

გონა ჩიტაიშვილი

სივრცითი გეომეტრიული ამოცანების გადაწყვეტა AutoCAD-ის უახლესი
ვერსიის გამოყენებით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა მანქანათმშენებლობა, მანქანათმშენებლობა და
საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები შიფრი 0408

თბილისი

2015 წელი

ხელმძღვანელები: ზურაბ ნაცვლიშვილი (საინჟინრო გრაფიკისა და ტექნიკური მექანიკის დეპარტამენტის პროფესორი) იოსებ ბაციკაძე (საინჟინრო გრაფიკისა და ტექნიკური მექანიკის დეპარტამენტის ხელმძღვანელი პროფესორი).

რეცენზენტები: ზურაბ ჯაფარიძე (კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტის პროფესორი) სულხან იაშვილი (სსიპ რაფიელ დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერი).

დისერტაციის დაცვა შედგება 2015 წლის 14 ივლისს 14 საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, პირველი კორპუსი, აუდიტორი 546ა.

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული მდივანი დავით ბუცხრიკიძე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა. მანქანების და მექანიზმების განვითარების ისტორიის მანძილზე, არაერთხელ დაისვა და ამოიხსნა მანქანების მუშა ორგანოების ცალკეული წერტილების მოძრაობის ამოცანა, რომლებიც მოცემული კინემატიკური პარამეტრების მიხედვით, აკმაყოფილებენ ტექნოლოგიური პროცესის მოთხოვნებს. ამ ამოცანების ამოსახსნელად იქმნებოდა საკმაოდ მრავალფეროვანი მოწყობილობები გამოყენების მიზნების მიხედვით. მსგავსი მრავალფუნქციური მოწყობილობების შექმნის აუცილებლობამ, თავის მხრივ, წამოწია მანქანა-მექანიზმების პრინციპულად ახალი სქემების აგების ამოცანები.

ახალი, უფრო მწარმოებლური და თანამედროვე მრავალფუნქციური მანქანების შექმნა მოითხოვს უკვე არსებული მექანიზმების ღრმა ანალიზს, რაც აუცილებელია მათი შემდგომი გაუმჯობესებისთვის. მაგარამ, ამჟამად, ამ მექანიზმების კვლევის და პროექტირების მეთოდები არ არის სათანადოდ შემუშავებული. ამის ერთ-ერთ მიზეზად შეიძლება ჩაითვალოს კინემატიკური წყვილების და ჩაკეტილი კინემატიკური ჯაჭვების კლასიფიკაციის და მათი სტრუქტურის წარმოქმნის პრინციპების არარსებობა, ასევე, შესაბამისი კინემატიკური ჯაჭვების წარმოქმნის კანონების სისტემატური კვლევის და მათი საერთო თვისებების კვლევის არარსებობა.

თანამედროვე გამოთვლითი ტექნიკა სულ უფრო და უფრო ფართო გამოყენებას პოულობს საინჟინროპრაქტიკაში. კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენება იწვევს ახალი მათემატიკური მეთოდების დამუშავების აუცილებლობას, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს გადავწყვიტოთ ტექნოლოგიური პროცესების მიმდინარეობის დროს აღძრული ნებისმიერი ტექნიკური ამოცანა.

რეალურად შესაძლებელი გახდა ისეთი ამოცანების გადაწყვეტა, როგორცაა სახსრიანი მექანიზმების ოპტიმალური ზომების დადგენა, მუშტა მექანიზმების რაციონალური ზომების შერჩევა, მრავალსაფეხურიანი პლანეტარული და რთული კბილა-ბერკეტული მექანიზმების სინთეზი, პერიოდული გაჩერებების მქონე მექანიზმებისა და ხელსაწყო-დანადგარების მექანიზმების დინამიკური გაანგარიშება, ყოველგვარი დაშვებებისა და მიახლოებების გარეშე და სხვა.

უკანასკნელ პერიოდში გაძლიერდა კომპიუტერული ტექნიკის როლი სპეციალისტების მომზადების გაუმჯობესების საქმეში. უმაღლეს სასწავლებლებში იგი წარუბებს სასწავლო პროცესის სრულყოფისა და კომპლექსური მიზნობრივი მიდგომის საფუძველზე, რაც ხელს შეუწყობს მის ინტენსიფიკაციას, სწავლების ტექნიკური საშუალებებისა და პროგრესული მეთოდების დანერგვას. სწორედ ამ მიზნით არის შემოთავაზებული ახალი მიდგომა სწავლების მეთოდის გასაუმჯობესებლად.

ამოცანების გაანგარიშების ალგორითმი ისეთნაირად არის შედგენილი, რომ შესაძლებელია მათი გამოყენება ამჟამად არსებული უახლესი კომპიუტერული ტექნიკის მეშვეობით. მექანიზმებისა და მანქანების დაპროექტების თანამედროვე მეთოდების გამოყენება და მის ბაზაზე მანქანათმშენებლობის დარგში მომავალი სპეციალისტების მომზადება უთუოდ წინ გადადგმული ნაბიჯი იქნება ტექნიკური პროგრესისა და მეურნეობის შემდგომი აღმავლობის საქმეში.

ამგვარად ზემოთ აღნიშნული საკითხების ანალიზიდან გამომდინარე ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეთოდის უნდა ჩაითვალოს დროულად და აქტუალურად.

სამუშაოს მიზანი. ბრტყელი და სივრცითი მექანიკური მოძრავი სისტემების საინჟინრო პრაქტიკისათვის მისაღები სტრუქტურული-კინემატიკური ანალიზისა და სინთეზის უნივერსალური, ეფექტური, მარტივი და თვალსაჩინო მეთოდის დამუშავება კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით; თანამედროვე კომპიუტერული ტექნიკის და პროგრამების გამოყენებით მათემატიკური მოდელების დამუშავების საფუძველზე, რთული ტექნიკური ამოცანების გადაწყვეტა და მექანიზმების კვლევის ნებისმიერი მეთოდის გამოყენება პრაქტიკისათვის მისაღები სიზუსტით.

დასახული მიზნის რეალიზებისათვის დისერტაციაში გადაჭრილი იქნა შემდეგი ძირითადი ამოცანები:

ბრტყელი და სივრცითი გეომეტრიული ამოცანების შინაარსისა და გაანგარიშების თანმიმდევრობის, დასმული ამოცანების გაანგარიშების ალგორითმებისა და შესაბამისი სქემების შედგენის მეთოდის

დამუშავება, მიღებული შედეგების ანალიზი და მათი მომზადება დაპროექტების შემდგომი ეტაპისათვის.

მეორე რიგის ზედაპირების თანაკვეთის წირების განსაზღვრის მეთოდის დამუშავება, როგორც ბერკეტული მექანიზმების წარმოქმნის გეომეტრიული აპარატი.

ბრტყელი და სივრცითი, ყველა კლასის ბერკეტული მექანიზმების შესაბამისი სტრუქტურული ანალიზის ჩატარება.

მეორე, მესამე, მეოთხე და მათი კლასის ბრტყელი და სივრცითი ბერკეტული მექანიზმების კინემატიკური კვლევის მეთოდის დამუშავება.

მექანიზმის საწყისი მდებარეობის შერჩევის, კინემატიკაზე გავლენის გამოკვლევა.

სამუშაოს მეცნიერული სიახლე შემუშავებულია უნივერსალური მათემატიკური მოდელი და განზოგადოებული მიდგომა ბრტყელი და სივრცითი ბერკეტული მექანიზმების სტრუქტურული ანალიზისათვის კომპიუტერული სისტემური პროგრამების AutoCAD-ისა და Inventor-ის გამოყენების ბაზაზე.

დამუშავებულია სტრუქტურული და კინემატიკური ანალიზის ამოცანების გაანგარიშების მეთოდიკა სამრგოლა, ოთხრგოლა, ხუთრგოლა, ექვსრგოლა და რვარგოლა მექანიზმებისათვის, უდაბლესი კინემატიკური წყვილების, სხადასხვა ურთიერთგანლაგების შესაბამისად.

დამუშავებულია მეთოდიკა სამრგოლიანი მექანიზმის კინემატიკური ანალიზის ჩასატარებლად ეილერის კუთხეების დახმარებით

დადგენილია, ბრტყელი და სივრცითი ხუთრგოლა ბერკეტულ მექანიზმებში ორი მრუდხარას არსებობის პირობები.

მიღებულია სამრგოლა, ოთხრგოლა, ხუთრგოლა, ექვსრგოლა და რვარგოლა ბრტყელი და სივრცითი ბერკეტული მექანიზმების რგოლების ცალკეული წერტილების ტრაექტორიები და მათი შესაბამისი კოორდინატები.

კვლევის ობიექტი. ბრტყელი და სივრცითი მოძრავი მექანიკური სისტემები.

სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის ძირითადი მასალები მოხსენებული იქნა:

82-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე „საინჟინრო გრაფიკისა და ტექნიკური მექანიკის” სექციაზე მოხსენებით „სფერული მექანიზმების ბარბაცოვანი წერტილების მდებარეობის განსაზღვრა” და მოიპოვა I ადგილი. (თბილისი, 2014) ტექნიკური უნივერსიტეტი

პუბლიკაციები. დისერტაციის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომი.

სამუშაოს სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავალის, 2 თავის, დასკვნებისა და გამოქვეყნებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. სამუშაო მოიცავს კომპიუტერით ნაბეჭდ 107 გვერდს, მათ შორის 38 ნახაზსა და 5 ცხრილს.

სამუშაოს მოკლე შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია დისერტაციის თემის აქტუალობა. წარმოდგენილია სამუშაოს მიზანი, დასახული ძირითადი ამოცანები, სამუშაოს მეცნიერული სიახლე და მოკლედ გადმოცემული ნაშრომის არსი. გაანალიზებულია მოძრავი სივრცითი მექანიკური სისტემების კონსტრუირების საკითხების მნიშვნელობა ახალი სახის თანამედროვე მაღალმწარმოებლური მექანიზმებისა და მანქანების წარმოების პროცესში.

პირველ თავში მოცემულია ბრტყელი და სივრცითი სახსროვანი მექანიზმების კვლევის ქართველი და უცხოელი მეცნიერების მიერ შექმნილი მეთოდების მიმოხილვა. გაკეთებულია მათი ანალიზი, გამოვლენილია დადებითი და ნაკლოვანი მხარეები. ყოველივე ამის საფუძველზე განმარტებულია თემის აქტუალობა და დასაბუთებულია ჩვენს მიერ დასახული კვლევების უპირატესობები.

ზემოთ აღნიშნული ნაშრომების ანალიზის შედეგად შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ ბევრი მათგანი მიძღვნილია ბრტყელი და სივრცითი ბერკეტული მექანიზმების სტრუქტურული კინემატიკური ანალიზისა და სინთეზის საკითხების შესწავლისადმი. შემოთავაზებულია სხვადასხვა მეთოდები ამ ამოცანების ამოხსნის ალგორითმების გასამარტივებლად. ეს მეთოდები საშუალებას იძლევა ამოიხსნას რთული ამოცანების მთელი

რიგი, რომლებიც გვხვდება მრავალრგოლა მექანიზმების სინთეზის გამოკვლევისას.

აქტუალურად მიგვაჩნია ბრტყელი და სივრცითი ბერკეტული მექანიზმების კინემატიკურ ანალიზთან და სინთეზთან დაკავშირებული სივრცული ამოცანების ამოხსნა კომპიუტერული სისტემური პროგრამების გამოყენებით.

ამავე თავში განხილულია, მეორე რიგის ზედაპირების, თანაკვეთის ამოცანები, რომლებიც წარმოადგენენ ბერკეტული მექანიზმების წარმოქმნის გეომეტრიულ აპარატს.

მათემატიკური თვალსაზრისით, ზედაპირის განმარტების ქვეშ იგულისხმება იმ წერტილთა სიმრავლე, რომელთა კოორდინატებს შორის შეიძლება დამყარდეს ფუნქციონალური დამოკიდებულებანი $F(X, Y, Z) = 0$ სახით, სადაც $F(X, Y, Z) - n$ ხარისხის მრავალწევრი-პოლინომია. ზედაპირი განიხილება, როგორც რაიმე წირის სივრცეში თანმიმდევრული გადაადგილების შედეგი, რომელიც დეკარტის მართკუთხა კოორდინატთა სისტემის მიმართ გამოისახება მეორე ხარისხის სამ ცვლადიანი ალგებრული განტოლების სახით:

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Exz + Fyz + Gx + Hy + Lz + K = 0$$

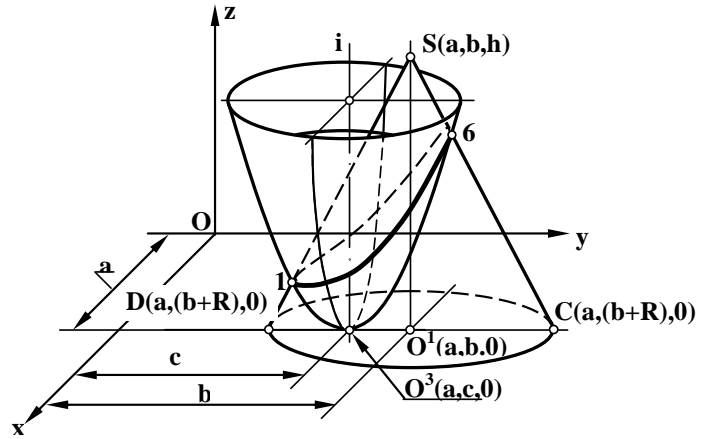
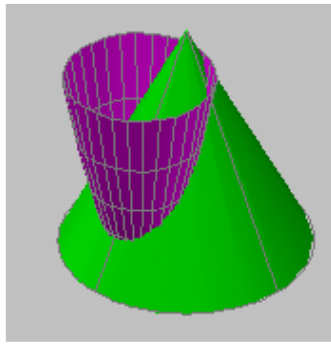
იმის მიხედვით, თუ როგორი მნიშვნელობა აქვს A, B, C, \dots, K კოეფიციენტებს, მივიღებთ ხვადასხვა სახის ზედაპირების. მაგალითად:

ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია $axyz$ კოორდინატთა სისტემაში კონუსი და პარაბოლოიდი, რომელთა განტოლებებია:

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Exz + Fyz + Gx + Hy + Lz + K = 0 \quad \text{და}$$

$$(x-a)^2 + (y-c)^2 = \frac{(m-c)^2}{g} \cdot z, \quad \text{აგებულია მათი თანაკვეთის წირი.}$$

იგივე ამოცანა ამოხსნილია გრაფიკული მეთოდითაც. ჩატარებულია შედარებითი ანალიზი, მიღებულ შედეგებს შორის.



ნახ. 1

ახლა მოვახდინოთ გრაფიკული და ანალიზური მეთოდებით მიღებული შედეგების სიზუსტის პროცენტული შეფასება

$$\delta_x = \left| \frac{x - \bar{x}}{\bar{x}} \right| \cdot 100; \quad \delta_y = \left| \frac{y - \bar{y}}{\bar{y}} \right| \cdot 100; \quad \delta_z = \left| \frac{z - \bar{z}}{\bar{z}} \right| \cdot 100$$

შევადგინოთ h_i -ს შესაბამისი R_1 -ის, R_2 -ს და δ -ს ცვალებადობის ცხრილი:

ცხრილი 1

№ რიგი	h_i	R_1	R_2	$\delta\%$		
				δ_x	δ_y	δ_z
1	4	8	4	2,1	1,4	0,02
2	6	7	4,899	1,42	0,8	0,01
3	8	6	5,674	0,95	0,6	0,02
4	10	5	6,32	1,12	1,1	0,01
5	12	4	6,93	1,7	0,75	0,01

ამგვარად შედარებითი ანალიზი გვაძლევს საფუძველს, რომ მიღებული შედეგები სავსებით მისაღებია საინჟინრო პრაქტიკისათვის.

სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია ბრტყელი და სივრცითი ბერკეტული მექანიზმების სტრუქტურული ანალიზისა და სინთეზის საკითხები, რომელშიც განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება იმ ღერძების ურთიერთმდებარეობის განსაზღვრას, რომლის მიმართაც ხდება მექანიზმის რგოლების ბრუნვა ან გადაადგილება (ან ორივე ერთად).

ცნობილია მექანიზმების საერთო სტრუქტურული ფორმულა, რომლის მეშვეობითაც დგინდება მექანიზმის მოძრაობის ხარისხი, რგოლების რაოდენობებს, კინემატიკურ წყვილებს, კლასების ნომრებს, ამ წყვილების რაოდენობებსა და რგოლების მოძრაობაზე დადებული ცალკეული ბმების საერთო პირობებს შორის დამოკიდებულება. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ამ ფორმულიდან შეიძლება მივიღოთ სხვადასხვა ოჯახის მექანიზმების შესაბამისი ფორმულები.

ფორმულა შემდეგი სახე აქვს:

$$W = (6 - m)n - \sum_{K=m+1}^{K=5} (K - m)P_k$$

სადაც m - არის მექანიზმის რგოლების მოძრაობაზე დადებული საერთო კავშირების რიცხვი, რომლებიც თანმიმდევრულად დებულობენ $m = 0, 1, 2, 3, \text{ და } 4$ მნიშვნელობას.

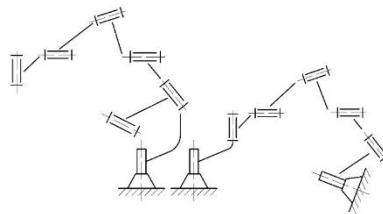
K - კინემატიკური წყვილის კლასის ნომერი, რომელიც კავშირების რიცხვით განისაზღვრება, რამაც შესაბამისად მიიღო მნიშვნელობა:

$$K = 5, 4, 3, 2, 1;$$

თუ მექანიზმის შემადგენლობაში შემავალი რგოლები ერთმანეთთან დაკავშირებულია მხოლოდ მეხუთე კლასის კინემატიკური წყვილებით, და თუ წინასაწარ ვიცით, რომ მოძრაობის ხარისხი უდრის ერთს, მაშინ:

$$W = 6n - 5P_5 = 1$$

თუ $P_5 = 1$, მივიღებთ საწყის მექანიზმს (ნახ. 2)



ნახ. 2

საწყის მექანიზმთან მისაერთებელი ჯაჭვის საერთო სტრუქტურის განსაზღვრისთვის, მისაერთებელი ჯგუფის თავისუფლების სხარისხი უნდა გავეუტოლოთ ნულს:

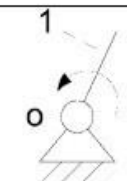
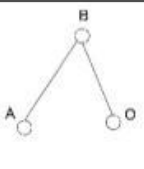
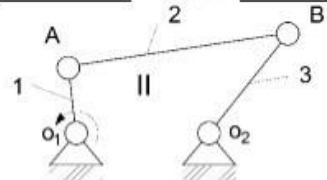
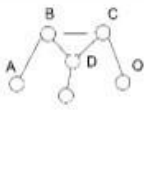
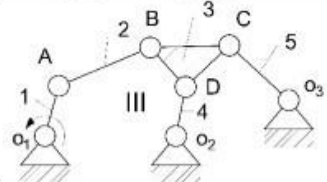
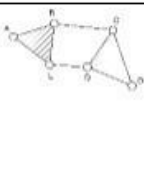
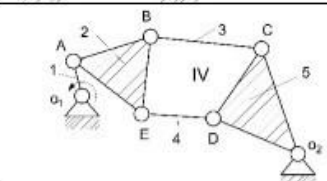
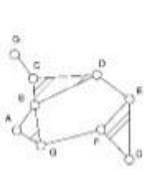
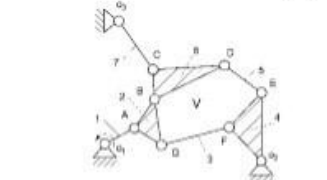
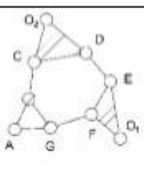
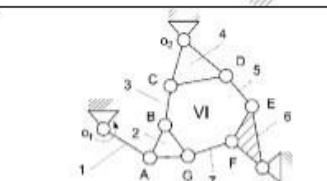
$$W_{\text{ჯგ}} = 6n - \sum_{K=1}^{K=5} KP_k = 0$$

აქედან

$$n = \frac{\sum_{k=1}^{k=5} KP_k}{6}$$

იმ შემთხვევაში, თუ მისაერთებელ ჯგუფებში შემავალი რგოლები მოახდენენ შესაძლოდან ერთ მოძრაობას, შერჩეული სისტემის კოორდინატის ღერძებთან მიმართებაში, ე.ი. რგოლები დაკავშირებული არიან ერთმანეთთან კინემატიკური წყვილის მეხუთე კლასის მეშვეობით, მაშინ $K=5$; ამიტომ $n = \frac{5P_5}{6}$ თუ $P_5=6$, მაშინ $n=5$.

ცხრილი 2.

<u>მექანიზმის რუთლთა რაოდენობა</u>	<u>მექანიზმის ნულოვანი ჯგუფები</u>	<u>მექანიზმის სქემა</u>	<u>მექანიზმის კლასი</u>	<u>თავი სუბურება</u>
<u>ორი</u>	—		<u>პირველი კლასი</u>	ერთი საყრდენი წერტილი
<u>ოთხი</u>			<u>მეორე კლასი</u>	ორი საყრდენი წერტილი
<u>ექვსი</u>			<u>მესამე კლასი</u>	სამი საყრდენი წერტილი
<u>ექვსი</u>			<u>მეოთხე კლასი</u>	ორი საყრდენი წერტილი
<u>რვა</u>			<u>მეხუთე კლასი</u>	სამი საყრდენი წერტილი
<u>რვა</u>			<u>მეექვსე კლასი</u>	სამი საყრდენი წერტილი

ამრიგად, საწყის მექანიზმთან მისაერთებელი უმარტივესი ჯგუფი ნულოვანი ოჯახის მექანიზმებისთვის წარმოდგენილია მე-2 ნახაზზე. აქვე ნაჩვენებია საწყისი მექანიზმი და შვიდრგოლიანი მექანიზმი.

სივრცით ბერკეტულ მექანიზმებში არის ყველა კლასის კინემატიკური წყვილების გამოყენების შესაძლებლობა. რადგანაც გარკვეულია დამოკიდებულება საწყის მექანიზმთან მისაერთებელი ჯაჭვის რგოლებს შორის, მაშინ ნათელია, რომ სამრგოლიანი, ოთხრგოლიანი, ხუთრგოლიანი, და ა. შ. მექანიზმების მისაღებად, შესაბამისად, შერჩეულ უნდა იქნას სხვადასხვა კლასის კინემატიკური წყვილები ბრტყელი ბერკეტული მექანიზმებისათვის (ცხრილი 2).

სადისერტაციო ნაშრომში მოცემულია ბრტყელი და სივრცითი გომეტრიული ამოცანების შინაარსისა და გაანგარიშების თანმიმდევრობა, დასმული ამოცანების გაანგარიშების ალგორითმებისა და შესაბამისი სქემების შედგენის მეთოდოლოგია, მიღებული შედეგების ანალიზი და მათი მომზადება დაპროექტების შემდგომი ეტაპისათვის.

არსებული სამეცნიერო ნაშრომების ანალიზის საფუძველზე, აუცილებელია გადჭრილი იქნას ერთი და ორი მოძრაობის ხარისხის მქონე ბრტყელი და სივრცითი მექანიზმების სტრუქტურულ, კინემატიკურ ანალიზთან და სინთეზთან დაკავშირებული ამოცანების ამოხსნის მეთოდები.

ტექნიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე ინტერესს იწვევს სახსრული მექანიზმების აწყობის პროცესი. გამოკვლეულია ამ პრობლემის მხოლოდ ზოგიერთი ასპექტი, რომლის გამოყენებაც შესაძლებელია კონკრეტული მექანიზმების სტრუქტურულ სქემებში, ხოლო ზოგადი თეორიული სახის კვლევა ამ მიმართულებით პრაქტიკულად არ განხორციელებულა.

რადგან მაღალი კლასის ბრტყელი და სივრცითი ბერკეტული მექანიზმების კინემატიკური ანალიზისა და სინთეზის საკითხები დღემდე არ არის სათანადო სიღრმით შესწავლილი, ამიტომ ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მიდგომა, შეიძლება გამოყენებულ იქნას ინჟინერ-კონსტრუქტორების მიერ და დანერგილი იქნას პრაქტიკაში.

მეორე თავში ბრტყელი და სივრცითი ბერკეტული მექანიზმების პროექტირების პროცესი განხილულია როგორც ურთიერთ დაკავშირებული ეტაპების სისტემა:

I. მექანიზმის სტრუქტურული სქემის რაციონალური შერჩევა-სტრუქტურული სინთეზი;

II. კინემატიკური სქემის მუდმივი პარამეტრების განსაზღვრა-კინემატიკური სინთეზი;

III. მექანიზმების ცვლადი კინემატიკური პარამეტრების განსაზღვრა-კინემატიკური ანალიზი.

მექანიზმების დაპროექტების შემდგომი ეტაპები ჩვენს მიერ არ განიხილება.

სახსრული მექანიზმების დაპროექტებასთან დაკავშირებულ საკითხებთან სისტემური მიდგომა გულისხმობს:

1. მექანიზმის სტრუქტურული სქემის შერჩევის დროს წინასწარ იქნას გათვალისწინებული სხვადასხვა მოდიფიკაციის სტრუქტურის მექანიზმების პოტენციური ფუნქციონალური შესაძლებლობები, რომლის რეალიზაციაც ხდება შემდგომში კინემატიკური სინთეზის ეტაპზე.
2. მექანიზმის კინემატიკური სინთეზი ხორციელდება მექანიზმის პროექტირების მთელს ეტაპზე ტექნიკური დავალების ყველა პირობის გათვალისწინებით, რაც გულისხმობს ყოველგვარ კონსტრუქციულ და კინემატიკურ შეზღუდვებს და ასევე მოძრაობის გადაცემის ხარისხის კრიტერიუმებს.
3. კინემატიკური ანალიზი განხილდება არა როგორც მხოლოდ კვლევის ერთ-ერთი ეტაპი სინთეზირებული მექანიზმისა, არამედ აგრეთვე როგორც პროცედურა, რომელიც მრავალჯერადად გამოიყენება მექანიზმის ოპტიმიზაციური სინთეზის დროს.

ასეთი სისტემური მიდგომა საშუალებას იძლევა, რომ ის უშუალოდ გამოყენებულ იქნას ბერკეტული მექანიზმების ავტომატური დაპროექტების სისტემებში.

წარმოდგენილ ნაშრომში განხილულია ბრტყელი სახსრული, ასევე საივრცითი, კერძოდ სფერული მექანიზმების აწყობის ზოგადი მეთოდური საკითხები. სტრუქტურული და კინემატიკური ანალიზისა და

სინთეზისათვის შედგენილია სამრგოლა, ოთხრგოლა, ხუთრგოლა და მაღალი კლასის სახსრული მექანიზმების გაანგარიშების შესაბამისი ალგორითმი კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით.

ასევე განხილულია სახსრული მექანიზმების მოძრაობის გადაცემის ხარისხის კრიტერიუმები. ამ კრიტერიუმების განსაზღვრა აუცილებელია, რათა დადგინდეს მექანიზმის მუშაობის შესაძლებლობა მათი სტრუქტურული და კინემატიკური სინთეზისა და ანალიზის ეტაპზე. ამ კრიტერიუმებს აქვთ სუფთა გეომეტრიული ხასიათი, რადგან დამოკიდებულებები არიან მხოლოდ კინემატიკური სქემის მუდმივი პარამეტრებისა და მექანიზმის განზოგადოებული კოორდინატის მნიშვნელობებზე. საწყის ეტაპზე მოძრაობის გადაცემის კრიტერიუმების დასაშვები მნიშვნელობების შემთხვევაში უკვე შესაძლებელი იქნება უკვე შერჩეული სტრუქტურის მქონე მექანიზმის პროექტირება, ხოლო პროექტირების შემდგომ ეტაპზე გამოიყენება უკვე სხვა შესაბამისი კრიტერიუმები.

როგორც ცნობილია, მექანიზმების პროექტირებისას განასხვავებენ შემდეგ ეტაპებს:

1. მექანიზმის სქემის სტრუქტურული პროექტირება;
2. მექანიზმის კონსტრუქტიული ელემენტების და ზომების პროექტირება.

თანამედროვე ტექნიკაში გამოიყენება სხვადასხვა სტრუქტურის მექანიზმების უამრავი რაოდენობა. სტრუქტურული ანალიზის ჩატარების გამარტივებისთვის, ეს მექანიზმები იყოფა ოჯახებად, კლასებად, ჯგუფებად, სახეობებად, რიგებად და ა.შ.

როგორც ზემოთ იქნა აღნიშნული, სივრცით ბერკეტულ მექანიზმებში არის ყველა კლასის კინემატიკური წყვილების გამოყენების შესაძლებლობა. რადგანაც გარკვეული დამოკიდებულება საწყის მექანიზმთან მისაერთებელი ჯაჭვის რგოლებსა და კინემატიკური წყვილების საერთო რაოდენობას შორის, მაშინ ნათელია, რომ სამრგოლიანი, ოთხრგოლიანი, ხუთრგოლიანი, და ა. შ. მექანიზმების მისაღებად, შესაბამისად, შერჩეულ უნდა იქნას სხვადასხვა კლასის კინემატიკური წყვილები. ასე მაგალითად, ოთხრგოლიანი სივრცითი ბერკეტული მექანიზმების მისაღებად, საწყის მექანიზმებს უნდა

მიუერთდეს ისეთი ნულოვანი ჯგუფები, რომლებიც შედგება ორი რგოლისგან და სამი კინემატიკური წყვილისგან, რათა ამ წყვილებით განხორციელებული ბმათა რიცხი არ აღემატებოდეს 12-ს.

თუ ანალოგიურად ვიმსჯელებთ, რომ საწყის მექანიზმს უნდა მიუერთდეს ორი კინემატიკური წყვილის მქონე ერთი რგოლი:

$$\sum_{K=1}^{K=5} KP_k = 6$$

რადგან შესაკრებთა რიცხვი უდრის ორს, შეგვიძლია დავწეროთ

$$K_1 + K_2 = 6$$

სადაც K_1 და K_2 - ნულოვან ჯგუფში შემავალი კინემატიკური წყვილების კლასების საერთო აღნიშვნებს წარმოადგენენ.

თუ საწყის მექანიზმად მიჩნეულია დგართან ცილინდრულ კინემატიკურ წყვილთა დაკავშირებული რგოლი, მაშინ საწყის მექანიზმზე მისაერთებელი ჯგუფის თავისუფლების ხარისხი უდრის:

$$W = 6n - \sum_{K=1}^{K=5} KP_5 = -1$$

რადგან, $W = 1$ ჩვენს შემთხვევაში მივიღებთ

$$\sum_{K=1}^{K=5} KP_k = 11.$$

თუ მოძრაობის ერთი ხარისხის მქონე სამრგოლიანი სივრცითი მექანიზმების მისაღებად დავწერთ სხვადასხვა ციფრების ყველა შესაძლო კომბინაციას, საბოლოოდ მივიღებთ:

$$5 + 1 + 5 = 11;$$

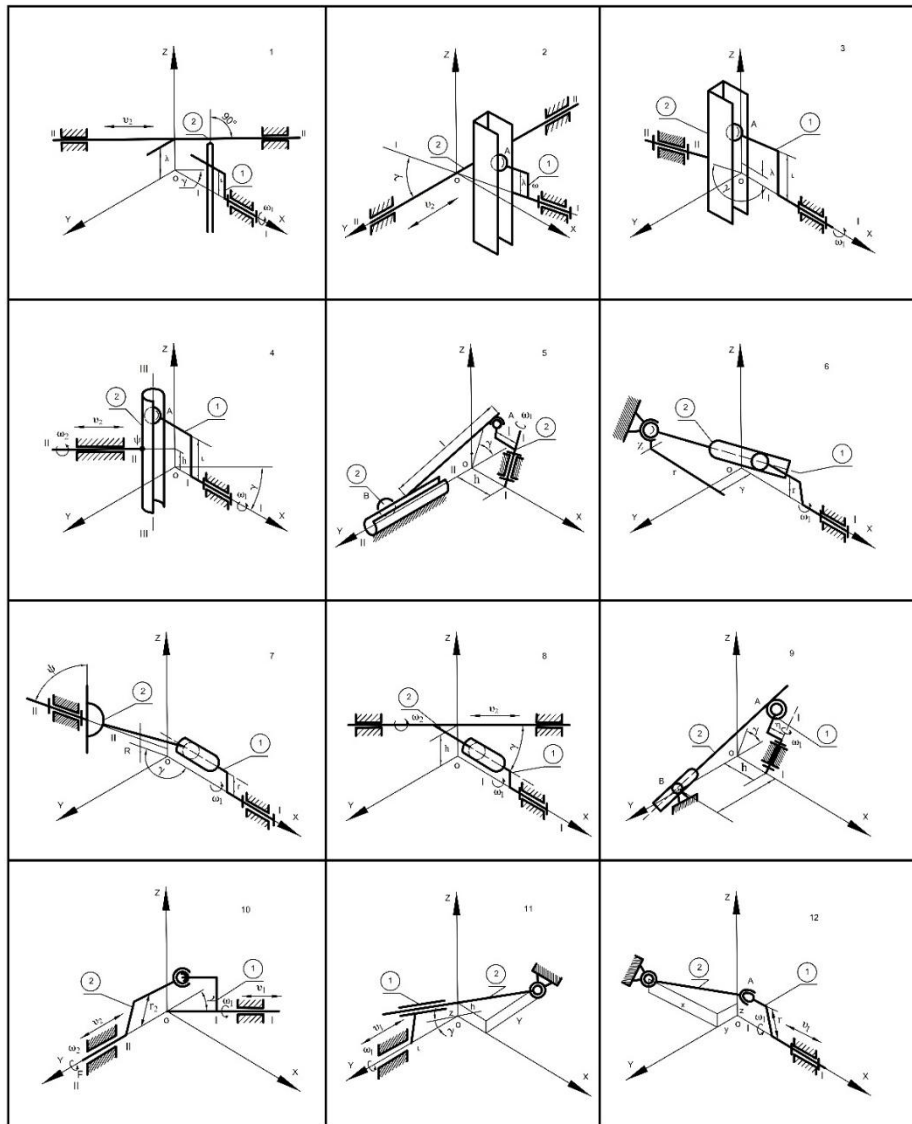
$$5 + 2 + 4 = 11;$$

$$5 + 3 + 3 = 11;$$

$$4 + 3 + 4 = 11;$$

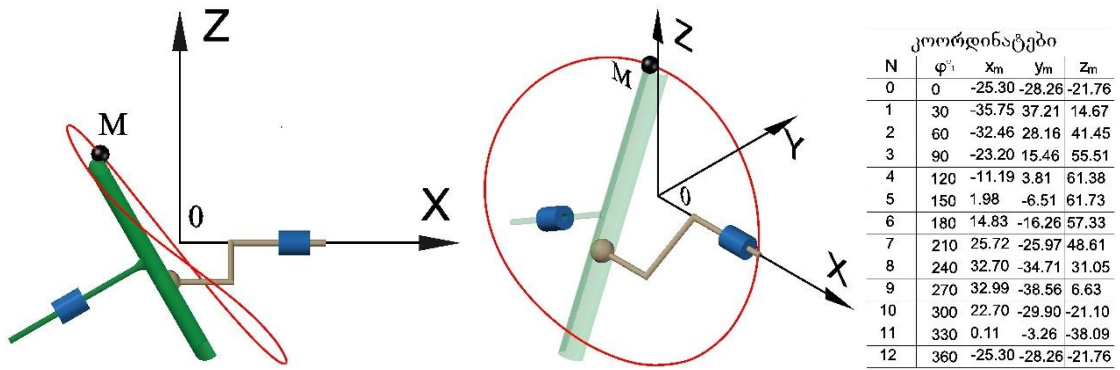
ამრიგად, მივიღებთ სივრცითი სამრგოლიანი მექანიზმების ოთხ სხვადასხვა სახეობას. ეს მექანიზმები, იმის მიხედვით, თუ მოძრაობის რამდენი ხარისხი გააჩნია შემავალ რგოლს, იყოფა ორ კლასად, ხოლო მისაერთებელ ჯგუფში შემავალი კინემატიკური წყვილის უმცირესი კლასის გათვალისწინებით, მათი დაყოფა შეიძლება კიდევ სახეობებად (ცხრილი 3).

ცხრილი 3



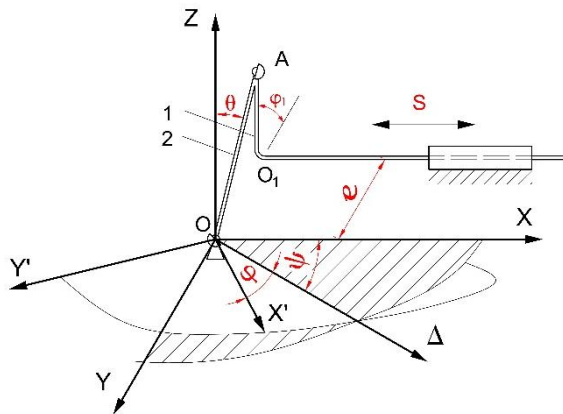
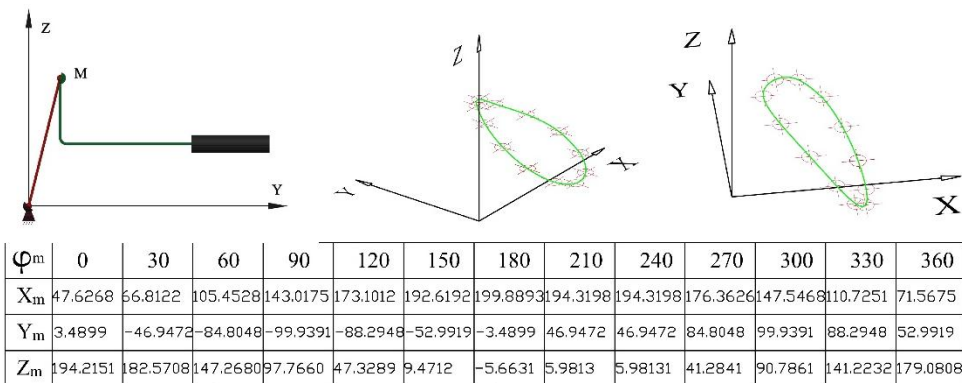
ამრიგად სხვადასხვა მეცნიერის მიერ შემუშავებული სტრუქტურული კლასიფიკაციის თეორიის საფუძველზე, მიღებულია სამრგოლიანი მექანიზმების ყველა შესაძლო მოდიფიკაცია, შესწავლილია ნულოვანი ოჯახის სამრგოლიანი მექანიზმების წარმოქმნის ზოგადი კანონები.

სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია ბრტყელი და სივრცითი სამრგოლა მექანიზმების ცალკეული წერტილების ტრაექტორიები და შედგენილი შესაბამისი კოორდინატების ცხრილი (ნახ. 3).



ნახ. 3

დისერტაციაში განხილულია სივრცითი სამრგოლა მექანიზმების მრავალი შესაძლო მოდიფიკაციიდან, მხოლოდ ისინი რომლებიც გვხვდება მანქანათმშენებლობის და ხელსაწყოთმშენებლობის პრაქტიკაში, ყურადღებას იქცევს მექანიზმი, ნაჩვენები ნახაზზე 4. ამავე ნახაზზე ნაჩვენებია გამომავალი რგოლის ნებისმიერი M წერტილის ტრაექტორია და შედგენილია სათანადო კოორდინატების ამსახველი ცხრილი. ამავე მექანიზმისათვის კინემატიკური კვლევა ჩატარებულია ეილერის კუთხეების დახმარებით.



ნახ. 4

მეოთხე ნახაზზე წამყვან რგოლი O_1A (რგოლი 1), დაკავშირებულია დგართან IV კლასის ცილინდრული კინემატიკური წყვილით, ხოლო ამჟამინდელი რგოლია OA (რგოლი 2) დგართან და წამყვან რგოლთან დაკავშირებულია III კლასის სფერული კინემატიკური წყვილებით.

მექანიზმის მუდმივი კინემატიკური პარამეტრებია:

r - წამყვანი რგოლის (1) სიგრძე $O_1(x_1, y_1, z_1)$ წერტილიდან, $A(x_1, y_1, z_1)$ წერტილამდე,

e – დეზქსიალის სიდიდე

R – OA გამავალი რგოლის სიგრძე.

მექანიზმის ცვლადი კინემატიკური პარამეტრებია:

$S=X_1$ – წამყვანი რგოლის ბრუნვის ცენტრის აბსცისა;

φ_1 – O_1A წამყვანი რგოლის შემობრუნების კუთხე - მექანიზმის განზოგადოებული პარამეტრი.

$O\Delta$ - ნუტაციის ღერძი (კვანძების წრფე), მიიღება OA -ს მართობი სიბრტყისა და XOY სიბრტყეების თანაკვეთის შედეგად.

$O\Delta$ და OX' წრფეებს შორის კუთხე წარმოადგენს საკუთარი ბრუნვის კუთხეს φ .

$$\varphi = \arccos \frac{R \cos \varphi_1 \sqrt{R^2 - e^2 - r^2 - 2re \cos \varphi_1}}{(R^2 - r^2 \sin^2 \varphi_1)(R^2 - e^2 - r^2 - 2re \cos \varphi_1 + e^2 \sin^2 \varphi_1)}$$

$O\Delta$ და OX ღერძებს შორის კუთხე არის ψ პრეცესიის კუთხე:

$$\psi = \arccos \frac{-(e + r \cos \varphi_1)}{\sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \varphi_1}}$$

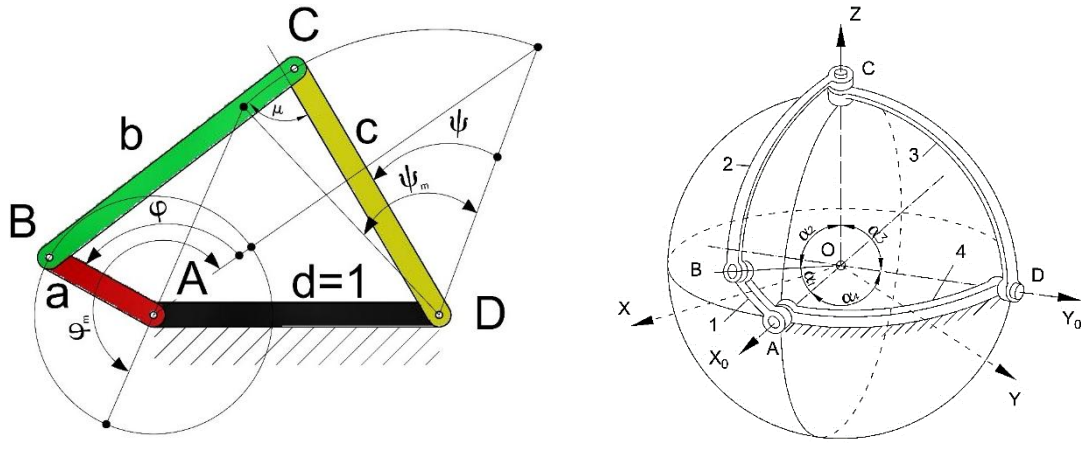
OZ და OZ' ღერძებს შორის კუთხე არის θ - ნუტაციის კუთხე:

$$\theta = \arccos \frac{r \sin \varphi_1}{R}$$

ამ უკანასკნელი ფორმულებიდან კოორდინატების მნიშვნელობის ჩასმისას, საბოლოოდ მივიღებთ:

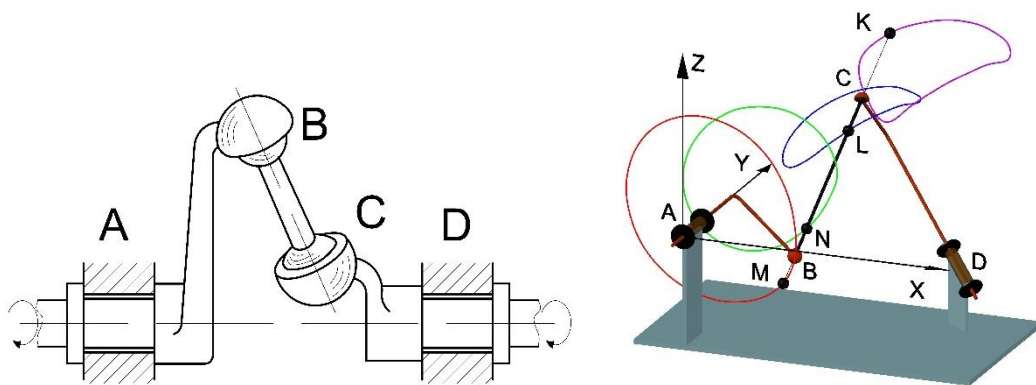
მას შემდეგ რაც განისაზღვრა კუთხეები ψ , φ , θ ეილერის კუთხეებს, მოცემული მექანიზმის შემდგომი კვლევა შეიძლება ჩატარდეს მექანიკაში უკვე ნაცნობი ფორმულების მიხედვით.

სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია ბრტყელი და სივრცითი ოთხრგოლა ბერკეტული მექანიზმები (ნახ. 5). მათი კინემატიკური კვლევა ჩატარებულია კომპიუტერული სისტემური პროგრამების AutoCAD-ისა და Inventor-ის გამოყენებით.



ნახ. 5

განხილულია ამ მექანიზმის უძრავი და მოძრავი რგოლების ურთიერთ ფარდობითი მდებარეობების ყველა შესაძლო ვარიანტი. ნაშრომში აგრეთვე განხილილია ბარბაცაზე მდებარე წერტილების ტრაექტორიები და შედგენილი შესაბამისი კოორდინატთა ცვალებადობის ცხრილები, გარდა ამისა, ნაჩვენებია ცნობილი მეცნიერების მიერ შექმნილი მექანიზმების მოძრავი მოდელები, როგორც არის: რობერტსის, ჩებიშევის, უატის, არტობოლევსკის, ევანსის, ჰუკის, დელონეს, სილვესტრე-კემპეს, პოსელიეს, და სხვა.



ნახ. 6

მანქანათმშენებლობაში სხვადასხვა ტექნოლოგიური ამოცანების გადაწყვეტისას ხშირად საჭირო მექანიზმის ცალკეული წერტილები გადაადგილებოდეს სრულიად გარკვეული ტრაექტორიით. როგორც წესი ასეთ მექანიზმებში გვაქვს ერთი წამყვანი რგოლი, და თითოეული

მექანიზმის ცალკეული წერტილები შესაძლებლობას იძლევა მივიღოთ ერთად-ერთი შესაბამისი წირი.

როული ტრაექტორიების აღწარმოებისთვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას ორი მოძრაობის ხარისხის მქონე ბრტყელი და სფერული ბერკეტული მექანიზმები. მექანიზმზე დამატებითი კინემატიკური ბმების განხორციელების შემდეგ, ვიღებთ ერთი შემავალი რგოლის მქონე მექანიზმს. ორი მოძრაობის ხარისხის მქონე ჩაკეტილ კინემატიკურ ჯაჭვებში დამატებითი ბმის პირობების განხორციელება შესაძლებელია სხვადასხვა საშუალებებით. რადგანაც დამატებითი რგოლების რიცხვი და ჯამური ბმათა რიცხვი ერთმანეთთან დაკავშირებულია დამოკიდებულებით

$$W=3n-\sum_{k=4.5}(K-3)P_k = -1,$$

საიდანაც ჩანს, რომ

$$2P_5+P_4= 3n+1$$

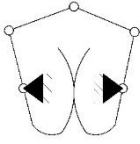
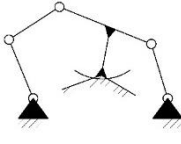
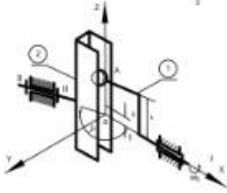
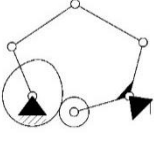
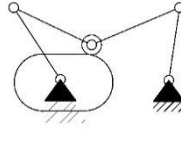
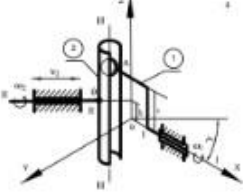
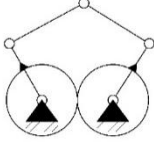
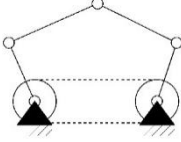
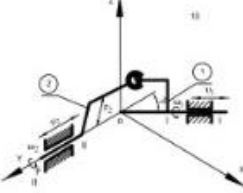
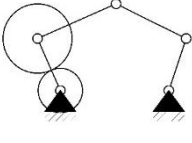
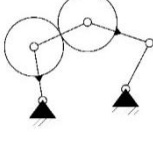
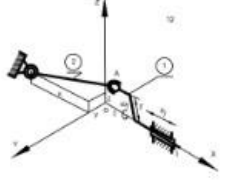
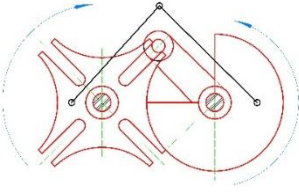
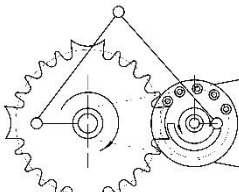
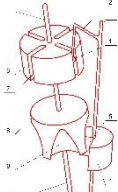
დამატებით კინემატიკურ ჯაჭვში შემავალი რგოლების რაოდენობიდან გამომდინარე, გვექნება განსხვავებული ვარიანტები.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ორი თავისუფლების ხარისხის მქონე კინემატიკური ჯაჭვი წარმოადგენს ხუთრგოლა ბერკეტულ მექანიზმს, მაშინ პრაქტიკულად მისაღებია დამატებითი ბმა განხორციელოთ შემდეგი პირობის დაცვით:

$$n=0 \quad P_5=0 \quad P_4=1$$

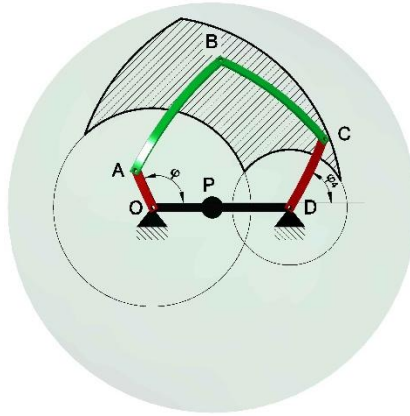
თუ გავითვალისწინებთ ძირითად ფუნქციურ დანიშნულებებს, მექანიზმების ცალკეული რგოლების მოძრაობის გარდაქმნებს და მათ სხვადასხვაგვარ სტრუქტურულ მახასიათებლებს, მაშინ ჩაკეტილი კინემატიკური ჯაჭვებისთვის შეიძლება შევადგინოთ კლასიფიკაციის განზოგადებული სქემა (ცხრილი 4).

ამგვარად, სტრუქტურული კლასიფიკაციის თეორიის საფუძველზე მიღებული იქნა მოძრაობის ერთი ხარისხის მქონე ჩაკეტილი კინემატიკური ჯაჭვების ყველა შესაძლო მოდიფიკაცია, შესწავლილია მათი წარმოქმნის ზოგადი კანონები, შეკრებილია და კლასიფიკაციის სისტემაში მოყვანილია ამ მექანიზმების ძირითადი სახეები.

ბრტყელ და სფერულ ხუთრგოლა ბერკეტულ მექანიზმებში რგოლების ზომები განსაზღვრავენ იმ კონკრეტულ უბანს, რომელშიც შეიძლება მოთავსებული იყოს წერტილის საძიებელი ტრაექტორია.

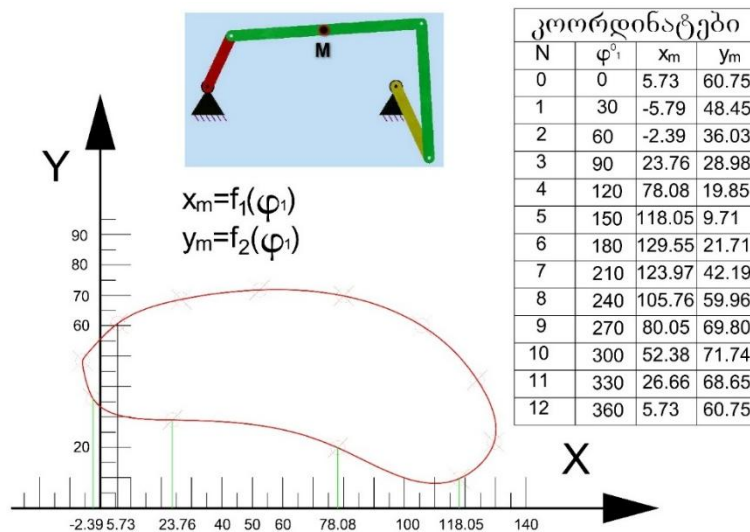
დადგენილია ასეთ მექანიზმში ორი მრუდხარას არსებობის შემდეგი პირობები.



ნახ. 7

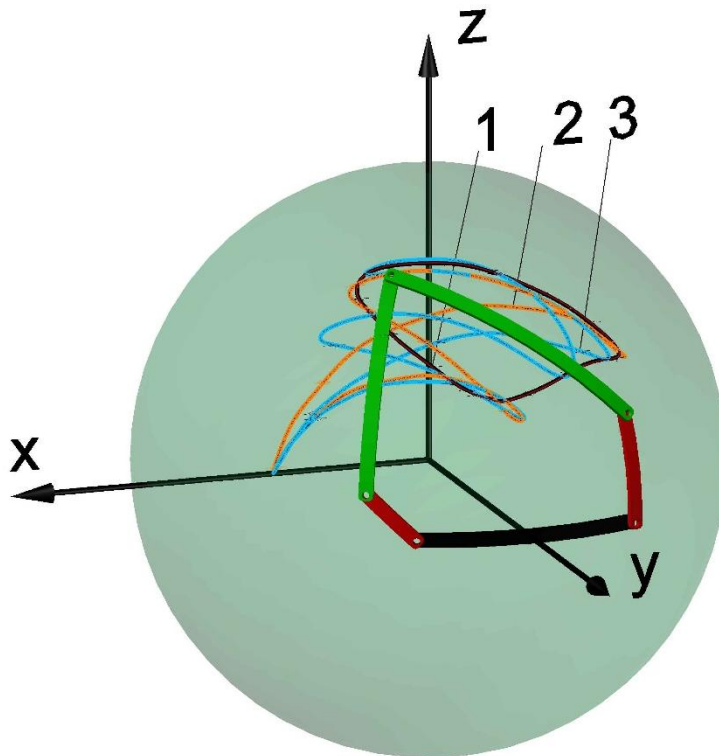
1. $\angle APB + \angle BPC \geq 1 + \angle CPD + \angle OPA$
2. $\angle APB - \angle CPB \geq 1 - (\angle DPC + \angle OPA)$
3. $\angle CPB - \angle APB \geq 1 - (\angle DPC + \angle OPA)$

მე-8 ნახაზზე მოცემულია ბრტყელი ხუთრგოლა ბერკეტული მექანიზმის ბარბაცაზე მდებარე M წერტილის კოორდინატები და ტრაექტორია მექანიზმის დამოუკიდებელი φ_1 განზოგადოებულ პარამეტრის ცვალებადობის მიხედვით.



ნახ. 8

ორ მრუდხარისანი სფერული ხუთრგოლა მექანიზმის ბარბაცაზე მდებარე M წერტილისათვის აგებულია ტრაექტორიები და განსაზღვრულია კოორდინატები მექანიზმის შემავალი და გამომავალი რგოლების გადაცემათა რიცხვის სხვდასხვა მნიშვნელობებისათვის კერძოდ $u_{14}=1:1$, (1), $u_{14}=1:2$, (2), $u_{14}=1:3$, (3) (ნახ. 9).



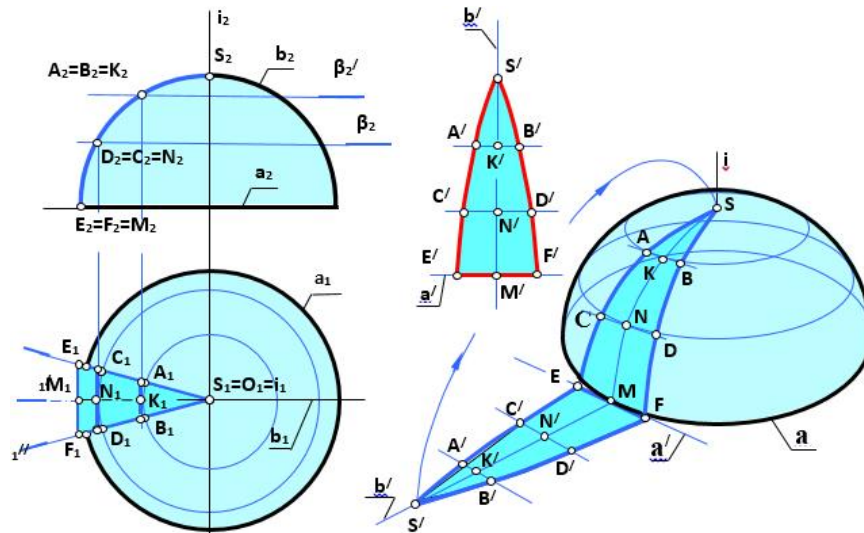
კოორდინატები 1				
N	φ^0	x_m	y_m	z_m
0	0	78.06	150.75	131.62
1	30	56.92	173.52	112.99
2	60	20.08	189.95	95.48
3	90	-4.53	192.86	94.21
4	120	-38.11	183.87	104.26
5	150	-71.88	171.58	107.34
6	180	-59.09	160.16	130.32
7	210	-30.51	149.99	150.11
8	240	0.75	138.33	164.36
9	270	34.05	125.81	170.76
10	300	68.37	114.31	168.55
11	330	91.43	122.94	150.52
12	360	78.06	150.75	131.62

კოორდინატები 2				
N	φ^0	x_m	y_m	z_m
0	0	59.16	161.98	128.07
1	30	14.05	196.81	85.14
2	60	45.39	181.72	105.55
3	90	111.11	157.78	95.66
4	120	156.33	140.95	43.78
5	150	123.52	143.60	100.40
6	180	64.47	150.20	138.43
7	210	-5.65	157.90	145.06
8	240	-69.34	166.42	117.34
9	270	-39.14	157.98	140.53
10	300	23.89	135.24	164.99
11	330	91.01	114.70	157.43
12	360	59.16	161.98	128.07

კოორდინატები 3				
N	φ^0	x_m	y_m	z_m
0	0	35.01	187.58	99.04
1	30	45.58	182.67	103.14
2	60	131.72	151.02	78.10
3	90	131.68	149.63	81.44
4	120	47.87	165.97	128.01
5	150	-47.09	175.22	115.37
6	180	-16.63	149.47	153.67
7	210	74.09	117.02	164.49
8	240	3.23	136.82	165.88
9	270	-36.55	185.50	102.37
10	300	45.14	156.06	140.82
11	330	113.03	135.10	123.31
12	360	35.01	187.58	99.04

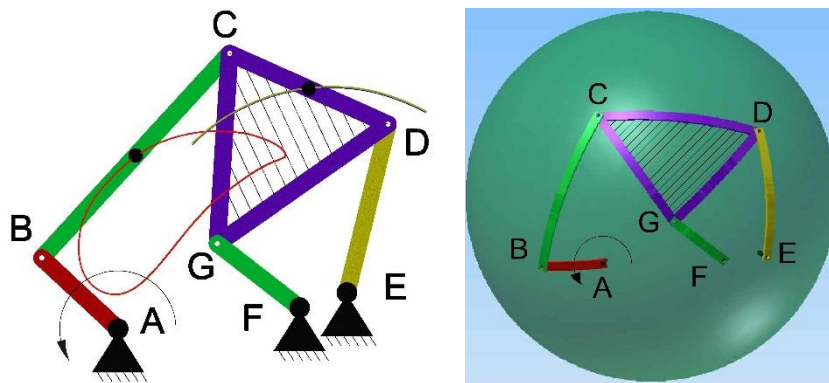
ნახ. 9

ჩვენს მიერ მიღებული კვლევების შედეგები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სასწავლო პროცესის გაღრმავებისა და მასალის ათვისებისათვის. ამ თვალსაზრისით ჩატარებულია სფეროს ზედაპირის მიახლოებითი განფენა, რაც ნაჩვენებია ნახაზზე (ნახ. 10).



ნახ. 10

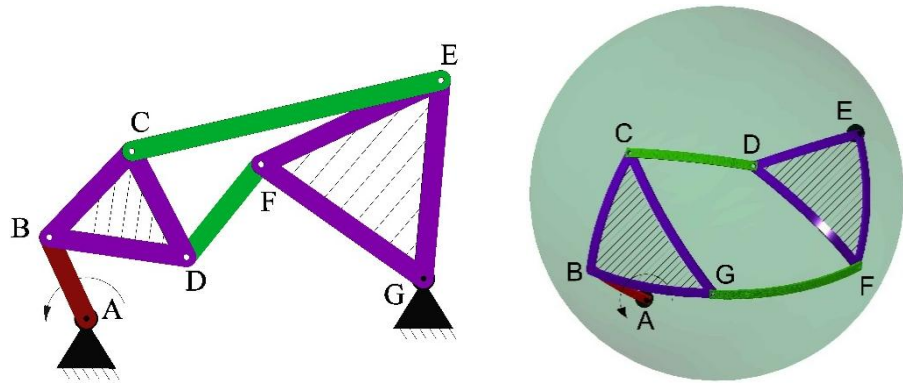
სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია, მესამე კლასის, ბრტყელი და სფერული (სფერული) ექვსკოლა ბერკეტული მექანიზმების კინემატიკური ანალიზი. აგებულია ბარბაცოვანი წერტილების ტრაექტორიები და შედგენილია სათანადო კოორდინატების ცვალებადობის ცხრილები (ნახ. 11).



ნახ. 11

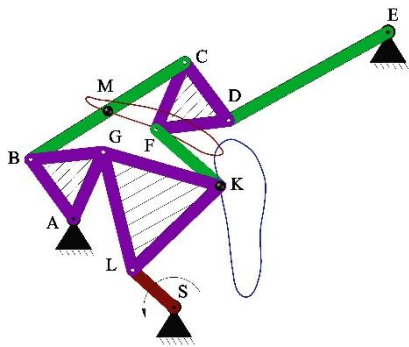
სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია მაღალი კლასის ბრტყელი და სფერული ექვსკოლა და რვარკოლა ბერკეტული მექანიზმების ანალიზი და სინთეზი კომპიუტერული სისტემური პროგრამების AutoCAD-ისა და Inventor-ის გამოყენებით.

ნაშრომში ჩატარებულია, კინემატიკური ანალიზი მეოთხე კლასის, ბრტყელი და სფერული ექვსკოლა ბერკეტული მექანიზმებისათვის. აგებულია ბარბაცოვანი წერტილების ტრაექტორიები და შედგენილია სათანადო კოორდინატების ცვალებადობის ცხრილები (ნახ. 12)

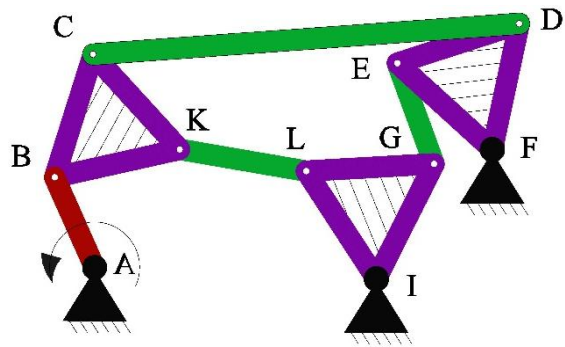


ნახ. 12

ჩატარებულია მაღალი კლასის რვარგოლა ბრტყელი და სფერული მექანიზმების კინემატიკური კვლევა აგებულია ბარბაცოვანი წერტილების ტრაექტორიები სათანადო ცხრილებით (ნახ. 13).



ნახ. 13



ნახ. 14

კინემატიკური კვლევა ჩატარებულია აგრეთვე მეექვსე კლასის რვარგოლა ბერკეტული მექანიზმისათვის (ნახ. 14).

ძირითადი დასკვნები

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეიძლება შემდეგი ძირითადი დასკვნების გაკეთება:

1. კინემატიკურ წყვილებში რგოლების შეერთების საშუალებები და კინემატიკურ წყვილებში შემავალი რგოლების გეომეტრიული ელემენტების ურთიერთკავშირი მრავალფეროვანია. ამიტომ კინემატიკური წყვილების კვლევა, მათი სტრუქტურული ნიშნების თვალსაზრისით, დაიყავნება ურთიერთშემხები ზედაპირების გეომეტრიული ფორმების და ამ ზედაპირების ურთიერთ-შეხების პირობების და ხასიათის კვლევამდე.
2. მნიშვნელოვანია სამრგოლიანი კინემატიკური ჯაჭვის საერთო სტრუქტურული პარამეტრების დადგენის საკითხი, რადგანაც ეს პარამეტრები საშუალებას გვაძლევენ კინემატიკური ანალიზისა და სინთეზის ამოცანების ამოხსნას მიუზღვეთ ყველა სახის სივრცითი მექანიზმებისთვის საერთო პოზიციიდან.
3. იმის გათვალისწინებით, რომ სამრგოლიანი ბერკეტული მექანიზმები ყალიბდება ორ კინემატიკურ წყვილში შემავალი რგოლის საწყის მექანიზმთან მიერთებით, და რადგანაც ნებისმიერი ამ წყვილთაგან, რომელიმე კინემატიკური ჯაჭვის ექვივალენტურია, ყველა სამრგოლიანი სივრცითი მექანიზმიდან შეიძლება მივიღოთ ძირითადად ოთხ-, ხუთ-, ექვს- და შეიღრგოლიანი სივრცითი მექანიზმები.
4. სამრგოლიან ბერკეტულ მექანიზმებისათვის მიღებულია ერთრგოლიანი ჯგუფების სხვადასხვა მოდიფიკაციები, რომელებიც შეიძლება შედიოდნენ მითითებული მექანიზმების შემადგენლობაში ამყალი რგოლების სახით.
5. შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენება საშუალებას იძლევა ყველა მოდიფიკაციის ბრტყელი და სფერული მექანიზმების კინემატიკური ანალიზისა და სინთეზის ამოცანების ამოხსნა ჩატარდეს ერთნაირი მიდგომის საფუძველზე, ამასთან თითოეული ამოცანის ამოხსნა მარტივდება. მექანიზმების კვლევის შედეგად მიღებული

ფუნქციონალური დამოკიდებულებები საშუალებას იძლევიან დაესვათ საკითხი მთელი პროცესის ოპტიმიზაციის შესახებ.

6. წარმოდგენილი მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია მეცნიერებისა და მანქანათმშენებლობის ნებისმიერ სფეროში ჩვენს მიერ მიღებული კვლევების შედეგები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სასწავლო პროცესის გადრმავეებისა და მასალის ათვისებისათვის, რამეთუ იგი ეფუძნება თანამედროვე, მარტივ, თვალსაჩინო და პრაქტიკულ მეთოდებს. ამასთან დასმული ამოცანების გადაწყვეტა ხდება ინჟინერ-კონსტრუქტორებისათვის ცნობილი ანალიზური გეომეტრიის ძირითადი დებულებების გამოყენებით.

7. ორი და ორზე მეტი მოძრაობის ხარისხის მქონე ბერკეტული მექანიზმები შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც მარტივი ალგებრული ასევე მაღალი რიგის წირების მისაღებად.

8. ხუთრგოლა ბერკეტულ მექანიზმებში ორი მრუდხარას არსებობის პირობად უნდა ჩაითვალოს რგოლების ზომებს შორის შემდეგი თანაფარდობები:

$$\langle APB \rangle + \langle BPC \rangle \geq \langle OPD \rangle + \langle CPD \rangle + \langle OPA \rangle$$

$$\langle APB \rangle - \langle CPB \rangle \leq \langle OPD \rangle - (\langle DPC \rangle + \langle OPA \rangle)$$

$$\langle CPB \rangle - \langle APB \rangle \leq \langle OPD \rangle - (\langle DPC \rangle + \langle OPA \rangle)$$

9. ხუთრგოლა ბერკეტული მექანიზმების ცალკეულ წერტილებს შეუძლიათ ზუსტად ან მიახლოებით აღწერონ წრეწირი, წრფე ან რომელიმე სხვა ალგებრული წირი.

10. სხვადასხვა სახისა და ორი მოძრაობის ხარისხის მქონე მექანიზმებში წირების მიღება შესაძლებელია შემავალი და გამავალი რგოლების ბრუნვის მიმართულების შეცვლის შედეგად.

11. ხუთრგოლა ბერკეტულ მექანიზმებში შემავალი რგოლის მრუდმხარობის დროს გამავალი რგოლი შეიძლება იყოს მრუდხარა, მხრეული ან ასრულებდეს მოძრაობას პერიოდული გაჩერებებით.

12. დამუშავებულია უნივერსალური მათემატიკური მოდელი და ზოგადი მიდგომა, ბრტყელი და სივრცითი მექანიკური სისტემების სტრუქტურის, კინემატიკური ანალიზისა და სინთეზის პრობლემების

გადასაწყვეტად. შემოთავაზებული მეთოდის იძლევა მყარ საფუძველს კინემატიკური ანალიზის ავტომატიზაციისათვის.

13. შემოთავაზებული მათემატიკური მოდელების ეფექტურობა და უნივერსალურობა, აგრეთვე შემოთავაზებული ანალიზის ამოცანების ამოხსნის მეთოდის უტყუარობა მტკიცდება მთელი რიგი პრაქტიკული ამოცანების ამოხსნით.

14. სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილი ალგორითმები შესაძლებელია უშუალოდ გამოყენებულ იქნას მომავალში ბერკეტული მექანიზმების ავტომატური პროექტირების სისტემებში (CAIP) პროგრამული უზრუნველყოფის სახით.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი ასახულია შემდეგ პუბლიკაციებში:

1. ზ.ნაცვლიშვილი, ი.ბაციკაძე, გ.ჩიტაიშვილი. სფერული მექანიზმების ბარბაცოვანი წერტილების მდებარეობის განსაზღვრა. თეზისების კრებული 82-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია თბილისი ტექნიკური უნივერსიტეტი 2014.
2. Natsvlishvili Z., Batsikadze I., Citaishvili G. DETERMENING THE LOCATION FUNCTION OF SPHERICAL LEVER MECHANIZMS BY USING THE COMPUTER TECHNIQUE TRANSPORT BRIDGE EUROPE-ASIA Georian Technical Universiti 2014.
3. ზ.ნაცვლიშვილი, ი.ბაციკაძე, გ.ჩიტაიშვილი, გ.ნამგალაძე გრაფიკული მეთოდი სფერული მექანიზმების კინემატიკური ანალიზისა და სინთეზისათვის. დეპონირების დამადასტურებელი მოწმობა 6026 2014.
4. ზ.ნაცვლიშვილი, ი.ბაციკაძე, გ.ჩიტაიშვილი, ზ.კვინიკაძე. მეორე რიგის ზედაპირების ურთიერთკვეთის წირის განსაზღვრა გრაფიკული და ანალიზური მეთოდებით. ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა თბილისი 2015.
5. ზ.ნაცვლიშვილი, ი.ბაციკაძე, გ.ჩიტაიშვილი, გ.ნამგალაძე, მ.ხუბუტია. ბერკეტული მექანიზმების ანალიზისა და სინთეზის ამოცანების გადაწყვეტა კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით თბილისი 2015.

Summary

To transform the motion and transfer power in up-to-date engineering are applied the various types of planar and spatial lever mechanisms. The planar mechanisms have been thoroughly studied in terms of analysis, synthesis, systematization. The field of application of spherical and spatial mechanisms is more and more expanding in almost all fields of engineering. This can be explained by the fact that these mechanisms are more accurately reproducing the stated position function, rather than a planar transmission mechanisms system; they are more compact, simple and reliable in operation, and in most cases gives the possibility to create convenient structures.

In recent years, together with four-bar and five-bar leverage mechanisms, a growing recognition have also the three-bar mechanisms that major advantage is to perform of spatial transfer with small dimensions of the mechanism and minimum number links.

Despite the compactness of these mechanisms, the definition of their links spatial trajectories is relate4d with complex calculations. Therefore, each work that simplifies spatial object projective image and gives the possibility to carry out the reconstruction with elementary constructions, which simplifies the analysis and synthesis of spherical mechanisms, is highly topical.

For Engineers more clearly and accessible graphical constructs are widely distributed in practice. From them mostly are used the construction in orthogonal projection system, or accordingly of Monge method.

As result of lot of researches in this field are created many directions that gives the possibility to CAD software in design works.

As obstructive for this mechanism's practice related with more broadly implementation would be nominated the lack of their practical, cost-effective and simple research methods that could be used without any special training by ordinary structural engineers. If four-bar, and sometimes multi-link mechanisms kinematic research is conducted without any special effort, by Descriptive Geometry methods, for spatial three-bar mechanisms, would be applied these methods.

By the application of Descriptive Geometry methods is available and convenient the solution all the tasks. Results can be achieved through the application of various methods. In some cases the certain way would be more simple. For solution of various

kinematic problems certain method will be multiply used, so the great importance have a selection of simpler and more rational ways.

In the presented work are considered the determining method of position functions of plane and spatial mechanisms. For the solution of the analysis as well as synthesis problems the determining of position function of the mechanism represents the basic problem. Is offered for a variety of geometric figures visible on the surface of sphere clear and less time-consuming approach for the tasks solution that gives the possibility to easily and efficiently mechanisms determine the coordinates of individual points of spherical mechanisms.

The solution of geometric nature modern technical problems in most cases is carried out by analytical methods. Despite that at this time the results of the research will be obtained by preliminary stated accuracy, it should be noted a number of advantages characterizing the graphical methods.

Now the possibilities of modern computer hardware and software gives the possibility grounded on new mathematical models to solve the arbitrary complexity technical task and practically apply the arbitrary research method for mechanisms with preliminary stated accuracy.

The offered in this work presented method promote to effectively apply the Autodesk computer programs AutoCAD and Inventor's abilities, for the kinematic analysis and synthesis of the lever mechanism that gives the possibility to designer to observe interim solutions onto monitor. After the analysis of interim graphic designs results, designers would intervene in the design process, reduce the obtained images shape and structure up to the desired result. Also, at any stage of the working process to modify model and also make changes in the project.

The aim of the presented work is to develop simple and obvious as well as acceptable for engineering practices method moving mechanical systems by application of Autodesk software AutoCAD and Inventor programs.

Due Autodesk Inventor on sketching stage is possible to study influence of the basic parameters of mechanism changing as well as selection of the optimal kinematic solution. Then on the design stage by addition of parametric constraints of the mechanism constituent links to obtain a prototype of the mechanism. In this program is quite easily set of 3D tools possible by them is possible to create three-dimensional models and its inspection. All this reduces costs and allows for subsequent time. That is why for researches we use the Autodesk Inventor.

In the work is considered the planar hinged, as well as spatial (in particular, spherical) mechanism assembly general methodological issues. For carrying out structural kinematic analysis and synthesis are drawn up three-bar, four-bar, five-bar and high-class hinged mechanisms appropriate algorithm using computer programs.

By our opinion developed building us computer models would play important role in facilitating the design of spherical mechanisms and in their effective implementation in various areas engineering.

In the work are considered the second, third, fourth, fifth and sixth class planar four-bar, six-bar and eight-bar hinged mechanisms. Are developed their models (prototypes) and by their means are defined trajectory and coordinates of some of them.

Also are developed spatial three-bar, four-bar, five-bar and six-bar mechanisms and their models (prototypes) and by them are defined the trajectory and the coordinates of some of them.

It should also be noted that some of them, especially high-class planar as well as spatial mechanisms has not been yet studied.