

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მურმან ხაჩიძე

**მრავალთავის უფლებიანი ხარისხის მქონე
მექანიზმების რგოლების შეთანხმებული
მოძრაობის ოპტიმიზაცია**

სადოქტორო პროგრამა მექანიკის ინჟინერია და ტექნოლოგია
შიფრი 0715

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის
აკტორეფერატი

თბილისი

2002 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში
სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის
ფაკულტეტი
სამრეწველო ინჟინერიისა და ტექნოლოგიების დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ნია ნათბილაძე

რეცენზენტები: ტ.მკ ვ.აბაიშვილი (მოწვევ.რეცენზენტი).....
პროფესორი მ.კახიანი
.....

დაცვა შედგება 2022 წლის ,, ...26 “.....ივლისს,,14:00.საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო
სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტის სადისერტაციო
ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი I; აუდიტორია 665
მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი ასოც. პროფ. ი. უგრეხელიძე

ნაშრომის სამართო ღახასიათება

ტექნიკის ყველა სფეროს განვითარების საფუძველს მანქანა-დანადგარები წარმოადგენს, ამდენად მანქანათმშენებლობის როლი დიდია ცივილიზებული საზოგადოების ჩამოყალიბებისათვის, რაც თავის მხრივ კარნახობს მანქანის ცალკეული დეტალების შესწავლა-განგარიშების აუცილებლობაზე.

მანქანათმშენებლობის დარგში ყოველი მანქანა ასრულებს მისთვის განკუთვნილ სამუშაო პროცესს, მასზე კონსტრუირებული სხვადასხვა მექანიზმების მეშვეობით. სწორედ მექანიზმი, ეს მყარი სხეულთა სისტემა არის ის ძირითადი რგოლი, რომელიც მექანიკური მოძრაობის მეშვეობით უზრუნველყოფს მანქანის სრულყოფილ ტექნოლოგიურ პროცესს. ამგვარად, მექანიზმის ძირითადი ფუნქცია მყარ სხეულთა მექანიკური მოძრაობათა გარდაქმნაა.

თემის აპტუალობა: ინოვაციური ტექნიკური პროცესების სირთულე და პროდუქციის მაღალი ხარისხი მუდმივად მოითხოვს ბრტყელი თუ სივრცითი რთული მექანიზმების შექმნას. ამიტომ საჭიროა აუცილებელი ამოცანის გამარტივება, რაც მიიღწევა გეომეტრიული გარდაქმნა ინვერსიისა და სტერეოგრაფიული დაგეგმარების მეთოდების გამოყენებით. თანამედროვე მანქანები, რომლებიც რთულ მოძრავე მექანიკურ სისტემას შეიცავს. მოითხოვენ მათ განსაკუთრებით მაღალ სიზუსტესა და მდგომარეობას.

აქედან გამომდინარე, კონსტრუქტორი ვალდებულია შექმნას ისეთი, მექანიზმები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ოპტიმალური რეჟიმების სწორედ შერჩევას მაღალი სიზუსტით.

ჩვენს მიერ წარმოდგენილი თემატიკის იდეაა შემუშავებული ალგორითმი, გეომეტრიული გარდაქმნის სახით, უზრუნველყოფს ოპტიმალური მოდელის შექმნას, ენერგეტიკული საშუალებების მცირე დანახარჯებითა და სასურველი შედეგის მიღწევით. განსაკუთრებული ყურადღებაა გამახვილებული სამრეწველო ინჟინერიაში არსებული მოძრავე მექანიკური სისტემების გარშემო. ამ თვალსაზრისით განხი-

ლულია ის მოწყობილობები, რომელთა მექანიზმებიც ინოვაციას მოითხოვდნენ იმ დეფექტების აღმოსაფხვრელად, რომლებიც მანქანათმშენებლობის დარგში მეტად საყურადღებოა.

სამუშაოს მიზანი: ჩვენს მიერ დამუშავებული ნაშრომის მიზანია, შეიქმნას მოძრავი მექანიკური სისტემების ანალიზისა და კვლევის მოქნილი თეორია, რომელიც დაფუძნებული იქნება გეომეტრიული გარდაქმნების ზუსტ პრინციპებზე. ამავე დროს გარდაქმნათა თეორიების რეალიზება მოძრავ მექანიკურ სისტემებში, საშუალებას მოგვცემს შეიქმნას ისეთი მუშა მექანიზმები, რომელიც ზუსტად უპასუხებენ მათდამი წაყენებულ ნებისმიერ მოთხოვნას. აქედან გამომდინარე, ნაშრომი ხელს შეუწყობს სამრეწველო ინჟინერიაში მექანიზმების კონსტრუირებასთან დაკავშირებული პრობლემის გამარტივებას და შედეგად სრულყოფილი, ხარისხიანი საინჟინრო საქმიანობის შესრულებას.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს სამრეწველო ინჟინერიაში საჭირო მრავალთავისუფლებიანი ხარისხის მქონე მექანიზმების რგოლების შეთანხმებული მოძრაობის დადგენა და მათი ოპტიმიზაცია, სხვადასხვა ტექნოლოგიური ოპერაციების შესასრულებლად.

კვლევის მეთოდები:

- განხილულია სამრეწველო ინჟინერიაში არსებული ის მუშა მექანიზმები, რომლებიც მათი მოდერნიზაციის გარეშე პროდუქციის წუნის მაღალი ხარისხის მატარებელია. ანალიზური კვლევის საფუძველზე დავადგინეთ მათი კინემატიკური პარამეტრები, რაც ამ მექანიზმების დინამიკური კვლევის საშუალებას იძლევა.
- დამუშავებულია სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესების შემსრულებელი მოწყობილობების კონსტრუირების მეთოდოლოგია. დახვეწილია ამ მოწყობილობათა სტრუქტურული სქემები კომპიუტერული გრაფიკული რედაქტორების მეშვეობით.
- განისაზღვრულია ალგორითმი, გეომეტრიული გარდაქმნის სახით, რომელიც უზრუნველყოფს ოპტიმალური მოდელის შექმნას,

ენერგეტიკული საშუალებების მცირე დანახარჯებითა და სასურველი შედეგის მიღწევით.

საღისმართაციო ნაშრომის სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს გეომეტრიული გარდაქმნების საფუძველზე, მოძრავი სივრცითი კინემატიკური ჯაჭვების ბრტყელი მოდელირებით კვლევა, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელი იქნება სივრცითი რთული ამოცანების მარტივად გადაწყვეტა სიბრტყეზე. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შექმნილია სრულიად ახალი მექანიზმები და მოწყობილობები, რომელთა სიახლეც დადასტურებულია შესაბამისი მოწმობებით.

სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება: მექანიზმების რგოლების შეთანხმებული მოძრაობის ოპტიმიზაციისათვის კონსტრუირების უახლესი მეთოდების ანალიზის საფუძველზე მიღებულია დასკვნები, რომლებიც პრაქტიკაში ფართოდ გამოყენებული მექანიკური სისტემების ბრტყელი მოდელირების საკითხებს ეხება და მიღებული შედეგები ადასტურებს, ჩვენს მიერ შეთავაზებული ტექნიკური გადაწყვეტის უდაო ეფექტურობას.

სამუშაოს აპრობაცია: ნაშრომის შედეგები მოხსენებულ იქნა:

1. სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტი კოლოკვიუმი №1 თებერვალი, 2021წელი.
2. სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტი კოლოკვიუმი №2 მაისი, 2021წელი.
4. სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტი კოლოკვიუმი №3 თებერვალი, 2022წელი.
5. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - IMPLEMENTATION OF MODERN SCIENCE AND PRACTICE--INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE- НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ КОНСТРУИРОВАННЫЕ МЕХАНИЗМЫ -ბულგარეთი, ქ. ვარნა; 11-14 მაისი, 2021წ.

ბამოქმეძნება: კვლევების საფუძველზე გამოქვეყნებული გვაქვს ქვემოთ ჩამოთვლილი შრომები:

- 1) სამრეწველო ავტომატიზირებული მექანიზმი;
- 2) ფურცლოვანი მასალების საკეცი მოწყობილობა;
- 3) სხვადასხვა რადიუსიანი დოლების მქონე სახსრული მექანიზმი;
- 4) ინვერსიული გარდაქმნების თვისებების საფუძველზე კონსტრუირებული სახსრულ-ბერკეტული მექანიზმი;
- 5) მექანიზმის დინამიკის კვლევა კინემატიკურ წყვილში ღრეჩობისა და დარტყმების გათვალისწინებით;
- 6) მცირე და დიდი განივი კვეთის მილსადენების შეერთების უბანში სითხის ნაკადის მარეგულირებელი მექანიზმი - პატენტი სასარგებლო მოდელზე 15591-2;
- 7) ფურცლოვანი ლითონის საღუნო მოწყობილობა - პატენტი სასარგებლო მოდელზე 15590-2;
- 8) მრავალრგოლიანი სამრეწველო რობოტი - პატენტი სასარგებლო მოდელზე

სამუშაოს სტრუქტურა და მოცულობა: დისერტაცია შედგება შესავალი ნაწილისაგან, ლიტერატურული მიმოხილვისაგან, შედეგებისა და განსჯისაგან და დასკვნებისაგან. საერთო მოცულობა ნახაზებთან ერთად შეადგენს 132 გვერდს.

სამუშაოს შინაარსი

შესავალ ნაწილში გაანალიზებულია მანქანათმშენებლობის დარგში არსებული ყველა სახის მანქანის შემადგენლობა, განვითარების ეტაპები და სასარგებლო მუშაობის ოპტიმალური პირობები, დაწყებული მარტივიდან დამთავრებული ურთულესით, რომელთა კონსტრუირება-გაანგარიშება ტექნიკური მექანიკის დამაგვირგვინებელი პროცესია, გაანგარიშების შემდგომი ეტაპი კი, კომპიუტერული უზრუნველყოფაა.

აგრეთვე განხილულია მოძრავი სივრცითი მექანიკური სისტემების კონსტრუირების საკითხების მნიშვნელობა თანამედროვე მანქანათმშენებლობის სწრაფი განვითარების რთულ ეტაპზე, ის მოთხოვნები, რომლებიც ეხება კვლევის ინოვაციური მეთოდების დამუშავებას მექანიზმების ანალიზისა, პროექტირების და დანერგვის უზრუნველსაყოფად. აღწერილია ავტომატური მართვის თანამედროვე თეორიის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი განხრის მრავალგოლიანი რობოტ-მანიპულატორების მართვის სისტემების შემუშავების აუცილებლობა, რაც გამოწვეულია მრეწველობის მხრიდან ასეთ სისტემებზე მაღალი მოთხოვნით.

ყურადღებაა გამახვილებული წარმოდგენილი ნაშრომის თემის აქტუალობის, მეცნიერული სიახლის, სამუშაოს მიზნის, კვლევის მეთოდებისა და პრაქტიკული ღირებულების საკითხებზე. განხილულია ნაშრომის კვლევის ძირითადი შედეგები და შედეგების გამოყენების სფერო, მოცემულია თემატიკის ირგვლივ მასალები გამოყენებული სტატიებისა, საავტორო უფლებების და პატენტების შესახებ. აგრეთვე მითითებულია საერთაშორისო კონფერენციაზე მონაწილეობა.

ლიტერატურულ მიმოხილვაში განხილულია საწარმოო პროცესები, აღჭურვილობა და სისტემები. განსაზღვრულია საწარმოში წარმოების პროცესის ტექნიკური და ორგანიზაციულ-ეკონომიკური მახასიათებლები პროდუქტის ტიპის, წარმოების მოცულობის, გამოყენებული აღჭურვილობისა და ტექნოლოგიური პროცესების შესაბამისი დონის სპეციალიზაციის მიხედვით.

განალიზებულია დამხმარე და ძირითად პროცესებს შორის მთავარი განსხვავება, ძირითადი წარმოების პროდუქტები, სადაც სრულდება ძირითადი საწარმოო პროცესები, რეალიზებას ასრულებენ მობმარებლებთან, გაფორმებული მიწოდების ხელშეკრულებების შესაბამისად. ამ პროდუქტებს აქვთ საკუთარი ბრენდის სახელი, ნიშნები და მათთვის დაწესებულია საბაზრო ფასი.

ამ თავში განხილულია წარმოების პროცესი, როგორც მრავალ

ელემენტარული ტექნოლოგიური პროცედურები, რომელსაც ოპერაციები ეწოდება. საწარმოო ოპერაცია საწარმოო პროცესის ნაწილია. ჩვეულებრივ, იგი ტარდება ერთ სამუშაო ადგილზე აღჭურვილობის გადაწყობის გარეშე და ხორციელდება ერთი და იგივე ინსტრუმენტების კომპლექტის გამოყენებით. როგორც წარმოების პროცესი, ოპერაციები იყოფა ძირითად და დამხმარებად.

პროდუქციის წარმოების ღირებულების შემცირების, წარმოების პროცესის ორგანიზაციისა და საიმედოობის გასაუმჯობესებლად გამოიყენებული წესებისა და მეთოდების ნაკრები, განხილულია ცალკეულად. მათი ჩამონათვალი შემდეგია:

- უბნების, სამუშაო ადგილების სპეციალიზაცია;
- ტექნოლოგიური პროცესის ნაკადურობა და უწყვეტობა
- საწარმოო ოპერაციების შესრულების პარალელიზმი და პროპორციულობა.

საწარმოო ოპერაციების დასრულებულ წრეს პირველიდან ბოლომდე პროდუქციის წარმოებაში ეწოდება წარმოების ციკლი. იმის გამო, რომ წარმოების პროცესი მიმდინარეობს დროსა და სივრცეში, ამიტომ წარმოების ციკლი შეიძლება გაიზომოს პროდუქტისა და მისი კომპონენტების გადაადგილების გზის სიგრძით და დროით, როდესაც პროდუქტი გადის მთლიანი გადამუშავების გზას. წარმოების ციკლის სიგრძე არ არის ხაზი, არამედ ფართო ზოლი, რომელზეც მდებარეობს მანქანები, მოწყობილობა, ინვენტარი და ა.შ.; ამიტომ, პრაქტიკაში, უმეტეს შემთხვევაში, განისაზღვრება არა გზის სიგრძე, არამედ შენობის ფართობი და მოცულობა, რომელშიც მდებარეობს წარმოება.

ამ თავში განხილულია წარმოების ციკლის ხანგრძლივობა და მისი მომცველი ეტაპები. წარმოების ციკლის ხანგრძლივობა დიდწილად დამოკიდებულია მათი დამუშავების პროცესში შრომის ობიექტების გადაადგილების წესზე და წარმოების ტიპზე. ყურადღებაა გამახვილებული საწარმოო ხაზის მთავარ რგოლზე.

აღწერილია თანამედროვე წარმოება, რომელიც არის ნედლეულის, მასალების, ნახევრად მზა პროდუქტებისა და შრომის სხვა ობიექტების

მზა პროდუქტებად გადაქცევის რთული პროცესი, რომლებიც აკმაყოფილებს საზოგადოების საჭიროებებს. აგრეთვე, წარმოების პროცესის ძირითადი ნაწილი-ტექნოლოგიური პროცესები, რომლებიც შეიცავს მიზანმიმართულ ქმედებებს შრომის ობიექტების მდგომარეობის შესაცვლელად და დასადგენად. ტექნოლოგიურ პროცესებთან ერთად, წარმოების პროცესი ასევე მოიცავს არატექნოლოგიურ პროცესებს, რომლებიც მიზნად არ ისახავს შრომის ობიექტების გეომეტრიული ფორმების, ზომების ან ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შეცვლას ან მათი ხარისხის შემოწმებას. ეს პროცესები მოიცავს ტრანსპორტირებას, შენახვას, დატვირთვას და გადმოტვირთვას, აწყობას და სხვა ოპერაციებსა და პროცესებს.

ამ თავში ნაჩვენებია წარმოების პროცესების მრავალფეროვნება, მათი დანიშნულებისა და როლის შესაბამისად. მნიშვნელოვანია, საწარმოო პროცესების ორგანიზების სამეცნიერო პრინციპების განხილვა, მათი ეფექტური ფუნქციონირების უზრუნველსაყოფად მაღალი ხარისხის და რაოდენობის სპეციფიკური პროდუქციის წარმოება, ქვეყნის ეროვნული ეკონომიკისა და მოსახლეობის საჭიროებების შესაბამისად.

აქედან გამომდინარე, განხილულია ამ დარგში არსებული სხვადასხვა მოწყობილობათა უაღრესად რთული მექანიზმების მოძრაობის კანონები და მოცემულია გამოსაკვლევი ამოცანების მოკლე მიმოხილვა და დასაბუთებულია გეომეტრიული გარდაქმნების მეთოდების აქტუალობა. შემოთავაზებულია ის მეთოდები, რომლებიც დამყარებულია გარდაქმნების თავისებურებებზე სივრცითი მექანიზმების ბრტყელი მოდელების კონსტრუირებისათვის. ამასთან ერთად, ყველა ამოცანები უზრუნველყოფს მათ მარტივ და ეფექტური გადაწყვეტილებების გამოყენებას პრაქტიკაში.

ამ თავში მოცემულია ტექნოლოგიური პროცესებისა და აღჭურვილობის ანალიზი მანიპულირების რობოტების გამოყენებით, ეს აღნიშნული სამრეწველო პროდუქტების ტექნიკური დონის და ხარისხის გაუმჯობესების პრობლემა ამჟამად ეროვნული ეკონომიკის განვითარე-

ბის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ამოცანაა. ინდუსტრიულ სექტორებში, როგორცაა მანქანათმშენებლობა, კვების მრეწველობა, პოლიგრაფია და ა.შ., ციკლური ტექნოლოგიური ავტომატური აპარატები და მანიპულატორები ფართოდ გამოიყენება, რომელთა მუშა მექანიზმები ასრულებენ ბრუნვით-უკუსვლით ან წინსვლით-უკუსვლით მოძრაობებს, მყისიერი გაჩერებით. სამუშაო ორგანოების გადაადგილების ეს ბუნება მიიღ-წევა სხვადასხვა ტექნიკური მოწყობილობის დახმარებით, კერძოდ, მუშტა, მუშტა-ბერკეტული და ბერკეტული მექანიზმების დახმარებით. ბერკეტული მექანიზმების საფუძველზე შექმნილი ავტომატურ მანქანებს გარკვეულ უპირატესობებს აქვთ, მაგრამ ბოლო დრომდე მათი გამოყენება შეფერხებული იყო, რომლის ერთ-ერთ მიზეზად მრავალრგოლიანი მუშტა მექანიზმების სინთეზის საკმარისად მარტივი და ეფექტური მეთოდების ნაკლებობა მოიხარებოდა. ბოლო ათწლეულში შემუშავდა ბერკეტული მექანიზმების მოდულური კინეტიკური სინთეზის უნივერსალური მეთოდი, მოცემული ციკლოგრამის მიხედვით. მეთოდი საშუალებას გაძლევთ დავაპროექტოთ მექანიზმები მოცემული კინემატიკური ცდომილების გათვალისწინებით.

დარგში ძირითადი კვლევების საფუძველზე ლიტერატურულ მიმოხილვაში წარმოჩენილია, ჩვენს მიერ დასახული საკითხის აქტუალობა და მისი პრაქტიკაში გამოყენების დადებითი შედეგი. აქვე განხილულია ჩვენს თემატიკასთან ასოცირებული პრობლემების, კერძოდ მოძრავი სივრცითი მექანიკური სისტემების კვლევების საკითხები, რომლებზედაც მუშაობდნენ მთელი, რიგი მეცნიერები, რომლთა მიერ წლების მანძილზე შექმნილია მრავალი ანალიზური თუ გრაფიკული მოდელები, რომლის საშუალებითაც მოძრავი სივრცითი მექანიკური სისტემების კონსტრუირების ძალიან გამარტივებული მიდგომები იყო დამუშავებული.

აქედან გამომდინარე, ნათელია, რომ ზემოთხსენებულ მეცნიერთა ჯგუფს დიდი სამუშაოები აქვთ ჩატარებული გეომეტრიული გარდაქმნების საფუძველზე შექმნილი ბრტყელი და სივრცითი მექანიზმების

ანალიზისა და სინთეზის საკითხებში. ჩვენი თემატიკის სრულყოფი-სათვის მიზნად დავისახეთ, რთული კონტრუქციული მანქანა აგრეგატების მექანიზმების კვლევა ინოვაციური კომპიუტერული სისტემების გამოყენებით. გავანალიზებთ სხვადასხვა ტექნოლოგიურ ამოცანებს, რომლებიც წარმოიქმნება საგანგებო სიტუაციების აღმოფხვრის, აღჭურვილობის დემონტაჟისა და ნარჩენების განკარგვის დროს, მრავალფუნქციური რობოტების დახმარებით, ასეთი რობოტების შექმნა და დანერგვა ტექნიკაში აუცილებელი ტენდენციაა. ბოლო წლებში გაიზარდა მკვლევარების ინტერესი ასეთი რობოტების მიმართ. შეუძლებელია რთულ ობიექტებზე წარმოქმნილი ტექნოლოგიური ოპერაციების მთელი ფართო სპექტრის შესრულება ერთი რობოტით, აუცილებელია გამოვყოთ ამოცანების დიაპაზონი, რომლებიც თანდაყოლილია ამ ობიექტებში და შესაძლებელია რობოტიკის განვითარების ამ ეტაპზე.

შედეგებისა და მათი განსჯის თავში ლიტერატურული მიმოხილვის შედეგად ჩამოყალიბებულია, რთული მოძრავი მექანიკური სისტემებისათვის კვლევის მეთოდოლოგია და შემუშავებულია მათი კვლევის მარტივი, ყველასათვის ხელმისაწვდომი ალგორითმი. პრობლემები, რომლებსაც ვხვდებით მექანიკის ინჟინერიაში, მექანიზმებისა და მანქანების ანალიზისა და სინთეზის პრობლემებია. მანქანების მექანიკის პირდაპირი ამოცანაა - არსებული მექანიზმებისა და მანქანების თვისებების განსაზღვრა ანალიზურად, ხოლო საპირისპირო ამოცანა-მექანიზმების სინთეზია, ანუ ახალი მექანიზმების შექმნა, რომლებსაც უნდა ჰქონდეთ არსებულთან შედარებით გაუმჯობესებული თვისებები, როგორცაა: წარმადობა, საიმედოობა, ხანგამძლეობა და ა.შ.

როგორც ავლინშნეთ, ტექნიკის ყველა სფეროს განვითარების საფუძველი მანქანა-დანადგარებია, რომელთა ინოვაციისათვის საჭირო და აუცილებელია შეირჩეს მექანიზმის ისეთი სტრუქტურული სქემა, რომელიც მთლიანად ესადაგება იმ მოძრაობის ტრაექტორიების შესრულებას, რომელსაც კონსტრუქტორი მიზნად ისახავს.

ნაშრომის მთავარი ამოცანაა მანქანათმშენებლობის ტექნოლოგიურ პროცესებში მონაწილე მანქანა-დანადგარების ბრტყელი და სივრცითი მოძრავი მექანიკური სისტემების დაპროექტების მარ-ტივი მოდელის შექმნა, რომელიც წინამორბედისაგან განსხვავებული იქნება კომპაქტურობითა და სასურველი სიზუსტის მიღწევის უნარით, რაც საშუალებას მოგვცემს მნიშვნელოვნად გაიზარდოს მათი გამოყენება მაღალმწარმოებლურ ავტომატიზირებულ მოწყობილობებში.

ნაშრომში ეტაპობრივად გათვალისწინებულია მოძიებული ინფორმაციით ამ მოწყობილობების პრობლემების პუნქტობრივი შესწავლა და მისი გადაწყვეტის თეორიული და პრაქტიკული რეალიზაცია, თეორიული და პრაქტიკული მასალის დამუშავების თანხლებით, შესაბამისი რეკომენდაციების შემუშავება სამეცნიერო ტექნიკური შინაარსის საფუძველზე, ნაშრომის დამუშავება და გამოცემა.

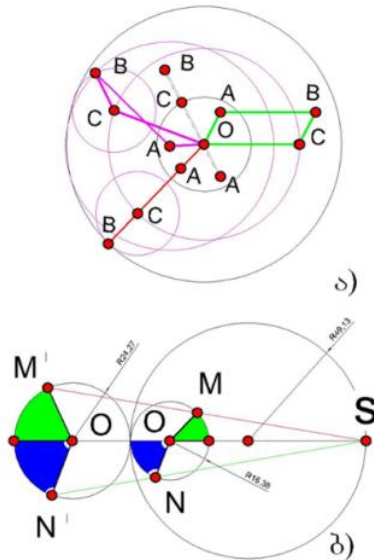
ზემო ხსენებულიდან გამომდინარე, ამ თავში განხილულია მექანიზმების კვლევისა და კონსტრუირების ისეთი მოდელი, რომელიც მარტივად წყვეტს დასმულ რთულ ამოცანებს და ეთანადება გეომეტრიული გარდაქმნების უაღრესად რთულ პრინციპებს. მანქანათმშენებლობაში არსებული მექანიზმების კონსტრუქციები, გეომეტრიული მეთოდების საშუალებით, დაგეგმარებულია სრულიად ახალ, შედარებით მარტივ კონსტრუქციებად, რომელიც აპარატის ავტომატური მართვის მოხერხებულ მოწყობილობას წარმოადგენს.

ზემოთ აღნიშნულის უზრუნველსაყოფად, შევიმუშავეთ საინჟინრო მრეწველობაში ფართო დანიშნულების მქონე ავტომატიზირებული ტექნოლოგიების შემსრულებელი მექანიზმები, რომელთა მოძრაობის კანონები დაფუძნებულია გეომეტრიულ გარდაქმნებზე. ასეთი ტიპის მექანიზმები, შეიძლება გამოყენებულ სამრეწველო ინჟინერიის თითმის ყველა სფეროში, სადაც მექანიზმის მოძრაობის პრინციპი გეომეტრიული გარდაქმნა ინვერსიის ყველა თვისებას მოიცავს.

ამისთვის ჩვენ შესრულებული გვაქვს ის გეომეტრიული აგებები და გარდაქმნები, რომელიც დასმულ ამოცანას მარტივად გადაწყვეტს. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად ნაშრომში წარმოდგენილია გეომეტრიული

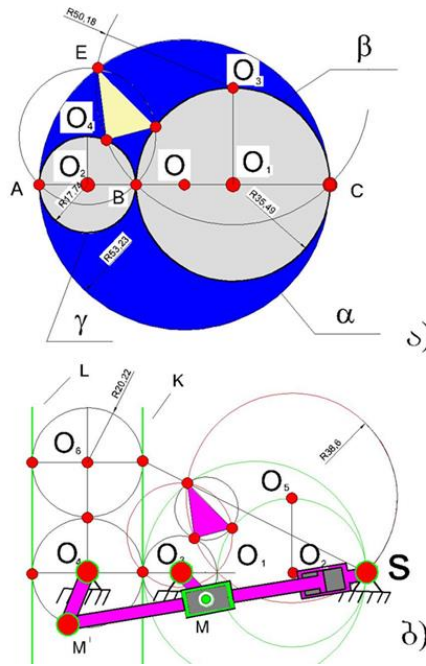
გარდაქმნების საფუძველზე შექმნილი ისეთი მოძრავი მექანიკური სისტემები, რომლებიც უზრუნველყოფს ამა თუ იმ მანქანის მიერ შესრულებულ სამუშაოს, რომელიც ხარისხიანი პროდუქციის გარანტი იქნება.

განვიხილოთ ის, გეომეტრიული აგებები, რომლებიც ცხადყოფენ ზემოთ აღნიშნულს. ნახაზზე-1ა წარმოდგენილია მრუდხარა ბარბაცა მექანიზმების პარამეტრების სქემები. შემო-თავაზებული მექანიზმი ზუსტი კინემატიკური პარამეტრებით ხასიათდება და იგი საინჟინრო ტექნოლოგიური პროცესების მიმართ წაყენებული მოთხოვნების სრულ დაცვას განაპირობებს. კონსტრუქციის სისადავე ტექნოლოგიურ მახასიათებლებს შეესაბამება და იგი ავტომატური მართვის მოხერხებულ მოწყობილობას წარმოადგენს. ასე მაგალითად: $OABC$ მექანიზმი პარალელოგრამს წარმოადგენს, ხოლო $OA_1B_1C_1$ ანტიპარალელოგრამს, რომელთა გვერდების სიგრძეთა პარამეტრები მოცემულია OB_2 მონაკვეთზე. ზემოთ, აღნიშნული იმ მოძრავი მექანიკური სისტემების ზუსტად მუშაობის საფუძველს წარმოადგენს.



ნახ.1. გეომეტრიული გარდაქმნა

ნახ. 1,ბ-ზე გამოსახულია გეომეტრიული გარდაქმნა ინვერსიის თვისებების მიხედვით აგებული გეომეტრიული სქემა, სადაც ნათლად ჩანს O და O' ცენტრებზე OM და $O'M'$ რადიუსებით შემოწერილი წრეხაზები ინვერსიული წრეწირები არიან. ნახაზზე ნაჩვენებია გეომეტრიული ფიგურა, რომლის აგებულება, საშუალებას იძლევა მას რეალიზება გავუკეთოთ სივრცით მოძრავ მექანიკურ სისტემებში. კერძოდ, რთულ ტექნოლოგიურ მოწყობილობებში განახორციელოს რგოლების სასურველი ტრაექტორიები.

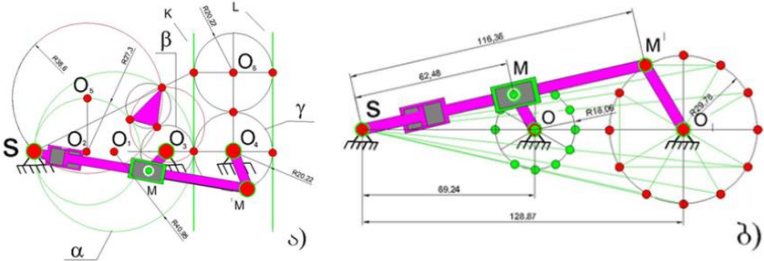


ნახ. 2. არქიმედეს არბელოსი

ნახ. 2,ა-ზე წარმოდგენილია არქიმედეს არბელოსის სქემა, რომელზეც α წრეხაზში ჩახაზული β და γ წრეხაზებია, რომელთა დიამეტრებიც შესაბამისად α წრეხაზის დიამეტრის $2/3$ და $1/3$ ნაწილს შეადგენს. ნახ. 2,ბ-ზე კი ნაჩვენებია C წერტილის ნაცვლად, ინვერსიის S

ცენტრი, რომელიც ზემოთ აღნიშნულ ნახაზზე α წრეხაზზე მდებარეობს (არბელოსის სისტემა).

ნახ. 3,ა და 3,ბ-ზე მოცემულია არქიმედეს არბელოსზე აგებული მექანიზმი, როგორც ვხედავთ, ამ მექანიზმის კინემატიკური პარამეტრები, გეომეტრულ ჰომოტეტიურ გარდაქმნებზე, აგებული მრავალრგოლა მექანიზმების ერთ-ერთი სახეა.

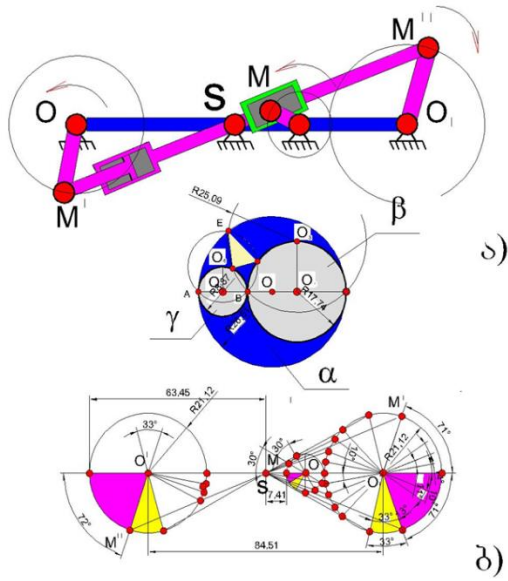


ნახ. 3. გარდაქმნებზე აგებული მექანიზმი

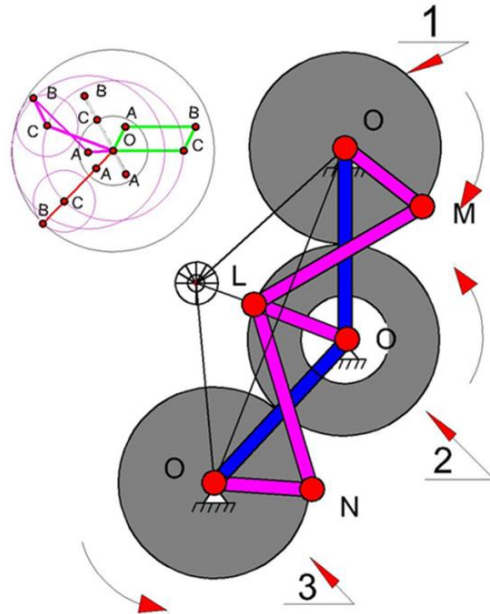
რთული მოძრავი მექანიკური სისტემა, რომელშიც განივთებულია, არქიმედეს არბელოსის თეორიული პრინციპები წარმოდგენილია ნახაზზე 4.

ნახ. 4.ა-ზე წარმოდგენილი მექანიზმის გეომეტრიული სქემა, ნაჩვენებია ნახ. 4.ბ-ზე. O წერტილზე შემოწერილი OM რადიუსიანი წრეწირი, წამყვანი რგოლის ტრაექტორიაა, რომლის ინვერსიაც S ცენტრის მიმართ O_1 ცენტრზე O_1M რადიუსით შემოწერილი წრეწირია. ინვერსიის S ცენტრიდან, მარჯვნივ დადებითი ინვერსიული გარდაქმნაა, ხოლო მარცხნივ უარყოფითი, რომელსაც O' ცენტრზე $O'M''$ შემოწერილი წრეწირი შეესაბამება.

სქემა ნათლად გვიჩვენებს, რომ OM რგოლის თანაბარი მოძრაობა O_1M' და $O'M''$ -ის არათანაბარი მოძრაობა შეესაბამება. ამავე დროს, M' და M'' ურთიერთსაწინააღმდეგო მოძრაობებს ასრულებენ, რასაც ნახაზზე ნაჩვენები ფერები გვიდასტურებენ.



ნახ. 4. არბელოსზე აგებული მექანიზმის კინემატიკა



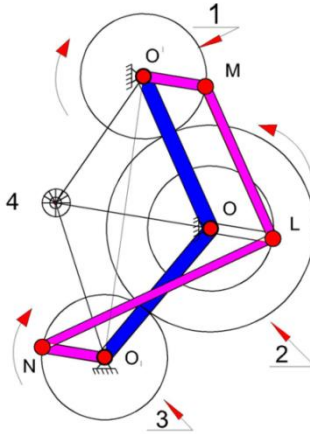
ნახ. 5. დოლების მამოძრაველი მარტივი მექანიზმი

ნახ. 5-ზე ნაჩვენებია მექანიზმი, რომელიც უმთავრესად გამოიყენება სამრეწველო ინჟინერიის დარგებში, იქ სადაც აუცილებელია ნებისმიერი გადაადგილების ავტომატიზირებული მართვა. ამ მექანიზმში, მხოლოდ ბრუნვითი კინემატიკური წყვილები უზრუნველყოფენ შესაბამისი ლილვების, თავისუფალ მოძრაობას. ნახაზზე 5 აგებულია, 5ა-სქემიდან ორი შეწყვილებული ანტიპარალელუგრამი. პირველი არის ONL_0_1 და $O_1 LMO_2$. ეს მეტად მარტივი, შეწყვილებული ოთხგროლა მექანიზმი, უზრუნველყოფს 1, 2 და 3 ლილვების ნახაზზე ისრებით ნაჩვენებ, შეთანხმებულ მოძრაობას.

აღნიშნული მექანიზმის უპირატესობაა კონსტრუქციის გამარტივება, საექსპლოატაციო მახასიათებლების გაუმჯობესება და მუშაობის მაღალი სიზუსტე.

იმის მიუხედავად, რომ დღეისათვის შექმნილია ისეთი მექანიზმები, რომლებსაც უაღრესად დადებითი თვისებები აქვთ, მათ მთელ რიგ შემთხვევაში გააჩნიათ შემდეგი ნაკლოვანებები: შედარებითი მაღალი მოთხოვნები დამზადების და დამონტაჟების სიზუსტეებზე; დიდ სიჩქარეებზე ხმაური; დიდი დატვირთვები ლილვებზე და საკისრებზე; ცვალებადი გადაცემათა რიცხვი; დაბალი მქვ; მუშა ზედაპირების არათანაბარი ცვეთა და სხვა. აღნიშნულიდან გამომდინარე, მიზანშეწონილია არსებული მოძრავი სისტემები ჩანაცვლდეს, სახროვანი მექანიზმების ისეთი კონსტრუქციით, რომელიც მინიმუმამდე შეამცირებს არსებულ ნაკლოვანებებს.

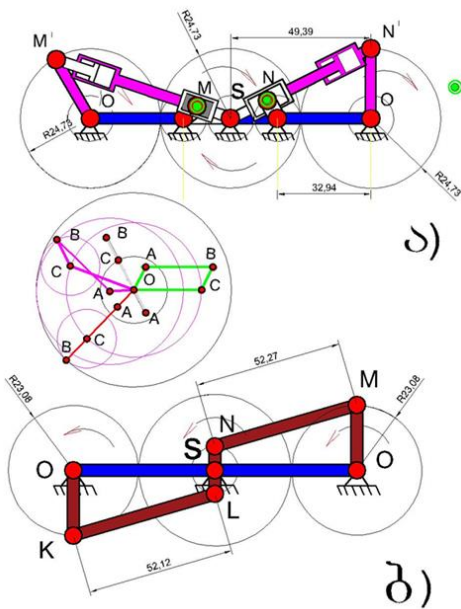
ნახ. 6-ზე ნაჩვენებია, სამი სხვადასხვა რადიუსიანი დოლის მრავალთავისუფლებიანი ხარისხის მქონე მექანიზმის რგოლების შეთანხმებული მოძრაობის ოპტიმიზირება. ეს მექანიზმი ძირითადად გამოიყენება, მრეწველობის დარგის იმ მანქანა - დანადგარებში, სადაც ხარისხიანი პროდუქციის მისაღებად სხვა-დასხვა რადიუსიანი მექანიზმების შეთანხმებული მოძრაობის შესრულებაა საჭირო. წარმოდგენილი სახროვანი მექანიზმით, რომლის კონსტრუქციაც გაუმჯობესებულია არსებულთან შედარებით, გამარტივებულია მექანიზმის კონსტრუქცია, მუშა რეჟიმი და დარეგულირებულია სიჩქარე.



ნახ. 6. სხვადასხვა რადიუსიანი დოლების მქონე მექანიზმი

ნახ. 7-ზე წარმოდგენილია ჩვენს მიერ კონსტრუირებული უაღრესად მარტივი მექანიზმები, რომლებიც ერთი ამძრავის მეშვეობით ასრულებენ იგივე მუშაობას, ისე როგორც მრავალ ძრავიანის შემთხვევაში. აღნიშნული მექანიზმის მნიშვნელოვანი უპირატე-სობაა ამძრავის რაოდენობის შემცირება, კონსტრუირების სიმარ-ტივე და ამასთან გამართული მუშაობა. აღნიშნული მექანიზმი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, საინჟინრო დარგში საჭირო მანქა-ნებში, სადაც დაიზოგება ის პარამეტრები, რომლებზეც ყურადღება გავამახვილებთ.

ჩვენს მიერ კონსტრუირებული მექანიზმების აგების მეთოდები აყალიბებს მეცნიერულ საფუძველს ახალი მანქანებისა და მოწყობი-ლობების შესაქმნელად, მათი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებისათვის.



ნახ. 7. მარტივი მექანიზმები

მრავალ განსხვავებულ პროგრესულ ტექნოლოგიათა შორის არის ისეთი პერსპექტიული მიმართულება, როგორცაა მოქნილი ავტომატიზირებული ტექნოლოგიები, ტექნოლოგიების რობოტიზაცია, ლაზერული ტექნოლოგიები, ბიოტექნოლოგიები, მემბრანული ტექნოლოგიები, რადიაციულ-ქიმიური და საინფორმაციო ტექნოლოგიები და ა.შ. მსოფლიოში მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების განვითარების სწრაფი ტემპის წყალობით, ვითარდება და ინერგება უახლესი ტექნოლოგიები, რომელთა დანიშნულება ფუნდამენტურად ახალი ან გაუმჯობესებული თვისებების მქონე პროდუქტების შექმნაა. ეს პროცესი მნიშვნელოვნად შეამცირებს წარმოების ხარჯებს მოძველებულ ტექნოლოგიებთან შედარებით. პროგრესული ტექნოლოგიები გადამწყვეტ როლს ასრულებენ როგორც ეკონომიკის, ისე მთლიანად საზოგადოების განვითარებაში.

ავტომატიზაციის პროცესი დღეს როგორც არასდროს, განსაკუთრებულად სწრაფი ტემპებით ვითარდება. ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზაციის ამოცანების გადაწყვეტა ხორციელდება თანამედროვე ავტომატიზაციის საშუალებების დანერგვით. წარმოების ავტომატიზაცია ითვალისწინებს საიმედო, შედარებით მარტივ მანქანებს, მექანიზმებისა და აპარატების შექმნასა და მიზანმიმართულ გამოყენებას. თანამედროვე ტექნიკაში ფართოდ გამოიყენებიან სივრცითი მანიპულატორები, რომელთა კვლევის ამოცანები უზრუნველყოფენ სივრცითი მექანიკური სისტემების შემადგენელი ღია კინემატიკური ჯაჭვების მოძრაობის კანონების დადგენას. კინემატიკურ ჯაჭვთა სისტემა მრავალფეროვანია და როგორც წესი სივრცით ღია კინემატიკურ სახსროვან სისტემებს წარმოადგენენ, რომელსაც მოძრაობის რამოდენიმე თავისუფლების ხარისხი გააჩნია. აღნიშნული მეთოდი საშუალებას იძლევა რთული მათემატიკური სისტემები ჩამოვყალიბოთ, ბრტყელი მანიპულატორებისათვის და იგი სივრცით სისტემას მოვარგოთ.

აღნიშნული ამოცანის გადასაჭრელად განხორციელებულია, როგორც თეორიული, ასევე ექსპერიმენტალური კვლევები, სიზუსტისა და უნივერსალური სამრეწველო რობოტის მექანიზმების ცდომილებათა დასადგენად.

ცნობილია სხვადასხვა სამრეწველო რობოტი, რომელთა მუშაობის უარყოფითი მხარეა დაბალი ფუნქციური შესაძლებლობები, რადგან მოყვანილი კინემატიკით შესაძლებელია მხოლოდ სატაცის ერთი მართულებით პოზიციონირება. გარდა ამისა, მათ გააჩნიათ დაბალი საექსპლოატაციო შესაძლებლობებიც, რაც გამოწვეულია ერთი შემსრულებელი ორგანოს - სატაცის არსებობით. აღნიშნული ნაკლოვანებანი კი განაპირობებს დაბალ მწარმოებ-ლურობას.

სამრეწველო რობოტის შექმნა, რომელიც თავისუფალი იქნება ზემოაღნიშნული ნაკლოვანებისაგან წარმოადგენს ჩვენს მიერ კონსტრუირებული სასარგებლო მოდელის ამოცანას. ამოცანა გადაწყვეტილია მრავალრგოლიანი სამრეწველო რობოტით მრავალ-

რგოლიანი სამრეწველო რობოტით.

სასარგებლო მოდელის ტექნიკური შედეგია ფუნქციური შესაძლებლობის გაფართოება, საექსპლოატაციო შესაძლებლობების ამაღლება და საიმედოობის გაზრდა. ფუნქციური შესაძლებლობების გაფართოება მიიღწევა მით, რომ რობოტი აღჭურვილია სამი სატაციო, რომლებსაც გააჩნიათ სხვადასხვა მიმართულებითა და სხვადასხვა სიბრტყეებში პოზიციონირების შესაძლებლობა, რაც იმავდროულად ზრდის მწარმოებლურობასაც. საქსპლოატაციო შესაძლებლობების ამაღლება მიიღწევა ასევე მიიღწევა გაზრდილი შემსრულებელი ორგანოების-სატაციების რაოდენობით და იმავდროულად იმითაც, რომ მოყვანილ კინემატიკური სქემა მთლიანობაში უზრუნველყოფს ტექნოლოგიური ოპერაციებს ფართო დიაპანში, რაც განპირობებულია სატაციების სხვადასხვა სიბრტყეებში პოზიციონირებისა და განსხვავებული მოძრაობების შესრულების შესაძლებლობით, ასე მაგალითათ პირველი და მეორე სატაცი პოზიციონირებს ჰორიზონტალური სობრტყეში ასრულებენ უკუქცევით წინსვლით მოძრაობას ხოლო მესამე სატაცი პოზიციონირებს როგორც ჰორიზონტალურ ასევე ვერტიკალურ სიბრტყეში და უკუქცევით - წინსვლითი მოძრაობისა გარდა აქვს შესაძლებლობა ბრუნვისა. საიმედოობა მიიღწევა იმით, კინემატიკურ სქემაში არ არის ჩართული ბაზისური ელემენტები და რგოლები ასრულებენ მათთვის მკაცრად მინიჭებულ და კლასიკურად განსაზღვრულ მოძრაობებს.

ნახ. 8-ზე წარმოდგენილია მრავალრგოლიანი სამრეწველო რობოტის კინემა-ტიკური სქემა. მრავალრგოლიანი სამრეწველო რობოტის წერტილთა მოძრაობის ტრაექტორიებს საფუძვლად უდევს გეომეტრიული გარდაქმნა-ინვერსიის თვისებებზე კონსტ-რუირებული მექანიზმი.

მოყვანილი რობოტი მუშაობს შემდეგნაირად: მრავადან (ნახაზზე ნაჩვენები არ არის) ბრუნვითი მოძრაობა ენიჭება პირველ მრუდმხარას 5, რომლისგანაც მოძრაობაში მოდის პირველი ბარბაცა 4, ბარბაცას ტელესკოპური ფორმა უზრუნველყოფს M და M_1 წერტილების, ანუ

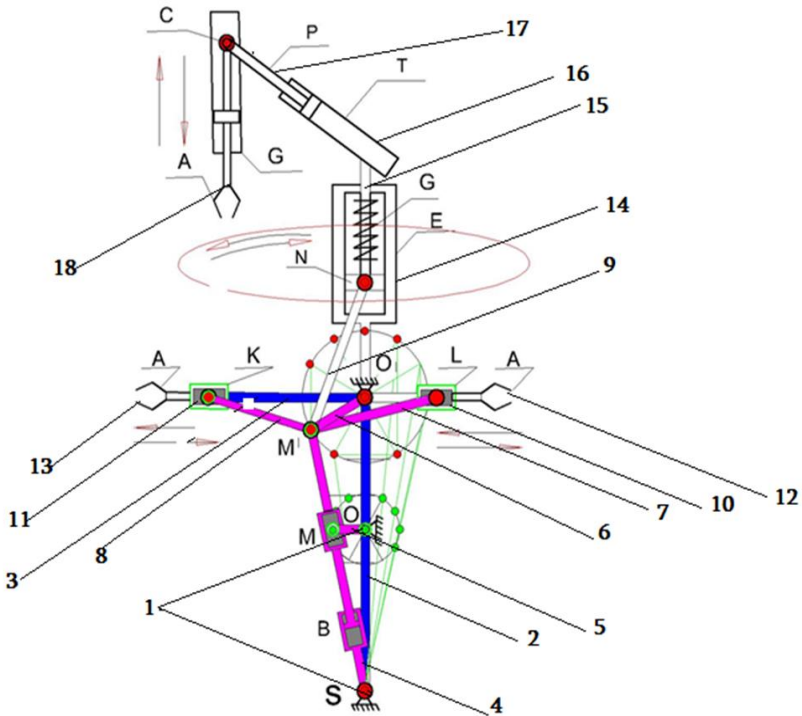
სახსრული შეერთების ადგილების წრიულ მოძრაობას. ვინაიდან M_1 წერტილში მდებარეობს ასევე მეორე, მესამე და მეოთხე ბარბაცების სახსრული შეერთების ადგილი იმავდროულად მოქმედებაში მოვლენ ეს უკანასკნელნი. მეორე და მესამე ბარბაცები უზრუნველყოფენ განივ ბერკეტზე დასმული ცოციებით პირველი და მეორე სატაცების პოზიციონირებას. მეოთხე ბარბაცა კი, შესაბამისად უზრუნველყოფს მესამე სატაცის პოზიციონირებას.

აღნიშნული რობოტის უპირატესობაა- გეომეტრილი გარდაქმნა ინვერსიის საფუძველზე კონსტრუირებული მექანიზმის სწორი მუშაობით, უზრუნველყოფილია ერთ ამძრავთნ დაკავშირებული ავტომატიზირებული სისტემის მოძრაობის შეთხზებული მუშაობა, ისე რომ მაღალი სიზუსტის მისაღწევად სატაცების მუშაობის რეჟიმი იყოს მდორე, ხოლო დეტალი სწრაფად და შეუფერხებლად მიეწოდოს დასამუშავებელ არეს.

მოწყობილობა განეკუთვნება მოძრაობის გარდამქმნელებს და შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ყველგან, სადაც მექანიზმის მოძრაობის პრინციპი, გეომეტრიული გარდაქმნა ინვერსიის ყველა თვისებას მოიცავს. აღნიშნული მექანიზმის მაღალი საიმედოობა, ფუნქციური მოქნილობა, საწარმოო ხაზების გამართული ფუნქციონირების საშუალებას იძლევა.

მრავალი ცნობილი მექანიზმიდან ოპტიმალურის შერჩევა, ან ახალი კონსტრუირებულის დადებითობა დასტურდება მექანიზმების კინემატიკური ანალიზის საფუძველზე, რადგანაც აუცილებელია მისი ძირითადი პარამეტრების კვლევა ცვლილების კანონზომიერების დასადგენად.

რობოტი-მანიპულატორების კვლევის ძირითადი ამოცანების გადაჭრა სივრცითი მექანიზმების მქონე სისტემების სტრუქტურის, გეომეტრიის, კინემატიკისა და დინამიკის შესწავლის ზოგადი მეთოდების საფუძველზე სრულდება.



ნახ. 8. მრავალრგოლიანი სამრეწველო რობოტის კინემატიკური სქემა.

ნაშრომში ჩვენს მიერ, განხილულია სამრეწველო რობოტის მრუმდხარა-ცოცია მექანიზმის კინემატიკური და დინამიკური კვლევა ბარბაცას დრეკადობის, აგრეთვე კინემატიკურ წყვილში ღრეჩოსა და დარტყმების გათვალისწინებით. ზოგადად, მანქანათ-მშენებლობაში შეისწავლება იდეალური მექანიზმები, რომლებიც შედგება აბსოლუტურად მყარი, მოქნილი, თხევადი და აირისებრი სხეულებისგან გეომეტრიულად ზუსტი ფორმებითა და ზომებით, მოძრავ შეერთებებში ღრეჩოების გარეშე, მაგრამ მნიშვნელოვანია დინამიკურ გამოთვლებში ყურადღება გამახვილდეს რგოლების დრეკადობასა და ღრეჩოებზე კინემატიკურ წყვილებში. ღრეჩოები კინემატიკურ წყვილებში მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ მანქანების მექანიზმების

დინამიკურ პარამეტრებზე. რადგანაც ღრეჩობის არსებობა განაპირობებს ძლიერი დარტყმების მოვლენას, მნიშვნელოვანია მათი გათვალისწინება მაღალი სიზუსტის მისაღწევად. მიღებულია კინეტიკური ენერჯის ცვლილების გამოსახულებები დარტყმაში მონაწილე რგოლების აბსოლუტური სიგლუვის, მყისა (ბლანტი) ხახუნის კოეფიციენტისა და მშრალი ხახუნის ჰიპოთეზების მიხედვით, რომელიც გამოიყენება მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის.

აგებულია გრაფიკები, რომლებიც წარმოადგენენ ღრეჩოიანი მექანიზმის დინამიკური პროცესების ამსახველ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ამონახნებს, შესაბამისი პარამეტრების მქონე მექანიზმისათვის.

სადისერტაციო ნაშრომში გაანგარიშებულია სამრეწველო რობოტის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ელემენტი ცილინდრული ზამბარები, მიღებულია გამოსახულებები, რომელთა საშუალებებით მოწმდება ზამბარის სიმტკიცე და განისაზღვრება მისი დეფორმაცია. გაანგარიშებულია, ზამბარის როგორც გრძივი, ასევე განივი რხევები. გრძივი რხევების განხილვისას იგულისხმება რომ მასა და დამყოლობა ზამბარისა და ექვივალენტური ძალის ტოლია. ცილინდრული ზამბარების განივი რხევების განხილვისას მას ცვლიან ექვივალენტური ძელით, რომლის დროსაც უნდა გავითვალისწინოთ განივი ძალების მოქმედებით ძელის დეფორმაცია, კვეთის მობრუნების ინერცია და გრძივი ძალის გავლენა. განსაზღვრულია რხევის სიხშირეები, რის საფუძველზეც მიღებულია ზამბარის მდგრადობის პირობა. ამ კვლევებით დასტურდება ჩვენს მიერ კონსტრუირებული მექანიზმის სიზუსტის ხარისხი ექსპლუატაციისას.

გაანგარიშებულია მანიპულატორის სატაცი ტვირთის წონისა და ხახუნის ძალების გათვალისწინებით, რომელიც რობოტის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაწილია, რომელიც შექმნილია დეტალების დასაჭერად და გადასადგილებლად. მას გააჩნია ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე წინსვლითი და ბრუნვითი მოძრაობის შესაძლებლობა. აღნიშნულ კონსტრუქციაზე სატაცი მიმაგრებულია სახსრულად, რაც

ვერტიკალურ სიბრტყეშიც ბრუნვის შესაძლებლობას იძლევა .

აქვე გამოთვლილია მრავალრგოლიანი სამრეწველო რობოტის დანერგვით მისაღები მოსალოდნელი ეკონომიკური ეფექტი საქართველოს მრეწველობაში. მრავალრგოლიანი სამრეწველო რობოტის საინვესტიციო პროექტის ეკონომიკური ეფექტურობის გაანგარიშება რეკომენდებულია სამ ეტაპად:

- ❖ განისაზღვროს პროექტის მასშტაბები, მისი სოციალური და ეკონომიკური მნიშვნელობა კონკრეტული საწარმოებისათვის;
- ❖ ჩატარდეს საინვესტიციო პროექტის შესრულების მაჩვენებლების გაანგარიშება და დასკვნა მასში ინვესტირების მიზანშეწონილობის შესახებ;
- ❖ პროექტის ანალიზი შესაძლო ნეგატიური ფაქტორების მოქმედებებზე.

პირველი ეტაპი. შესასრულებელი პროექტის მასშტაბები და მნიშვნელობა.

საქართველოს მრეწველობაში გამოყენებული რობოტების მექანიზმის ფუნქციური მოქნილობა და მაღალი საიმედოობა საწარმოო ხაზების გამართული ფუნქციონირების საშუალებას იძლევა.

საქართველოს მრეწველობაში ასეთი რობოტებს იყენებენ საწარმოო გაერთიანება: „თბილავიამშენი“, სს „დელტა“, ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანა, შპს „ელმავალმშენებელი“, თბილისის და რუსთავის ვაგონმშენებელი ქარხნები, მსუბუქი და კვების მრეწველობის საწარმოები.

გამომდინარე იქედან, რომ დაგეგმარების და გაანგარიშების ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეთოდი იძლევა რობოტების ფუნქციების გაფართოების და მათი მუშა ნაწილების გადაადგილების სიზუსტის გაზრდის საშუალებას, მისი მასშტაბი და მნიშვნელობა საქართველოსთვის მაღალია. ამავე დროს, რამდენადაც შესაძლებელია ერთი ამძრავის გამოყენება სხვადასხვა ფუნქციური ამოცანების გადასაჭ-

რელად, შემოთავაზებული მეთოდოლოგიის დანერგვა არათუ აუარესებს ეკოლოგიურ მდგომა-რეობას, არამედ - პირიქით, შესამძლებელია მისი გაუმჯობესებაც კი.

მეორე ეტაპი. საინვესტიციო პროექტის შესრულების ინდიკატორების შეფასება.

რობოტების მოდერნიზაციის განხორციელება და ჩვენს მიერ შეთავაზებული მეთოდებით მისი პარამეტრების განსაზღვრით მისაღები ეკონომიკური ეფექტი მიზანშეწონილია გამოითვალოს ე. წ. დაყვანილ დანახარჯთა სხვაობით, რომელსაც აქვს სახე

$$E = \Delta C - E_n \cdot \Delta K,$$

სადაც, ΔC - დანახარჯების ეკონომიის სიდიდეა მიღებული მოდერნიზაციით; ΔK - დამატებითი კაპიტალური დაბანდებები, ანუ მოდერნიზაციისათვის საჭირო ინვესტიციის მოცულობა; E_n - ეფექტურობის ნორმატიული კოეფიციენტის, რომელიც ზოგიერთ ქვეყანაში (მაგალითად, რუსეთი, აზერბეიჯანი, უკრაინა) დადგენილია ნორმა-ტიულად, ხოლო ზოგიერთი ქვეყნის საპროექტო და კვლევითი დაწესებულებები (მაგალითად აშშ-ში) იძლევიან რეკომენდაციას გამოყენებულ იქნას საბანკო სარგებლის პროცენტის საშუალო სიდიდისგან გამომდინარე. ჩვენ გამოვიყენოთ ბანკის საშუალო სარგებელი დეპოზიტებზე, რომელიც საქართველოში შეადგენს დაახლოებით წლიურ 5%-ს და შესაბამისად, კოეფიციენტი იქნება 0,05. ე.ი. $E_n = 0,05$.

ყოველ კონკრეტულ გადაწყვეტაზე გამოყენებული რობოტის მექანიზმების გაუმჯობესებისათვის ეკონომიკური ეფექტიანობის გაანგარიშება უნდა ჩატარდეს ინდივიდუალურად. ჩვენ გამოთვლები გავაკეთოთ საქართველოს მრეწველობისათვის მთლიანად. რა თქმა უნდა ასეთი გაანგარიშება მიახლოებითია და ზუსტ ციფრობრივ მონაცემებს ვერ დაეყრდნობა.

რობოტების მუშაობით და მისი ხარისხობრივი პარამეტრების გაუმჯობესებით მიიღება ეკონომია ერთის მხრივ რობოტის მომსახურე

პერსონალის რაოდენობის შემცირებით და მათი ხელფასის ეკონომიით. დავუშვათ, რომ საქართველოს მრეწვე-ლობაში არსებული რობოტები-დან 100 ერთეულის მოდერნიზება გადაეწე-ვიტეთ, რაც საშუალებას მოგვცემს გამოთავისუფლდეს 18-22 ერთეული პერსო-ნალი, ავიღოთ საშუალოდ 20 ერთეული, რომელთა ხელფასი შეიძლება განვსაზღვროთ სტატისტიკური მაჩვენებლების გამოყენებით. სტატის-ტიკის სახელმწიფო სამსა-ხურის მონაცემებით სამთო-მომპოვებელ მრეწველობაში საშუალო ხელფასი 1379 ლარია, დამამუშავებელ მრეწ-ველობაში - 929 ლარი, ელნერგეტიკაში - 1506 ლარი, ხოლო წყალმო-მარაგებაში - 753 ლარი. ჩვენს შემთხვევაში ავიღოთ საშუალოდ 1000 ლარი, მაშინ მომსახურე პერსონალის ხელფასის ეკონომიის სიდიდე იქნება წლიურად 240 000 ლარი ($20 \times 12 \times 100$).

აღნიშნულის გარდა, მოდერნიზებული რობოტების გამოყენება მოითხოვს ნაკლებ სარემონტო მომსახურებას, რაც საშუალოდ წლიურად იქნება 50000 ლარის ტოლი, ხოლო ავარიული სიტუაციების შემცირებით მიღებული ეფექტიც ასევე დაახლოებით 50000 ლარის ტოლი იქნება.

მივიღეთ, რომ წლიური ეკონომიის სიდიდე მინიმუმ 340 000 ლარის ტოლია წლიურად. რაც შეეხება ინვესტირების დანახარჯებს, მეთოდის დანერგვა და ამის ხარჯზე ტექნიკური პარამეტრების გაუმჯობესება, არ მოითხოვს მნიშვნელოვან ინვესტიციას და იგი შეიძლება განისაზღვროს 200 000 ლარით.

ამ ციფრობრივი მონაცემების გამოყენებით გვექნება

$$E = \Delta C - E_n \times \Delta K = 340\,000 - 0,05 \times 1\,000\,000 = 330\,000; E = 330\,000 \text{ ლარს.}$$

ინვესტიციების გამოსყიდვის დროის ხანგრძლივობა განისაზღვრება მისი ფარდობით მიღებულ ეკონომიასთან:

$$T = \frac{\Delta K}{\Delta C} \times 365 = \frac{200\,000}{340\,000} \times 365 = 214 \text{ დღეს, ანუ } 0,58 \text{ წელს.}$$

მიღებული შეფარდებითი ეკონომიკური ეფექტი და ინვესტი-ციების გამოსყიდვის ვადა ადასტურებს ჩვენს მიერ შეთავაზებული ტექნიკური გადაწყვეტის დაო ეფექტურობას.

მესამე ეტაპი. პროექტის ანალიზი შესაძლო ნეგატიური ფაქტორების მოქმედებებზე.

პროექტის განხორციელება არ არის დაკავშირებული რისკებთან და დამოკიდებულია სამრეწველო საწარმოთა მფლობელების და მენეჯმენტის გადაწყვეტილების მიღებაზე, ამასთან საჭირო იქნება პერსონალის გადამზადება, რომელისთვისაც მოთხოვნილი დანახარჯები გათვალისწინებულია ინვესტიციის სიდიდეში.

მესამე ტაშში ჩამოყალიბებულია კვლევის შედეგად მიღებული შემდეგი სახის დასკვნები:

1. **დამუშავებულია** პრაქტიკაში გამოყენებული მრავალრგოლიანი სივრცითი მოძრავი მექანიკური სისტემების ბრტყელი მოდელირების კონსტრუირების მეთოდები, რომელიც დაფუძნებულია გეომეტრიული გარდაქმნების ძირითად თვისებებზე. მათი ტექნიკური შედეგია ფუნქციური შესაძლებლობის გაფართოება, საიმედოობის გაზრდა, საექსპლოატაციო შესაძლებლობების ამაღლება და მისი პრაქტიკაში რეალიზება.

2. **დაპატენტებულია** სასარგებლო მოდელი -მრავალრგოლიანი სამრეწველო რობოტი, რომლის ნაკლოვანები მინიმუმამდეა დაყვანილი და შემოთვაზებულია ალგორითმი, გეომეტრიული გარდაქმნის სახით, რომელიც უზრუნველყოფს მანიპულატორის ოპტიმალური მოდელის შექმნას, ენერგეტიკული საშუალებების მცირე დანახარჯებითა და სასურველი შედეგის მიღწევით.

3. **განხილულია** სამრეწველო რობოტის მრუმდხარა-ცოცია მექანიზმის კინემატიკური და დინამიკური კვლევა ბარბაცას დრეკადობის, აგრეთვე კინემატიკურ წყვილში ღრეჩოსა და დარტყმების გათვალისწინებით.

4. **მიღებულია** კინეტიკური ენერგიის ცვლილების გამოსახულებები დარტყმაში მონაწილე რგოლების აბსოლუტური სიგლუვის, მყისი (ბლანტი) ხახუნის კოეფიციენტისა და მშრალი ხახუნის

ჰიპოთეზების მიხედვით, რომელიც გამოიყენება მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის.

5. **აგებულია** გრაფიკები, რომლებიც წარმოადგენენ ღრეჩოიანი მექანიზმის დინამიკური პროცესების ამსახველ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ამონახნებს, შესაბამისი პარამეტრების მქონე მექანიზმისათვის.

6. **განგარიშებულია** ცილინდრული ზამბარები. მიღებულია გამოსახულებები, რომელთა საშუალებებით მოწმდება ზამბარის სიმტკიცე და განისაზღვრება მისი დეფორმაცია. აგრეთვე, განგარიშებულია ზამბარის, როგორც გრძელი, ასევე განივი რხევები, განსაზღვრულია რხევის სიხშირეები, რის საფუძველზეც მიღებულია ზამბარის მდგრადობის პირობა. ამ კვლევებით დასტურდება ჩვენს მიერ კონსტრუირებული მექანიზმის სიზუსტის ხარისხი ექსპლუატაციისას.

7. **გამოთვლილია** მრავალრგოლიანი სამრეწველო რობოტის დანერგვით მისაღები მოსალოდნელი ეკონომიკური ეფექტი საქართველოს მრეწველობაში. მიღებული შეფარდებითი ეკონომიკური ეფექტი და ინვესტიციების გამოსყიდვის ვადა ადასტურებს, ჩვენს მიერ შეთავაზებული ტექნიკური გადაწყვეტის უდაო ეფექტურობას. ჩამოყალიბებულია რეკომენდაციები, მრავალრგოლიანი სამრეწველო რობოტის საინვესტიციო პროექტის ეკონომიკური ეფექტურობის განგარიშებისათვის.

Abstract

In the presented dissertation "Optimizing the coordinated motion of the rings of multi-degree mechanisms" provides the possibilities of flat modeling of spatial systems, which makes it easy to solve difficult tasks. Based on geometric transformations, a design model has been developed, the technical result of which is to expand the functional capacity, increase the reliability, increase the exploitation capacity and realize it in practice.

In the work is considered the production processes, equipment and systems needed to create an efficient material and technical industrial industry. Their technical and organizational-economic characteristics, according to the type of product, production volume, equipment used and the appropriate level of specialization in technological processes. Solving problems in the engineering field depends on the successful development and implementation of production mechanization and automation, improving the quality, reliability, efficiency and productivity of engineering products.

The scientific novelty of this work is that in the study of flat modeling of moving spatial kinematic chains, based on geometric transformations, spatially complex tasks can be easily solved on a plane. The basic idea, therefore, is to develop a spatial flat model based on geometric transformations, which simplifies the solution of a spatial problem.

The main task of the work is to significantly increase the production of high-performance automated equipment, a simple model designed for the design of flat and spatially moving mechanical systems of technological machines, which will differ from its predecessors in terms of compactness and the ability to achieve the desired accuracy.

In the work is discusses a model for the study and construction of mechanisms that easily solves complex tasks and adheres to the highly complex principles of geometric transformations. The constructions of the mechanisms in the machine-building, by means of geometric methods, are planned as completely new, relatively simple constructions, which is a convenient device for automatic control of the machine.

Developed mechanisms for the implementation of a wide range of automated technologies in industrial engineering, the laws of motion of which are based on the principles of geometric transformations. Controversy over the design of the designed mechanisms is characterized by precise kinematic parameters and ensures full compliance with the requirements of

engineering technological processes. Also, their construction methods form the scientific basis for the creation of new machines and devices for theoretical and experimental research.

The above flat modeling provides the determination of the laws of motion of the open kinematic chains that make up spatial mechanical systems. As it is known, the system of kinematic chains is diverse and is usually an open space kinematic joint system with several degrees of freedom of movement.

Constructed and patented utility model - a multi-wheeled industrial robot that is free from defects. The advantages of this robot are as follows: Geometric conversion with the correct operation of the mechanism designed on the basis of inversion, the coordinated operation of the movement of the automated system connected to one drive is ensured, so that for high accuracy the detail is delivered quickly and smoothly to the work area. The functional flexibility and high reliability of this mechanism allow the smooth operation of production lines.

A kinematic and dynamic study of the industrial robot crank-slider mechanism is considered, taking into account the coupler's elasticity as well as the clearances and impacts in the kinematic pair. The clearances in kinematic pairs have a significant influence on the dynamic parameters of machines and mechanisms. Due the presence of clearances causes significant impacts phenomenon, it is important to consider them to achieve high accuracy. The expressions of kinetic energy change are obtained according to the absolute smoothness of the links participating in the impact, the instantaneous (viscous) friction coefficient, and the dry friction hypotheses used to determine the Margin action coefficient.

Graphs are constructed that represent the solution of system of differential equations representing the dynamic processes of a mechanism with clearance for a mechanism with corresponding parameters.

In the dissertation are calculated one of the most important elements of an industrial robot - cylindrical springs, are obtained the expressions that are used to check the strength of the spring and determine its deformation. Both longitudinal and transverse oscillations of the spring are calculated, the oscillation frequencies are determined, on the basis of which the spring stability condition is obtained. These studies confirm the degree of accuracy of the mechanism we have designed during operation.

Calculations are taking into account the weight and friction forces of the manipulator's load that is one of the most important parts of the robot, designed to grip and move details. It has the ability to translational and rotational movement in the horizontal plane. The grip is attached to the mentioned structure as a joint that gives the possibility to rotate even in a vertical plane.

The expected economic impact of the introduction of a multi-link industrial robot on Georgian industry is calculated. The relative economic effect is obtained and the repayment period of the investments confirm the undeniable effectiveness of the proposed technical solution. Recommendations are made for calculating the economic efficiency of a multi-ring industrial robot investment project.