდელი დროისათვის შემუშავებული მიმყოლი მექანიზმების და საჩარხო სისტემების სტრუქტურული სქემების და კონსტრუქციების გარკვეული მრავალფეროვნების მიუხედავად შეიძლება შევსებულ იქნენ წარმოებების კონკრეტული სახეობებისთვის უფრო ეფექტური ახალი სქემებითა და კონსტრუქციული გადაწყვეტილებებით;

– ჩარხებში გამოყენებული მიმყოლი მექანიზმები განეკუთვნებიან რთულ არაწრფივ არასტაციონარულ დინამიკურ სისტემებს. დრეკად-დისიპაციური და არასტაციონარული კავშირები, დამახასიათებელი განსახილველი მიმყოლი მექანიზმების მექანიკური სისტემებისათვის, განპირობებული დრეკადი მახასიათებლებით და სისტემის ცალკეული რგოლების მდებარეობის არაწრფივი ფუნქციებით, ახდენენ მნიშვნელოვან გავლენას მათში მიმდინარე დინამიკურ პროცესებზე, რომლებიც თავის მხრივ, მთლიანობაში ბევრად განაპირობებენ საჩარხო სისტემების მუშაობის ტექნიკურ მახასიათებლებს.

განსახილველი მიმყოლი მექანიზმების დამუშავებისა და კვლევების სამუშაოების მიმოხილვა მიგვანიშნებს მათში მიმდინარე დინამიკური პროცესების ანალიზისა და სინთეზის მეთოდებისა და მეთოდიკების ეფექტურობის ამაღლების სამეცნიერო ტექნიკური ამოცანების აქტუალობაზე.

**ნაშრომის მიზანს** წარმოადგენს რთულპროფილიანი დეტალების დამამუშავებელი საჩარხო მოწყობილობების ფუნქციონალური შესაძლებლობების თვალსაზრისით ახალი უფრო სრულყოფილი სტრუქტურულად რთული მრავალგანზომილებიანი ჰიდრომექანიკური მოთვალთვალე მექანიზმების სქემების და მოდელების, დინამიკური კვლევის მეთოდებისა და მეთოდიკების შემუშავება, მიმართული განსახილველი მოწყობილობების პროექტირებისა და ექსპლუატაციის მაჩვენებლების ეფექტურობის ამაღლებისაკენ.

**დასახული მიზნის** მიღწევისთვის კვლევის ამოცანებში ჩართულია:

- რთულპროფილიანი დეტალების ხევისათვის განეკუთვნილი საჩარხო მოწყობილობების არსებული და მოდიფიცირებული სქემების, მათი აგებისა და დინამიკური კვლევის მეთოდების და მეთოდიკების ანალიზი;
- ავტომატიკის პნევმატური და ჰიდრაულიკური ელემენტებისა და სისტემების შემცველი პირდაპირი კოპირების მოდიფიცირებული სქემების მქონე საჩარხო მოწყობილობების შედარებითი ანალიზი და კვლევის ამოცანების ჩამოყალიბება;
- ჰიდრომექანიკური მოთვალთვალე სისტემის გამოყენება რთულპროფილიანი დეტალების ორკოორდინატიანი კოპირებით დამუშავებისათვის

გამიზნული როტორულ-სახეხი ჩარხის ფუნქციონალური და სტრუქტურული სქემების აგების საკითხების ანალიზი;

- ორკოორდინატიანი კოპირების საჩარხო სისტემის ელემენტების მოძრაობათა სტრუქტურული მოდელის შემუშავება;
- ჰიდროფიცირებულ როტორულ-სახეხ ჩარხში პნევმოცილინდრების დერძებისა და დასამუშავებელ ზედაპირთან კონტაქტის წერტილების, მმართველი რგოლისა და ჩარხის როტორის ფარდობით მოძრაობების ძირითადი კინემატიკური კანონზომიერებების განსაზღვრა რგოლთან ერთად როტორის წრიულ ბრუნვასა და დასამუშავებელი ნამზადის გრძივ მოძრაობებთან ურთიერთკავშირში;
- მთლიანი სისტემის დინამიკის მოდელში ჰიდრაულიკური ნაწილის მათემატიკური მოდელის ჩართვის სტრუქტურული საკითხის განხილვა და მოთვალთვალე სისტემების დინამიკის მათემატიკური მოდელის აგება;
- როგორც დაფიქსირებული, აგრეთვე მბრუნავი როტორიანი მოთვალთვალე სისტემის კვლევის მეთოდის შემუშავება;
- საკვლევი არაწრფივი არასტაციონალური ჰიდრომექანიკური მოთვალთვალე სისტემების პარამეტრული სინთეზის გამოყენებითი თეორიის შემუშავება, ამ თეორიის აპრობაცია კონკრეტული საწყისი არარეგულირებადპარამეტრებიან სისტემაზე და შემუშავებული თეორიის შესაძლებლობების ანალიზი.

**ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს:**

- ავეჯის მერქნული დეტალების ხეხვით დამუშავებისათვის გამიზნული ორკოორდინატიანი კოპირების ჰიდრომექანიკური მოთვალთვალე სისტემით აღჭურვილი ჩარხის შემუშავებულ ორიგინალურ სქემაში;
- აგების ორიგინალურ კანონზომიერებაში და შემოთავაზებული ჩარხის ჰიდრომექანიკური მოთვალთვალე სისტემის დინამიკის შემუშავებულ მოდელებში;
- დინამიკური კვლევების მიმართ გამოყენებულ ორიგინალურ მეთოდოლოგიურ მიდგომებში და კვლევის მიღებულ შედეგებში.

**ნაშრომის პრაქტიკულ ღირებულებას შეადგენენ:**

მაკოპირებელი ჩარხის შემოთავაზებული ორიგინალური სქემები, საკვლევი არაწრფივი არასტაციონარული რეგულირების სისტემების მათემატიკური მოდელები, კვლევის მეთოდები და მეთოდიკები, გამიზნული საკვლევი სისტემის პარამეტრების ოპტიმიზაციური შერჩევისაკენ.

**ნაშრომის აპრობაცია.** ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 90 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სრულენტიურ საერთაშორისო კონფერენციებზე.

**პუბლიკაციები.** დისერტაციის მასალები წარმოდგენილია 7 სამეცნიერო ნაშრომში და 1 გამოგონებასთან დაკავშირებულ ბიულეტენში.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავალის, ლიტერატურული მიმოხილვის, დასკვნებისა და განსჯისა და საერთო დასკვნებისაგან. წარმოდგენილია 130 გვერდზე, შეიცავს 29 ნახაზს და ლიტერატურის სიას 151 დასახელებით.

### **ნაშრომის ძირითადი შინაარსი**

**შესავალ ნაწილში** დასაბუთებულია სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალურობა.

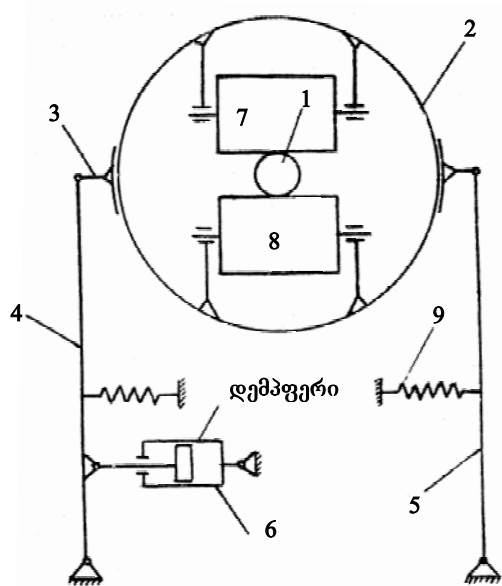
**თავი 1. ლიტერატურული მიმოხილვა.** ჩატარებულია რთულპროფილიანი ზედაპირების დამამუშავებელი ჩარხებისა და საჩარხო ხაზების აგებისა და კვლევის საკითხების თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზი.

გაანალიზებულია სხვადასხვა დანიშნულების რთულპროფილიანი დეტალების ფორმაწარმოქმნისათვის გამოყენებული მექანიკური დამამუშავების მეთოდების ჯგუფი.

ნაჩვენებია, რომ საავეჯო მრეწველობაში რთულპროფილიანი დეტალების დამამუშავებისათვის ფართო გამოყენება ჰპოვეს მაკოპირებელმა ჩარხებმა. ჩატარებულია არსებული ჩარხების სქემებისა და კონსტრუქციების ანალიზი, რომელთა შორის საჭიროა აღინიშნოს თბილისის ხის დამამუშავების მრეწველობის სამეცნიერო-კვლევითი

ინსტიტუტის მუშაკების საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მუშაკებთან ერთად შემუშავებული რთულპროფილიანი დეტალების დასამუშავებელი როტორულ-სახეხი ჩარხები და საჩარხო სისტემები, გამიზნული მბრუნავი ნამზადის დამუშავებისათვის მბრუნავი გასაბერი სახეხი პნევმოვილინდრებით.

ნახაზზე 1 მოყვანილია როტორულ-სახეხი მაკოპირებელი ჩარხის ერთ-ერთი ვარიანტი. ნახაზზე: 1 – დეტალი, რომელიც გადაადგილდება ნახაზის პერპენდიკულარული მიმართულებით, 2 და 6 მხრეულებიანი სახსროვანი პარალელოგრამის ბარბაცა 3-ზე დაყენებული ჩარხის როტორი; 7 და 8 – მბრუნავ როტორზე დამონტაჟებული და თავისი ღერძების მიმართ ბრუნვის ცალკე ამძრავის მქონე სახეხი პნევმოცილინდრები; 9 ზამბარების დანიშნულებაა მექანიზმის მოყვანა საწყის მდებარეობაში, დემპფერი 6 კი გამიზნულია მუშაობის პროცესში აღძრული რხევების ჩასახშობად. დეტალის მრუდწირული კონტურის ხეხვა უზრუნველყოფილია ბარბაცა 3-ის ქანაობით მხრეულებზე 4.



ნახ. 1

აღწერილი ჩარხი განპირობებულია ბრტყლად-გაღუნული რთულპროფილიანი დეტალების დასამუშავებლად ამ ჩარხის შემდგომ ფუნქციონალურ განვითარებას მიეკუთვნება ცვალებადკვეთიანი მრუდწირული ძელური დეტალების ორკოორდინატიანი მექანიკური მაკოპირებელი სისტემით აღჭურვილი ჩარხი.

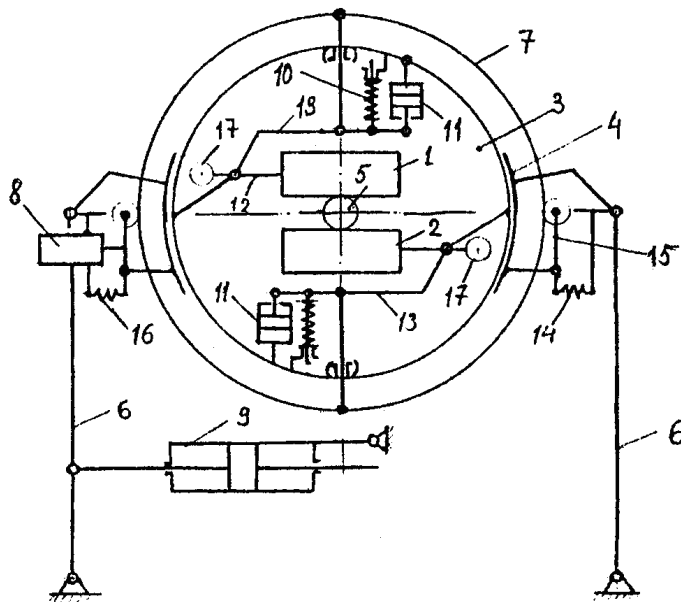
აღნიშნულია, რომ აღწერილი მაკოპირებელი ჩარხების ეფექტურობის შემდგომი ამაღლების თვალსაზრისი ერთ-ერთი პრიორიტეტული მიმართულებაა საჩარხო სისტემების აღჭურვა პნევმო- და ჰიდროსისტემებით.

მეორეს მხრივ კი მაკოპირებელი ჩარხების მოთვალთვალე მექანიზმები მოითხოვენ ოპტიმიზაციურ გამოთვლებს, მიმართულს მუშაობის ეფექტური სტატიკური და დინამიკური მახასიათებლების მიღებისაკენ. ამ მიზნით ჩატარებულია დინამიკური პროცესების შესწავლისა და მექანიზმების პროექტირების თანამედროვე მეთოდების მიმოხილვა. აღნიშნულია, რომ სტრუქტურულად რთული დინამიკური სისტემების, რომლებსაც მიეკუთვნებიან შემოთავაზებული მაკოპირებელი ჩარხების მოთვალთვალე სისტემები, კვლევის ერთ-ერთ ეფექტურ მეთოდს მიეკუთვნება რეგულირების სისტემების სინთეზის მეთოდი მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით.

**თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა.** პნევმო და ჰიდროსისტემებით აღჭურვილი მაკოპირებელი ჩარხების მაგალითებს წარმოადგენენ ცნობილი: ავტომატიკის პნევმატური ელემენტებით აღჭურვილი სახარატო ჩარხის ფარდობითი მოძრაობებზე აგებული პირდაპირი კოპირების სისტემა და ჰიდრაულიკური მოთვალთვალე ამძრავების გამოყენებაზე აგებული როტორულ-სახეხი ჩარხი, რომლის სქემა მოყვანილია ნახ. 2. აქ, როგორც ზემოთ მოყვანილ როტორულ-სახეხი ჩარხში, საბაზო ელემენტებს წარმოადგენენ მბრუნავი სახეხი პნევმოცილინდრები 1 და 2, თვით ჩარხის როტორი 7 და მხრეულისაგან შედგენილი სახსრული პარალელოგრამი. ძველი ჩარხისაგან განსხვავებით საკუთარი დერძების ირგვლივ მბრუნავი სახეხი პნევმოცილინდრები სახსრულადაა დაყენებული ჩარხის როტორზე და არიან დახამბარებულნი ზამბარებით 10, სახეხი პნევმოცილინდრები თავის მხრეულებთან ერთად გაწონასწორებულია საპირწონებით 17, დემპფერების 11 დანიშნულებაა დამუშავების პროცესში აღძრული რხევების ჩახშობა. ნამზადის პროფილის მიმართულებით სახეხი პნევმოცილინდრების მოთვალთვალე გადაადგილებები. ნახ. 1-ზე მოყვანილი ძველი ჩარხისაგან განსხვავებით 12 და 13 მხრეულებთან სახსრულად დაკავშირებული მოთვალთვალე რგოლის მეშვეობით გადაეცემიან ჩარხის როტორს არა პირდაპირ,



არამედ ჰიდრომექანიკური კინემატიკური კაჭკით, რომელიც შედგება ბერკეტიდან – 15, სახსრული პარალელოგრამის ბარბაცაზე დაყენებული მმართველი მოთვალთვალე მკვეთარისაგან – 8 და ჰიდროცილინდრისაგან – 9. ზამბარები 14 და 16 საჭიროა მმართველი რგოლის ჩარხის როტორის მიმართ საწყის მდებარეობაში დასაბრუნებლად.

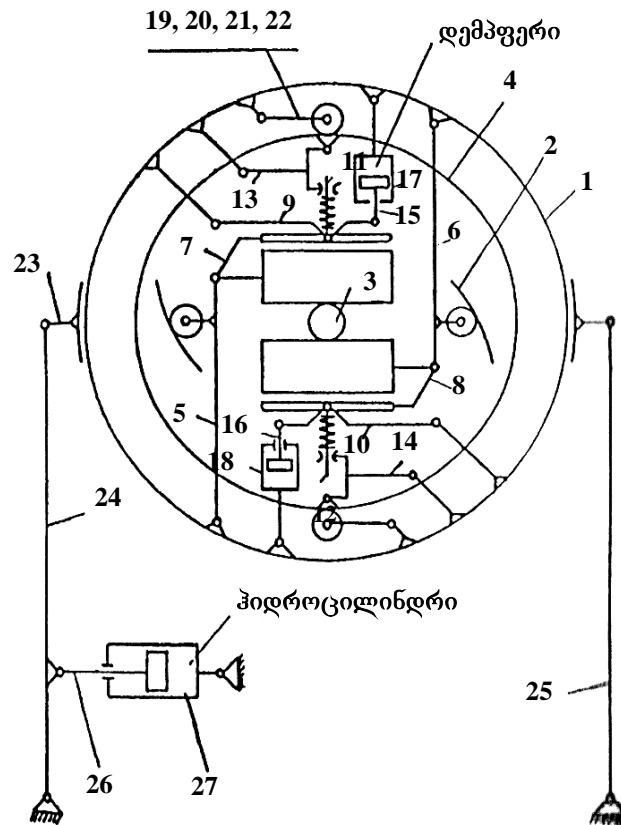


ნახ. 2

აღწერილი ჰიდროფიცირებული ჩარხის შემდგომი ფუნქციონალური და შესაბამისად სტრუქტურული სრულყოფის თვალსაზრისით ნაშრომში შემოთავაზებულია მრუდწირულ-ფასონური დეტალების ჰიდროფიცირებული როტორულ-სახეხი ჩარხი, რომლის სტრუქტურული სქემა მოყვანილია ნახ. 3..

ნახ. 3: 1 – საჩარხო როტორი, 2 – სახეხი პნევმოცილინდრების ღერძული გადაადგილებების მუშტა მექანიზმი, 5, 6 და სახეხი ცილინდრების მექანიზმის მხრეულები, 7, 8, 4 – სპეციალური რგოლი, რომელიც სახსრულად დაკიდულია ბერკეტული მექანიზმების მეშვეობით 13, 14, 19-22 ჩარხის როტორზე, 23 – მქნევარა, 24 და 25 – მქნევარები, რომლებზედაც სახსრულად დაკიდულია მქნევარა 23. რგოლი 4 ჰორიზონტალური მიმართულებით (23 მქნევარას სიბრტყის გასწვრივ) ზემოქმედებს ბერკეტული გადაცემის მეშვეობით მოთვალთვალე მკვეთარაზე, რომელიც დამაგრებულია მქნევარა 23-ზე. ეს მკვეთარების

სისტემა ზეთსადენების მეშვეობით დაკავშირებულია ჰიდრავლიკურ ცილინდრთან 27, რომელიც დგუმის კოჭით დაკავშირებულია მხრულთან 24. დემპფერი 17 და 18 განკუთვნილია სახეხი ცილინდრების მექანიზმის რხევების ჩასახშობად.

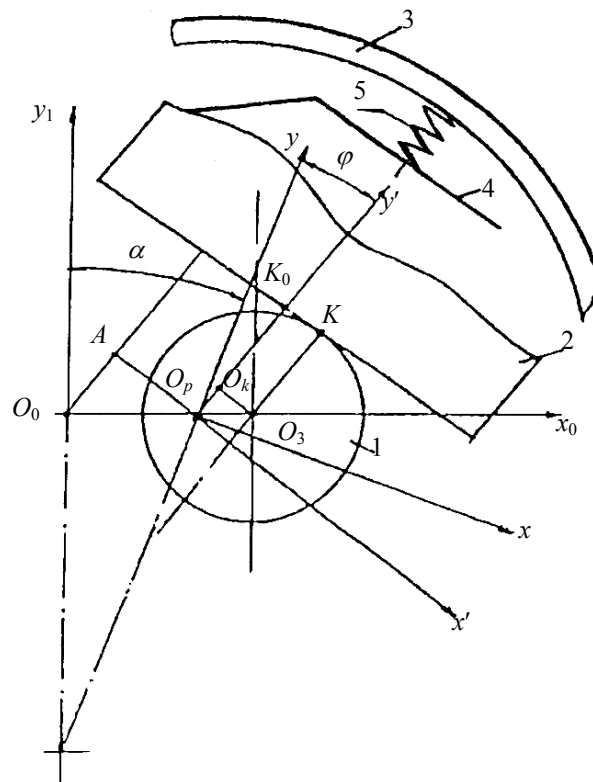


ნახ. 3

განხილული მოთვალთვალე სისტემის დინამიკის მათემატიკური მოდელის ასაგებად პირველ რიგში განვიხილავთ ჩარხის მუშა ორგანოების ფარდობითი მოძრაობების კინემატიკას მაკოპირებელი მოძრაობების რეალიზაციის პროცესში. ამასთან დაკავშირებით (ნახ. 4)-ზე წარმოდგენილია პნეუმოცილინდრების ფარდობითი მოძრაობების კინემატიკის სქემა, სიბრტყეში, რომელიც პერპენდიკულარულია ნამზადის ღერძული გადაადგილების ვექტორისა.

ნახ. 4: 1 – დასამუშავებელი ნამზადი, 2 – სახეხი პნეუმოცილინდრი; 3 – მოთვალთვალე რგოლი;  $O_p$  და  $O_s$  – ნამზადისა და როტორის ღერძების მიმდინარე მდებარეობები, რომლებიც ხასიათდება შესაბამისად  $X_p$  და  $X_s$  კოორდინატებით, უძრავ საკოორდინატო სისტემაში  $O_0x_0y_0z_0$ ,

$O_k$  – რგოლის ღერძის მიმდინარე მდებარეობა 3;  $\varphi$  – როტორის ბრუნვითი მოძრაობის კუთხური კოორდინატი;  $\alpha$  – როტორის დამჭერი მხრეულის მოქანავე მოძრაობის კუთხური კოორდინატი; 4 – მხრეული, რომელიც კინემატიკურად არის დაკავშირებული პნევმოცილინდრების რადიალურ გადაადგილებასთან (მხრეულები 7 და 8 ნახ. 1); 5 – ზამზარა, რომელიც დაყენებულია პნევმოცილინდრებსა და მოთვალთვალე რგოლს შორის კინემატიკურ ჯაჭვში.



ნახ. 4

მიმდინარე გადაადგილება პნევმოცილინდრის ნამზადთან კონტაქტის წერტილისა  $y'$  ღერძის მიმართულებით კოორდინატთა სისტემის მიმართ გამოისახება დამოკიდებულებით

$$y_k = x_k |\sin \varphi| + r_3, \quad (1)$$

სადაც  $x_k$  –  $K$  წერტილის კოორდინატაა, ხოლო  $r_3$  – ნამზადის კვეთის რადიუსი.

პნევმოცილინდრების ბრუნვის ცენტრების მდებარეობა გამოისახება შემდეგნაირად

$$y_{u1} = x_{31}|\sin \varphi| - x_p|\sin \varphi| + (R - \delta_1) \cos \gamma_1 + r_3(x_{k1}); \quad (2)$$

$$y_{u2} = x_{32}|\sin \varphi| - x_p|\sin \varphi| - (R - \delta_2) \cos \gamma_2 - r_3(x_{k2}), \quad (3)$$

სადაც  $\delta_1$  და  $\delta_2$  – შესაბამისად არის პირველი და მეორე პნევმოცილინდრების მიმდინარე დეფორმაციები;  $\gamma_1$  და  $\gamma_2$  მხრების დახრის კუთხეები პირველი და მეორე პნევმოცილინდრების  $K_1$  და  $K_2$  კონტაქტის წერტილებში;  $x_{31}$  და  $x_{32}$  – ნამზადის ღერძის კოორდინატები  $K_1$  და  $K_2$  კონტაქტის წერტილებში;  $y_{u1}$  და  $y_{u2}$  – პნევმოცილინდრების ბრუნვის ცენტრების კოორდინატები;  $R$  – პნევმოცილინდრის დიამეტრი აქ  $x_{31}$  და  $x_{32}$  არის ფუნქციები

$$x_{31} = f(x_k) \text{ და } x_{32} = f(x_k)$$

და თავისთავად  $r(x_k)$  – განისაზღვრება ნამზადის კვეთის რადიუსი, რომელიც მრუდწირულ-ფასონური ზედაპირების შემთხვევაში არის ცვლად ურთიერთკავშირში კონტაქტის წერტილების  $K_1$  და  $K_2$  ღერძულ მდებარეობებთან

თანახმად (2) და (3)

$$\delta_1 \cos \gamma_1 = (x_{31} - x_p)|\sin \varphi| + R \cos \gamma_1 + r_3(x_{k1}) - y_{u1}; \quad (4)$$

$$-\delta_1 \cos \gamma_2 = (x_{32} - x_p)|\sin \varphi| - R \cos \gamma_2 + r_3(x_{k2}) - y_{u2}. \quad (5)$$

უკანასკნელიდან

$$\delta_1 = \frac{1}{\cos \gamma_1} [(x_{31} - x_p)|\sin \varphi| - y_{u1} + R \cos \gamma_1 + r_3(x_{k1})]; \quad (6)$$

$$\delta_2 = \frac{1}{\cos \gamma_2} [-(x_{32} - x_p)|\sin \varphi| + y_{u2} + R \cos \gamma_2 + r_3(x_{k2})]. \quad (7)$$

$$\Pi_\delta = \Pi_{\delta_1} + \Pi_{\delta_2} = \frac{1}{2} C_\delta \delta_1^2 + \frac{1}{2} C_\delta \delta_2^2; \quad (8)$$

$$\frac{\partial \Pi_{\delta_1}}{\partial y_{u1}} = -\frac{C_\delta}{(\cos \gamma_1)^2} [(x_{31} - x_p)|\sin \varphi| + R \cos \gamma_1 + r_3(x_{k1}) - y_{u1}]; \quad (9)$$

$$\frac{\partial \Pi_{\delta_2}}{\partial y_{u2}} = \frac{C_\delta}{(\cos \gamma_2)^2} [-(x_{32} - x_p)|\sin \varphi| + R \cos \gamma_2 + r_3(x_{k2}) + y_{u2}]; \quad (10)$$

$$\frac{\partial \Pi_{\delta_1}}{\partial x_p} = \frac{C_\delta}{(\cos \gamma_1)^2} [(x_{31} - x_p)|\sin \varphi| + R \cos \gamma_1 + r_3(x_{k1}) - y_{u1}] (-|\sin \varphi|); \quad (11)$$

$$\frac{\partial \Pi_{\delta 2}}{\partial x_p} = \frac{C_\delta}{(\cos \gamma_2)^2} \left[ -(x_{s2} - x_p) |\sin \phi| + R \cos \gamma_2 + r_s(x_{k2}) - y_{u2} \right] |\sin \phi|; \quad (12)$$

$$\Pi_{c11} = \frac{1}{2} C_1 (y_{u1} - y_k)^2; \quad (13)$$

$$\Pi_{c12} = \frac{1}{2} C_1 (y_{u2} - y_k)^2; \quad (14)$$

$$\Pi_{c2} = \frac{1}{2} C_1 (y_k |\sin \phi| - x_p)^2; \quad (15)$$

$$\frac{\partial \Pi_{c2}}{\partial x_p} = C_2 (y_k |\sin \phi| - x_p) |\sin \phi|; \quad (16)$$

$$\frac{\partial \Pi_{c2}}{\partial x_p} = -C_2 (y_k |\sin \phi| - x_p) |\sin \phi|; \quad (17)$$

$$\frac{\partial \Pi_{c11}}{\partial y_{u1}} = C_1 (y_{u1} - y_k); \quad (18)$$

$$\frac{\partial \Pi_{c12}}{\partial y_{u2}} = C_1 (y_{u2} - y_k); \quad (19)$$

$$\frac{\partial \Pi_{c11}}{\partial y_k} = -C_1 (y_{u1} - y_k); \quad (20)$$

$$\frac{\partial \Pi_{c12}}{\partial y_k} = -C_1 (y_{u2} - y_k), \quad (21)$$

სადაც  $C_\delta$  – პნევმოცილინდრების სიხისტე,  $C_1$  – ზამბარების სიხისტე, რომლებიც დაყენებულია მოთვალთვალე რგოლსა და პნევმოცილინდრების მსრუელებს შორის;  $C_2$  – ზამბარების სიხისტე, რომლებიც მოთავსებულია ჰიდრაულიკური გამანაწილებლის მკვეთარასა და მოთვალთვალე რგოლს შორის;  $\Pi_{\delta 1}$ ,  $\Pi_{\delta 2}$ ,  $\Pi_{c11}$ ,  $\Pi_{c12}$  და  $\Pi_{c2}$  – პოტენციური ენერჯის შემდგენები, განსაზღვრული შესაბამისი დრეკადი ელემენტებით.

ლაგრანჟის მეორე გვარის განტოლების მეშვეობით, ზოგადი ფორმით რგოლის დინამიკის განტოლება (ზემოქმედ მოწყობილობებთან ერთად) დაიწერება ასე:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_\kappa}{\partial \dot{y}_\kappa} \right) - \frac{\partial T_\kappa}{\partial y_\kappa} = - \frac{\partial \Pi}{\partial y_\kappa} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{y}_\kappa} + Q_1 + Q_2; \quad (22)$$

$$T_\kappa = \frac{1}{2} m_p (\dot{x}_p)^2 + \frac{1}{2} m_\kappa (\dot{y}_\kappa)^2 + \frac{1}{2} m_{u1} (\dot{y}_{u1})^2 + \frac{1}{2} m_{u2} (\dot{y}_{u2})^2, \quad (23)$$

$$\Phi_{\kappa} = \frac{1}{2}b_{\kappa} \left[ \frac{d}{dt}(x_p |\sin \phi| - y_{\kappa}) \right]^2 + \frac{1}{2}b_{u1}(\dot{y}_{u1} - \dot{y}_{\kappa})^2 + \frac{1}{2}m_{u2}(\dot{y}_{u2} - \dot{y}_{\kappa})^2. \quad (24)$$

$T_{\kappa}$ ,  $\Pi_{\kappa}$  და  $\Phi_{\kappa}$  – შესაბამისად კინეტიკური და პოტენციური ენერგია და ანალიზებადი სისტემის დისიპატიური ფუნქცია.

აქ

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_{\kappa}}{\partial \dot{y}_{\kappa}} \right) - \frac{\partial T_{\kappa}}{\partial y_{\kappa}} = - \frac{\partial \Pi_{\kappa}}{\partial y_{\kappa}} - \frac{\partial \Phi_{\kappa}}{\partial \dot{y}_{\kappa}}; \quad (25)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_{\kappa}}{\partial \dot{y}_{\kappa}} \right) - \frac{\partial T_{\kappa}}{\partial y_{u1}} = - \frac{\partial \Pi_{\kappa}}{\partial y_{u1}} - \frac{\partial \Phi_{\kappa}}{\partial \dot{y}_{u1}} + Q_{p1}; \quad (26)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_{\kappa}}{\partial \dot{y}_{\kappa}} \right) - \frac{\partial T_{\kappa}}{\partial y_{u2}} = - \frac{\partial \Pi_{\kappa}}{\partial y_{u2}} - \frac{\partial \Phi_{\kappa}}{\partial \dot{y}_{u2}} + Q_{p2}, \quad (27)$$

სოლო განზოგადოებული ძალების გამოსახულება:

$$Q_{p1} = f_p C_{\delta} \delta_1 \sin \gamma_1 |\sin \phi|; \quad (28)$$

$$Q_{p2} = f_p C_{\delta} \delta_1 \sin \gamma_2 |\sin \phi|, \quad (29)$$

$$\gamma_1 = \arctg \left( \frac{\partial f_{31}}{\partial z_k} |\sin \phi| \right),$$

$$\gamma_2 = \arctg \left( \frac{\partial f_{32}}{\partial z_k} |\sin \phi| \right),$$

სადაც  $f_{31}$  და  $f_{32}$  – პროფილური მრუდების პირობითი აღნიშვნები კონტაქტური წერტილების  $K_1$  და  $K_2$  ფარგლებში;  $z_k$  – ნამზადის მოძრაობის გრძივი კოორდინატი;  $f_p$  – ჭრის ძალის კოეფიციენტი.

შეგვიძლია გადავიდეთ განტოლებების გაშლილ ფორმაზე, რომელიც გამოისახება შემდეგი სისტემით:

$$m_{u1} \ddot{y}_{u1} + b_{u1}(\dot{y}_{\kappa} - \dot{y}_{u1}) + C_{\delta} \frac{1}{\cos^2 \gamma_1^2} [(x_{31} - x_p) |\sin \phi| + R \cos \gamma_1 + r(x_{\kappa 1}) - y_{u1}] + C_{11}(y_{u1} - y_{\kappa}) = Q_{p1}; \quad (30)$$

$$m_{u2} \ddot{y}_{u2} + b_{u2}(\dot{y}_{u2} - \dot{y}_{\kappa}) + C_{\delta} \frac{1}{\cos^2 \gamma_2} [(x_{32} - x_p) |\sin \phi| + R \cos \gamma_2 + r(x_{\kappa 2}) - y_{u2}] + C_{12}(y_{u2} - y_{\kappa}) = Q_{p2}; \quad (31)$$

$$m_{\kappa} \ddot{y}_{\kappa} + b_{u1}(\dot{y}_{\kappa} - \dot{y}_{u1}) + b_{u2}(\dot{y}_{\kappa} - \dot{y}_{u2}) + C_{11}(y_{\kappa} - y_{u1}) + C_{12}(y_{\kappa} - y_{u2}) +$$

$$+ C_2(y_k |\sin \varphi| - x_p) |\sin \varphi| = 0. \quad (32)$$

ამ განტოლებებში  $m_{u1}$ ,  $m_{u2}$  – მასები, რომლებიც განსაზღვრულია სახესი პნევმოცილინდრების მასებით და მათზე დაყვანილი ერთობლივად გადაადგილებადი მექანიკური რგოლების მასებით.

გამოსაკვლევ მითვალთვალე ამძრავის ჰიდრავლიკური ნაწილის დინამიკის განტოლება შეიძლება დაიწეროს შემდეგნაირად:

$$\frac{d}{dt} F_{zu} + k_{\omega} \dot{x} = k_{\omega} k_{v1} \sqrt{1 - \frac{1}{p_n F} (F_{zu} + B_2 \ddot{x} + B_1 \dot{x}) \text{sign} \varepsilon \cdot \varepsilon}, \quad (33)$$

სადაც  $p_n$  – სითხის წნევა, რომელიც მოყვანილია მმართველი ოთხდარიან მკვეთარასთან,  $k_{\omega}$  და  $k_{v1}$  – შესაბამისად, სისხტის კოეფიციენტები და ჰიდრავლიკური სისტემის დაყვანილი გაძლიერების კოეფიციენტი სიჩქარის მიხედვით;  $B_1$  – კოეფიციენტი, რომელიც აღრიცხავს ბლანტი ხახუნის დანაკარგს ზეთსადენებში, რომლებიც აერთებს მკვეთარულ გამანაწილებელს ჰიდროცილინდრთან;  $B_2$  – კოეფიციენტი, რომელიც აღრიცხავს დანაკარგს ინერციის ძალიდან, გამოწვეულს ამ ზეთსადენებში მოთავსებული სითხისაგან;  $x$  – ჰიდროცილინდრის დგუშის გადაადგილების კოორდინატი;  $F_{zu}$  – ჰიდროცილინდრის კოჭზე მოდებული ძალა.

თავის მხრივ:

$$F_{zu} = k_r \left( m_p \ddot{x}_p + b_p \dot{x}_p + \frac{\partial \Pi_{\Sigma c}}{\partial x_p} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}_p} + Q_{mpx} \right) + F_{mpx} \text{sign} \dot{x}_p, \quad (34)$$

სადაც  $k_r$  – როტორის დერძზე და ძალური პნევმოცილინდრზე მოდებული ძალების დაყვანის კოეფიციენტი:

$$Q_{mpx} = f_{mp} C_{\delta} (\delta_1 + \delta_2) |\cos \varphi| \text{sign} \dot{x}_p; \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_{\Sigma c}}{\partial x_p} &= 2C_1 \sin^2 \varphi x_p - 2C_1 |\sin \varphi| y_k + 2C_2 \sin^4 \varphi x_p - \\ &- 2C_2 \sin^2 \varphi |\sin \varphi| y_k = 2(C_1 \sin^2 \varphi + C_2 \sin^4 \varphi) x_p - \\ &- 2(C_1 |\sin \varphi| + C_2 \sin^2 \varphi |\sin \varphi|) y_k, \end{aligned} \quad (36)$$

$f_{mp}$  – მშრალი ხახუნის ძალის კოეფიციენტი;  $m_p$  – ჩარხის როტორის დერძზე დაყვანილი გადაადგილებადი ნაწილების მასა;  $b_p$  –

დემპფირების კოეფიციენტი;  $F_{mpx}$  – ხახუნის ძალა ჰიდროცილინდრში და ჩარხის მექანიზმებში, დაყვანილი  $x_p$  კოორდინატზე;  $\Phi$  – დისიპაციური ფუნქცია.

გაშლილი ფორმით გვექნება:

$$\begin{aligned} & k_z(m_p\ddot{x} + b_p\dot{x}_p) + \frac{k_{\omega c}}{k_z}\dot{x}_p + k_z\left(\frac{\partial\Pi_{\delta_1}}{\partial x_p} + \frac{\partial\Pi_{\delta_2}}{\partial x_p}\right) + k_z b_p\dot{x}_p + \frac{\partial\Pi_{c_2}}{\partial x_p} = \\ & = k_{\omega c}k_{v1}\sqrt{1 - \frac{1}{P_n F}(F_{zu} + B_2\ddot{x} + B_1\dot{x})\text{sign}(y_\kappa - x_p)|\sin\phi|\sin\phi)} \times \\ & \times (y_\kappa - x_p|\sin\phi|)|\sin\phi|, \end{aligned} \quad (37)$$

სადაც

$$\begin{aligned} F_{zu} &= k_r[(m_p\ddot{x}_p + b_p\dot{x}_p)2C_1\sin^2 x_p + 2C_2|\sin^3\phi|x_p + b_\kappa|\sin\phi|\dot{x}_p + \\ & + f_{mp}C_\delta(\delta_1 + \delta_2)|\cos\phi|\cdot\text{sign}\dot{x}_p - 2C_1|\sin\phi|y_\kappa 2C_2\sin^2\phi y_\kappa - b_\kappa\dot{y}_\kappa] = \\ & = k_r[(m_p\ddot{x}_p + b_p\dot{x}_p)2(C_2\sin^2 x + c_2|\sin^3\phi|x_p + b_\kappa|\sin\phi|\dot{x}_p - \\ & = -2(C_1|\sin\phi| - C_2\sin^2\phi)y_\kappa - b_\kappa\dot{y}_\kappa + f_{mp}C_\delta(\delta_1 + \delta_2)|\cos\phi|\cdot\text{sign}\dot{x}_p + \\ & + m_p\ddot{x}_p + b_p\dot{x}_p]k_r, \end{aligned} \quad (38)$$

$F$  – შემსრულებელი ჰიდროცილინდრის დგუშის ფართობი;

$$k_{v1} = k_{p1}k_v;$$

$k_{p1}$  – მკვეთარაზე მომქმედი, ბერკეტის გადაცემის რიცხვი;  $k_v$  – გაძლიერების კოეფიციენტი ჰიდრავლიკური სისტემის სიხქართით.

გარდაქმნილი სახით გვექნება:

$$\begin{aligned} & k_z m_p \ddot{x}_p + k_z b_p \dot{x}_p + \frac{k_{\omega c}}{k_z} + k_z \left\{ \frac{1}{\cos^2 \gamma_2} [(x_{31} - x_p) |\sin \phi| + R \cos \gamma_1 + \right. \\ & \left. + r_3 (x_{\kappa 1}) - y_{u1}] (-|\sin \phi|) + \frac{1}{(\cos^2 \gamma_2)^2} [(x_{31} - x_p) |\sin \phi| + \right. \\ & \left. + R \cos \gamma_2 + r_3 (x_{\kappa 2}) + y_{u2}] |\sin \phi| + k_z b_p \dot{x}_p - c_2 (y_\kappa |\sin \phi|) |\sin \phi| \right\} = \\ & = k_{\omega c} k_v \sqrt{1 - \frac{1}{P_n F} (F_{zu} + B_2 \ddot{x} + B_1 \dot{x}) \text{sign}(y_\kappa - x_p) |\sin \phi| \sin \phi} \times \\ & \times (y_\kappa - x_p |\sin \phi|) |\sin \phi|. \end{aligned} \quad (39)$$



აქვე აღნიშნავთ, რომ მიღებული მოდელი არაწრფივი არასტაციონარული სისტემისათვის დამატებული უნდა იყოს ტრანსცენდენტური ალგებრული განტოლებებით:

$$z_{\kappa 1} = z_{u01} + (R - \delta_1) \sin \gamma_1; \quad (40)$$

$$z_{\kappa 2} = z_{u02} + (R - \delta_2) \sin \gamma_2, \quad (41)$$

შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$\begin{aligned} & k_z m_p \ddot{x}_p + k_z b_p \ddot{x}_p + k_{\kappa p} \dot{x}_p + k_z b_p \dot{x}_p + C_2 x_p |\sin \phi| + \\ & + k_z |\sin^2 \phi| \left( \frac{1}{\cos^2 \gamma_1} + \frac{1}{\cos^2 \gamma_2} \right) x_p + k_z \Delta x_3 + k_z \Delta R_\gamma |\sin \phi| + \\ & + r_z \Delta x_{31} + r_z \Delta R_\gamma |\sin \phi| + k_z \Delta \tau_{3\kappa} |\sin \phi| - k_z \frac{|\sin \phi|}{\cos^2 \gamma_1} y_{u1} + k_z \frac{|\sin \phi|}{\cos^2 \gamma_2} y_{u2} = \\ & = k_{\kappa c} k_v \sqrt{1 - \frac{1}{p_n F} (F_{zu} + B_2 \ddot{x} + B_1 \dot{x}) \text{sign}(y_\kappa - x_p |\sin \phi| \sin \phi)} \times \\ & \times (y_\kappa - x_p |\sin \phi|) |\sin \phi|, \end{aligned} \quad (42)$$

$$\Delta x_3 = \frac{|\sin^2 \phi|}{\cos^2 \gamma_1} x_{31} - \frac{|\sin^2 \phi|}{\cos^2 \gamma_2} x_{32}; \quad (43)$$

$$\Delta R_\gamma = R \left( \frac{1}{\cos \gamma_1} - \frac{1}{\cos \gamma_2} \right); \quad (44)$$

$$\Delta r_{3\kappa}(x_\kappa) = \frac{r_3(x_{\kappa 1})}{\cos^2 \gamma_1} - \frac{r_3(x_{\kappa 2})}{\cos^2 \gamma_2}, \quad (45)$$

მიღებული დამოკიდებულებების გამოყენებით ვახორციელებთ დინამიკის გასაშუალებულ და გაწრფივებულ მოდელებზე გადასვლას, რაც წარმოადგენს რთულ არაწრფივი არასტაციონარული სისტემების ეფექტური შესწავლის საფუძველს.

უპირველეს ყოვლისა ვიხილავთ გამოსაკვლევი სისტემის ჰიდრავლიკური ნაწილის არაწრფივი და არასტაციონალური დინამიკის განტოლების გაწრფივების ამოცანას.

გაწრფივების პროცედურების ჩატარების შემდეგ მიღებული იქნა შემდეგი განტოლებათა სისტემა:

$$\begin{aligned} m_{u1} \ddot{y}_{u1} + b_{u1} \dot{y}_{u1} + (C_{\delta 1}^* + C_{11}) y_{u1} &= C_{\delta 1}^* (x_{31} - x_p) |\sin \phi| + C_{\delta 1}^* \cos \gamma_1 R + \\ & + r(x_{\kappa 1}) + C_{11} y_\kappa + b_{u1} \dot{y}_\kappa + Q_{p1}; \end{aligned} \quad (46)$$

$$m_{u2}\ddot{y}_{u2} + b_{u2}\dot{y}_{u2} + (C_{\delta 2}^* + C_{12})y_{u2} = C_{\delta 2}^*(x_{32} - x_p)|\sin \varphi| - C_{\delta 2}^* \cos \gamma_2 R - r(x_{\kappa 2}) + C_{12}y_{\kappa} + b_{u2}\dot{y}_{\kappa} - Q_{p2}; \quad (47)$$

$$m_{\kappa}\ddot{y}_{\kappa} + (b_{u1} + b_{u2})\dot{y}_{\kappa} + (C_{11} + C_{12})y_{\kappa} + C_2y_{\kappa}|\sin^2 \varphi|y_{\kappa} = C_{11}y_{u1} - C_{12}y_{u2} + C_2x_p|\sin \varphi|; \quad (48)$$

$$k_r m_p \ddot{x}_p + k_r b_p \dot{x}_p + \frac{k_{\text{жс}}}{k_r} \dot{x}_p + b_x(t)\dot{x}_p + C_x(t)x_p + b_{m\ddot{x}}(t)\ddot{x}_p + b_{x\varepsilon}(t)x_p + C_{x\varepsilon}(t)x_p + k_{\text{жс}}k_{v1} \sin^2 \varphi x_p + [k_r f_{mp1} C_{\delta} |\cos \varphi| + F_{mpx}] \frac{d}{dt}(\text{sign} \dot{x}_p) = k_{\text{жс}}k_{v1} |\sin \varphi| y_{\kappa} + b_{xy}(t)\dot{y}_{\kappa} + C_{xy}(t)y_{\kappa} - C_{mp\varepsilon}(t)\text{sign} \dot{x}_p + C_y(t)\dot{y}_{\kappa} + b_{\kappa}\ddot{y}_{\kappa} + k_r \Delta x_3 + k_r \Delta r_3(x_{\kappa}) |\sin \varphi| + k_r \Delta R_{\gamma} |\sin \varphi|, \quad (49)$$

б)д)з)

$$b_x(t) = 2C_1 \sin^2 \varphi + 2C_2 |\sin^3 \varphi| + b_{\kappa} |\cos \varphi| \dot{\varphi};$$

$$C_x(t) = 2C_1 \sin^2 \dot{\varphi} + 6C_2 |\sin^3 \varphi| \dot{\varphi};$$

$$C_y(t) = 2(C_2 \sin^2 \varphi + C_1 |\sin \varphi|);$$

$$b_{m\ddot{x}}(t) = A_{m\ddot{x}} \varepsilon(t);$$

$$b_{x\varepsilon}(t) = A_{bx} \varepsilon(t);$$

$$C_{x\varepsilon}(t) = A_{cx} (C_1 \sin^2 \varphi + C_2 |\sin^3 \varphi|) \varepsilon(t);$$

$$b_{xy}(t) = K_b \varepsilon(t);$$

$$C_{xy}(t) = 2K_b b_{\kappa} (C_1 \sin^2 \varphi + C_2 |\sin^2 \varphi|) \varepsilon(t);$$

$$C_{mp\varepsilon}(t) = \frac{k_r k_{\text{жс}} k_v}{2 p_n F} [f_{mp} C_{\delta} (\delta_1 + \delta_2) |\cos \varphi| + F_{mpx}] \varepsilon(t);$$

$$A_{m\ddot{x}} = K_b (m_p + B_2);$$

$$A_{B\ddot{x}} = K_b (B_1 + b_p);$$

$$K_b = \frac{k_r k_{\text{жс}} k_v}{2 p_n F};$$

$$\varepsilon(t) = (y |\sin \varphi| - \sin^2 \varphi x_p);$$

$$C_y(t) = 2(C_2 \sin^2 \varphi + C_1 |\sin \varphi|);$$

$$C_{\varphi}(t) = f_p C_{\delta} (\delta_{1\Delta} \sin \gamma_1 + \delta_{2\Delta} \sin \gamma_2) |\sin \varphi| = f_p C_{\delta} \delta_{\Delta \gamma} |\sin \varphi|.$$

ამის შედეგად მიღებულ იქნა საკვლევი სისტემის დინამიკის გაწრფივებული არასტაციონარულ მოდელი, რომელიც არასტაციონარული სისტემების ანალიზის ცნობილი მეთოდების თანახმად ითვალისწინებს გასაშუალებებულ დინამიკურ მოდელებზე გადასვლას.

გასაშუალებებულ მოდელებზე გადასასვლელად გამოყენებული იქნა შემდეგი დამოკიდებულებები.

$$\cos^2 = 0,5 + 0,5 \cos 2\varphi ;$$

$$|\sin \varphi| \approx a_{\varphi s} - a_{\varphi s1} \cos 2\varphi ;$$

$$|\cos \varphi| \approx a_{\varphi c} + a_{\varphi c1} \cos 2\varphi ;$$

$$|\sin^3 \varphi| \approx a_{\varphi s0} - a_{\varphi s1} \cos 2\varphi a_{\varphi s2} - \cos 4\varphi ;$$

$$|\sin^3 \varphi| |\sin \varphi| = 0,375 - 0,5 \cos 2\varphi + 0,125 \cos 4\varphi ;$$

$$|\sin^3 \varphi| |\sin^2 \varphi| = (0,5a_{\varphi s1}^2 + 0,5a_{\varphi s0}) - (0,5a_{\varphi s1} + 0,5a_{\varphi s0} + 0,25a_{\varphi s2}) \cos 2\varphi - (0,5a_{\varphi s2} - 0,5a_{\varphi s1}^2) \cos 4\varphi + 0,25a_{\varphi s2} \cos 6\varphi,$$

სადაც

$$0a_{\varphi s0} = 0,5a_{\varphi s} + 0,25a_{\varphi s1};$$

$$a_{\varphi s1} = 0,5(a_{\varphi s} + a_{\varphi s1});$$

$$a_{\varphi s2} = 0,5a_{\varphi s1}.$$

ზემოთ მიღებული მათემატიკური მოდელები, შეესაბამება სამუშაო რეჟიმს მბრუნავი როტორით. მუშაობის რეჟიმში, როდესაც როტორი დაფიქსირებულია საქმე გვაქვს რეგულირების სტაციონარულ სისტემასთან. ასეთი სისტემის მათემატიკური მოდელის აგებისათვის აუცილებელია გამოყენებული იქნეს შემდეგი საწყისი წინამორბედ ამოცანებთან შედარებით გარკვეულ წილად სახეცვლილი გამოსახულებები:

$$\frac{\partial \Pi_{\delta_1}}{\partial y_{u1}} = \frac{1}{\cos^2 \gamma_1} [(x_s - x_p) + R \cos \gamma_1 - r_s - y_{u1}] C_{\delta}; \quad (50)$$

$$\frac{\partial \Pi_{\delta_2}}{\partial y_{u2}} = \frac{1}{\cos^2 \gamma_2} [-(x_s - x_p) + R \cos \gamma_2 - r_s - y_{u1}] C_{\delta}; \quad (51)$$

$$\frac{\partial \Pi_{c_2}}{\partial y_k} = C_2 (x_k - x_p); \quad (52)$$

$$\frac{\partial \Pi_{c_2}}{\partial x_p} = -C_2(x_k - x_p); \quad (53)$$

$$\frac{\partial \Pi_{c_{11}}}{\partial y_{u1}} = C_1(y_{u1} - y_k); \quad (54)$$

$$\frac{\partial \Pi_{c_{12}}}{\partial y_{u1}} = C_1(y_{u2} - y_k). \quad (55)$$

სისტემის განტოლებებში წარმოიქმნებიან წევრები

$$2(C_1 + C_2)\dot{x}_p - 2(C_1 + C_2)\dot{y}_k; \quad (56)$$

$$2b_k\ddot{x}_p - 2b_k\ddot{y}_k; \quad (57)$$

$$\frac{k_{\omega c} k_{v1}}{p_n F} \varepsilon(C_1 + C_2)x_p; \quad \frac{k_{\omega c} k_{v1}}{p_n F} (C_1 + C_2)\varepsilon y_k.$$

$$\frac{k_{\omega c} k_{v1}}{2p_n F} (m_p + B_2)\varepsilon \ddot{x}_p \quad \text{და} \quad \frac{k_{\omega c} k_{v1}}{2p_n F} B_1 \varepsilon \dot{x}_p. \quad (58)$$

წინა გადმოცემულის გათვალისწინებით სტაციონარული სისტემის დინამიკის განტოლებები დაიწერება შემდეგნაირად:

$$m_{u1}\ddot{y}_{u1} + b_{u1}\dot{y}_{u1} + C_{u2}y_{u2} = C_{\delta 2}^*x_3 - C_{\delta 1}^*x_p + C_{\delta} + C_1y_{\kappa} + b_{u1}\dot{y}_{\kappa} + f_p C_{\delta} \delta_{1}^*; \quad (59)$$

$$m_{u2}\ddot{y}_{u2} + b_{u2}\dot{y}_{u2} + C_2y_{u2} = C_{\delta 2}^*x_3 - C_{\delta 2}^*x_p + (C_{\kappa} - r_{32})C_{\delta} + C_1y_{\kappa} + b_{u1}\dot{y}_{\kappa} + f_p C_{\delta} \delta_{1}^*; \quad (60)$$

$$\begin{aligned} m_{px}\ddot{x}_p + (b_{px} + 2b_{\kappa})\dot{x}_p + [k_{\omega c x} + 2(C_1 + C_2)]x_p + \frac{k_{\omega c} k_{v1}}{p_n F} (m_p + B_2)\varepsilon \ddot{x}_p + \\ + \frac{k_{\omega c} k_{v1}}{p_n F} B_1 \varepsilon \dot{x}_p + k_{\omega c} k_{v1} x_p + \frac{k_{\omega c} k_{v1}}{p_n F} (C_1 + C_2)x_p^2 + \frac{k_{\omega c} k_{v1}}{p_n F} (C_1 + C_2)y_{\kappa} x_p + \\ + F_{mpx} \frac{d}{dt}(\text{sign}\dot{x}_p) + \frac{F_{mpx} k_{\omega c} k_{v1}}{p_n F} \text{sign}\dot{x}_p = k_{\omega c} k_{v1} y_{\kappa} + \frac{k_{\omega c} k_{v1}}{p_n F} (C_1 + C_2)x_p y_{\kappa} + \\ + \frac{k_{\omega c} k_{v1}}{p_n F} (C_1 + C_2)y_{\kappa}^2 + 2(C_1 + C_2)\dot{y}_{\kappa} + 2b_{\kappa}\ddot{y}_{\kappa}. \end{aligned} \quad (61)$$

განხილული განტოლებების გაწვრივებულ ფორმას აქვს შემდეგი სახე:

$$m_{u1}\ddot{y}_{u1} + b_{u1}\dot{y}_{u1} + C_{*1}y_{u1} = C_{\delta}^*x_{g1} - C_{\delta}^*x_p + (C_{R1} + r_{31})C_{\delta} - C_1y_{\kappa} - b_{u1}\dot{y}_{\kappa}; \quad (62)$$

$$m_{u2}\ddot{y}_{u2} + b_{u2}\dot{y}_{u2} + C_{*1}y_{u2} = C_{\delta}^*x_3 - C_{\delta}^*x_p + (C_{R2} + r_{32})C_{\delta} - C_3y_{\kappa} - b_{u2}\dot{y}_{\kappa}; \quad (63)$$

$$m_{\kappa}\ddot{y}_{\kappa} + b_{\kappa}\dot{y}_{\kappa} + C_{\kappa}y_{\kappa} = C_u y_{u1} - C_u y_{u2} - C_2\dot{x}_p - C_2y_{\kappa}; \quad (64)$$

$$m_{px}\ddot{x}_p + (b_{px} + 2b_\kappa)\dot{x}_p + [k_{\text{жсх}} + 2(C_1 + C_2)]x_p + k_{\text{жс}}k_{v1}x_p = k_{\text{жс}}k_{v1}y_\kappa + 2(C_1 + C_2)\dot{y}_\kappa + 2b_\kappa\ddot{y}_\kappa. \quad (65)$$

უკანასკნელი განტოლება გამსხვილებული ფორმით შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს ასე:

$$m_{px}\ddot{x}_p + b_{pk}\dot{x}_p + k_{px}x_p + k_{\text{жс}}k_{v1}x_p = k_{\text{жс}}k_{v1}y_\kappa + C_{\kappa 1}\dot{y}_\kappa + 2b_\kappa\ddot{y}_\kappa, \quad (66)$$

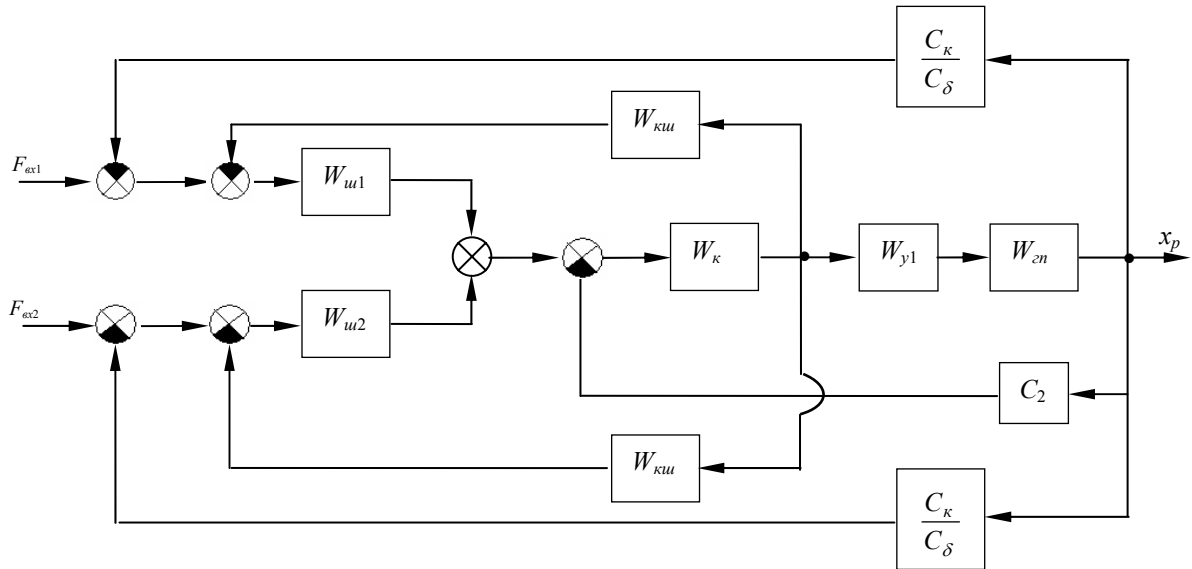
სადაც

$$C_{\kappa 1} = (2C_1 + C_2);$$

$$b_{pk} = b_{px} + 2b_\kappa;$$

$$k_{px} = k_{\text{жсх}} + 2(C_1 + C_2).$$

გაწრფივებული სტაციონარული სისტემის სტრუქტურული სქემა მოყვანილია ნახ. 5.



ნახ. 5

აქ:

$$F_{ex1} = C_\delta^* x_{31} + (C_{R1} + r_{31})C_\delta;$$

$$F_{ex2} = C_\delta^* x_{32} - (C_{R1} + r_{32})C_\delta;$$

$$W_{u1}(s) = \frac{1}{m_{u1}s^2 + b_{u1}s + C_{*1}};$$

$$W_{u2}(s) = \frac{1}{m_{u2}s^2 + b_{u2}s + C_*};$$

$$W_{ku}(s) = b_u s + C_1.$$

$$W_k(s) = \frac{C_u}{m_k s^2 + b_u s + C_k};$$

$$W_{y1}(s) = k_{\text{жс}} k_{v1} + C_{k1} s + 2b_k s^2;$$

$$W_{\Gamma c}(s) = \frac{1}{m_{px} s^3 + b_{pk} s^3 + k_{px} s + k_{\text{жс}} k_{v1}};$$

$$W_{y1}^*(s) = K^* + C_{k1} + 2b_k s;$$

$$K^* = k_{\text{жс}} k_{v1} + \frac{2k_{\text{жс}} k_{v1} \varepsilon_0}{p_n F} (C_1 + C_2).$$

დინამიკის მათემატიკური მოდელების სტრუქტურული და პარამეტრული შედარებით გვაჩვენებს, რომ დინამიკური მდგრადობის თვალსაზრისით სტაციონარული სისტემა გასაშუალებულისაგან განსხვავებით არის უფრო დაძაბული.

ამასთან დაკავშირებით მიღებული მოდელების გამოყენებით შეიძლება შემოთავაზებული იქნეს შემდგომი კვლევების სტრუქტურა, რომელიც დამყარებულია პარამეტრული სინთეზის პროცედურის რეალიზაციაზე სტაციონარული მოდელების გამოყენებით სინთეზის მეთოდის თანახმად მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით და შემდგომი დაზუსტებით არაწრფივ მოდელებზე.

წინამდებარე გამოკვლევების რეზულტატების ანალიზი, საშუალებას იძლევა შეჯამებითი სახით გაკეთდეს დასკვნა, რომ მიღებული მოდელების გამოყენებით შეიძლება ჩამოყალიბებული იქნეს დინამიკური გამოკვლევების თანმიმდევრობა, რომელიც აგებულია:

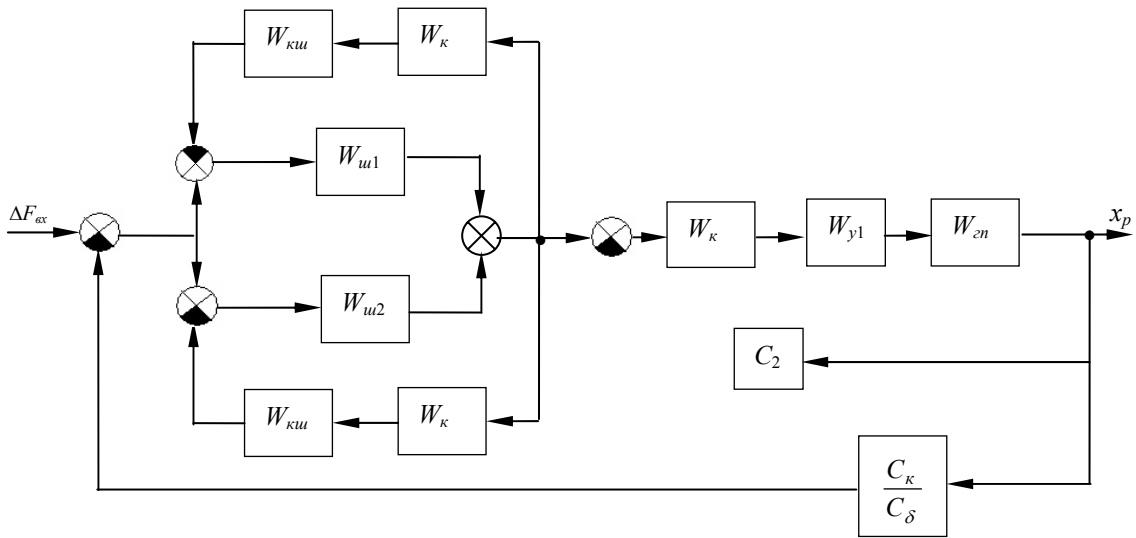
1. გაწრფივებული სტაციონარული სისტემის პარამეტრული სინთეზი, რომელიც ითვალისწინებს ამ სისტემის ინტეგრალურ მიახლოვების „სასურველი პროცესის სისტემის“ მოდელთან;
2. პროცესების ინტეგრალური მიახლოებაზე არაწრფივ და გაწრფივებულ სტაციონარულ სისტემებში;
3. გამოსაკვლევი არასტაციონარული სისტემის მდგრადობის ანალიზზე.

გამოსაკვლევი სისტემის პარამეტრული სინთეზის ამოცანის რეალიზაციისათვის მისი სტაციონარული გაწრფივებული მოდელის მიმართ სინთეზის ცნობილი მოცემული გარდამავალი პროცესებისა მეთოდის გამოყენების საფუძველზე, შემოთავაზებულია გამოსაკვლევი მოთვალთვალე სისტემის შესავალზე საფესურებრივი ზემოქმედების

კინემატიკური სქემა, რომელიც რეალიზებულია ნამზადის გრძივი ღერძის საფეხურებრივი გადაადგილების მეშვეობით განივი მიმართულებით, ე.ი.  $x$ -ღერძის გასწვრივ. განიხილება საწყისი მდებარეობების მიმართ ფარდობითი გადაადგილებები. აქვე აღვნიშნავთ, რომ პრინციპიალური მიდგომით შეიძლება დაშვებული იქნას:

$$|\Delta F_{\alpha 1}| = |\Delta F_{\alpha 2}|.$$

ამ შემთხვევაში სისტემის სტრუქტურული სქემა იღებს სახეს, რომელიც მოყვანილია ნახ. 6.



ნახ. 6

შემდგომი გამოკვლევების ჩატარებისათვის პირველ რიგში ვაველნთ გადაცემის ფუნქციების საწყის მათემატიკურ გამოსახულებებს, რომლებიც გამოიყენება გაწვრივებული სისტემების სინთეზის პროცედურებში მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით.

გამოსაკვლევ სისტემის სრულ გადამცემ ფუნქციას, გაშლილი ფორმით ექნება შემდეგი სახე:

$$W_o(s) = \frac{x_p(s)}{F_{\alpha x}} = \frac{W_{mu}(s) \cdot W_{\kappa z}(s)}{1 + C_{\kappa \delta} \cdot W_{mu}(s) \cdot W_{\kappa z}(s)} =$$

$$= \frac{B_2 s^2 + B_1 s + B}{(a_{5\kappa z} s^5 + a_{4\kappa z} s^4 + a_{3\kappa z} s^3 + a_{2\kappa z} s^2 + a_{1\kappa z} s + a_{0\kappa z*}) (a_{4mu} s^4 + a_{3mu} s^3 + a_{2mu} s^2 + a_{1mu} s + a_{0mu*}) + C_{\kappa \delta} C_B b_{\kappa z} s + C_{\kappa \delta} C_B b_{\kappa z 0}}, \quad (67)$$

სადაც  $C_{\kappa \delta} = \frac{C_{\kappa}}{C_{\delta}}$ .

შემდგომი ამოცანა დაკავშირებულია პარამეტრული სინთეზთან გამოსახულება (67)-ის გამოყენებით, სადაც ვარირებულებად წარმოდგენილია და  $b_c$  პარამეტრები. უკანასკნელნი წარმოადგენენ გაძლიერების და დემფირების კოეფიციენტებს გამოსაკვლევი სისტემის პიდრავლიკური ნაწილის ფორმულაში.

გაწრფივებული სტაციონარული სისტემის „წრფივი სასურველი პროცესის სისტემის“ პარამეტრული სინთეზისათვის გამოყენებულ იქნას სინთეზის ცნობილი მეთოდი მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით.

სასურველი პროცესის ხარისხში შერჩეული იქნა ფუნქცია

$$x_{p\kappa c}(p) = \frac{A_0 \left( \frac{a_{x1}}{2} z_m p + 1 \right)}{a_{x0} z_{m2}^2 p^2 + a_{x1} z_m + 1} = \frac{M^0(p)}{N^0(p)} A_0 - A_1 e^{-\frac{u_1}{z_m}} + A_2 e^{-\frac{u_2}{z_m}}, \quad (68)$$

სადაც  $p$  – კარსონის ოპერატორი,  $z_m$  – დროის მასშტაბური კოეფიციენტი,  $A_1 = 0,5A_0$ .

დასმული ამოცანის ამოსახსნელად პარამეტრული სინთეზის შემთხვევაში მოცემული გარდამავალი პროცესების სინთეზის თანახმად ვწერთ კოორდინატების საწყის ტოლობას

$$x_p(p) \approx x_{p\kappa c}(p).$$

გაშლილი სახით გვექნება

$$W_{mu}(s)W_{\kappa c}(s)_0 - C_{\kappa\sigma} x_{p\kappa c}(s) \approx x_{p\kappa c}(s), \quad (69)$$

სადაც  $x_{p\kappa c}(s)$  – სასურველი კოორდინატის გამოსახულება  $x_p(t)$ , გარდამავალი მრუდისათვის, რომელიც რეალიზებულია ერთეული საფეხურებრივი შემავალი ზემოქმედების შემთხვევაში.

გამსხვილებული სახით ვწერთ:

$$\Phi_1(s)k_v + \Phi_2(s)b_{\kappa c} = \Phi_0(s), \quad (70)$$

სადაც

$$\Phi_1(s) = (C_{\kappa\sigma} + 1)B_{v1}(s)x_{p\kappa c}(s) - k_{\kappa v}W_{\kappa c}(s); \quad (71)$$

$$\Phi_2(s) = (C_{\kappa\sigma} + 1)B_{px}(s)x_{p\kappa c}(s); \quad (72)$$

$$\Phi_0(s) = A_v(s)W_{\kappa c}(s) - (C_{\kappa\sigma} + 1)B_v(s)x_{p\kappa c}(s). \quad (73)$$



შემოგვაქვს განხილვაში წარმოსახვითი სიხშირეები  $\delta = j\omega$ , წონითი კოეფიციენტები  $\lambda$  და ვიხილავთ პირობითი განტოლებების სისტემას.

$$\lambda_{mv} \Phi_1(\delta_\nu, z_m) k_{vn} + \lambda_{mv} \Phi_2(\delta_\nu, z_m) b_{nc} = \lambda_{mv} \Phi_0(\delta_\nu, z_m), \quad (74)$$

$$\nu = 1, 2, 3, \dots, \ell.$$

ასეთი სახით მიღებული პირობითი განტოლებების სისტემას ვამუშავებთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდით და ვიღებთ:

$$D_1^{(1)} b_{nc} + D_2^{(1)} k_v = D_0^{(1)}; \quad (75)$$

$$D_1^{(2)} b_{nc} + D_2^{(2)} k_v = D_0^{(2)}, \quad (76)$$

სადაც

$$D_1^{(1)} = \sum_{i=1}^{\ell} (\lambda_{mv} \Phi_1)^2;$$

$$D_1^{(2)} = \sum_{i=1}^{\ell} (\lambda_{mv}^2 \Phi_2 \Phi_1);$$

$$D_0^{(1)} = \sum_{i=1}^{\ell} (\lambda_{mv}^2 \Phi_0 \Phi_1);$$

$$D_1^{(2)} = D_2^{(1)};$$

$$D_2^{(2)} = \sum_{i=1}^{\ell} (\lambda_{mv} \Phi_2)^2;$$

$$D_0^{(2)} = \sum_{i=1}^{\ell} (\lambda_{mv}^2 \Phi_0 \Phi_2).$$

მიღებული ნორმალური განტოლებების საანგარიშო სისტემის თანახმად ვსაზღვრავთ საძიებელ პარამეტრებს  $b_{nc}$  და  $k_{nc}$ .

აქვე აღვნიშნავთ, რომ მიღებული დამოკიდებულებების გამოყენებისას ვარირებულების სახით შეიძლება აღებული იქნენ ასევე პარამეტრები  $b_k$  და  $b_u$  შესაბამის დინამიკურ რგოლებში.

გამოსაკვლევ სისტემაში მდგრადობის პირობების შემოტანის პროცედურის რეალიზაციისათვის ვიხილავთ სისტემის მახასიათებელ განტოლებებს.

იმის გამო, რომ საქმე გვაქვს მე-9 ხარისხის მახასიათებელ განტოლებასთან მდგრადობის სინთეზისათვის ვსარგებლობთ უწყვეტი სტაციონარული სისტემის დინამიკური მდგრადობის ანალიზის ცნობილი მეთოდიკით.

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

$$\lambda_i = a_{i-1}a_{i+2}/a_i a_{i+1}, \quad i = \overline{2, n-2}. \quad (77)$$

ჩვენი შემთხვევისათვის გვაქვს:

$$\lambda_1 = a_{20}a_{23}/a_{21}a_{22}; \quad \lambda_2 = a_{21}a_{24}/a_{22}a_{23};$$

$$\lambda_3 = a_{22}a_{25}/a_{23}a_{24}; \quad \lambda_4 = a_{23}a_{26}/a_{24}a_{25};$$

$$\lambda_5 = a_{24}a_{27}/a_{25}a_{26}; \quad \lambda_6 = a_{25}a_{28}/a_{26}a_{27};$$

$$\lambda_7 = a_{26}a_{29}/a_{27}a_{28}.$$

საკვლევი სისტემის მდგრადობისათვის საკმარისია, რომ სრულდებოდეს ტოლობა:

$$\lambda_i < \lambda^* \approx 0,465, \quad \forall i = \overline{1, n-2}; \quad (78)$$

$$\lambda_i + \lambda_{i+1} < \lambda^{**} \approx 0,89, \quad \forall i = \overline{1, n-3}; \quad (79)$$

$$\lambda_i + \lambda_{i+1} + \lambda_{i+2} < 1, \quad \forall i = \overline{1, n-4}; \quad (80)$$

$$\lambda_i < (1 - \lambda_{i-1})(1 - \lambda_{i+1}), \quad \forall i = \overline{2, n-3}. \quad (81)$$

შემდგომი ამოცანაა – ინტეგრალური მიახლოება პროცესების არაწრფივ და გაწრფივებულ სისტემებში.

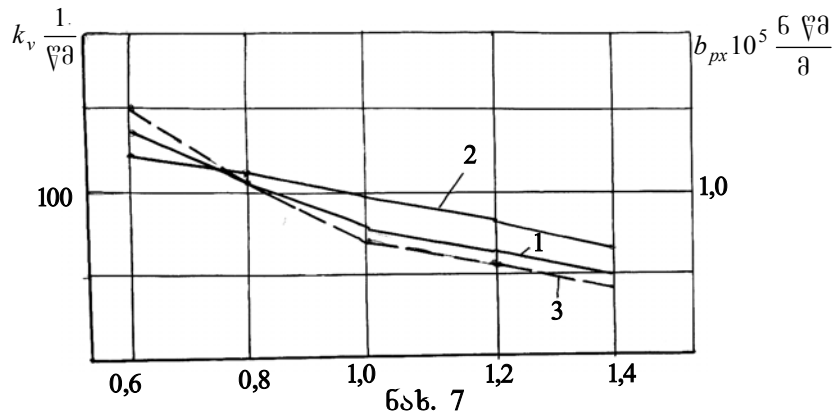
შემუშავებული მეთოდის აპრობაციისათვის ნაშრომში ჩატარებული იქნა კონკრეტული საანგარიშო გამოკვლევები, რეალიზებული იქნა სინთეზის პროცესები, რომელთა შედეგად მიღებული იქნა ფუნქციონალური დამოკიდებულებები სინთეზირებად პარამეტრებსა და სასურველი პროცესის ვარიაციის დამახასიათებელი  $z_m$  კომპლექსური პარამეტრის შორის. უკანასკნელის ილუსტრაციისათვის ნახაზზე 7 მოყვანილია  $k_v(z_m)$ -მრუდი 1 და  $b_{px}(z_m)$  მრუდი 2.

ნაშრომში არაწრფივი და წრფივი სისტემების ამონახსნების მიახლოების თვალსაზრისით ვარირებად პარამეტრად შერჩეული იქნა ჰიდროსისტემის გაძლიერების კოეფიციენტი  $k_{vn}$ .

ნახაზზე 7 მრუდი 3 აღწერს კანონზომიერების  $k_{vn}(z_m)$  არაწრფივ სისტემასთან მიმართებაში.

მიღებული კანონზომიერებების გამოყენებით აგებული იქნა გარდამავალი პროცესების მრუდები, რომლებიც ერთის მხრივ გვიჩვენებენ, მათ სიახლოვეს სასურველთან და, მეორის მხრივ კი იმას,

რომ მიღებული სინთეზირებადი პარამეტრები გარდამავალი პროცესების მრუდებთან შეთანწყოებაში გვაძლევენ სინთეზირებადი პარამეტრების შერჩევის საშუალებას გარდამავალი პროცესების საჭირო მაჩვენებლების მიღების პირობიდან გამომდინარე.



აქვე შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ ჩატარებული გამოკვლევების შედეგები: მიღებული დინამიკის მოდელები და მათი სისწორული ანალიზის მეთოდები, ახალი მიდგომები შემდგომი სტრუქტურული და პარამეტრული კვლევებისადმი შემდგომში წარმატებით შესაძლოა იქნას გამოყენებული განხილვადი მაკოპირებელი სახეის პროცესის ხარისხისა და მწარმოებლურობის ამაღლების თვალსაზრისით.

### დასკვნა

1. რთულპროფილიანი ზედაპირების მქონე დეტალების პროფილირებისათვის განკუთვნილი ჩარხებისა და საჩარხო კომპლექსების ფორმაწარმოქმნის ცნობილი მეთოდების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თანამედროვე საავიჯო მრეწველობაში ასეთი ზედაპირების დამუშავებისათვის ფართოდ გამოიყენება მაკოპირებელი ხეხვის პროცესები.

ეს პროცესები რეალიზებულნი არიან როგორც სახეის ლენტების, ასევე პნევმატიკური აბრაზიული ცილინდრების სახით წარმოდგენილი გასაბერი ინსტრუმენტებით.

ნაჩვენებია, რომ ჩარხებისა და საჩარხო ხაზების სტრუქტურის თვალსაზრისით ფართოდ გამოიყენება კპოვეს როტორულ-სახეხმა მაკოპირებელმა ჩარხებმა და საჩარხო ხაზებმა.

2. როულპროფილიანი ზედაპირების როტორული ხეხვისათვის გამიზნული პირდაპირი კოპირების ცნობილი საჩარხო სისტემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თუ მექანიკური მოთვალთვალე სისტემებით აღჭურვილი მაკოპირებელი მოწყობილობები დამუშავების სიზუსტის, მაკოპირებელი მოძრაობების მდგრადობისა და სიმდოვრის თვალსაზრისით დაკავშირებულნი არიან მნიშვნელოვან ტექნოლოგიურ შეზღუდვებთან, რაც განპირობებულია საკმაოდ დიდი მნიშვნელობის ძალოვანი ზემოქმედებების წარმოშობით სიჩქარის ამალღებულ რეჟიმებში მუშაობისას, პნემატური და ჰიდრაულიკური ელემენტებით მოდიფიცირებული საჩარხო სისტემები აგრეთვე ხასიათდებიან გამოკვეთილი შეზღუდვებით – პირველი მწარმოებლურობის და მეორე კიდევ ფუნქციონალური შესაძლებლობების თვალსაზრისით.
3. არსებულ საჩარხო სისტემებში გამოყენებული მუშა ორგანოების ფარდობით მოძრაობათა შემდგომი ფუნქციონალური გაუმჯობესებით შემუშავებულია ორკოორდინატიანი კოპირების ფარდობითი მოძრაობების კინემატიკური სქემა და მასზე დაყრდნობით ჰიდრო-მექანიკური მოთვალთვალე სისტემით აღჭურვილი მრუდწირულ-ფასონური ზედაპირების კოპირებისათვის გამიზნული როტორულ-სახეხი ჩარხის სტრუქტურული სქემა. ასეთი ჩარხის ერთ-ერთ შემუშავებულ მოდელზე მიღებულია საავტორო მოწმობა.
4. ნამზადის, სახეხი პნემატოცილინდრების, მოთვალთვალე რგოლის და მაკოპირებელი ჩარხის როტორის ნამზადის მოძრაობის გრძივ და განივი სიბრტყეების მიმართულებებით ფარდობით მოძრაობათა კინემატიკის ანალიზის საფუძველზე მიღებულია სახეხი პნემატოცილინდრების ღერძების მღებარეობათა არაწრფივი ფუნქციები და აგრეთვე ჩარხის როტორის კუთხურ მოძრაობასთან და ნამზადის გრძივი მიმართულებით მიწოდებასთან დაკავშირებული მოთვალთვალე რგოლისა და როტორის ფარდობით გადაადგილებათა კინემატიკური კანონზომიერებები.
5. მაკოპირებელ მიმყოლ დინამიკურ პროცესში ფარდობით მოძრაობათა ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილია დინამიკის აღწერისათვის საჭირო განზოგადოებული კოორდინატები. აგებულია კინეტიკური, პოტენციალური ენერგიების, დისიპაციური ფუნქციისა და

განზოგადებულ ძალთა გამოსახულებები და შემდგომ მათი გამოყენებით ადრე გამოვლენილი არაწრფივ მდებარეობის ფუნქციებთან ერთად ლაგრანჟის მეორე რიგის განტოლებაში მიღებულია მოთვალთვალე რგოლის დინამიკის მათემატიკური მოდელი.

საკვლევი სისტემის მოთვალთვალე ამძრავის ჰიდრაგლიკური ნაწილის დინამიკის აღწერისათვის გამოყენებული იქნა ძალთა ბალანსისა და სითხის ხარჯების ცნობილი განტოლებები.

მიღებული იქნა მთლიანი სისტემის არაწრფივი არასტაციონარული მათემატიკური მოდელი, რომელიც თავის სტრუქტურაში დიფერენციალურ განტოლებებთან ერთად შეიცავს ორ ტრანცენდენტულ ალგებრულ განტოლებას.

6. საკვლევი მაკოპირებელი ჩარხის ფუნქციონალური ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ შემდგომი კვლევების თვალსაზრისით საქმე გვაქვს რთულ ორრეჟიმიან მოთვალთვალე სისტემასთან. ერთ შემთხვევაში დაფიქსირებული როტორით და მეორეში კი მბრუნავი როტორით, ამ რეჟიმებთან მიმართებაში შემუშავებულია საკვლევი სისტემის დინამიკის მათემატიკური მოდელები.

პირველ რეჟიმში მუშაობისას მოთვალთვალე სისტემა არის სტაციონარული არაწრფივი და მისი მათემატიკური მოდელი შედგება მოთვალთვალე რგოლის წრფივ და ჰიდროსისტემის არაწრფივ დიფერენციალურ განტოლებებიდან.

მეორე რეჟიმში მუშაობისას ჩარხის მოთვალთვალე სისტემის მათემატიკური მოდელი აღიწერება დროში ცვალებადი კოეფიციენტების მქონე დიფერენციალური განტოლებებით.

7. დინამიკის შემუშავებული მათემატიკური მოდელების ხარისხობრივი ანალიზის შედეგად შემოთავაზებულია საკვლევი ორრეჟიმიანი მოთვალთვალე ჰიდრომექანიკური სისტემის სინთეზის გამოყენებითი თეორია, აგებული სტაციონარული სისტემის პარამეტრულ სინთეზზე მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით და დინამიკური მდგრადობის პირობის შემოტანაზე არაწრფივ არასტაციონარულ სისტემაში.

თავის მხრივ სტაციონარული სისტემის სინთეზის ძირითადი პროცედურებია: „სასურველი პროცესის გაწრფივებული მოდელის“

პარამეტრული სინთეზი და გარდამავალი პროცესების მიახლოება არაწრფივ და წრფივ სისტემებში.

8. საკვლევი სისტემის მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდის პროცედურათა რეალიზაციისათვის შემუშავებული იქნა მეთოდები: სასურველი პროცესების შემოტანისა, საბიებელი პარამეტრების შერჩევისა და მდგრადობის პირობის უზრუნველყოფისა.

ჩატარებულმა საანგარიშო გამოკვლევებმა გვიჩვენეს საკვლევი სისტემის ინჟინრული სინთეზის შემუშავებული თეორიის პრაქტიკული ეფექტურობა. ნაშრომში აგრეთვე მოყვანილია საკვლევი სისტემის შემდგომი სტრუქტურული სრულყოფისა და დინამიკური კვლევის ეფექტურობის ამაღლების მეთოდოლოგიური მიდგომები.

#### დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. Мчедlishვილი Т.Ф., Зубиашვილი Г.М., Амколадзе Х.М., Чхолария Х.М. К моделированию динамики станка для двухкоординатного копирования сложнопрофильных поверхностей. // Транспорт и машиностроение, №4(22), Тбилиси, 2011, с. 43-48;
2. Амколадзе Х.М., Зубиашვილი Г.М., Марсагишვილი Л.Г., Нарсия Д.М. К построению математической модели гидрокопировальной системы роторно-шлифовального станка // Транспорт и машиностроение, № 1(23), Тбилиси, 2012, с. 164-168;
3. Зубиашვილი Г.М., Амколадзе Х.М., Чхолария Н.Н. К динамическому анализу двухкоординатного следящего привода копировального станка // Транспорт и машиностроение, № 2(24), Тбилиси, 2012, с. 46-52;
4. Зубиашვილი Г.М., Амколадзе Х.М., Мчедlishვილი Т.Ф., Элердашვილი И.Ш. К исследованию динамики двухкоординатной следящей системы копировального станка // Транспорт и машиностроение, № 3(25), Тбилиси, 2012, с. 22-27;
5. Амколадзе Х.М., Зубиашვილი Г.М., Мчедlishვილი З.Т., Церетели Т.Р. К вопросу анализа динамики двухкоординатной следящей системы для

- обработки сложнопрофильных поверхностей // Транспорт и машиностроение, № 3(25), Тбилиси, 2012, с. 83-87;
6. Мchedlishvili T.F., Zubiashvili G.M., Mchedlishvili Z.T., Amkoladze X.M., Kapanaidze T.V., Aleksidze B.A. К вопросу динамического синтеза двухкоординатной следящей системы // Транспорт и машиностроение, №1(26), Тбилиси, 2013, с. 184-189;
  7. Мchedlishvili T.F., Marsagishvili L.G., Zubiashvili G.M., Balakhadze D.D. К вопросу динамики электрогидравлической следящей динамики электрогидравлической следящей системы с упругими связями в механической части привода // საერთაშორისო კონფერენციის „21-ე საუკუნის მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი პარადიგმები“. შრომები, ტ. II, თბილისი, 2012, გვ. 196-199;
  8. ზ. ბალამწარაშვილი, თ. მჭედლიშვილი, მ. ტეფნაძე, მ. ლობჯანიძე, გ. ზუბიაშვილი. მრუდწირული რთულპროფილიანი ხის დეტალების სახეხი ჩარხი. გამოგონებაზე პატენტის აღწერილობა. P 5443, (24), 2009, 12.24.

## Abstract

The engineering processes that are characterized by significant difficulties in terms of improving the degree of mechanization and automation, belongs to applied in modern technology, particularly in the furniture industry, processing of details having complex profile surfaces.

Trend to mechanization and automation of having complex profile surfaces details of modern furniture leads to the necessity of development of specialized direct action copy-milling and copy-planning machines for mechanical copying direct action and full external load templet on surface of templet.

The analysis of developed and being under development copy machines shows that:

- Despite the some variety of developed nowadays follow-up mechanisms and machine tools system’s structural layouts and designs, they would be added by more effective new schemes and constructive solutions;
- Applied in the machine tools follow-up mechanisms are belonging to complex nonlinear dynamical non-stationary systems.

The review of considered follow-up mechanisms development and research work shows on actuality of scientific and technical objectives of improving the efficiency of analysis and synthesis methods and methodologies of ongoing in them dynamic processes.

The **objective of work** is presented in terms of functional capabilities of machine tools devices for processing of complex profile details to develop the new

structurally more perfect multidimensional hydro-mechanical follow-up mechanisms schemes and models, development of dynamic research methods and methodologies aimed at increasing the effectiveness of the considered equipment design and operational parameters.

For the **achievement of objective** in the research tasks are including:

- existing and modified schemes of intended for complex profile details grinding machine tools equipment, the analysis of their construction and dynamic research methods and methodologies;
- comparative analysis of having direct copying modified schemes machine tools equipment of containing an automatic pneumatic and hydraulic elements and systems and formulation of research objectives;
- analysis of issues of functional and structural construction of application of hydro-mechanical follow-up system in aimed for processing of complex profile details on two-coordinate copying rotor - grinding machine tools;
- development of structural model of two-coordinate copying machine tool system's elements movements;
- definition of main kinematic regularities of pneumatic cylinder's axes and contact points at the processes surface, control link and machine tool's rotor relative movements in hydraulic rotor-grinding machine tools in interaction with link at rotor circular motion and processed work-piece longitudinal movements;
- in the dynamics model of full system the consideration of structural issue of involving of mathematical model of hydraulic part and construction of dynamics mathematical model of follow-up systems;
- development of research methodologies for fixed as well as for rotational rotary follow-up systems;
- the development of applied theory of considered nonlinear nonstationary hydro-mechanical follow-up systems parametric synthesis, practical approbation of this theory on initial uncontrolled systems and possibility of developed theory analysis.

The **scientific novelty of work** includes:

- development of original scheme of equipped with follow-up hydro-mechanical system two coordinate copying machine tool intended for grinding processing of furniture wood details;
- the original regularities of construction and the proposed machine tools hydro-mechanical follow-up system dynamics in developed models;
- Application of original methodological approaches in the dynamical studies and obtained results of researches.

The **practical value of work** includes:

The offered original schemes of copying machine tool, the mathematical models of considered nonlinear non-stationary control systems, research methods and methodology, aimed for researched system's parameters optimization selection.

In the **introductory part** are grounded the actuality of dissertational work, is carried out the analysis of recent state of construction and research of machine tools and machining lines for processing of multi-profile surface.

Are analyzed the applied mechanical processing methods for various purposes complex profile details shape formation.

It is shown that in the terms of machine-tools and machining lines structure widely are applied rotor - grinding copying machine tools and machining lines. Applied in the existing machining systems working bodies the schemes of relative



movements in the terms of further functional improvement have been developed the structural scheme of relative movements of two coordinate copying and grounded on it equipped with hydro-mechanical follow-up system aimed for processing of curvilinear - shaped surfaces copying rotor - grinding machine. The work-piece, grinding pneumatic cylinders, follow-up link and copying machine rotor's relative movements kinematical analysis are accepted grinding pneumatic cylinders axes positions non-linear functions, related to the machine rotor angular movement and the supply in longitudinal direction of work-piece follow-up link and rotor's relative movement kinematical regularities.

Grounded on the analysis of relative movements of copying follow-up and dynamical processes are revealed required for dynamic description generalized coordinates. Are constructed the expressions of kinetic, potential energies, dissipative function and the generalized forces. Is accepted the follow-up link's dynamics mathematical model.

For the description of considered system's follow-up drive's hydraulic part dynamics are applied the known equations of balance of forces and fluid consumption and was constructed the mathematical model of dynamics of follow-up system.

As the result of qualitative analysis of the developed mathematical models dynamics is proposed the applied theory of synthesis of researched two-mode follow-up hydro-mechanical system, is constructed a based on parametric synthesis of stationary system in accordance with transition process and the introduction of dynamic stability conditions in nonlinear non-stationary system.

In turn the basic procedures for the stationary system synthesis are the following: "desired process linearized model" parametric synthesis and transition processes approximation for nonlinear and linear systems.

In accordance with transition processes in researched systems for the realization of synthesis method's procedures have been developed the following methodologies: introduction of desired processes, selection of desired parameters and condition of stability.

The conducted reporting study shows the practical effectiveness of researched system's engineering synthesis developed theory.