საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სერგო გურის ძე შარაშენიძე

რკინიგზის რეფრიჟერატორული ვაგონის დიზელის ძრავის მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დინამიკური დატვირთვების შემცირება შეერთებებში ღრეჩოების ოპტიმიზირებით

სპეციალობა – 05.04.02. – თბური ძრავები

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

სამეცნიერო ხელმძღვანელი – ტექნიკის
მეცნიერებათა დოქტორი
თ.მ. ნატრიაშვილი

თბილისი – 2005

ს ა რ ჩ ე ვ ი

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

ქვეყნის სახალხო მეურნეობის განვითარების უმნიშვნელოვანეს პირობას სხვა მოთხოვნებთან ერთად წარმოადგენს რკინიგზის ტრასპორტის გამართული და უმტყუვნო მუშაობა. რკინიგზის ტრანსპორტი გამოირჩევა თავისი პრესტიჟული ადგილით სხვა სახის ტრანსპორტს შორის, რადგან მასზე მოდის ტვირთბრუნვისა და მგზავრთა ნაკადის უპირატესი ნაწილი. გამტარუნარიანობისა და გამზიდუნარიანობის შეუფერხებელი ზრდა თავისთავად მოითხოვს სარკინიგზო ტრანსპორტის დაძაბულ მუშაობას, ამიტომ გადაზიდვის პროცესების სრულყოფასთან ერთად აუცილებელია მთელი სავაგონო პარკის ტექნიკური სრულყოფა და ნორმალური მუშაობა.

რეფრიჟერატორული ვაგონის საშუალებით წარმოებს მალფუჭებადი ტვირთის გადატანა დანიშნულების ადგილამდე ისე, რომ პროდუქტის (ტვირთების) სასაქონლო ღირებულება გადატანის შემდეგ შემოწმებისას უნდა თავსდებოდეს სახელმწიფო სტანდარტით მოცემულ ნორმებში. ამისათვის უპირველეს ამოცანას წარმოადგენს პროდუქტის ტრანსპორტირებისათვის დადგენილი სამაცივრო ციკლის უზრუნველყოფა მომსახურების მთელი პერიოდის განმავლობაში. ყველა სამაცივრო ან დამხმარე დანადგარი მუშაობს ელექტროენერგიის მუდმივი მიწოდების პირობებში და თუ გავითვალისწინებთ, რომ სამაცივრო ტექნიკა უწყვეტად მუშაობს ხანგრძლივი დროის მანძილზე, ცხადი ხდება რა დიდი პასუხისმგებლობა ენიჭება ელექტროენერგიის მიმწოდებელ სისტემას და მათ შორის დიზელის ძრავასაც. დიზელის ძრავის მყისი მტყუვნების დროსაც კი გენერატორის გაჩერებისას

მოსალოდნელია მთელი სამაცივრო ციკლის ჩაშლა და მასთან გადასატანი მალფუჭებადი ტვირთის სასაქონლო თვისებების გაუარესება.

რეფრიჟერატორული ვაგონის დიზელის ძრავის მთავარ შემსრულებელ ორგანოს წარმოადგენს მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმი, რომლის სახსრულ შეერთებებში ტექნოლოგიური აკრებისა და შემდგომი მუშაობის მიზნით თავიდანვე დაშვებულია ღრეჩოს გარკვეული მნიშვნელობა შეერთების შიგა და გარე ელემენტებს შორის. გარკვეული დროით მუშაობის შემდეგ ადგილი აქვს შიგა და გარე ელემენტების მოსრიალე მუშა ზედაპირების ცვეთას, რომლის შედეგადაც შეერთებაში არსებული ღრეჩოს გეომეტრიული ზომა იზრდება. გაზრდილი ღრეჩოს პირობებში ადგილი აქვს შიგა ელემენტების დარტყმით მოვლენას გარე ელემენტების მიმართ, იზრდება რეაქციის ძალები და ხშირდება დარტყმითი მოვლენები, რომლის დროსაც ზიანდება შიგა და გარე ელემენტების შემხები ზედაპირები, იკაწრება დგუშისა და ცილინდრის მუშა ფართები და ა.შ. განსაკუთრებით დიდი ღრეჩოს დროს შესაძლოა მოხდეს ბარბაცას დაზიანება, გაღუნვა და ჩატეხვაც კი. მექანიზმის ჩაშლას მივყევართ ძრავის აუცილებელ დაშლით შეკეთებამდე, რაც გარკვეულ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული. ხშირად დიზელის ძრავის ბლოკის ზედაპირზე გაჩენილი ბზარები გამოწვეულია გაზრდილი ღრეჩოს შიგნით არსებულ დარტყმით მოვლენებით. გაზრდილი ღრეჩო წარმოადგენს შემსრულებელი მექანიზმისადმი დამატებითი დინამიკური დატვირთვების აღძვრის წყაროს.

დიზელის ძრავზე ღრეჩოსაგან გამოწვეული გაზრდილი

დინამიკური დატვირთვების უარყოფითი ზემოქმედების თავიდან აცილების მიზნით აუცილებელია ჩატარდეს შემსრულებელი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დინამიკური გამოკვლევა შეერთებებში ღრეჩოების გათვალისწინებით და დადგინდეს იმ ოპტიმალური ღრეჩოს მნიშვნელობა, რომლის არსებობისას შენარჩუნებული იქნება დიზელის ძრავის ხანგამძლეობა.

ამ მიზანს ემსახურება წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომი, რომელშიც ჩატარებულია ღრმა თეორიული გამოკვლევები და შექმნილია პროგრამა ძირითადი დინამიკური პარამეტრების გაანგარიშებისათვის გაზრდილი თუ ოპტიმალური ღრეჩოს არსებობის პირობებში.

თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა და კვლევის ამოცანები

სატრანსპორტო მექანიკის საკითხებით მეცნიერთა დაინტერესება იწყება პირველი ორთქლმავლის შექმნის დროიდან და ამ დარგს ემსახურება მეცნიერთა მრავალი თაობა. სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობა რთული დინამიკური სისტემაა, რომლის ნორმალური ტექნიკური გამართულობა და ექსპლუატაცია დამოკიდებულია ისეთი ფუნდამენტალური საკითხების გადაჭრასთან, როგორიცაა ვაგონისა და ლიანდაგის ურთიერთქმედების დინამიკა, შემადგენლობის გრძივი დინამიკა, ვაგონების რხევები, ვაგონების კონსტრუქციული სრულყოფა, სამუხრუჭე სისტემების ოპტიმიზაცია, ვიბრაციები და ა.შ. სატრანსპორტო მექანიკის საკითხებს მიეკუთვნება არა მარტო ვაგონის ან მოძრავი შემადგენლობის მიმართ აღძრული პრობლემები, არამედ ის საკითხებიც, რომლებიც ეხება ვაგონის დანადგარების კონსტრუქციულ სრულოფასა და მათ დინამიკურ კვლევას.

XIX საუკუნის დასასრულსა და XX საუკუნის საწყის წლებში რკინიგზის მოძრავი შემადგენლობისა და ვაგონების პრობლემური ფუნდამენტალური საკითხები გადაჭრილი იქნა ისეთი გამოჩენილი რუსი მეცნიერების მიერ, როგორიც არიან: ნ. პ. პეტროვი, კ. ი. ცეგლინსკი, ა. ა. ხოლოდეცკი, ა. ნ. კრილოვი, ა. მ. გოდიცკი-ცვირკო, ს. პ. ტიმოშენკო, ნ. ე. ჟუკოვსკი და სხვ. მათი გამოკვლევები ხასიათდება დიდი მეცნიერული სიღრმით და პრაქტიციზმით. ამ მეცნიერთა ნაშრომებზე აღიზარდა მომავალ მეცნიერთა თაობა, რომელთაც დიდი წვლილი შეიტანეს სარკინიგზო მექანიკის განვითარების საქმეში.

მოხდა ვაგონების კონსტრუქციის დახვეწა და მასზე მოქმედი ძალების გამოკვლევა [27]. მასალათა გამძლეობის დებულებებზე დაყრდნობით გამოკვლეულ იქნა რიგი საკითხებისა ვაგონების სიმტკიცის და საიმედოობის შესახებ. დამუშავდა სხვადასხვა დანიშნულების ვაგონის ძარისა და ურიკის კონსტრუქციები. ჩატარდა ყველა საპასუხისმგებლო კვანძის ან ელემენტის ღრმა თეორიული გამოკვლევა.

მოძრავი შემადგენლობის გრძივი დინამიკის ფუნდამენტალური საკითხები გამოკვლეული იქნა რიგ სამეცნიერო ნაშრომებში [9, 28, 30, 35, 89, 107]. დამუშავდა და გამოკვლეული იქნა სავალი ნაწილის რაციონალური პარამეტრების მნიშვნელობები მშრალი ხახუნის არსებობის დროს, აგრეთვე ვაგონის ძარის მდგრადობის საკითხები და დამუშავდა შესაბამისი მდგრადობის პირობები. გამოკვლეული იქნა რელსზე თვლის დარტყმის მოვლენები, დამუშავდა დინამიკური მოდელი, რომელიც ასახავს თვლის გავლისას ლიანდაგის პირაპირებში აღძრული რეაქციის ძალების სიდიდეს. განხილულია ურიკის განივი მდგრადობის პრობლემები და ზოგადად მთელი სისტემის მდგრადობის პირობები მოძრაობისას. ჩამოყალიბებულია და მოცემული გრძივი დინამიკისა და ვაგონის დინამიკის კვლევის მეთოდები. დამუშავდა და გამოკვლეულ იქნა ის ძირითადი კრიტერიუმები, რომლის მიხედვითაც ვითარდება ურთიერთქმდება მოძრავ შემადგენლობასა და ლიანდაგს შორის [6]. გამოკვლეულ იქნა რხევითი პროცესები მოძრავი შემადგენლობის სწორხაზოვანი და მრუდე უბნებში მოძრაობისას [9], მოხდა ვაგონის რხევების კლასიკური კლასიფიკაცია, რომელიც ცხადად ახასიათებს ვაგონის რხევით პროცესს

სივრცით საკოორდინატო სისტემაში ნებისმიერი სახის მოძრაობის პირობებში. ამ გამოკვლევების საწყის ეტაპად შეიძლება მივიჩნიოთ რხევების ზოგადი დებულებანი [11, 54, 111], დამუშავებული სხვადასხვა ავტორების შესახებ.

გასული საუკუნის მეორე ნახევარში რიგი მეცნიერების მიერ საფუძვლიანად იქნა გამოკვლეული [25, 26, 59, 76, 77, 80, 113, 114] ვაგონების დინამიკის უმნიშვნელოვანესი საკითხები. დამუშავდა მეთოდურად ჩამოყალიბებული კვლევების თეორია, რომელიც ეხება ნებისმიერი სახის ვაგონის დინამიკას. დალამბერისა და ლაგრანჟეს მოძრაობის განტოლებების მიხედვით დამუშავდა ვაგონისა და მისი ნაწილების მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები. ვაგონის ძარა განხილული იქნა როგორც ორ საყრდენზე დაყრდნობილი ხისტი ღერო საყრდენების დრეკადობისა და ძარის მბრუნავი მომენტის გათვალისწინებით. გამოკვლეულ იქნა ერთმაგი და ორმაგი რესორული ჩამოკიდების მქონე ვაგონების დინამიკა რესორული ჩამოკიდების სიხისტისა და სხვა ცვლადი პარამეტრების მხედველობაში მიღებით. განვითარდა მდგრადობის თეორია ვაგონის სწორხაზოვანი მოძრაობისას და მრუდე უბანში გავლის დროს. ვაგონი და რკინიგზა წარმოდგენილი იქნა, როგორც ერთიანი დინამიკური სისტემა და დამუშავდა შესაბამისი საანგარიშო მოდელები რხევათა სახეების დადგენის მიზნით. გამოკვლეულ იქნა ვაგონის ძარისა და ვაგონზე დამაგრებული მექანიზმების დრეკადი რხევები. გარდა თეორიული გამოკვლევებისა დამუშავდა ვაგონების დინამიკის ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდები «ვაგონი-ლიანდაგის» ერთიან დინამიკურ სისტემაში ლიანდაგის დრეკადობისა და სხვა პარამეტრების

გათვალისწინებით. ბოლო ხანებში გამოკვლეულ იქნა ხმაურისა და ვიბრაციების მოვლენები სამგზავრო ვაგონებისათვის. მოცემული კვლევების ჩამოყალიბებაში დიდი როლი მიუძღვის კლასიკური მექანიკის საკითხების განვითარებას [31, 99, 103], როცა ჩამოყალიბდა კლასიკური მექანიკის ძირეული საკითხები, მყარი სხეულების დინამიკა და დასაბამი მიეცა ამ საკითხების განზოგადოების მოვლენას.

სატრანსპორტო მანქანა-დანადგარების შექმნისა და გამოკვლების პროცესში გათვალისწინებული იქნა წლობით შექმნილი ცოდნა კონტრაქტისა და ხახუნის შესახებ [17, 63, 109, 121]. მეცნიერთა ამ ნაშრომებში გამოკვლეული იქნა დარტყმების შედეგად წარმოშობილი კონტრაქტის ბუნება მანქანის მოძრავი ნაწილებისათვის. ჩამოყალიბდა ხახუნისა და მის შედეგად წარმოშობილი ცვეთის კატეგორიები, რომელიც გამოსადეგი გახდა სატრანსპორტო მანქანათმშენებლობაში. კლასიფიკაცია მიეცა მშრალი და ზღვრული ხახუნის პირობებში მანქანების ნაწილების ზედაპირების დაზიანებისა და დაშლის მოვლენებს. მსგავსი მოვლენების კვლევა განხორციელდა მეცნიერთა ნაშრომებში [10, 62, 81, 94]. დამუშავდა დარტყმების თეორია, რომელიც შემდგომ გამოყენებულ იქნა მძიმედ დატვირთული მანქანა-დანადგარების დინამიკის შექმნის პროცესში. გამოკვლეული იქნა ორი ან რამდენიმე დამჯახებელი სხეულის ფორმის გავლენა ამ სხეულების სიჩქარის აღდგენის კოეფიციენტზე. გამოკვლეულ იქნა და გაანგარიშებული დარტმის მოვლენის შედეგად წარმოშობილი რეაქციის და სხვა დინამიკური ძალები ბარბაცას საკისარში, რომლის შედეგადაც მიჩნეული იქნა, რომ მანქანა-დანადგარებში ბარბაცა და მისი საკისარი წარმოადგენენ ყველაზე მძიმედ დატვირთულ ორგანოს. დადგინდა

სწრაფმოქმედ მანქანებსა და მექანიზმებში მექანიკური დარტყმების ინტენსიობა [87] და შესაბამისი სპექტრი.

ვაგონის დინამიკის ამოცანები უმეტეს შემთხვევაში დადის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნამდე [25, 26]. არაწრფივობის გამო ეს განტოლებები არ ემორჩილება ამოხსნის ალგებრულ ხერხებს, ამიტომ საჭირო ხდება მათი ამოხსნა ელექტრო გამომთვლელ მანქანებზე რიცხვითი მეთოდების გამოყენებით. ამის გამო დამუშავდა სპეციალური რიცხვითი მეთოდები [4, 5, 68, 85, 110] არაწრფივი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნისათვის, რომლის დროსაც აუცილებელი ხდება მოძრაობის დიფრენციალური განტოლება მივიყვანოთ კოშის ნორმალურ ფორმამდე, ხოლო შემდეგ გადაწყდეს რუნგე-კუტტას მეთოდით [18, 56, 82, 84]. საბოლოოდ, ელექტრო გამომთვლელ მანქანაზე განტოლების ამოხსნისათვის საჭიროა: აიგოს მოვლენების მათემატიკური მოდელი, შეირჩეს რიცხვითი ამოხსნის მეთოდი, დამუშავდეს ალგორითმი და ბოლოს შესრულდეს კონტროლი ალგორითმის მიმართ [120].

მანქანების ან მისი შემადგენელი მექანიზმების ექსპლუატაციისას დაცული უნდა იყოს მისი კინემატიკური და დინამიკური მახასიათებლები. ამ მახასიათებლების დაუცველობა აუცილებლაად იწვევს მტყუვნებას. მტყუვნების მიზეზები სხვადასხვაა. შეიძლება იყოს კონსტრუქტორული, ტექნოლოგიური ან ცვეთა. პირველი შეიძლება იყოს კონსტრუქტორული არასრულყოფის შედეგი, მეორე გამომდინარეობს დამზადების ტექნოლოგიიდან, მესამე კი შეინიშნება ექსპლუატაციის დროს ხანგრძლივი ცვეთის შედეგად. მტყუვნებების კლასიფიკაციიდან [63] გამომდინარეობს, რომ მათ შორის ყველაზე

მნიშვნელოვანია ცვეთის მოვლენა, რომლის შედეგადც წარმოიშვება ღრეჩო.

პირველი მეცნიერული გამოკვლევა ღრეჩოების გათვალისწინებით [124] დაფუძნებული იყო გრაფიკულ ანალიზზე და პრაქტიკული გამოთვლებისათვის აღმოჩნდა მეტად შრომატევადი, ამიტომ ამ მეთოდმა შემდგომი გავრცელება ვერ პოვა. შემდგომში ჩატარდა მეცნიერული გამოკვლევები [12, 13, 14, 15, 16, 22] სიზუსტის შესახებ შეერთებებში ღრეჩოს გათვალისწინებით. ეს ნაშრომები გახდა საფუძველი დინამიკური გამოკვლევებისა ღრეჩოს არსებობის პირობებში.

დიდი ყურადღება დაეთმო ღრეჩოიანი საკვლევი ობიექტის დინამიკური მოდელის შექმნას. ნაშრომებში [2, 43, 66, 67, 101, 122] დინამიკური მოდელის აგების ძირითად პირობად მიიჩნიეს დებულება იმის შესახებ, რომ მანქანების შემადგენელი შემსრულებელი მექანიზმის მოძრაობისას, დიდი დინამიკური დატვირთვების პირობებში, შეიძლება მოხდეს ღრეჩოიანი შეერთებების ელემენტების მყისიერი დაშორება (წყვეტა), რომელიც სრულდება გარკვეულ დროში. ე.ი. შეიძლება მოხდეს ძალოვანი ჩაკეტილი კონტურის დაშლა იმდენ კონტურად, რამდენი ნაწილიცაა მოცემულ მექანიზმში. ცხადია ამ დროს თითოეულის მოძრაობა იქნება დამოუკიდებელი და ყოველი ნაწილის მოძრაობა აღიწერება დამოუკიდებელი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებით. ამ შემთხვევაში მთელი სისტემის მოძრაობა აღიწერება დამოუკიდებელი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებების სისტემით.

შემდგომში დამუშავდა [40, 41, 42] დინამიკური მოდელი,

რომელიც შეიცავდა კონტაქტური დამყოლობის ჰერცის მოდელს და ასეთი მოდელი ცნობილი გახდა «დარტყმითი წყვილის» სახელწოდებით. ამ მოდელის საშუალებით შესაძლებელი გახდა განესაზღვრათ რეაქციის ძალები ღრეჩოიან შეერთებებში. მოდელის სიმარტივე საშუალებას ქმნიდა შედარებით მარტივი გარდაქმნებით ესარგებლათ ინჟინრული ამოცანების გადასწყვეტად.

გამოკვლევებში [86, 87] დამუშავებული იქნა დინამიკური მოდელი. რომლის აგების საფუძველი გახდა ღრეჩოებიანი შეერთების შიგა და გარე ელემენტების, როგორც ორი ურთიერთდამრტყმელი სხეულის ენერგიის შენახვის პრინციპი. ამ მოდელის მიხედვით შეერთების ორივე ელემენტი განხილულია ორ მდგომარეობაში – პირველი, როცა ღრეჩოებიანი შეერთების ორივე ელემენტი გვევლინება თავისუფალი სხეულის ფორმაში, ე.ი. ელემენტები ურთიერთშეხებაში არ არიან და მეორე, როცა ორივე სხეულს მოძრაობისას აკავშირებს კონტაქტი და გვევლინებიან დარტყმით ფორმაში, ცხადია, ამ დროს წარმოებს კონტაქტური მოძრაობა. ცხადია, დინამიკური მოდელის მიხედვით სავარაუდოა, რომ კონტაქტურ მოძრაობას ყოველთვის მოყვება ელემენტების თავისუფალი მოძრაობა და პირიქით, თავისუფალ მოძრაობას მოყვება კონტაქტის აღდგენა და შემდეგ კი კონტაქტური მოძრაობა.

დინამიკური მოდელის ახალი ვარიანტი დამუშავებული იქნა გამოკვლევებში [101, 102]. აქ ძირითადად განხილულია მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დინამიკური მოდელი ღრეჩოებით სახსრულ შეერთებებში. მხედველობაშია მიღებული მექანიზმის რგოლებზე მოქმედი ძალები., აგრეთვე ღრეჩოებიან შეერთებებში აღძრული

რეაქციის და ხახუნის ძალის მნიშვნელობანი.

დამუშავებული მათემატიკური მოდელის მიხედვით [67] ჩატარდა ღრეჩოებიანი მექანიზმების კინემატიკური და დინამიკური გამოკვლევები. მხედველობაში იქნა მიღებული, რომ სახსრული შეერთებების შიგა და გარე ელემენტების გეომეტრიული ფორმა «იდეალური» და «რეალური» მექანიზმებისათვის ერთნაირია. აგრეთვე დადგინდა, რომ ცდომილებების ფორმულების გამოყვანისას მექანიზმების მახასიათებელი პარამეტრების ცდომილებად მიიღება სხვაობა მდებარეობის, სიჩქარის და აჩქარების სიდიდეებს შორის რეალური და იდეალური მექანიზმების ერთსახელა წერტილებისა მექანიზმების ერთნაირი მოძრაობის კანონის პირობებში [66]. გამოკვლეული იქნა ბრუნვითი და წინსვლითი სახსრული შეერთებების ელემენტების ურთიერთფარდობითი მოძრაობა. ასევე გამოკვლეული იქნა ელემენტების ფარდობითი მოძრაობა გარე ძალების მყისი ცვლილებებისას და დამუშავებული იქნა მეთოდები მექანიზმის პარამეტრების ცდომილებების გაანგარიშებისათვის ღრეჩოს არსებობის დროს. აქვე, ამავე შრომაში ახსნილია, რომ მექანიზმის დინამიკური ცდომილების ქვეშ იგულისხმება «რეალური» და «იდეალური» მექანიზმების ერთი და იმავე სახსრულ შეერთებაში არსებული რეაქციის ძალებს შორის სხვაობა, ამძრავი რგოლების ერთნაირი მდებარეობისა და ერთნაირი მოძრაობის კანონის არსებობისას. გამოყვანილია ფორმულები მექანიზმის დიაგნოსტიკური ცდომილებების შესახებ, გამოკვლეულია დარყმის მოვლენა მექანიზმის ბრუნვით და წინსვლით სახსრულ შეერთებებში, ამასთან ერთად დამუშავებულია დინამიკური ცდომილების გაანგარიშების მეთოდები.

ნაშრომში [66] მოცემულია ღრეჩოებიანი მექანიზმის კინემატიკური და დინამიკური კვლევის მეთოდიკა. განსაზღვრულია ღრეჩოებიან შეერთებაში რეაქციის ძალისა და დარტყმის სიჩქარის მნიშვნელობანი და ნაჩვენებია, რომ ზოგიერთი ღრეჩოიანი მექანიზმის კინეტოსტატიკური გამოკვლევებისას შესაძლებელია რეაქციის ძალა ღრეჩოს არეში გამოთვილი იქნას კინეტოსტატიკის ჩვეულებრივი მეთოდების გამოყენებით. ამასთან მექანიზმების დინამიკური მახასიათებლები დამოკიდებულია ღრეჩოს განლაგებაზე მექანიზმის დანარჩემნი ღრეჩოების მიმართ. დამტკიცებულია, რომ ღრეჩოებით გამოწვეული [21] სიჩქარისა და აჩქარების ცდომილებანი შეიძლება ფარდობით დამოკიდებულებაში იყოს ძირითადი მოძრაობის იგივე პარამეტრებთან.

თუ გამოკვლევათა უმრავლესობა ღრეჩოებიანი მექანიზმების დინამიკის კვლევაში ატარებდა თეორიულ ან ექსპერიმენტალურ ხასიათს, ნაშრომში [2] მოცემულია თეორიულ-ექსპერიმენტალური კვლევა ლილვის მოძრაობისა საკისარში შეზეთვის გარეშე და 0,5-2 მმ ღრეჩოთი. ეს ნაშრომი საწყისი ეტაპია თეორიულ-ექსპერიმენტალური გამოკვლევებისა რეალური ღრეჩოებიანი მექანიზმების მიმართ. მოცემულ ნაშრომში რეალურ მექანიზმებთან პირველი მიახლოებით გამოკვლეული იქნა ლილვის ბრუნვის მოვლენა ინერციით საკისარში შეზეთვის გარეშე.

მექანიზმის სიზუსტისა და საიმედობის პრობლემებისადმი მიძღვნილია მთელი რიგი ნაშრომებისა [12, 13, 14, 15, 16, 100], რომლებშიც ნაჩვენებია, რომ მექანიზმის ან მოწყობილობის სიზუსტედ გვევლინება მასში არსებული დამოკიდებულებების მიახლოება იმ

მოცემულ დამოკიდებულებებთან, რომლის განხორციელებისათვის არის დაგეგმარებული და დამზადებული მექანიზმი. დამოკიდებულებანი გამოხატულია ამძრავი რგოლის კოორდინატებსა და გამომავალი რგოლის კოორდინატებს შორის. ნაჩვენებია, რომ მდებარეობის, სიჩქარისა და აჩქარების ცდომილებანი წარმოშობენ ღრეჩოებიან შეერთებაში ინერციის დამატებით ძალებს, რომლებიც ძლიერ საშიშია მექანიზმის სიმტკიცისა და საიმედობისათვის. ნაჩვენებია, რომ სიზუსტის თეორია არის მექანიზმების საიმედობის კვლევის საფუძველი. ნაშრომებში დიდი ყურადღება ექცევა ცდომილებათა გამოთვლის სიზუსტის მეთოდებს.

კინემატიკური და დიანამიკური სიზუსტის კვლევათა შორის ღირსეული ადგილი უჭირავს შრომას [100], რომელშიც ნაჩვენებია, რომ შრომაში გადმოცემული და შემოთავაზებული მეთოდები სიზუსტის შესახებ ვრცელდება მექანიზმთა ფართო წრისთვის სიზუსტისა და საიმედობის გამოთვლის მიზნით.

გამოთვლითი ტექნიკის გავითარებასა და სრულყოფასთან ერთად შესაძლებელი გახდა სიზუსტისა და საიმედობის პრობლემები გადაჭრილიყო უფრო ეფექტურად. გამოქვეყნდა შრომები [13. 14. 16] და გაჩნდა შესაძლებლობა სიზუსტის არაწრფივი თეორიის დახმარებით სხვადასხვა სახის ღრეჩოებიანი მექანიზმების გამოკვლევისა. ამ შრომებში მოცემული იქნა ახალი საერთო წესები მექანიზმის გამომავალი კოორდინატების ცდომილებების განსაზღვრისათვის იმ პირობებში, როცა კავშირი გამომავალ და შემავალ კოორდინატებს ან მის წარმოებულებს შორის აღიწერება როგორც ჩვეულებრივი, ასევე დიფერენციალური განტოლებებით.

ღრეჩოებიანი მექანიზმის მოდელირება უფრო რთულია, ვიდრე ერთგანზომილებიანი წრფივი სისტემისა. ეს აიხსნება იმით, რომ ღრეჩოებიანი მექანიზმის მოძრაობა აღიწერება არაწრფივი დიფერენციალური განტოლებებით, რომელთათვისაც როგორც წესი არ არსებობს ანალიზური გადაწყვეტა. ბოლო დროს მაღალსიჩქარიანი გამომთვლელი მანქანების გამოჩენამ შესაძლებელი გახადა ამ რიგის ამოცანების გადაწყვეტა. განხორციელდა ღრეჩოებიანი მექანიზების გამოკვლევა [66, 101, 122] მექანიზმის მათემატიკური მოდელის რაიმე გამარტივების გარეშე, რამაც შესაძლებელი გახადა წარმოდგენილიყო მოვლენის არა მარტო თვისობრივი სურათი, არამედ მიეცათ რაოდენობრივი შეფასება მექანიზმში მიმდინარე პროცესების მიმართ.

ღრეჩოებიანი მექანიზმის ან მოწყობილობების დინამიკური კვლევის გაგრძელებად მიიჩნევა ნაშრომები [40, 41, 42], რომლებშიც შედგენილია მექანიზმის მათემატიკური მოდელი ღრეჩოების თანხლებით და გამოყვანილია მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები. შედეგები მოცემულია როგორც ანალიზური, ასევე გრაფიკული ხერხით. დინამიკის ამოცანები გადაწყვეტილია ინტეგრების რიცხვითი მეთოდებით. გადაწყვეტილია სუფთა ინჟინრული ამოცანა, რომლის თანახმად მრუდმხარას ბრუნვის სიჩქარის მიხედვით გათვლილია ღრეჩოებისთვის საჭირო დაშვება ანდა პირიქით. საინტერესოა ამ გამოკვლევების ორი დასკვნა: მარტივი დინამიკური მოდელი საშუალებას იძლევა საჭირო სიზუსტით იქნას წარმოდგენილი ღრეჩოებიანი მექანიზმის მოძრაობა და მეორეს მხრივ ღრეჩოებიანი რთული მექანიკური სისტემის დინამიკური კვლევისას ეფექტურად მოიძებნოს გადაწყვეტა რიცხვითი მეთოდების

გამოყენებით. ნაშრომში [106] ღრეჩოებიანი დრეკადი მექანიზმების ანალიზის მიზნით შემოთავაზებულია სხვადასხვა მდგომარეობის რეგისტრაციის მეთოდი, რაშიც შეიძლება იმყოფებოდეს ღრეჩოებიანი მექანიზმი. ამ მეთოდის ღირსება მდგომარეობს დრეკადი მოდელის აგებაში, როცა ღრეჩოს მიხედვით შეიძლება მოძრაობის განტოლების შერჩევა მექანიზმის ყველა მდგომარეობისათვის.

ღრეჩოებიანი მექანიზმის ან მოწყობილობის დინამიკური კვლევის ამსახველ ნაშრომთა შორის დინამიკის სხვადასხვა საკითხის კომპლექსური გადაწყვეტის ნაშრომთა შორის, დინამიკის სხვადასხვა საკითხის კომპლექსური გადაწყვეტის მხრივ განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს მონოგრაფიას [102], რომელშიც სიზუსტის არაწრფივ თეორიაზე დაყრდნობით ელექტროგამომთვლელი ტექნიკის დახმარებით განხორციელებულია ღრეჩოებიანი ბრტყელი მექანიზმის დინამიკური გამოკვლევა. აგებულია ღრეჩოებიანი მექანიზმის დინამიკური მოდელი, ამასთან მხედველობაშია მიღებული რეაქციისა და ხახუნის ძალები ღრეჩოებიან შეერთებებში, აგრეთვე ყველა გარე დინამიკური დატვირთვები. დამატებითი მოძრაობის განხილვა გულისხმობს, რომ განხილული იყოს მექანიზმი ცვალებადი სტრუქტურით და შედგეს მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების სხვადასხვა სისტემები. საერთო მოდელირებადი ალგორითმი შედგენილია ისე, რომ მისგან მიღებული იყოს სტანდარტული და არასტანდარტული ნაწილები, ე.ი. ისე, რომ ბლოკ-სქემა დამუშავებული პროგრამისა დამოკიდებული არ იყოს გამოსაკვლევი მექანიზმის სახეობაზე. ნაჩვენებია აუცილებლობა იმისა, რომ მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას მიეცეს კოშის ნორმალური ფორმა, რის

შემდეგაც შესაძლებელია ამოიხსნას რუნგე-კუტტას მეთოდით [68, 85, 120].

ღრეჩოებიანი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის ანალიზური გამოკვლევის დროს [40, 42] ღრეჩოების ზეგავლენის აღსაწერად ბრტყელი მექანიზმის დინამიკაზე შემოთავაზებულია მარტივი მოდელი. გამოკვლეულია მექანიზმის მოძრაობის საერთო ფორმა, მოყვანილია დატვირთვების გაზრდის შედარებითი გაანგარიშების შედეგები ღრეჩოების სიდიდეებისა და გარე ზემოქმედების სიხშირეების მიხედვით.

ნაშრომებში [87,105] განსაზღვრულია მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის ღრეჩოს არეში ელემენტების ურთიერთდარტყმების ლოკალური სპექტრები. ნაჩვენებია, რომ ყველაზე ძლიერი დარტყმა ვითარდება რომელიმე მკვდარი წერტილის არეში, ხოლო ამ დროს მეორე მკვდარი წერტილის მახლობლად შეინიშნება დარტყმების ძლიერი ინტენსივობა. დამუშავებულია ქანქარისებრი მოდელი ღრეჩოებითა და ხაზებით, რომელიც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს დარტყმების იმპულსური ხასიათი.

გამოკვლევაში [86] განხილულია მოძრაობის სამი ფორმა მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმისათვის და პირველად იძლევა მცდელობა დაუკავშირდეს ხმაურის მახასიათებელი და დარტყმითი სპექტრები. დამუშავებულია დინამიკური მოდელი მოძრაობის სამი ფორმის მიხედვით. აღმოჩნდა, რომ კონტაქტური ძალების განაწილება ღრეჩოს არეში იგივეა რაც შეერთებაში ღრეჩოს გარეშე. ამით აიხსნება მოძრაობის რაოდენობის გადანაწილება მოძრაობის ერთი ფორმიდან მეორეში.

უფრო გვიან ჩატარებულ იქნა ღრეჩოებიანი სფერული და ბრტყელი მექანიზმის დინამიკური კვლევა. ღრეჩოებიანი მექანიზმების სიზუსტის ამოცანა გადაწყვეტილი იქნა [44,51,52] ნაშრომებში, ხოლო პარალელურად დამუშავდა დინამიკური კვლევის ამოცანები [46,45,48] სფერული და ბრტყელი [47,49,50] მექანიზმებისათვის. ამავე საკითხებს მიეძღვნა ნაშრომები [116,117,118], რომლებშიც განხილულია რეფრიჟერატორული ვაგონის დიზელის ძრავის შემსრულებელი მექანიზმის დინამიკა ღრეჩოების თანხლებით და პირველად იქნა შემოტანილი ცნება ცვლადი დეზაქსიალის შესახებ.

რეფრიჟერატორული ვაგონი წარმოადგენს რთულ კონსტრუქციას, რომელიც ძარისა და სავალი ნაწილის გარდა შეიცავს მძლავრ ენერგეტიკულ და სამაცივრო ტექნიკას, რომლის დანიშნულებაა ხელოვნური სიცივის შექმნა მალფუჭებადი პროდუქტის გადასატანად. არსებობს რეფრიჟერატორული [23,38,57] ვაგონებისა და მოძრავი შემადგენლობის სხვადასხვა სახეობა, რომელთა ტექნიკური გამართულობა და აღწერა მოცემულია დასახელებულ შრომებში. ნაჩვენებია, რომ დღეისათვის მოქმედებაშია 23 დ 21 ვაგონიანი რეფრიჟერატორიანი მატარებელი, ასევე 12 და 5 ვაგონიანი რეფრიჟერატორული სექციები და ავტონომიური რეფრიჟერატორული ვაგონები. იმის გამო, რომ მალფუჭებადი პროდუქტის მოცულობა დღითიდღე იზრდება, აუცილებელია არა მარტო რეფრიჟერატორული ვაგონების პარკის გადიდება, არამედ ამ ვაგონების თვისობრივი მახასიათებლების სრულყოფა და შენარჩუნება, რაც საბოლოო ჯამში ემსახურება სამაცივრო ციკლის ნორმალური წარმართვას.

ნაშრომებში დახასიათებულია რეფრიჟერატორული სატვირთო,

ტექნიკურ-სამომსახურეო და ავტონომიური ვაგონები. მოცემულია მათი კონსტრუქციული სახეობანი და მანქანა-დანადგარების განლაგების სქემები. დაწვრილებითაა გადმოცემული სამაცივრო აგრეგატის დიზელის ძრავისა და სამაცივრო ტექნიკის მომსახურების პირობები. მითითებულია, რომ ეს ვაგონები მუშაობენ მეტად რთულ კლიმატურ პირობებში და გადაზიდვების სპეციფიკურობის გამო თვეების განმავლობაში მოკლებული არიან მომსახურებას სტაციონალურ პირობებში, ამიტომ ვაგონის თითოეული ძალური დანადგარი უნდა ხასიათდებოდეს დიდი სიმტკიცით, ნორმალური მუშაობითა და ხანგამძლეობით. ასეთი მიდგომა მეტად რეალურია და განსაკუთრებით სამაცივრო აგრეგატის დიზელის ძრავის მიმართ, რომლის გამართულ, ნორმალურ მუშაობაზეა დამოკიდებული სამაცივრო ციკლის მიმდინარეობა.

თუ ზემოთ ჩამოთვლილ ნაშრომებში გადმოცემულია რეფრიჟერატორული ვაგონების სახეობანი და მოთხოვნები მანქანა-დანადგარების მუშაობის პირობის მიხედვით, გამოკვლევებში [32,36,37,38,57] მოცემულია სამაცივრო ტექნიკის მანქანებისა და დანადგარების აგებულება და მუშაობის პრინციპი. დასაბუთებულია, რომ ამ ტექნიკის სარულყოფა და საიმედობა ძირითადი პირობაა მალფუჭებადი ტვირთების ტრანსპორტირების დროს. დამუშავებულია კვების პროდუქტების სამაცივრო ტექნოლოგია, რათა არსებული სამაცივრო ტექნიკით სარგებლობისას შეინარჩუნოს თავისი სასაქონლო თვისებები. ნაშრომში [38] მოცემულია ყველა ის ძირითადი მოთხოვნები, რაც აუცილებელია მალფუჭებადი ტვირთის გადასაზიდად. ნაჩვენებია მალფუჭებადი ტვირთის სახეობანი და

კლასიფიკაცია, რომლის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია მათი შენახვისა და ტრანსპორტირების პირობები. დამუშავებულია ხელოვნური სიცივის მიღების თეორიული საფუძვლები და განხილულია რეფრიჟერატორულ ვაგონში გამოყენებული სარკინიგზო სამაცივრო მანქანები. დახასიათებულია სამაცივრო აგენტები და მოცემულია რეკომენდაციები მათი გამოყენების მიზნით.

რეფრიჟერატორული ვაგონების უფრო ეფექტური სარგებლობის მიზნით აუცილებელია [108] მათი საიმედო და უმტყუვნო მუშაობის უზრუნველყოფა ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. თავის მხრივ ვაგონების საიმედობა განპირობებულია მათი ძარისა და სავალი ნაწილის კონსტრუქციული შესრულებით, დამოკიდებულია იმ მასალათა ხარისხზე და მომსახურების ხანგრძლივობაზე, რომლისაგან დამზადებულია ვაგონის ნაწილები, დეტალებისა და კვანძების დამუშავებისა და აკრების ტექნოლოგიაზე, აგრეთვე მასზედ, თუ როგორ გამოიყენება ისინი– დროულად და შეგნებულად განიცდიან თუ არა ტექნიკურ მომსახურებას. აქედან გამომდინარე რეფრიჟერატორული ვაგონების საქარხნო თუ სადეპოო შეკვეთების ხარისხს, რომელიც გათვლილია მანქანა-დანადგარების გამართულ და უმტყუვნო მუშაობაზე მთელი შეკეთებათაშორისი პერიოდის განმავლობაში, წაეყენება ძალიან დიდი მოთხოვნები. ამასთან ერთად აუცილებელია, რომ ვაგონის კონტრუქციული და ტექნოლოგიური სრულყოფის საფუძველზე განუხრელად გაიზარდოს შეკეთებათაშორისი პერიოდი, შემცირდეს შეკეთების ხარჯები და საექსპუალატაციო მასალები.

რეფრიჟერატორული ვაგონების საიმედობისა და ნორმალური

მუშაობის უზრუნველყოფის მიზნით აუცილებელია ჩატარდეს მათი სადეპოო და საქარხნო კაპიტალური შეკეთება შეკეთებათაშორისი პერიოდის გასვლის შემდეგ. მოთხოვნები შეკეთებისა და მისი ვადების შესახებ მრავალი მეცნიერის შრომებშია მოცემული [55,93,96,108]. გადმოცემულია რეფრიჟერატორული მოძრავი შემადგენლობის ტექნიკური მომსახურებისა და ექსპლუატაციის ნორმები და საშუალებანი. დიდი ყურადღება ეთმობა სადეპოო და ქარხნული შეკეთების საერთო წესებისა და ნორმების დამუშავებას. განხილულია რეფრიჟერატორული ვაგონის შეკეთების ტექნოლოგიისა და ორგანიზაციის საკითხები. მოცემულია შეკეთების ციკლების მნიშვნელობანი, დახასიათებულია შეკეთების სახეები. დიდ მნიშვნელობა ენიჭება რეფრიჟერატორული მოძრავი შემადგენლობის მომზადებას შესაკეთებლად და დადგენილია შეკეთებისათვის აუცილებელი საშუალებანი. დახასიათებულია სადეპოო და საქარხნო შეკეთების ორგანიზაცია. მინიშნებულია, რომ აუცილებელია ჩატარდეს შეკეთების ხარისხისადმი საბოლოო კონტროლი.

დადგენილია, რომ შეკეთებისას აუცილებელია განისაზღვროს ყოველი დეტალის ცვეთის ხარისხი, მოხდეს მათი დიაგნოსტიკური და მეტროლოგიური შემოწმება. აუცილებელია განხორციელდეს საბოლოო შემოწმება დეფექტოსკოპირების საშუალებით. ამ ნაშრომებში შემოთავაზებულია დეტალების შეკეთების თანამედროვე მეთოდები და საშუალებანი. გამოკვლეულია მიზანშეწონილობა პოლიმერული და სხვა თანამედროვე მასალების გამოყენებაზე.

დიდი ყურადღება ეთმობა ძირითადი დანადგარების შეკეთების

ხარისხს. შექმნილია თანამედროვე მეთოდები ლიზელის ძრავის, კომპრესორების, სამაცივრო დანადგარებისა და ავტომატიკის ხელსაწყოების შესაკეთებლად. შექმნილია დიაგნოსტიკური მეთოდები დაზიანებათა არმოსაცნობად და გლობალური შემოწმებისათვის.

რეფრიჟერატორული ვაგონის მუშა ციკლი ხორციელდება ძალური დანადგარებისა და მაცივარი მანქანის საშუალებით. ძალური დანადგარებიდან ყველაზე მნიშვნელოვანს სამაცივრო მუშა ციკლის წარმართვისათვის წარმოადგენს დიზელის ძრავი. დიზელის ძრავის სახეობანი რეფრიჟერატორული ვაგონისათვის გადმოცემულია შრომებში [83,93,97,108], სადაც მეცნიერულ დონეზეა გადაწყვეტილი მათი საექსპლოატაციო პირობების დადგენა და საიმედო მუშაობისათვის აუცილებელი მოთხოვნები. გადმოცემულია დიზელის ძრავის მუშა პროცესის მახასიათებლები და ტექნიკური თერმოდინამიკის ძირითადი ცნებები. დადგენილია ძირითადი პარამეტრები რეგულირებისა და მუშაობის რეჟიმების მიმართ, ასევე გაანალიზებულია დიზელის ძრავის სხვა სისტემების მუშაობის პრინციპები. განხილულია ავტონომიური ვაგონისა და ხუთ და თორმეტვაგონიანი სექციების დიზელების სპეციფიკური კონსტრუქციები და აგებულება. დასაბუთებულია ცნობები დამახასიათებელი უწესივრობებისა და მიმდინარე ტექნიკური მომსახურების შესახებ. ჩატარებულია სისტემური კლასიფიკაცია ძირითადი უწესივრობისა, ჩამოყალიბებულია მათი აღძვრის მიზეზები და გადაწყვეტილია ამ უწესივრობათა აღმოფხვრის ამოცანა.

რეფრიჟერატორული ვაგონის დიზელის ძრავის შეკეთების შესახებ

მეცნიერულად ჩამოყალიბებული [108] დებულებანი საშუალებას იძლევა სწორად და მაღალხარისხოვნად წარიმართოს პირველ რიგში დიზელის დიაგნოსტიკა ტექნიკური მდგომარეობის შესახებ, ხოლო შემდეგ განხორციელდეს მისი ნაწილების სრულყოფილი შეკეთება.

დიზელის ძრავის შემსრულებელ ორგანოს, რომელსაც ბრუნვით მოძრაობაში მოყავს ძრავის მუხლა ლილვი, წარმოადგენს მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმი. იგი შეიცავს მრუდმხარას, ბარბაცას და დგუშს. საერთოდ მიღებული [108,74] დებულებანი ამ ელემენტების შეკეთების შესახებ უზრუნველყოფს შეკეთების ხარისხს და მის შემდგომ ექსპულატაციას, მაგრამ შეკეთების მეთოდიკაში არ არის ჩადებული რეალური დაშვებები, რომლებიც აუცილებელია მექანიზმის შემდგომი ექსპლუატაციის დროს. ცხადია, შეკეთებისას გათვალისწინებულია ღრეჩოს დაშვებები ნახვრეტისა და ლილვის მიმართ, მაგრამ რეალურ საექსპლუატაციო პირობებში ეს დაშვებები ვერ უზრუნველყოფს შემსრულებელი მექანიზმის საიმედო მუშაობას.

უკვე არსებული გამოკვლევების [8,66,71,89,91,112] არასრული ნუსხა შეიცავს შემსრულებელი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დინამიკურ და კინემატიკურ გამოკვლევებს, მაგრამ გაანგარიშებანი შესრულებულია მექანიზმის საპროექტო მაჩვენებლების მიხედვით იდეალიზებული პარამეტრებით. პრაქტიკულად საექსპლუატაციო სიდიდეები, მოცემული მოძრაობის პირობებში, საგრძნობლად აღემატებიან მაჩვენებლებს იდეალური მაქანიზმის შემთხვევაში.

როგორც უკვე აღინიშნა დიზელის ძრავის შემსრულებელი მექანიზმის სახსრულ მექანიზმებში, შეერთებების შიგა და გარე

ელემენტების მუშა მოსრიალე ზედაპირების ხახუნისას აღებული აქვს ამ ზედაპირების ცვეთის მოვლენას. ხანგრძლივი მუშაობის შემდეგ ცვეთის სიდიდეც შესაბამისად იზრდება, რომლის შედეგადაც შეერთებაში არსებული ტექნოლოგიური ღრეჩოს გეომეტრიული ზომები პროპორციულად იცვლება. გაზრდილი ღრეჩოს შემთხვევაში მექანიზმის მოძრაობისას შეერთების შიგა ელემენტი ასრულებს რა ფარდობით კონტაქტურ მოძრაობას გარე ელემენტის მიმართ, ზარბაცას ინერციის ან დგუშზე მოსული გარე ძალის მოქმედებით მყისიერად მოწყდება გარე ელემენტს და იწყებს თავისუფალ გადაადგილებას ღრეჩოს არეში. თავისუფალი მოძრაობა შიგა ელემენტისა მთავრდება დარტყმითი მოვლენით გარე ელემენტის მიმართ, რომლის დროსაც რეაქციის ნორმალური მდგენელი რამდენიმე ათეულჯერ აღემატება მის საპროექტო საანგარიშო მნიშვნელობას. ამ მოვლენის შემდეგ მყარდება მოძრაობა გარდამავალი რეჟიმით და ადგილი აქვს ხელახალი თავისუფალი და კონტაქტური მოძრაობის მონაცვლეობას. შეერთების ღრეჩოს არეში წყვეტისა და კონტაქტის წერტილების რაოდენობა პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია ღრეჩოს გეომეტრიულ ზომასთან. ღრეჩოს გადიდებით იზრდება დინამიკური დატვირთვები როგორც ღრეჩოს არეში, ასევე მექანიზმის თითოეული რგოლისათვის. დინამიკური დატვირთვები იმდენად დიდია და მყისიერი, რომ ადგილი აქვს როგორც საყრდენი საკისრების დიდ ცვეთას და ჩაშლას, ასევე ზარბაცას გადაღუნვას მოძრაობის სიბრტყეში, მის გრეხას და გატეხვასაც კი. გაზრდილი ინერციის ძალებისა და რეაქციის ნორმალური მდგენელის მოქმედების გამო დგუშის ზედაპირი

განიცდის ცვეთას მოძრაობის მართობ სიბრტყეში.

რადგან დიზელის ძრავი მუშაობს რთული დინამიკური დატვირთვებისა და მყისიერად მოქმედი ძალების პირობებში, რომლებიც გამოწვეულია გაზრდილი ღრეჩოს არსებობით შეერთებების ელემენტებს შორის, საექსპლუატაციო მუშაობის ნებისმიერ დროს მოსალოდნელია მისი შემსრულებელი მექანიზმის რომელიმე ელემენტის მწყობრიდან გამოსვლა, რაც უმძიმეს შედეგებთან არის დაკავშირებული. ამ მოვლენამ შეიძლება გამოიწვიოს სამაცივრო ციკლის ჩაშლა. ამის გამო აუცილებელია ჩატარდეს რეალური შემსრულებელი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის გამოკვლევა ღრეჩოების გათვალისწინებით ყველა სახსრულ შეერთებაში. მაშინ შეიძლება დადგენილი იქნას ყველა ამ მყისიერად არძრული რეაქციის ძალების მნიშვნელობანი, დარტყმის მოვლენისას დიდი დინამიკური დატვირთვები, რომლებიც აუარესებენ შემსრულებელი მექანიზმის მუშაობას, განისაზღვროს იმ ოპტიმალური ღრეჩოს გეომეტრიული პარამეტრები, რომელიც იქნება უსაფრთხო მექანიზმის მუშაობისათვის.

აუცილებელია გარკვეული თეორიული გამოკვლევების ჩატარება დიზელის ძრავის შემსრულებელი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის მიმართ, ყველა სახსრულ შეერთებაში გაზრდილი ღრეჩოს გათვალისწინებით, რათა დადგინდეს ღრეჩოს მიზეზით გამოწვეული დინამიკური დატვირთვები, გადაიჭრას მექანიზმის მახასიათებელი პარამეტრების სიზუსტის ამოცანა და შეირჩეს ის ოპტიმალური ღრეჩო, რომლის შესაბამისი დინამიკური დატვირთვები უსაფრთხო იქნება დიზელის ძრავის შემსრულებელი მექანიზმის უმტყუვნო

მუშაობისათვის.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი საკვლევი ამოცანები შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ ასეთი სახით:

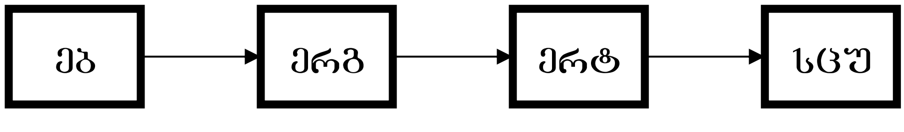
1. რეფრიჟერატორული ვაგონის დიზელის ძრავის შემსრულებელი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დინამიკური მოდელის ფორმალიზაცია;
2. მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის რეაქციის ძალების და ცვლადი პარამეტრების გამოკვლევა;
3. შემსრულებელი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დინამიკური სიზუსტის ანალიზური გამოკვლევა;
4. შემსრულებელი მექანიზმის დამატებით მოძრაობათა დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემების შედგენა;
5. ღრეჩოს სიდიდის გავლენა შემსრულებელი მექანიზმის ძირითად დინამიკურ პარამეტრებზე და დიზელის ძრავის ხანგამძლეობაზე.

თავი II. რეფრიჟერატორული ვაგონის დიზელის ძრავის შემსრულებელი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დინამიკური მოდელის ფორმალიზაცია

2.1. დიზელის ძრავის შემსრულებელი მექანიზმის ძირითადი კინემატიკური და დინამიკური პარამეტრების მათემატიკური ინტერპრეტაცია

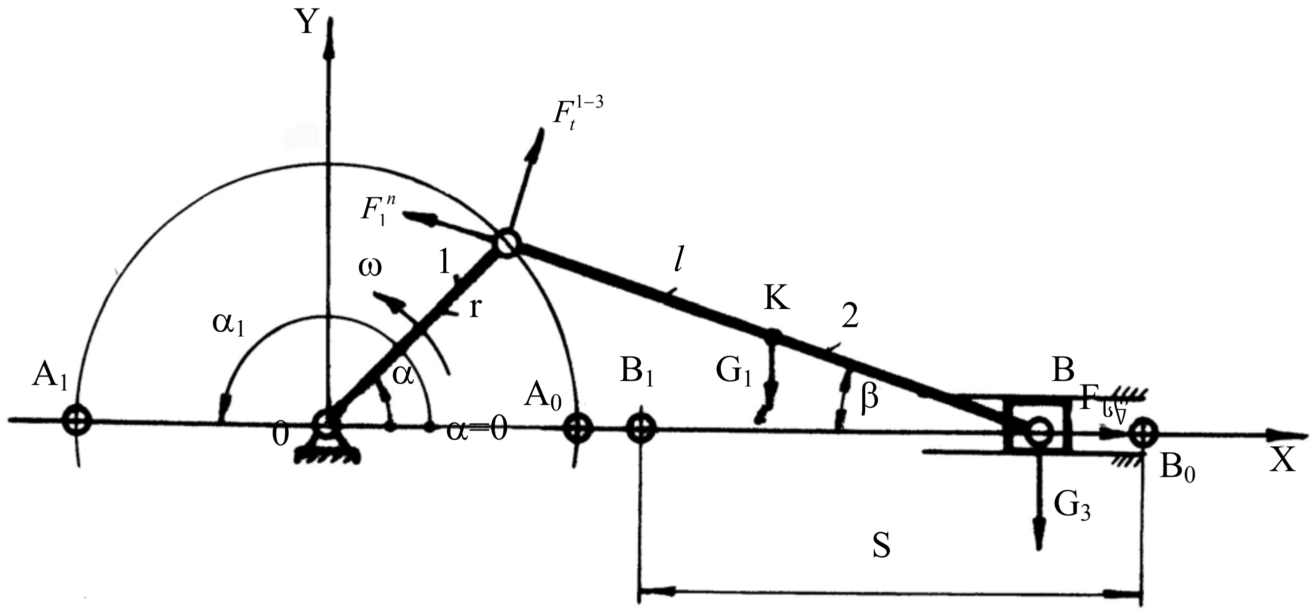
რკინიგზის ავტონომიური და რეფრიჟერატორული მოძრავი შემადგენლობის ვაგონებში ძირითადად გამოყენებულია ოთხი ან ექვსიცილინდრიანი დიზელის ძრავები. დიზელის ძრავის დანიშნულებაა მოქმედებაში მოიყვანოს გენერატორი, საიდანაც გამომუშავებული ელექტროენერგია მოიხმარება ვაგონის სამაცივრო და საკონდიციონერო დანადგარების მიერ. დიზელის ძრავა გამოირჩევა სამუშაო დროის დიდი რესურსით.

რეფრიჟერატორული ვაგონების სამაცივრო მუშა კამერებში საჭირო ტემპერატურული რეჟიმის შენარჩუნება დამოკიდებულია ენერგეტიკული დანადგარების გამართულ, უმტყუვნო მუშაობაზე. ენერგორესურსის გამომუშავება (ერგ) ენერგობლოკიდან (ებ) და მისი ტრანსფორმაცია (ერტ) სამაცივრო ციკლის უზრუნველსაყოფად (სცუ) მიმდინარეობს მოცემული სქემის მიხედვით (ნახ.2.1.), მხოლოდ და მხოლოდ დიზელის ძრავის გამართული მუშაობისას, რომლის ძირითად მუშა შემსრულებელ ორგანოს წარმოადგენს მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმი.



ნახ.2.1. სამაცივრო ციკლის უზრუნველყოფის სქემა

მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმი წარმოადგენს ბრტყელ მექანიზმს, რომლის ბრუნვით 0-1, 1-2, 2-3 კინემატიკურ წყვილებში და ასევე 3-0 წინსვლით წყვილში OA, AB რგოლებისა და დგუშის ტექნოლოგიური აკრებისა და შემდგომი მუშაობის მიზნით დაშვებულია განსაზღვრული გეომეტრიული ზომის ღრეჩოები (ნახ. 2.2.). მრუდმხარა-ბარბაცა OAB მექანიზმი თავდაპირველად შეიძლება განვიხილოთ როგორც გამართულად მომუშავე სისტემა უცვლელი გეომეტრიული და დინამიკური პარამეტრებით. ცხადია ეს იქნებოდა იდეალურად მომუშავე მექანიზმი, ამიტომ მას შეიძლება ვუწოდოთ «იდეალური» მექანიზმი. დიდი ხნის მუშაობის შედეგად ამ მექანიზმის სახსრულ შეერთებაში ჩნდება გაზრდილი ღრეჩოები, რომლის შედეგადაც იზრდება რგოლების დინამიკური დატვირთვები, ე.ი. გადადის «რეალური» დინამიკური ზემოქმედების ქვეშ. მაშინ, როცა OAB მექანიზმი მუშაობს ცვლადი კინემატიკური და დინამიკური დატვირთვების თანხლებით, მას შეიძლება ვუწოდოთ «რეალური» მექანიზმი.



ნახ. 2.2. რეფრიჟერატორული ვაგონის დიზელის ძრავის შემსრულებელი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმი

მოვახდინოთ იმ კინემატიკური და დინამიკური პარამეტრების კონკრეტიზაცია, რომლითაც ხასიათდება “იდეალური” OAB მექანიზმი (ნახ. 2.2.). მექანიზმი მოთავსებულია XOY უძრავ მართკუთხა საკოორდინატო სისტემაში ისე, რომ მისი სათავე ემთხვევა მექანიზმის OA მრუდმხარას ბრუნვის 0 ცენტრს. ამ წერტილში გადის დიზელის ძრავის მუხლა ლილვის გრძივი სიმეტრიის ღერძი ნახაზის სიბრტყის მართობულად. ვითვალისწინებთ დაშვებას იმის შესახებ, რომ მექანიზმის ყველა რგოლი აბსოლუტურად ხისტია და გეომეტრიულად ერთგვაროვანი. მრუდმხარას სიგრძეა r, ბარბაცასი l , ხოლო დგუშის სვლა აღნიშნულია S-ით. დგუშზე მოდებულია სასარგებლო წინაღობის $F_{სწ}$ ძალა. რგოლების ერთგვაროვნების გამო სიმძიმის შესაბამისი ძალები G_2 და G_3 მოდებულია მათ გეომეტრიულ K და B ცენტრებში. ეს წერტილები ამავე დროს მათი მასების ცენტრებია. რგოლების

სახსრულ შეერთებაში მოქმედებს რეაქციის ძალების ნორმალური F^n და ტანგენციალური F_t ძალები.

მიღებულია, რომ OA მრუდმხარას შემობრუნება დროის მიხედვით თანაბარია და მისი მობრუნების კუთხური სიჩქარეც მუდმივია

$$co = \dot{\alpha}(t\ ) = const. \qquad (2.1)$$

OAB მექანიზმის საწყისი მდგომარეობისთვის, ე.ი. მოძრაობის დასაწყისში $\alpha = 0$ და მას უჭირავს OA_0B_0 მდებარეობა. მრუდმხარას α კუთხით მობრუნებისას იგი გვევლინება OAB მდებარეობაში, ხოლო მრუდმხარას 180^0-ით შემობრუნებისას მისი A_1OB_1 მდებარეობა დაემთხვევა OX საკოორდინატო ღერძს. ამ ორი მდებარეობით განისაზღვრება დგუშის სრული S სვლის სიდიდე. შეიძლება დავწეროთ:

$$S = X_{B(\max)} - X_{B(\min)} \qquad (2.2)$$

დგუშის გადაადგილება OX ღერძის გასწვრივ შეიძლევა ჩაიწეროს ასეთი ფუნქციონალური დამოკიდებულებით

$$X_B = X_B(\alpha, r, l, \beta). \qquad (2.3)$$

სახსრულ შეერთებებში მოქმედი რეაქციის ნორმალური და ტანგენციალური მდგენელები ფუნქციონალურ დამოკიდებულებაშია მექანიზმის გეომეტრიულ და ძალურ მახასიათებლებთან. რეაქციის ნორმალური მდგენელის მიმართ შეიძლება დაიწეროს:

$$F_1^n = F_1^n(\alpha, r, l, \beta, G_2). \qquad (2.4)$$

ამავე, დროს 1-2 სახსრულ შეერთებაში რეაქციის ტანგენციალური მდგენელის მიმართ ვწერთ:

$$F_t^{1-2} = F_t^{1-2}(\alpha, r, l, \beta, G_2). \qquad (2.5)$$

თუ მოცემულ OAB მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის წარმოვადგენთ

“რეალური” სისტემის სახით, მაშინ საძიებელი კინემატიკური და დინამიკური პარამეტრები ფუნქციონალურ დამოკიდებულებაში იქნება სახსრულ შეერთებაში არსებულ ღრეჩოების გეომეტრიულ ზომებთან. ამ შემთხვევაში მექანიზმის ბარბაცას სიგრძის მიმართ შეიძლება დაიწეროს:

$$l = l\left[\left(l + \sum \Delta_i\right), \left(l - \sum \Delta_i\right)\right], \tag{2.6}$$

სადაც Δ_i წარმოადგენს ღრეჩოს გეომეტრიულ ზომას i-ურ შეერთებაში.

ასევე, დგუშის გადაადგილება სახსრულ შეერთებაში ღრეჩოების გათვალისწინებით შეიძლება მოცემული იქნას შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$X_B = X_B\left[\alpha, r, \beta, \left(l \pm \sum \Delta_i\right)\ \right] \tag{2.7}$$

(2.2.) გამოსახულება სახსრულ შეერთებებში ღრეჩოების გათვალისწინებით ჩაიწერება ასეთი ფუნქციონალური დამოკიდებულებით:

$$S = X_{B(\max)}\left[\alpha, r, \beta, \left(l \pm \sum \Delta_i\right)\right] - X_{B(\min)}\left[\alpha, z, \beta, \left(l - \sum \Delta_i\right)\right] \tag{2.8}$$

სახსრულ შეერთებებში არსებული Δ_i ღრეჩოს გეომეტრიული ზომების გათვალისწინებით რეაქციის ნორმალური და ტანგენციალური მდგენელი შეიძლება გამოისახოს დამოკიდებულებებით:

ა) 1-2 შეერთებისათვის

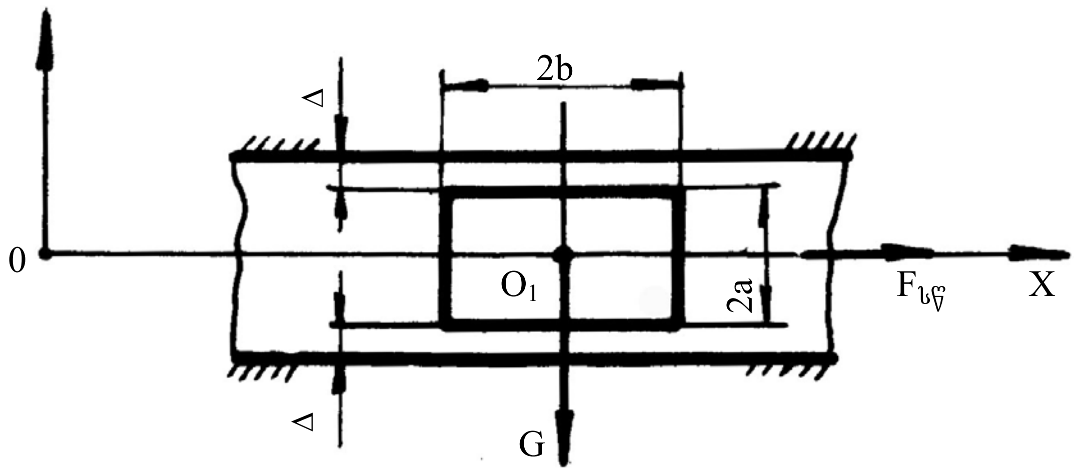
$$\left.\begin{aligned} F_1^n &= F_1^n\left[\alpha, r, \beta, G_{2,}\left(l \pm \sum \Delta_i\right)\right] \\ F_t^{1-2} &= F_t^{1-2}\left[\alpha, r, \beta, G_2, \left(l \pm \sum \Delta_i\right)\right] \end{aligned}\right\} \tag{2.9}$$

ბ) 2-3 შეერთებისათვის

$$\left.\begin{aligned} F_2^n &= F_2^n\left[\alpha, r, \beta, G_2, \left(l \pm \sum \Delta_i\right)\right] \\ F_t^{2-3} &= F_t^{2-3}\left[\alpha, r, \beta, G_2, \left(l \pm \sum \Delta_i\right)\right] \end{aligned}\right\} \tag{2.10}$$

2.2. შემსრულებელი მექანიზმის ღრეჩოებიანი წინსვლითი წყვილის მოძრაობის კლასიფიკაცია და დინამიკური ანალიზი

შემსრულებელი მრუდმხარა-ბარბაცას მექანიზმის სახსრულ შეერთებებში არსებული გაზრდილი ღრეჩოები უარყოფითად მოქმედებენ მექანიზმის დინამიკაზე, იქმნება დიდი დინამიკური დატვირთვები, რის შედეგადაც ადგილი აქვს რგოლების თვითდაშლასაც კი. მსგავსი მოვლენების აცილების მიზნით აუცილებელია დადგინდეს დასაშვები ღრეჩოს მნიშვნელობა სახსრულ შეერთებებში და განსაკუთრებით კი წინსვლით კინემატიკურ წყვილში. ამისთვის საჭიროა გამოვიკვლიოთ დგუშის მოძრაობა ღრეჩოს არეში მიმმართველი (მუშა) ცილინდრის მიმართ და ჩავატაროთ მოძრაობის დინამიკური ანალიზი. მოცემულ შემთხვევაში წინსვლითი კინემატიკური წყვილი Δ ღრეჩოთი (ნახ. 2.3.) წარმოადგენს დგუში-ცილინდრის კვანძს. ცხადია, Δ ღრეჩო არსებობს დგუშის, როგორც მთლიანი ცილინდრისა და გარე ღრუ მიმართველი მუშა ცილინდრის ჭრშემო ნებისმიერ წერტილში, მაგრამ იმის გამო, რომ მოცემული წინსვლითი წყვილი წარმოადგენს ბრტყელი OAB (ნახ. 2.2.) მექანიზმის ნაწილს, ამიტომ დგუშის მოძრაობის ცვლილებას განვიხილავთ მხოლოდ ნახაზის XOY სიბრტყაში.



ნახ.2.3. წინსვლითი წყვილი ღრეჩოთი

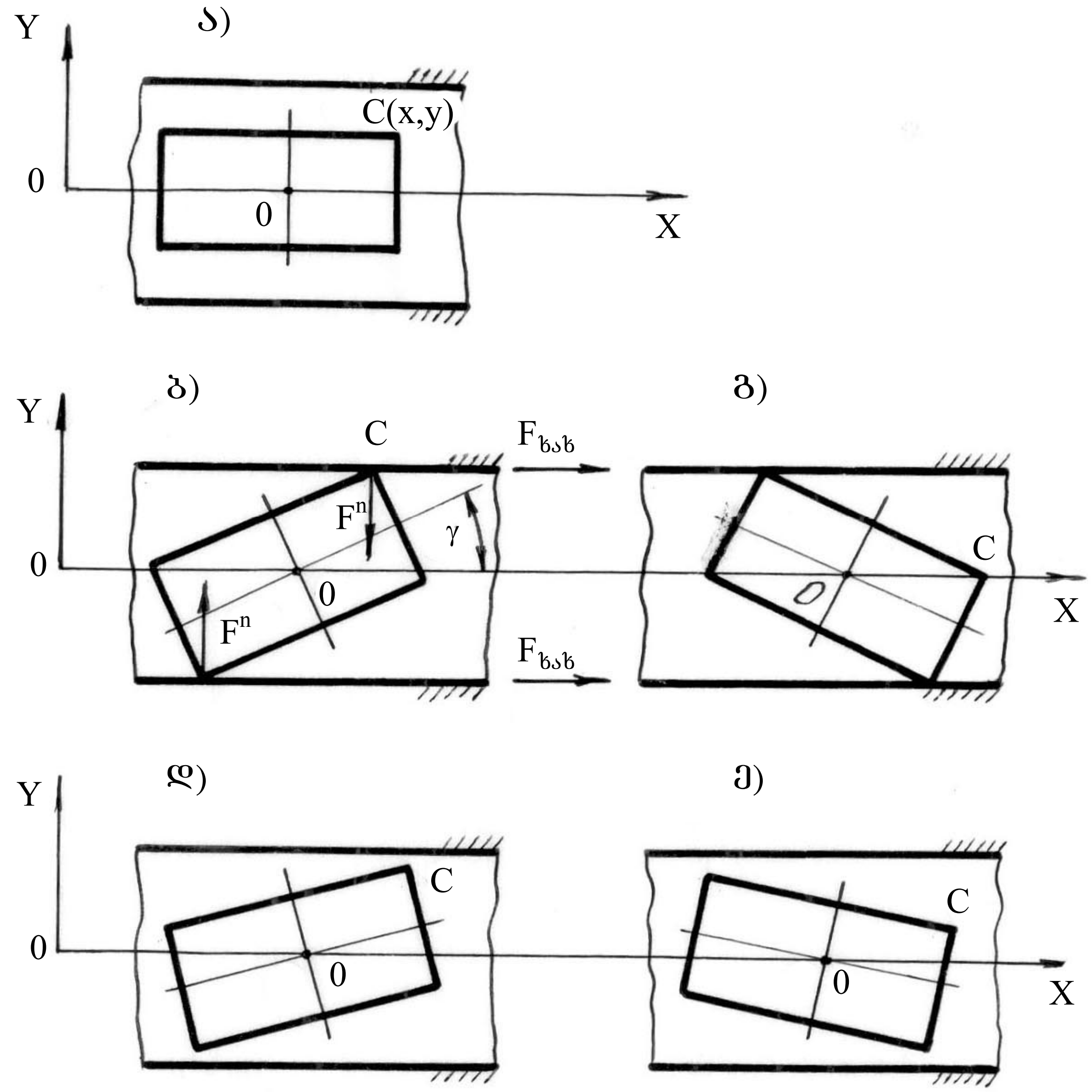
ამოცანის გადაწყვეტის მიზნით მოვათავსოთ წინსვლითი წყვილი XOY უძრავ მართკუთხა საკოორდინატო სისტამაში ისე, რომ სისტემის OX ღერძი გადიოდეს წინსვლითი წყვილის სიმეტრიის ღერძზე (ნახ. 2.3.) და დგუშზე მოდებული $F_{სწ}$ სასარგებლო წინაღობის ძალა ემთხვეოდეს OX ღერძის მიმართულებას.

დგუშის მოძრაობის დახასიათებისა და შემდგომი კლასიფიკაციის ამოსავალ დებულებად მივიჩნევთ იმ ფაქტს, რომ Δ ღრეჩოს არსებობის გამო დგუში ასრულებს რთულ მოძრაობას– წინსვლითს OX საკოორდინატო ღერძის გასწვრივ და ამავე დროს ბრუნვითს ნახაზის სიბრტყეშო O_1 მასების ცენტრის გარშემო. საკოორდინატო OY ღერძის მიმართ გადაადგილებისას მისი სიმძიმის ცენტრი O_1 მოექცევა OX მიმმართველი ღერძის მიმართ როგორც ერთ, ისევე მეორე მხარესაც. ამის გამო დგუშის გარე და ცილინდრის შიგა ზედაპირს შორის არსებულ ღრეჩოს ველში დგუშის O_1 ცენტრის მოძრაობა შეუზღუდავია. წარმოიშვება ცვლადი გეომეტრიული ზომის e დეზაქსიალი, რომლის მნიშვნელობა შეიძლება იცვლებოდეს O-დან Δ-ს გეომეტრიულ ზომამდე. გამოდის, რომ e ცვლადი დეზაქსიალის

არსებობის გამო მოცემული შემსრულებელი აქსიალური მექანიზმი შეიძლება გადაიქცეს დეზაქსიალურ მექანიზმად.

ზემოთქმულის მხედველობაში მიღების შედეგად შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ დგუშის შესაძლო მოძრაობის სამი სახე: ა) დგუშის გეომეტრიული და ამავე დროს სიმძიმის O_1 ცენტრი მოძრაობისას გადაადგილდეს OX საკოორდინატო ღერძის გასწვრივ და ემთხვეოდეს მას. ამ შემთხვევაში e დეზაქსიული ნულის ტოლია და მექანიზმი ინარჩუნებს მის აქსიალობას; ბ) მოძრაობისას დგუშის O_1 მასების ცენტრი მოთავსებულია საკოორდინატო და ამავე დროს ცილინდრის OX ღერძის ერთ მხარეს. ამ დროს წარმოიშვება e დეზაქსიალი და მექანიზმიც ხდება დეზაქციალური; გ) დგუშის O_1 მასების ცენტრი მოძრაობს OX ღერძის მეორე მხარეს. ამ დროს წარმოიშვება e დეზაქსიალი და მექანიზმსაც ენიჭება დეზაქსიალურობა.

დგუშის მოძრაობის პირველი სახე ნულოვანი დეზაქსიალის არსებობისას შეიძლება დავახასიათოთ შედეგი სქემის მიხედვით (ნახ.2.4). ასეთი მოძრაობისას დგუშს შეიძლება გააჩნდეს ხუთი სახის მოძრაობა:



ნახ. 2.4. დგუშის მოძრაობის პირველი სახე, $e = 0$.

1. თავისუფალი პარალელური გადაადგილება საკოორდინატო OX ღერძის გასწვრივ მიმმართველი ცილინდრის მიმართ (ნახ. 2.4, ა);
2. კონტაქტური მოძრაობა წყვილწერტილოვანი კონტაქტით XOY სიბრტყეში

OX ღერძის მიმართ საათის ისრის ბრუნვის საწინააღმდეგო

მიმართულებით მობრუნებისას (ნახ. 2.4,ბ.);

3. კონტაქტური მოძრაობა წყვილწერტილოვანი კონტაქტით XOY სიბრტყეში OX ღერძის მიმართ საათის ისრის ბრუნვის მიმართულებით მობრუნებისას (ნახ. 2.4,გ.);
4. თავისუფალი უკონტაქტო მოძრაობა ღრეჩოს არეში XOY სიბრტყეში OX ღერძის მიმართ საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით მობრუნებისას (ნახ. 2.4,დ.);
5. თავისუფალი უკონტაქტო მოძრაობა OX ღერძის მიმართ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით მობრუნებისას (ნახ. 2.4,ე.).

ჩვენს შემთხვევაში დგუშის მდებარეობის განსაზღვრისთვის შევირჩიოთ კვეთის c(x;y) წვერო, ხოლო მობრუნების კუთხედ ავიღოთ C წვეროზე გამავალი დიაგონალის მობრუნების γ კუთხე OX ღერძის მიმართ. თუ გავითვალისწინებთ, რომ დგუშისა და ცილინდრის კონტაქტის დროს რეაქციის ნორმალური F^n მდგენელი მიმართულია ვერტიკალურად ცილინდრების ღერძის მიმართ, ხოლო კონტაქტის წერტილში წარმოშობილი ტანგენციალური მდგენელი ანუ იგივე ხახუნის $F_{ხახ}$ ძალა მიმართულია ცილინდრის მსახველის გასწვრივ დგუშის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოდ, მაშინ დგუშის პირველი სახის მოძრაობა, როცა $e=0$, მათემატიკურად შეიძლება ჩაიწეროს შედეგი გამოსახულებებით:

ა – ცილინდრის მიმართ თავისუფალი პარალელური მოძრაობა

$$\left.\begin{array}{l} F^n = 0;\ F_{ხახ} = 0; \\ X = b;\ y = a; \\ \gamma = 0;\ e = 0; \end{array}\right\} \qquad (2.11)$$

ბ – კონტაქტური მოძრაობა წყვილწერტილოვანი კონტაქტით

$$\left.\begin{aligned}&F^{n} > 0;\ F_{\text{ხახ}} > 0;\\&x < b;\ y = a + \Delta;\\&\gamma = azctg\frac{y}{x};\ e = 0.\end{aligned}\right\}\tag{2.12}$$

გ – კონტაქტური მოძრაობა წყვილწერტილოვანი კონტაქტით

$$\left.\begin{aligned}&F^{n} > 0;\ F_{\text{ხახ}} > 0;\\&x > b;\ y > a + \Delta;\\&\gamma = azctg\frac{y}{x};\ e = 0.\end{aligned}\right\}\tag{2.13}$$

დ – თვისუფალი უკონტაქტო მოძრაობა

$$\left.\begin{aligned}&F^{n} = 0;\ F_{\text{ხახ}} = 0;\\&x < b;\ y < a + \Delta;\\&y = azctg\frac{y}{x};\ e = 0.\end{aligned}\right\}\tag{2.14}$$

ე – თვისუფალი უკონტაქტო მოძრაობა

$$\left.\begin{aligned}&F^{n} = 0;\ F_{\text{ხახ}} = 0;\\&x > b;\ y < a + \Delta;\\&\gamma = azctg\frac{y}{x};\ e = 0.\end{aligned}\right\}\tag{2.15}$$

განვიხილოთ მიმმართველი ცილინდრისადმი დგუშის მოძრაობის მეორე სახე, როცა მოცემული Δ ღრეჩოს პირობებში მისი მასების 0 ცენტრი მოთავსებულია ცილინდრისა და საკოორდინატო სისტემის OX ღერძის ერთ მხარეს (ნახ.2.5). აქ შეიძლება განხორციელდეს ექვსი სახის მოძრაობა დგუშისა ცილინდრის მიმართ:

1. დგუშის თავისუფალი პარალელური მოძრაობა, როცა დგუშის მდებარეობა ფიქსირდება e დეზაქსიალით და C წერტილის x და y კოორდინატებით (ნახ. 2.5,ა);
2. დგუშის კონტაქტური პარალელური მოძრაობა მსახველების

ხაზოვანი კონტაქტის პირობებში (ნახ. 2.5,ბ);

3. კონტაქტური მოძრაობა წერტილოვანი კონტაქტით XOY სიბრტყეში OX ღერძის მიმართ საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით მობრუნებისას (ნახ. 2.5,გ);
4. კონტაქტური მოძრაობა წერტილოვანი კონტაქტით OX ღერძის მიმართ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით მობრუნებისას (ნახ. 2.5,დ);
5. თავისუფალი უკონტაქტო მოძრაობა Δ ღრეჩოს არეში საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით მობრუნებისას (ნახ. 2.5,ე);
6. თავისუფალი უკონტაქტო მოძრაობა Δ ღრეჩოს არეში საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით მობრუნებისას (ნახ. 2.5,ვ).

Y ა) C(x,y) 0 ω 0

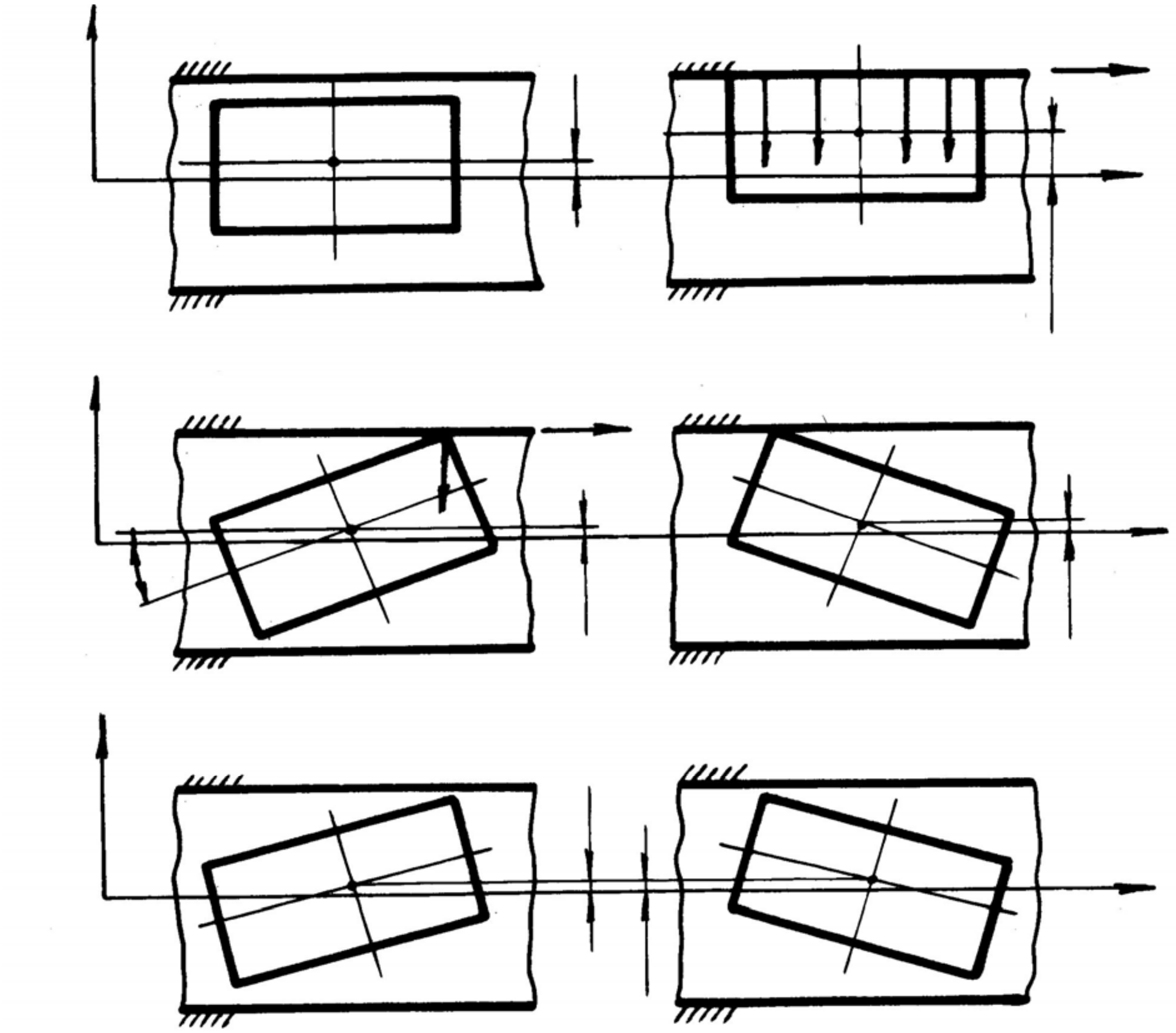
ბ) C $F_{ხახ}$ 0 F^n X ω

Y გ) $F_{ხახ}$ F^n 0 0 γ ω

დ) 0 C X ω

Y ე) C ω 0 0 ω

ვ) C 0 X



ნახ.2.5. დგუშის მოძრაობის მეორე სახე, $e \neq 0$

დგუშის მოძრაობის მეორე სახე მიმმართველი ცილინდრის მიმართ მოცემული ცვლადი e დეზაქსიალის პირობებში შეიძლება ავსახოთ შემდეგი ტოლობებისა და უტოლობების საშუალებით.

ა – თავისუფალი პარალელური მოძრაობა ცილინდრის მიმართ

$$\left.\begin{aligned} &F^{n}=0;\ F_{\text{ხახ}}=0; \\ &x=b;\ y<a+\Delta; \\ &\gamma=0;\ e>0. \end{aligned}\right\} \tag{2.16}$$

ბ – კონტაქტური მოძრაობა ხაზოვანი კონტაქტით

$$\left.\begin{array}{l} F^{n} > 0;\ F_{\text{ხახ}} > 0; \\ x = b;\ y = a + \Delta - e; \\ \gamma = 0;\ e > 0. \end{array}\right\} \qquad (2.17)$$

გ – კონტაქტური მოძრაობა წერტილოვანი კონტაქტით

$$\left.\begin{array}{l} F^{n} > 0;\ F_{\text{ხახ}} > 0; \\ x < b;\ y = a + \Delta; \\ \gamma = azctg\dfrac{y}{x};\ e > 0. \end{array}\right\} \qquad (2.18)$$

დ – კონტაქტური მოძრაობა წერტილოვანი კონტაქტით

$$\left.\begin{array}{l} F^{n} > 0;\ F_{\text{ხახ}} > 0; \\ x > b;\ y < a + \Delta; \\ \gamma = azctg\dfrac{y}{x};\ e > 0. \end{array}\right\} \qquad (2.19)$$

ე – თავისუფალი კონტაქტური მოძრაობა

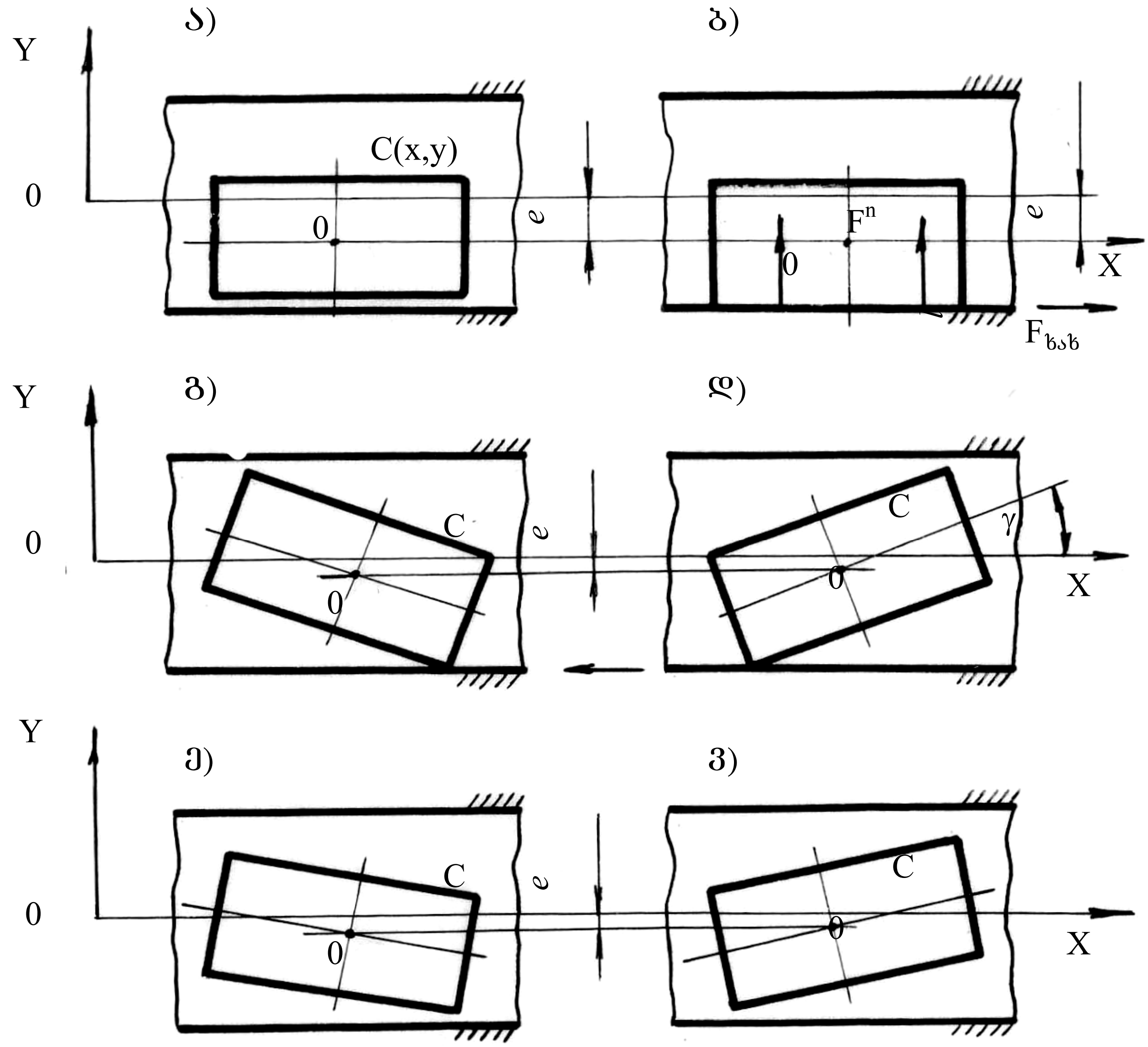
$$\left.\begin{array}{l} F^{n} = 0;\ F_{\text{ხახ}} = 0; \\ x < b;\ y < a + \Delta; \\ \gamma = axctg\dfrac{y}{x};\ e > 0. \end{array}\right\} \qquad (2.20)$$

ვ – თავისუფალი კონტაქტური მოძრაობა

$$\left.\begin{array}{l} F^{n} = 0;\ F_{\text{ხახ}} = 0; \\ x > b;\ y < a + \Delta; \\ \gamma = axctg\dfrac{y}{x};\ e > 0. \end{array}\right\} \qquad (2.21)$$

დგუშის მოძრაობის მესამე სახე შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი ნახაზის სახით (ნახ.2.6.). აქაც დგუში ასრულებს ექვს განსხვავებულ მოძრაობას მიმმართველი ცილინდრის მიმართ: თავისუფალ პარალელურ მოძრაობას (ნახ. 2.6,ა), კონტაქტურ პარალელურ მოძრაობას ხაზოვანი კონტაქტით (ნახ.2.6,ბ), კონტაქტურ

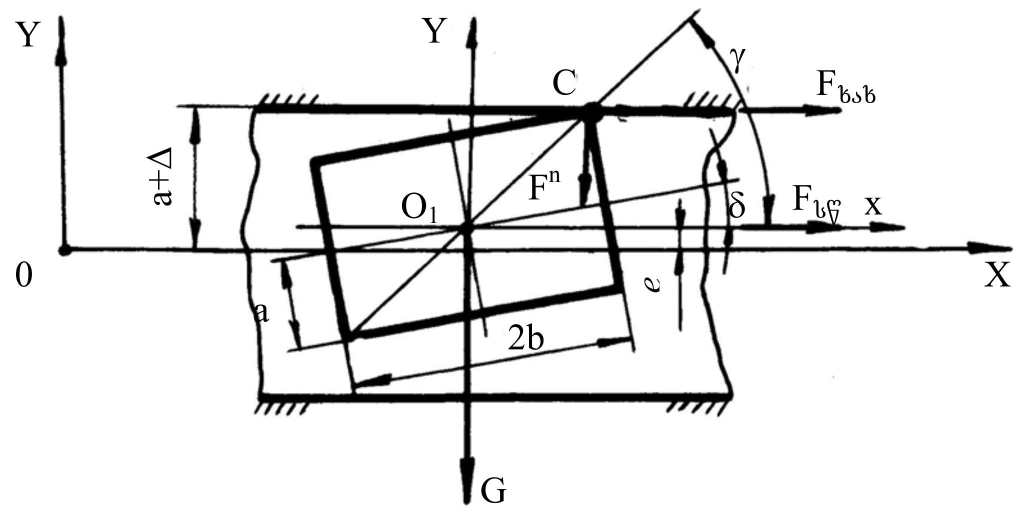
მოძრაობას წერტილოვანი კონტაქტით (ნახ.2.6.გ), კონტაქტურ მოძრაობას ისევ წერტილოვანი კონტაქტით (ნახ. 2.6.დ), თავისუფალ უკონტაქტო მოძრაობას (ნახ. 2.6,ე), ისევ თავისუფალ უკონტაქტო მოძრაობას (ნახ. 2.6,ვ).



ნახ.2.6. დგუშის მოძრაობის მესამე სახე, $e \neq 0$

დგუშის მოძრაობის კლასიფიკაცია საშუალებას იძლევა შევადგინოთ დგუში-ცილინდრის წინსვლითი წყვილის დინამიკური მოდელი. წინსვლითი შეერთების ზოგადი დინამიკური მოდელი

წარმოგვიდგება ასეთი სახით (ნახ. 2.7).



ნახ. 2.7. ღრეჩოიანი წინსვლითი კინემატიკური წყვილის დინამიკური მოდელი

დგუშის მოძრაობის აღწერისათვის შემოგვაქვს მოძრავი მართკუთხა xoy საკოორდინატო სისტამა, რომელიც მოდებულია დგუშის გეომეტრიულ და ამავე დროს მასები o ცენტრში ისე, რომ მოძრავი ox და oy ღერძები პარალელურია უძრავი XOY საკოორდინატო სისტემის OX და OY ღერძებისა, ე.ი. $ox \| OX$ და $oy \| OY$. დგუშის დიაგონალის მობრუნება და დგუშის გრძივი სიმეტრიის ღერძის მობრუნება გამოსახულია შესაბამისად γ და δ კუთხეებით, ათვლილი OX ღერძის მიმართ. დგუშის რადიუსია a, ხოლო სიგრძე კი $2b$. მიმმართველი ცილინდრის რადიუსია $a+\Delta$, ხოლო e დეზაქსიალი განხილულია OX ღერძის ზედა მხარეს. წერტილოვანი კონტაქტის C წერტილში მოდებულია F^n რეაქციის მდგენელი ცილინდრის მსახველის მართობულად და მიმართულია ცილინდრის ცენტრისაკენ. ამ წერტილშივე მოდებულია რეაქციის ტანგენციალური მდგენელი, ანუ ხახუნის $F_{ხახ}$ ძალა, რომელიც მიმართულია დგუშის გადაადგილების

საწინააღმდეგო მიმართულებით. დგუშზე მოქმედებს სასარგებლო წინაღობის $F_{სწ}$ ძალა. დგუშის მასების 0 ცენტრში მოდებულია დგუშის სიმძიმის G ძალა.

2.3. შემსრულებელი მრუდმხარა-ზარბაცა მექანიზმის დინამიკური მოდელი ღრეჩოებით სამ სახსრულ შეერთებაში

შემსრულებელი მრუდმხარა-ზარბაცა მექანიზმის რეალური დინამიკური მოდელის დამუშავების დროს, ვითვალისწინებთ ღეჩოების არსებობას შესაბამისი იდეალური მექანიზმის (ნახ. 2.2.) სახსრულ 1-2, 2-3, და ასევე წინსვლით 3-0 კინემატიკურ წყვილებში. მოცემულ ღრეჩოებიან კინემატიკურ წყვილებში ღრეჩოს ზომები განისაზღვრება როგორც გარე ელემენტის შიგა ზედაპირისა და შიგა ელემენტის გარე ზედაპირის რადიუსის სხვაობა.

$$\left.\begin{aligned}\Delta_1 &= r_1 - r_1';\\ \Delta_2 &= r_2 - r_2';\\ \Delta_3 &= r_3 - r_3',\end{aligned}\right\} \qquad (2.22)$$

სადაც Δ_1, Δ_2 და Δ_3 წარმოადგენენ ღრეჩოს მნიშვნელობებს მექანიზმის მრუდმხარა-ზარბაცას, ზარბაცა-დგუშისა და დგუში-ცილინდრის შეერთებებში;

r_1, r_2 და r_3 – კინემატიკური 1-2, 2-3 და 3-0 წყვილების გარე ელემენტების შიგა მუშა ზედაპირების რადიუსები;

r_1', r_2' და r_3' – კინემატიკურ 1-2, 2-3 და 3-0 წყვილებში შიგა ელემენტების გარე მუშა ზედაპირების რადიუსები.

შემსრულებელი მექანიზმის დინამიკური მოდელის

დამუშავებისას, როცა გათვალისწინებულია ღრეჩოების არსებობა სამ კინემატიკურ წყვილში შეიძლება მოვახდინოთ შემდეგი დაშვებები: ა) მექანიზმის რგოლები აბსოლუტურად ხისტია; ბ) რგოლები ერთგვაროვანია და მასები თანაბრად განაწილებული, ხოლო რგოლის წონა მოდებულია მასების ანუ რგოლის გეომეტრიულ ცენტრში; გ) შემდეგი მათემატიკური გარდაქმნების გამარტივების მიზნით მივიჩნევთ, რომ ბრუნვით კინემატიკურ წყვილებში 1-2 და 2-3 შიგა ელემენტების მუშა ზედაპირების რადიუსები აღინიშნოს წერტილებით, ე.ი. შეიძლება დავწეროთ:

$$\left.\begin{aligned} r_1' &= 0; \\ r_2' &= 0. \end{aligned}\right\} \tag{2.23}$$

გამოდის, რომ შესაბამისი ღრეჩოების მნიშვნელობანი (2.22) ტოლობიდან

$$\left.\begin{aligned} \Delta_1 &= r_1; \\ \Delta_2 &= r_2. \end{aligned}\right\} \tag{2.24}$$

მთავარი ფაქტორი დინამიკური მოდელის ფორმალიზაციის დროს არის მოვლენა, რომლის დროსაც დგუში ასრულებს რთულ მოძრაობას ცილინდრის Δ ღრეჩოს არეში. ამის გამო მოძრაობის უმეტეს შემთხვევაში მოცემული მექანიზმი გადაიქცევა დეზაქსიალურად ცვლადი e დეზაქსიალის წარმოშობის შედეგად.

საბოლოოდ ხსენებული დაშვებებისა და ზემოთქმულის ძალით შესრულებული მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დინამიკური მოდელი ღრეჩოებით სამ კინემატიკურ წყვილში წარმოგვიდგება ასეთი სახით (ნახ. 2.8.).

მოცემული მრუდმხარა-ბარბაცა OAB შემსრულებელი მექანიზმი, ღრეჩოებით Δ_1, Δ_2 და Δ_3 შესაბამისად 1-2, 2-3 და 3-0 შეერთებებში,

მოთავსებულია უძრავ დეკარტეს XOY საკოორდინატო სისტემაში ისე, რომ სისტემის 0 სათავე ემთხვევა მრუდმხარას ბრუნვის 0 წერტილს, ხოლო დგუშის წინსვლითი მოძრაობა ემთხვევა საკოორდინატო სისტემის OX ღერძს. ვთვლით, რომ მრუდმხარას მობრუნების კუთხური სიჩქარე მუდმივი სიდიდეა. მექანიზმის რგოლების დამატებითი მოძრაობების ბუნების გამოკვლევის მიზნით თითოეული ღრეჩოიანი კინემატიკური წყვილის ცენტრებში მოდებულია მოძრავი მართკუთხა $x_1o_1y_1, x_2o_2y_2$ და $x_3o_3y_3$ საკოორდინატო სისტემები ისე, რომ $o_1x_1 \| o_2x_2 \| o_3x_3 \| OX$ და $o_1y_1 \| o_2y_2 \| OY$. რეაქციის ნორმალური F_1^n და F_2^n მდგენელები 1-2 და 2-3 ბრუნვით კინემატიკურ წყვილებში მოდებულია შიგა და გარე ელემენტების კონტაქტის A და B წერტილებში. ისინი მიმართულია კინემატიკური წყვილების ცენტრებისაკენ. რეაქციის ნორმალური F_3^n მდგენელი მოდებულია დგუშისა და ცილინდრის კონტაქტის წერტილში და მიმართულია ცილინდრის ღერძებისადმი მის მართობულად.

ხახუნისა და რეაქციის ნორმალური მდგენელი ძალები შეადგენენ მექანიზმის AB ბარბაცას მიმართ φ_i და ψ_i კუთხეებს. ღრეჩოებიან კინემატიკურ წყვილებში შიგა და გარე ელემენტების კონტაქტის A,B და C წერტილების მობრუნების კუთხეები აღნიშნულია γ_i კუთხით.

Δ_3 ღრეჩოს არსებობისას მექანიზმი გადაიქცევა დეზაქსიალურ მექანიზმად e დეზაქსიალით, რომლაც შეუძლია მიიღოს მნიშვნელობა 0-დან Δ_3-მდე. შეიძლება დავწეროთ:

$$e = \begin{cases} 0, & \text{თუ} \quad y_3 = a + \Delta_3; \\ \Delta_3, & \text{თუ} \quad y_3 = a. \end{cases} \tag{2.25}$$

მოცემული შემსრულებელი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის

სახსრულ შეერთებებში შიგა და გარე ელემენტების კონტაქტის წერტილების ხაზოვანი $(x_1, y_1),(x_2, y_2),(x_3, y_3)$ და კუთხური γ_1, γ_2 და γ_3 კოორდინატები ცნობილია როგორც განზოგადოებული კოორდინატები.

განზოგადოებული x_i და y_2 კოორდინატებისათვის შეიძლება დავწეროთ:

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= \Delta_1 \cos\gamma_1; \\ y_1 &= \Delta_1 \sin\gamma_1; \\ x_2 &= \Delta_2 \cos\gamma_2; \\ y_2 &= \Delta_2 \sin\gamma_2. \end{aligned}\right\} \tag{2.26}$$

მოცემული განზოგადოებული კოორდინატების ცვლილების სიჩქარე განისაზღვრება (2.26) ტოლობების გადიფერენცირების შედეგად:

$$\left.\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -\Delta_1\dot{\gamma}_1 \sin\gamma_1; \\ \dot{y}_1 &= \Delta_1\dot{\gamma}_1 \cos\gamma_1; \\ \dot{x}_2 &= -\Delta_2\dot{\gamma}_1 \sin\gamma_2; \\ \dot{y}_2 &= \Delta_2\dot{\gamma}_1 \cos\gamma_2. \end{aligned}\right\} \tag{2.27}$$

წინსვლითი 3-0 კინემატიკური წყვილისთვის

$$\left.\begin{aligned} x_3 &= (a + \Delta_3 - e)ctg\gamma_3; \\ \dot{x}_3 &= -\dot{\gamma}_3(a + \Delta_3 - e)/\sin^2\gamma_3. \end{aligned}\right\} \tag{2.28}$$

იგივე წინსვლითი წყვილისათვის გვექნება;

$$\left.\begin{aligned} y_3 &= \frac{1}{\sin\gamma_3}\left[\left(a^2 + b^2\right)\sin^2\gamma_3 + (a + \Delta_3 - e)^2\cos^2\gamma_3\right]^{1/2}; \\ \dot{y}_3 &= -(a + \Delta_3 - e)^2\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3 / \left[\left(a^2 + b^2\right)\sin^2\gamma_3 - \right. \\ &\left. -(a + \Delta_3 - e)^2\cos^2\gamma_3\right]^{1/2}\sin^2\gamma_3. \end{aligned}\right\} \tag{2.29}$$

(2.27), (2.28) და (2.29) ტოლობების შემდგომი დიფერენცირებით მიიღება განზოგადოებული კოორდინატების აჩქარებათა მნიშვნელობანი.

2.4. შემსრულებელი ღრეჩოებიანი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დამატებითი მოძრაობანი

შემსრულებელი მექანიზმის დამატებითი მოძრაობა განპირობებულია ღრეჩოებიან შეერთებებში მოძრაობის ხასიათით. თუ მოცემული მექანიზმის მუშაობისას ღრეჩოებიან 1-2, 2-3 და 3-0 შეერთებებში შენარჩუნებული იქნება ერთდროული კონტაქტი და ეს კონტაქტი არ დაირღვევა მოძრაობის მოცემული მომენტისათვის, მაშინ ასეთი დამატებითი მოძრაობა ცნობილია დამატებითი კონტაქტური მოძრაობის სახელწოდებით. თუ მოძრაობისას დაირღვევა კონტაქტი ყველა კინემატიკურ წყვილში და წყვილის შიგა ელემენტი იმოძრავებს თავისუფლად ღრეჩოს არეში, მაშინ ყველა კინემატიკურ წყვილში ერთდროული თავისუფალი მოძრაობა გვაძლევს მექანიზმის წყვეტილ ანუ თავისუფალ დამატებით მოძრაობას. თუ მოძრაობა მექანიზმისა მიმდინარეობს სხვადასხვა წყვილებში თავისუფალი და კონტაქტური მოძრაობების მონაცვლეობით, მაშინ მიიღება თავისუფალ-კონტაქტური (წყვეტილ-კონტაქტური) ან კონტაქტურ-თავისუფალი (კონტაქტურ-წყვეტილი) სახის დამატებითი მოძრაობანი.

თუ ავღნიშნავთ დამატებით კონტაქტურ მოძრაობას ღრეჩოებიან კინემატიკურ წყვილში ასოთი “K”, ხოლო დამატებით თავისუფალ (წყვეტილ) მოძრაობას ასოთი “P”, მაშინ შეიძლება მოვახდინოთ მოცემული შემსრულებელი ღრეჩოებიანი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დამატებითი მოძრაობების კლასიფიკაცია და მოძრაობათა ჩაწერა ამ აღნიშვნების გამოყენებით.

I სახის დამატებითი მოძრაობა – თავისუფალი (წყვეტილი) დამატებითი მოძრაობა ($P_1P_2P_3$), როცა მექანიზმის მოძრაობისას ყველა ღრეჩოებიან 1-2, 2-3 და 3-0 კინემატიკურ წყვილში წარმოიშვება ერთდროული წყვეტა. ამ სახის დამატებითი მოძრაობა აღიწერება მოძრაობის ექვსი დიფერენციალური განტოლებით განზოგადოებული ექვსი $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$ ხაზოვანი კოორდინატების მიმართ;

II სახის დამატებითი მოძრაობა – წყვეტილ-კონტაქტური დამატებითი მოძრაობა ($P_1P_2K_3$), როცა მექანიზმის მოძრაობისას შენარჩუნებულია ერთდროულად წყვეტა ბრუნვით 1-2 და 2-3 შეერთებებში და ასევე კონტაქტი 3-0 წინსვლით წყვილში. ამ სახის დამატებითი მოძრაობა აღიწერება მოძრაობის ხუთი დიფერენციალური განტოლებით ოთხი ხაზოვანი x_1, y_1, x_2, y_2 და γ_3 კუთხური განზოგადოებული კოორდინატების მიმართ;

III სახის დამატებითი მოძრაობა – წყვეტილ-კონტაქტური დამატებითი მოძრაობა ($P_1K_2P_3$), როცა მექანიზმის მოძრაობისას შენარჩუნებულია ერთდროულად წყვეტა 1-2 და 3-0 კინემატიკურ წყვილებში, ხოლო კონტაქტი 2-3 კინემატიკურ წყვილში. დამატებით მოძრაობა ამ დროს აღიწერება მოძრაობის ხუთი დიფერენციალური განტოლებით ოთხი ხაზოვანი x_1, y_1, x_3, y_3 და γ_2 კუთხური განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ;

IV სახის დამატებითი მოძრაობა – წყვეტილ-კონტაქტური დამატებითი მოძრაობა ($P_1K_2K_3$), როცა მექანიზმის მოძრაობისას შენარჩუნებულია ერთდროულად წყვეტა 1-2 კინემატიკურ წყვილში და კონტაქტი 2-3 და 3-0 კინემატიკურ წყვილებში. ამ სახის დამატებითი მოძრაობა აღიწერება მოძრაობის ოთხი დიფერენციალური

განტოლებით ორი ხაზოვანი x_1, y_1 და ორი კუთხური γ_2 და γ_3 განზოგადოებული კოორდინატების მიმართ;

V სახის დამატებითი მოძრაობა – კონტაქტური დამატებითი მოძრაობა ($K_1K_2K_3$), როცა მექანიზმის მოძრაობისას შენარჩუნებულია ერთდროული კონტაქტი სამივე ღრეჩოიან კინემატიკურ წყვილებში. ამ დროს მექანიზმის დამატებითი მოძრაობა აღიწერება მოძრაობის სამი დიფერენციალური განტოლებით განზოგადოებული γ_1, γ_2 და γ_3 კუთხური კოორდინატების მიმართ;

VI სახის დამატებითი მოძრაობა – კონტაქტურ-წყვეტილი დამატებითი მოძრაობა ($K_1K_2P_3$), როცა მექანიზმის მოძრაობისას შენარჩუნებულია კონტაქტი ერთდროულად 1-2, 2-3 ბრუნვით კინემატიკურ წყვილებში და წყვეტა 3-0 წინსვლით კინემატიკურ წყვილში. ასეთი სახის დამატებითი მოძრაობა აღიწერება მოძრაობის ოთხი დიფერენციალური განტოლებით ორი კუთხური γ_1, γ_2 და ხაზოვანი x_3, y_3 განზოგადოებული კოორდინატების მიმართ;

VII სახის დამატებითი მოძრაობა – კონტაქტურ-წყვეტილი დამატებითი მოძრაობა ($K_1P_2K_3$), როცა მექანიზმის მოძრაობისას შენარჩუნებულია კონტაქტი ერთდოულად 1-2, 3-0 კინემატიკურ წყვილებში და წყვეტა 2-3 ბრუნვით წყვილში. ასეთი სახის მოძრაობა აღიწერება მოძრაობის ოთხი დიფერენციალური განტოლებით განზოგადოებული γ_1, γ_3 კუთხური და x_2, y_2 ხაზოვანი კოორდინატების მიმართ;

VIII სახის დამატებითი მოძრაობა – კონტაქტურ-წყვეტილი დამატებითი მოძრაობა ($K_1P_2P_3$), როცა მექანიზმის მოძრაობისას შენარჩუნებულია ერთდროულად კონტაქტი 1-2 ბრუნვით წყვილში და

წყვეტა 2-3 და 3-0 კინემატიკურ წყვილებში. ასეთი მოძრაობა აღიწერება მოძრაობის ხუთი დიფერენციალური განტოლებით განზოგადოებული კუთხური γ_1 და ხაზოვანი x_2, y_2, x_3 და y_3 კოორდინატების მიმართ.

დიზელის შემსრულებელი ღრეჩოებიანი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დამატებით მოძრაობათა კლასიფიკაცია შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი ცხრილის სახით (ცხრ. 2.1)

ცხრილი 2.1

შემსრულებელი ღრეჩოებიანი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დამატებით მოძრაობათა კლასიფიკაცია

დამატებითი მოძრაობის სახე	ერთდროული წყვეტა და კონტაქტი ღრეჩოებიან კინემატიკურ წყვილებში			განზოგადოებული კოორდინატები	დიფერენციალურ განტოლებათა რიცხვი
	1-2	2-3	3-0		
I	P_1	P_2	P_3	$x_1\ y_1\ x_2\ y_2\ x_3\ y_3$	6
II	P_1	P_2	K_3	$x_1\ y_1\ x_2\ y_2\ \gamma_3$	5
III	P_1	K_2	P_3	$x_1\ y_1\ \gamma_2\ x_3\ y_3$	5
IV	P_1	K_2	K_3	$x_1\ y_1\ \gamma_2\ \gamma_3$	4
V	K_1	K_2	K_3	$\gamma_1\ \gamma_2\ \gamma_3$	3
VI	K_1	K_2	P_3	$\gamma_1\ \gamma_2\ x_3\ y_3$	4
VII	K_1	P_2	K_3	$\gamma_1\ x_2\ y_2\ \gamma_3$	4

VIII	K_1	P_2	P_3	$\gamma_1\ x_2\ y_2\ x_3\ y_3$	5

გადასვლა კონტაქტური დამატებითი მოძრაობიდან თავისუფალზე ნებისმიერ კინემატიკურ წყვილში მოხდება მხოლოდ მაშინ, როცა კონტაქტის წერტილში არსებული F_i^n რეაქციის ძალის ნორმალური მდგენელი გაუტოლდება ნულს. ცხადია, ამ დროს ადგილი აქვს მექანიზმის კინემატიკური ჯაჭვის წყვეტას და A, B, C წერტილების მდებარეობების განსაზღვრა ღრეჩოს არეში შესაძლებელი ხდება მხოლოდ განზოგადოებული დამატებითი x_i, y_i ხაზოვანი კოორდინატების საშუალებით. კონტაქტური მოძრაობიდან თავისუფალზე გადასვლის პირობები, ზემოთქმულის ძალით, შეიძლება ჩაიწეროს ასეთი სახით:

$$\left.\begin{aligned} F_i^n &= 0; \\ x_i &= \Delta_i \cos\gamma_i; \\ y_i &= \Delta_i \sin\gamma_i, \end{aligned}\right\} \tag{2.30}$$

სადაც γ_i არის კინემატიკური წყვილის შიგა ელემენტის მობრუნების კუთხე გარე ელემენტის მიმართ წყვეტის საწყის მომენტში.

მექანიზმის თავისუფალი მოძრაობიდან კონტაქტურზე გადასვლა ხასიათდება თავისუფლად მოძრავი შიგა და გარე ელემენტების დარტყმით, რომლის დროსაც რეაქციის ნორმალური F_i^n მდგენელი განიცდის მკვეთრ მყისიერ ზრდას. აქედან იწყება კონტაქტური მოძრაობა. საწყისი პირობები თავისუფალი დამატებითი მოძრაობიდან კონტაქტურზე გადასვლისათვის შეიძლება ჩაიწეროს ასეთი სახით:

$$
\left.\begin{aligned}
&F_i^n \neq 0;\\
&\gamma_i = \arccos\frac{x_i}{\Delta_i};\\
&y_i = \arcsin\frac{y_i}{\Delta_i}.
\end{aligned}\right\}
\qquad (2.31)
$$

მეორე თავის დასკვნები

1. ჩატარდა დიზელის ძრავის შემსრულებელი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის მათემატიკური ინტერპრეტაცია, რაც გულისხმობს გადაცემის ძირითადი კინემატიკური და დინამიკური პარამეტრების წარმოდგენას ძირითად გეომეტრიულ ზომებთან და ძალურ დამოკიდებულებებთან კავშირში.

2. კლასიფიცირებულია შემსრულებელი მექანიზმის ღრეჩოებიანი წინსვლითი წყვილის მოძრაობა და ჩატარებულია შესაბამისი დინამიკური ანალიზი. გამოკვლეულია დეზაქსიალის არსებობით გამოწვეული მოძრაობის სამი სახე წინსვლითი წყვილისათვის.

3. შექმნილია შემსრულებელი ღრეჩოებიანი მექანიზმის დინამიკური მოდელი. კლასიფიკაცია მიეცა დამატებით მოძრაობათა რვა სახეობას ღრეჩოებიან სახსრებში თავისუფალი და კონტაქტური მოძრაობების მონაცვლეობის მიხედვით.

თავი III. რეფრიჟერატორული ვაგონის დიზელის ძრავის შემსრულებელი ღრეჩოებიანი მექანიზმის ცვლადი პარამეტრების გამოკვლევა

3.1. შემსრულებელი ღრეჩოებიანი მექანიზმის კინეტიკური ენერგიის დადგენა ღრეჩოებისა და ცვლადი დეზაქსიალის გათვალისწინებით

შემსრულებელი ღრეჩოებიანი OAB მექანიზმის (ნახ.2.8) მრუდმხარას მოძრაობა თავიდანვე განსაზღვრულია და მისი მობრუნების ω კუთხური სიჩქარე ყოველთვის მუდმივია. ამის გამო არსებული მექანიზმის კინეტიკური ენერგია, მისი ცვალებადობის გამო, შეიძლება წარმოვადგინოთ მხოლოდ ბარბაცასა და დგუშის კინეტიკური ენერგიის ჯამის სახით

$$T_{\text{კ.მექ.}} = T_{\text{კ.ბარ.}} + T_{\text{კ.დ.}}\,. \tag{3.1}$$

ბარბაცა, როგორც ცნობილია, ასრულებს რთულ მოძრაობას. მისი მოძრაობა შედგება განხილულ იქნას, როგორც ორი მოძრაობის, გადატანითი და ბრუნვითი მოძრაობების ჯამის სახით, ე.ი. ვწერთ:

$$T_{\text{კ.ბარ.}} = \frac{m_2 V_k^2}{2} + \frac{J_k \dot{\beta}^2}{2}, \tag{3.2}$$

სადაც V_k არის ბარბაცას მასების ცენტრის გადატანითი მოძრაობის სიჩქარე;

$J_k -$ ბარბაცას ინერციის მომენტი მისი მასების K ცენტრის მიმართ;

$\dot{\beta} -$ ბარბაცას მობრუნების კუთხური სიჩქარე.

ბარბაცას K ცენტრის გადატანითი მოძრაობის სიჩქარე

$$V_k^2 = \dot{X}_k^2 + \dot{Y}_k^2, \tag{3.3}$$

სადაც $\dot{X}_k$ არის გადატანითი მოძრაობის V_k სიჩქარის პროექცია OX ღერძზე;

$\dot{Y}_k$– გადატანითი მოძაროზის V_k სიჩქარის პროექცია OY ღერძზე.

ვწერთ:

$$X_k = r\cos\alpha + x_1 + \frac{l}{2}\cos\beta. \tag{3.4}$$

$$Y_k = \frac{l}{2}\sin\beta + y_2 + e. \tag{3.5}$$

დეზაქსიალ e-ს მნიშვნელობა იგივე ნახაზიდან ტოლია

$$e = a + \Delta_3 - y_3. \tag{3.6}$$

თუ ამ გამოსახულებას შევიტანთ (3.5) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$Y_k = \frac{l}{2}\sin\beta + y_2 + a + \Delta_3 - y_2. \tag{3.7}$$

სიჩქარის პროექციების მისაღებად გავადიფერენციროთ (3.4) და (3.7)

$$\dot{X}_k = -r\omega\sin\alpha + \dot{x}_1 - \frac{l}{2}\dot{\beta}\sin\beta; \tag{3.8}$$

$$\dot{Y}_k = \frac{l}{2}\dot{\beta}\cos\beta + \dot{y}_2 - \dot{y}_3. \tag{3.9}$$

სასურველია განისაზღვროს $\dot{\beta}$-ის, როგორც ბარბაცას მობრუნების კუთხური სიჩქარის მნიშვნელობა. ამისთვის მოცემული ნახაზიდან ვწერთ იგივეობას

$$r\sin\alpha + y_1 = l\sin\beta + y_2 + a + \Delta_3 - y_3.$$

ამ ტოლობის დიფერენცირების შედეგად მივიღებთ:

$$\dot{\beta} = \frac{1}{l\cos\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3\right) \tag{3.10}$$

$\dot{\beta}$ -ის ეს მნიშვნელობა შევიტანოთ (3.8) და (3.9) ტოლობებში.

მივიღებთ:

$$\dot{X}_k = -r\omega\sin\alpha + \dot{x}_1 - \frac{1}{2}tg\beta\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3\right); \tag{3.11}$$

$$\dot{Y}_k = \frac{1}{2}\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 + \dot{y}_2 - \dot{y}_3\right). \tag{3.12}$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნებს:

$$\left.\begin{array}{l} A = -r\omega\sin\alpha + \dot{x}_1; \\ B = r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1; \\ C = \dot{y}_2 - \dot{y}_3, \end{array}\right\} \tag{3.13}$$

ამ აღნიშვნების ძალით ვწერთ:

$$\left.\begin{array}{l} \dot{X}_k = A - \frac{1}{2}tg\beta\left(B - C\right) \\ \dot{Y}_k = \frac{1}{2}\left(B + C\right); \\ \dot{\beta} = \frac{1}{l\cos\beta}\left(B - C\right). \end{array}\right\} \tag{3.14}$$

(3.14) ტოლობების ძალით (3.3) ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$V_k^{\ 2} = A^2 - Atg\beta\left(B - c\right) + \frac{1}{4}\left(tg^2\beta + 1\right)\left(B^2 + C^2\right) - \frac{1}{2}BC\left(tg^2\beta - 1\right) \tag{3.15}$$

ბარბაცას ინერციის მომენტი მისი მასების K ცენტრის მიმართ ჩაიწერება ამ სახით:

$$J_k = \frac{m_2 l^2}{12}. \tag{3.16}$$

(3.10), (3.15) და (3.16) ტოლობების შეტანა (3.2) ფორმულებში გვაძლევს:

$$T_{\text{ბარ.}} = \frac{m_2}{2}\left[A^2 - Atg\beta\left(B - C\right) + \frac{1}{4}\left(tg^2\beta + 1\right)\left(B^2 + C^2\right) - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2}BC\left(tg^2\beta - 1\right) + \frac{1}{12\cos^2\beta}\left(B - C\right)^2\right]. \tag{3.17}$$

დგუშის კინეტიკური ენერგია გამოისახება ტოლობით:

$$T_{\text{კ.დ.}} = \frac{m_3}{2} V_{03}^2 + \frac{1}{2} J_{03} \dot{\delta}^2, \qquad (3.18)$$

სადაც V_{03} არის დგუშის მასების ცენტრის გადატანითი მოძრაობის სიჩქარე;

J_{03}–დგუშის ინერციის მომენტი მისი მასების 0_3 ცენტრისადმი;

$\dot{\delta}$– დგუშის მობრუნების კუტხური სიჩქარე OX ღერძის მიმართ.

დგუშის გადატანითი მოძრაობის სიჩქარე XOY უძრავ სისტემაში განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულების მიხედვით:

$$V_{03}^2 = \dot{X}_{03}^2 + \dot{Y}_{03}^2, \qquad (3.19)$$

სადაც $\dot{X}_{03}$ და $\dot{Y}_{03}$ არის დგუშის გადატანითი მოძრაობის სიჩქარის პროექცია OX და OY ღერძეზზე.

მექანიზმის დინამიკური მოდელის ნახაზიდან (ნახ.2.8) დგუშის გადაადგილების სიჩქარის პროექციები ჩაიწერება ასე:

$$\left.\begin{aligned} X_{03} &= r\cos\alpha + x_1 + l\cos\beta - x_2; \\ Y_{03} &= Eo_2 = (a + \Delta_3) - y_3. \end{aligned}\right\} \qquad (3.20)$$

ამ ტოლობების დიფერნცირება დროთი გვაძლევს:

$$\left.\begin{aligned} \dot{X}_{03} &= A - tg\beta(B - C) - \dot{x}_2; \\ \dot{Y}_{03} &= -\dot{y}_3. \end{aligned}\right\} \qquad (3.21)$$

(3.21) სისტემის ძალით (3.19) ჩაიწერება ამ სახით:

$$V_{03}^2 = \left[A - tg\beta(B - C) - \dot{x}_2\right]^2 + \dot{y}_3^2. \qquad (3.22)$$

დგუშის ინერციის მომენტი მისი მასების ცენტრის მიმართ:

$$J_{03} = \frac{m_3}{3} b^2. \qquad (3.23)$$

უძრავ საკოორდინატო XOY სისტემაში OX ღერძის მიმართ დგუშის მობრუნების $\dot{\delta}$ კუთხური სიჩქარის პოვნისათვის ვწერთ:

$$\delta = \gamma_3 - LCo_3F,$$

საიდანაც გამოდის, რომ

$$\dot{\delta} = \dot{\gamma}_3 - \frac{d}{dt}\left(arctg\,\frac{a}{b} \right). \qquad (3.24)$$

γ_3 კოორდინატის პოვნისათვის იმ მართკუთხა სამკუთხედიდან, რომლის გვერდები x_3 და y_3 განზოგადოებული ხაზოვანი კოორდინატებია, შეიძლება დაიწეროს:

$$\cos\gamma_3 = \frac{x_3}{\sqrt{{x_3}^2 + y_3^2}}. \qquad (3.25)$$

ამ ტოლობიდან ვწერთ:

$$\cos^2\gamma_3 = \frac{x_3^2}{x_3^2 + y_3^2}. \qquad (3.26)$$

ნახაზიდან $tg\gamma_3 = \dfrac{y_3}{x_3}$.

ბოლო ტოლობის დიფერენცირებით დროის მიხედვით მივიღებთ:

$$\frac{1}{\cos^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3 = \frac{\dot{Y}_3 x_3 - \dot{x}_3 y_3}{x_3^2}$$

თუ ამ ტოლობაში შევიტანთ $\cos^2\gamma_3$-ის მნიშვნელობას განსაზღვრულს (3.26) ტოლობით, მივიღებთ $\dot{\gamma}_3$-ის საანგარიშო სიდიდეს, რომლის გათვალისწინებით და იმ მისაზრებით, რომ (3.24) ტოლობის მარჯვენა ნაწილის მეორე უარყოფითი წევრი ნულის ტოლია, განისაზღვრება დგუშის მობრუნების $\dot{\delta}$ კუთხური სიჩქარე

$$\dot{\sigma} = \frac{\dot{y}_3 x_3 - \dot{x}_3 y_3}{x_3^2 + y_3^2}. \qquad (3.27)$$

(3.22), (3.23) და (3.27) ტოლობების შეტანით (3.18) ფორმულაში მივიღებთ დგუშის კინეტიკური ენერგიის საანგარიშო მნიშვნელობას:

$$T_{\text{დ.}} = \frac{m_3}{2}\left\{ \left[A - tg\beta(B - C) - \dot{x}_2 \right]^2 + \dot{y}_3^2 + \frac{b^2 D^2}{3K^2} \right\},$$

სადაც გამოყენებულია აღნიშვნები:

$$\left.\begin{aligned} D &= (\dot{y}_3 x_3 - \dot{x}_3 y_3); \\ K &= (x_3^2 + y_3^2). \end{aligned}\right\} \tag{3.28}$$

(3.17) და (3.28) ფორმულების გათვალისწინებით კინეტიკური ენერგია გამოსახული (3.1) ტოლობით, მიიღებს სახეს:

$$T_{\text{კ.მექ.}} = \frac{m_3}{2}\left[A^2 - Atg\beta(B-C) + \frac{1}{4}(tg^2\beta+1)(B^2+C^2) - \frac{BC}{2}(tg^2\beta-1) + \right.$$

$$\left. + \frac{(B-C)^2}{12\cos^2\beta}\right] + \frac{m^3}{2}\left\{[A - tg\beta(B-C) - \dot{x}_2]^2 + \dot{y}_3^2 + \frac{b^2D^2}{3K^2}\right\}. \tag{3.29}$$

(3.29) ფორმულით გამოსახული კინეტიკური ენერგიის გამოყენება მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების შედგენისას მოითხოვს განსაკუთრებულ მიდგომას. თუ მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება შედგება ხაზოვანი განზოგადოებული კორდინატის მიმართ, მაშინ კინეტიკური ენერგიის ფორმულა უნდა ჩაიწეროს ხაზოვანი განზოგადოებული კოორდინატების $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$ მიმართ.

$$T_{\text{კ.მექ.}} = \frac{m_2}{2}\{(-r\omega\sin\alpha + \dot{x}_1)^2 - tg\beta(-r\omega\sin\alpha + \dot{x}_1)(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3) +$$

$$+ \frac{1}{4}(tg^2\beta+1)\left[(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1)^2 + (\dot{y}_2 - \dot{y}_3)^2\right] - \frac{1}{2}(tg^2\beta-1)(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1)\times$$

$$\left.\times(\dot{y}_2 - \dot{y}_3) + (r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3)^2\frac{1}{12\cos^2\beta}\right\} + \frac{m_3}{2}\{[-r\omega\sin\alpha + \dot{x}_1 -$$

$$\left. - tg\beta(\dot{y}_1 - \dot{y}_2 + r\omega\cos\alpha) - \dot{x}_2\right]^2 + \dot{y}_3^2 + \frac{b^2}{3}\cdot\frac{(\dot{y}_3x_3 - \dot{x}_3y_3)^2}{(x_3^2 + y_3^2)}\}. \tag{3.30}$$

თუ ღრეჩოებიანი შემსრულებელი მექანიზმის დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება განიხილება განზოგადოებული $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ კუთხური დამატებითი კოორდინატის მიმართ, მაშინ უნდა ვისარგებლოთ კინეტიკური ენერგიის ისეთი გამოსახულებებით, რომელიც შეიცავს მხოლოდ განზოგადოებულ კუთხურ γ_i კოორდინატებს. ამ გამოსახულების მიღებისათვის (3.30)

ფორმულაში შეგვაქვს კოორდინატების (2.26)-(2.29) მნიშვნელობანი: კინეტიკური ენერგიის ფორმულა ჩაიწერა ასეთი სახით

$$T_{\text{კ.მექ.}} = \frac{m_2}{2}\Big\{\left(-r\omega\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)^2 - tg\beta\left(-r\omega\sin\alpha - \Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)\Big(r\omega\cos\alpha +$$

$$+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 - \Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 - \left(a+\Delta_3-e\right)^2\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3\left(U\sin^2\gamma_3\right)^{-1} +$$

$$+\frac{1}{4}\left(tg^2\beta+1\right)\Big\{\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)^2 + \Big[\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 + \left(a+\Delta_3-e\right)^2\times$$

$$\times\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3\left(U\sin^2\gamma_3\right)^{-1}\Big]^2\Big\} - \frac{1}{2}\left(tg^2\beta-1\right)\Big\{\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)\times$$

$$\times\Big[\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 + \left(a+\Delta_3-e\right)^2\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3\left(U\sin^2\gamma_3\right)^{-1} + \frac{1}{12\cos^2\beta}\Big[r\omega\cos\alpha +$$

$$+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 - \Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 - \left(a+\Delta_3-e\right)^2\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3\left(U\sin^2\gamma_3\right)^{-1}\Big]^2\Big\}\Big\} +$$

$$+\frac{m_3}{2}\Big\{-r\omega\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1 + \Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2 - tg\beta\Big[r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 -$$

$$-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 - \left(a+\Delta_3-e\right)^2\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3\left(U\sin^2\gamma_3\right)^{-1}\Big]^2 + \Big[\left(a+\Delta_3-e\right)^2\times$$

$$\times\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3\left(U\sin^2\gamma_3\right)^{-1}\Big]^2 + \frac{b^2}{3}\Big\{\left(a+\Delta_3-e\right)^2 ctg^2\gamma_3\Big[-\left(a+\Delta_3-e\right)^2\times$$

$$\times\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3\left(U\sin^2\gamma_3\right)^{-1} + \frac{\left(a+\Delta_3-e\right)}{\sin\gamma_3}\gamma_3\left(U\sin^2\gamma_3\right)^{-1}\Big]^2\Big[\left(a+\Delta_3-e\right)^2 ctg^2\gamma_3 +$$

$$+\frac{\left(a^2+b^2\right)\sin^2\gamma_3 - \left(a+\Delta_3-e\right)^2\cos^2\gamma^3}{\sin^2\gamma_2}\Big]^{-2}\Big\}\Big\}, \tag{3.31}$$

სადაც
$$U = \Big[\left(a^2+b^2\right)\sin^2\gamma_3 - \left(a+\Delta_3-e\right)^2\cos^2\gamma_3\Big]^{\frac{1}{2}}.$$

3.2. შემსრულებელი მექანიზმის დამატებითი მოძრაობების შესაბამისი განზოგადოებული ძალების გამოკვლევა

განზოგადოებული ძალების მნიშვნელობების დადგენას ვიწყებთ

კონტაქტური სახის დამატებითი მოძრაობისათვის, ე.ი. დამატებითი მოძრაობების კლასიფიკაციის მიხედვით საქმე გვაქვს მეხუთე სახის დამატებით მოძრაობასთან $(K_1K_2K_3)$.

განზოგადოებული ძალების განსაზღვრისას ვსარგებლობთ დებულებით იმის შესახებ, რომ განზოგადოებული კოორდინატის ვირტუალური გადაადგილებისას აქტიური ძალების მუშაობა უნდა უდრიდეს ამ ვირტუალური გადაადგილებისა და შესაბამისი განზოგადოებული ძალის მნიშვნელობის ნამრავლს.

$$\delta W_{\gamma_i} = Q_{\gamma_1}^{i}\delta\gamma_1, \tag{3.32}$$

სადაც $Q_{\gamma i}^{i}$ არის განზოგადოებული ძალა γ_i განზოგადოებული კოორდინატის მიხედვით;

$\delta_{\gamma i}$ - ვირტუალური გადაადგილება.

ჩვენს შემთხვევაში მეხუთე სახის კონტაქტური $(K_1K_2K_3)$ დამატებითი მოძრაობისათვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\left.\begin{aligned}
\delta W_{\gamma_1} &= Q_{\gamma_1}^{v}\delta_{\gamma_1};\\
\delta W_{\gamma_2} &= Q_{\gamma_2}^{v}\delta_{\gamma_2};\\
\delta W_{\gamma_3} &= Q_{\gamma_3}^{v}\delta_{\gamma_3}.
\end{aligned}\right\} \tag{3.33}$$

(3.33) სისტემის პირველი განტოლება ჩაიწერება ასეთი სახით:

$$\delta W_{\gamma_1} = Q_{\gamma_1}^{v}\delta_{\gamma_1} = F_{\text{ხახ}}^{1\text{-}2}\Delta_1\delta_{\gamma_1} - G_2\delta Y_k + F_{\text{სწ.}}\delta X_B - G_3\delta e. \tag{3.34}$$

ამ ფორმულაში ხახუნის ძალა შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ტოლობით:

$$F_{\text{ხახ}}^{1\text{-}2} = -F_1^{n}\left(K_{\text{ხახ}}\,sign\,\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_1^{2}\right), \tag{3.35}$$

სადაც F_1^{n} არის რეაქციის ნორმალური მდგენელი 1-2 ბრუნვით წყვილში;

$K_{\text{ხახ}1}, K_{\text{ხახ}2}, K_{\text{ხახ}3}$ – შესაბამისად მშრალი, სრიალისა და კვადრატული

ხახუნის კოეფიციენტები;

$\dot{\gamma}_1$ – კონტაქტის წერტილის კუთხური სიჩქარე 1-2 წყვილში.

აქტიური მუშაობის (3.36) ფორმულაში არ შედის ხახუნის ძალა 2-3 კინემატიკური წყვილიდან. ეს იმიტომ, რომ ამ შემთხვევაში ვიხილავთ მხოლოდ γ_i კუთხით მობრუნების ნაზრდს, ხოლო γ_2-ს ვთვლით ფიქსირებულად.

ვირტუალური δY_k გადაადგილება, გამოწვეული $\delta\gamma_1$ ვირტუალური მობრუნებით, განისაზღვრება ბარბაცის K ცენტრის Y_k კოორდინატის განსაზღვრის შემდეგ. დინამიკური მოდელის ნახაზიდან (ნახ. 2.8) ვწერთ:

$$Y_k = \frac{l}{2}\sin\beta + \Delta_2 \sin\gamma_2 + e. \tag{3.36}$$

რადგან Y_k კოორდინატის ვირტუალური გადაადგილება დამოკიდებული არ არის 2-3 ბრუნვითი წყვილის მოძრაობის ხასიათზე, ამიტომ (3.36) ტოლობის მარჯვენა ნაწილის მეორე წევრი გაუტოლდება ნულს და მივიღებთ:

$$\delta Y_k = \frac{l}{2}\cos\beta\delta\beta + \delta e\,. \tag{3.37}$$

ამ ტოლობაში $\delta\beta$ და δe სიდიდეები უცნობია. $\delta\beta$ ნაზრდის განსაზღვრისათვის ნახაზიდან ვწერთ ასეთ იგივეობას:

$$r\sin\alpha + y_1 = l\sin\beta + \Delta_2\sin\gamma_2 + e. \tag{3.38}$$

იმის გამო, რომ ამ შემთხვევაში γ_2 ფიქსირებული სიდიდეა, ხოლო γ_1 დამოკიდებული არ არის მრუდმხარას მობრუნების α კუთხეზე და e დეზაქსიალის მნიშვნელობაზე, ამიტომ (3.38) ტოლობიდან მივიღებთ ტოლობას:

$$\Delta_1\cos\gamma_1\delta\gamma_1 = l\cos\beta.\delta\beta. \tag{3.39}$$

უკანასკნელი ტოლობიდან მივიღებთ:

$$\delta\beta = \frac{\Delta_1 \cos\gamma_1}{l\cos\beta}\delta\gamma_1. \qquad (3.40)$$

ვირტუალური δe გადაადგილების პოვნისათვის ვწერთ ტოლობას:

$$e = r\sin\alpha + y_1 - l\sin\beta - y_2. \qquad (3.41)$$

δe გადაადგილება შეიძლება ჩავწეროთ ბოლო ტოლობიდან ასეთი სახით

$$\delta e = \Delta_1 \cos\gamma_1 \delta\gamma_1. \qquad (3.42)$$

საბოლოოდ K წერტილის Y_k კოორდინატის ვირტუალური გადადგილება განისაზღვრება (3.37) ფორმულიდან მასში (3.40) და (3.42)-ის შეტანით.

$$\delta Y_k = \frac{3}{2}\Delta_1 \cos\gamma_1 \delta\gamma_1. \qquad (3.43)$$

გარედან მოქმედი აქტიური $F_{\text{სწ.}}$ ძალა მუშაობას ასრულებს δX_B ვირტუალურ გადაადგილებაზე. მისი პოვნის მიზნით ვწერთ ტოლობას:

$$X_B = r\cos\alpha + \Delta_1 \cos\gamma_1 + l\cos\beta. \qquad (3.44)$$

რადგან δX_B დამოკიდებულია მხოლოდ γ_1 და β შემობრუნების კუთხეებზე, ამიტომ შეიძლება დაიწეროს:

$$\delta X_B = -r\sin\gamma_1 \delta\gamma_1 - l\sin\beta\delta\beta.$$

თუ ამ ტოლობაში შევიტანთ $\delta\beta$-ს მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$\delta X_B = -\Delta_1(\cos\gamma_1 tg\beta + \sin\gamma_1)\delta\gamma_1. \qquad (3.45)$$

შევიტანოთ (3.34) ფორმულაში (3.35), (3.42), (3.43) და (3.45) გამოსახულებანი. მივიღებთ მუშაობას $\delta\beta$ გადაადგილებაზე.

$$Q_{\gamma_1}^V \delta\gamma_1 = -F_1^n\left(K_{\text{ხახ1}} sign\dot\gamma_1 + K_{\text{ხახ2}}\dot\gamma_1 + K_{\text{ხახ3}}\dot\gamma_1^2\right)\Delta_1\delta\gamma_1 - \frac{3}{2}G_2\Delta_1\cos\gamma_1\delta\gamma_1 -$$

$$- F_{\text{სწ}}\Delta_1(\cos\gamma_1 tg\beta + \sin\gamma_1)\delta\gamma_1 - G_3\Delta_1\cos\gamma_1\delta\gamma_1.$$

თუ ამ ტოლობის ორივე მხარეს გავყოფთ $\delta\gamma_1$-ზე მივიღებთ

განზოგადოებული ძალის მნიშვნელობას γ_1 კოორდინატის მიმართ დამატებითი მეხუთე სახის მოძრაობისათვის.

$$Q_{\gamma_1}^{v} = -\Delta_1\Big[F_1^{n}\Big(K_{\text{ხახ1}} sign\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ2}}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ3}}\dot{\gamma}_1^{2}\Big) +$$
$$+\left(\frac{3}{2}G_2 + G_3 + F_{\text{სწ}} tg\beta\right)\cos\gamma_1 + F_{\text{სწ}}\sin\gamma_1\Big]. \qquad (3.46)$$

მოცემული ღრეჩოებიანი მექანიზმის ბარბაცას მობრუნების β კუთხე შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც შესაბამისი იდეალური მექანიზმის ბარბაცას მობრუნების β_0 კუთხისა და რაღაც $\delta\beta_0$ ნაზრდის ჯამის სახით. ამ მოსაზრების საფუძველზე შეიძლება დაიწეროს:

$$\left.\begin{aligned} tg\beta &= tg(\beta_0 + \delta\beta_0);\\ \cos\beta &= \cos(\beta_0 + \delta\beta_0);\\ \sin\beta &= \sin(\beta_0 + \delta\beta_0), \end{aligned}\right\} \qquad (3.47)$$

თუ გავშლით $tg\beta$ ფუნქციას ხარისხოვან მწკრივად $\delta\beta_0$-ის მიმართ და დავკმაყოფილდებით მხოლოდ დაშლის პირველი ორი წევრით, მივიღებთ:

$$tg\beta = tg\beta_0 + \frac{1}{\cos^2\beta_0}\delta\beta_0 . \qquad (3.48)$$

$\delta\beta_0$ ნაზრდის პოვნის მიზნით ვსარგებლობთ (3.38) ფორმულით, რომელიც ჩვენი შემთხვევისთვის მიიღებს სახეს:

$$r\sin\alpha + y_1 = l\sin\beta_0 + l\cos\beta_0\delta\beta_0 + y_2 + e . \qquad (3.49)$$

რადგან იდეალური მექანიზმისთვის ამ ტოლობის მარცხენა და მარჯვენა ნაწილების პირველი წევრები ერთმანეთის ტოლია, ამიტომ (3.49) მიიღებს სახეს:

$$l\cos\beta_0\delta\beta_0 = y_1 - y_2 + e ,$$

საიდანაც

$$\delta\beta_0 = \frac{1}{l\cos\beta_0}(y_1 - y_2 + e). \qquad (3.50)$$

ამ ტოლობის გათვალისწინებით $tg\beta$-ს მნიშვნელობა, გამოსახული (3.48) ფორმულით, ჩაიწერება ასეთი ტოლობით:

$$tg\beta = tg\beta_0 + \frac{1}{l\cos^3\beta_0}\left(y_1 - y_2 + e\right). \tag{3.51}$$

ანალოგიურად დაიწერება:

$$\left.\begin{aligned} \cos\beta &= \cos\beta_0 - \sin\beta_0\delta\beta_0; \\ \sin\beta &= \sin\beta_0 + \cos\beta_0\delta\beta_0. \end{aligned}\right\} \tag{3.52}$$

(3.50) გამოსახულების ძალით მივიღებთ:

$$\left.\begin{aligned} \cos\beta &= \cos\beta_0 - \frac{1}{l}tg\beta_0\left(y_1 - y_2 + e\right) \\ \sin\beta &= \sin\beta_0 + \frac{1}{l}\left(y_1 - y_2 + e\right). \end{aligned}\right\} \tag{3.53}$$

(3.51) ფორმულის ძალით (3.46) ტოლობა ჩაიწერება ამ სახით:

$$Q_{\gamma_1}^{v} = -\Delta_1\Big[F_1^n\left(K_{\text{ხახ1}}sign\gamma_1 + K_{\text{ხახ2}}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ3}}\dot{\gamma}_1^2\right) + \left(\frac{3}{2}G_2 + G_3 + \right.$$

$$\left. + F_{\text{სწ}}tg\beta_0 + F_{\text{სწ}}\frac{y_1 - y_2 - e}{l\cos^3\beta_0}\right)\cos\gamma_1 + F_{\text{სწ}}\sin\gamma_1\Big]. \tag{3.54}$$

მეხუთე სახის კონტაქტური მოძრაობის $Q_{\gamma 2}^{v}$ განზოგადოებული ძალის მნიშვნელობას γ_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ვსაზღვრავთ შემდეგი წესით: ვთვლით γ_1 კოორდინატას ფიქსირებულად და ვიხილავთ მოქმედი ძალების მუშაობას $\delta\gamma_2$ ვირტუალურ გადაადგილებაზე.

$$\delta W_{\gamma_2} = Q_{\gamma_2}^{v}\delta\beta = F_{\text{ხახ}}^{2\text{-}3}\Delta_2\delta_{\gamma_2} - G_2\delta Y_K + F_{\text{სწ}}\delta X_B - G_3\delta e. \tag{3.55}$$

Y_k კოორდინატის ვირტუალური გადაადგილების პოვნისათვის ვისარგებლოთ (3.36) ფორმულით, საიდანაც ვწერთ:

$$\delta Y_k = \frac{l}{2}con\beta\delta\beta + \Delta_2\cos\gamma_2\delta\gamma_2 + \delta e. \tag{3.56}$$

ნახაზიდან (ნახ.2.8)

$$r\sin\alpha + \Delta_1 \sin\gamma_1 = l\sin\beta + \Delta_2 \sin\gamma_2 + e .$$

რადგან γ_1 ფიქსირებული სიდიდეა, ამიტომ ამ ტოლობიდან მივიღებთ:

$$\delta\beta = -\frac{1}{l\cos\beta}\Delta_2 \cos\gamma_2 \delta\gamma_2 . \qquad (3.57)$$

რამდენადაც $e = r\sin\alpha + y_1 - l\sin\beta - y_2$, ხოლო e დამოკიდებულია მხოლოდ განზოგადოებული y_2 კოორდინატის ცვლილებაზე, ამდენად

$$\delta e = -\Delta_2 \cos\gamma_2 \delta\gamma_2 . \qquad (3.58)$$

მაშინ (3.57) და (3.58) ტოლობების შეტანა (3.56) ფორმულაში გვაძლევს:

$$\delta Y_k = -\frac{1}{2}\Delta_2 \cos\gamma_2 \delta\gamma_2 . \qquad (3.59)$$

დგუშის სვლის სიდიდე

$$X_B = r\cos\beta + \Delta_1 \cos\gamma_1 + l\cos\beta .$$

რადგან γ_1 ფიქსირებული სიდიდეა, ამიტომ ტოლობიდან მივიღებთ:

$$\delta X_B = -l\sin\beta\delta\beta .$$

(3.57) ფორმულის ძალით უკანასკნელი მიიღებს სახეს:

$$\delta X_B = \Delta_2 \cos\gamma_2 \delta\gamma_2 tg\beta . \qquad (3.60)$$

(3.57), (3.58), (3.59) და (3.60) ტოლობების შეტანა (3.55)-ში გვაძლევს:

$$Q^V_{\gamma_2} = \Delta_2 \left[\cos\gamma_2 \left(\frac{1}{2}G_2 + G_3 + F_{სწ} tg\beta_0 + F_{სწ} \frac{y_1 - y_2 - e}{l\cos^3\beta_0} \right) - \right.$$

$$\left. - F_2^n \left(K_{ხახ1} sign\dot{\gamma}_2 + K_{ხახ2}\dot{\gamma}_2 + K_{ხახ3}\dot{\gamma}_2^2 \right) \right] . \qquad (3.61)$$

განზოგადოებული $Q^v_{\gamma 3}$ ძალის გარკვევისათვის ვთვლით γ_1 და γ_2 კოორდინატებს ფიქსირებულად და განვიხილავთ აქტიური ძალების

მუშაობას განზოგადოებული γ_3 კოორდინატის მიმართ.

$$W^v_{\gamma 3} = Q^v_{\gamma 3}\delta\gamma_3 = F^{3-0}{}_{\text{ხახ}}\Delta_3\delta\gamma_3 - G_3\delta e + F_{\text{სწ}}\delta X_c - G_2\delta Y_k. \tag{3.62}$$

ნახაზის (ნახ.2.8) მიხედვით ვწერთ:

$$y_k = \frac{l}{2}\sin\beta + \Delta_2\sin\gamma_2 + e\,.$$

რადგან y_k არ იცვლება y_2 კოორდინატის მიხედვით, ამიტომ

$$\delta Y_k = \frac{l}{2}\cos\beta\delta\beta + \delta e. \tag{3.63}$$

$\delta\beta$-პოვნისათვის ვწერთ:

$$r\sin\alpha + y_1 = l\sin\beta + y_2 + e. \tag{3.64}$$

ვიცით, რომ $e = a + \Delta_3 - y_3$ და $\delta\gamma_3$ გამოკიდებული არ არის y_1 და y_2 განზოგადოებულ კოორდინატებზე, (3.64) ტოლობიდან შეიძლება დაიწეროს:

$$l\cos\beta\delta\beta = \delta y_3 \tag{3.65}$$

ნახაზის მიხედვით სამართლიანია ასეთი ტოლობა:

$$y_3 = \left(a^2 + b^2\right)^{\frac{1}{2}}\sin\gamma_3,$$

საიდანაც ვწერთ:

$$\delta y_3 = \left(a^2 + b^2\right)^{\frac{1}{2}}\cos\gamma_3\delta\gamma_3\,. \tag{3.66}$$

თუ ამ მნიშვნელობებს შევიტანთ (3.65) ტოლობეში, მივიღებთ:

$$\delta\beta = \frac{\left(a^2 + b^2\right)^{\frac{1}{2}}}{l\cos\beta}\cos\gamma_3\delta\gamma_3. \tag{3.67}$$

ვიცით, რომ ნახაზიდან $e = a + \Delta_3 - y_3$, ამიტომ

$$\delta e = -\delta y_3 \tag{3.68}$$

(3.67) და (3.68) ტოლობების ძალით (3.63) მიიღებს სახის:

$$\delta Y_k = -\frac{1}{2}\left(a^2 + b^2\right)^{\frac{1}{2}}\cos\gamma_3\delta\gamma_3\,. \tag{3.69}$$

X_c ნახაზიდან განისაზღვრება ტოლობით:

$$X_c = r\cos\alpha + \Delta_1\cos\gamma_1 + l\cos\beta - \Delta_2\cos\gamma_3 + x_3 . \qquad (3.70)$$

რადგან δX_c ვირტუალური გადაადგილება გამოწვეულია მხოლოდ x_3 განზოგადოებული კოორდინატისა და β-ს ცვლილებით, ამიტომ

$$\delta X_c = -l\sin\beta\delta\beta + \delta x_3 . \qquad (3.71)$$

მაგრამ $x_3 = \left(a^2 + b^2\right)^{\frac{1}{2}}\cos\gamma_3$, ამიტომ

$$\delta x_3 = -\left(a^2 + b^2\right)^{\frac{1}{2}}\sin\gamma_3\delta\gamma_3 . \qquad (3.72)$$

მაშინ (3.67), (3.72) ფორმულების ძალით (3.63) ჩაიწერება ასეთი სახით:

$$\delta X_c = -\left(a^2 + b^2\right)^{\frac{1}{2}}\sin\gamma_3 + tg\beta\left(a^2 + b^2\right)^{\frac{1}{2}}\cos\gamma_3\delta\gamma_3 . \qquad (3.73)$$

(3.68), (3.69) და (3.73) ტოლობების შეტანა (3.62) ფორმულაში გვაძლევს:

$$Q^V_{\gamma_3} = F^{3\text{-}0}_{\text{ხახ}}\Delta_3 + \left(a^2 + b^2\right)^{1/2}\left[\left(\frac{1}{2}G_2 + G_3 - F_{\text{სწ}}tg\beta_0 - F_{\text{სწ}}\frac{y_1 - y_2 - e}{l\cos^3\beta_0}\right)\cos\gamma_3 - \right.$$

$$\left. - F_{\text{სწ}}\sin\gamma_3\right] . \qquad (3.74)$$

ეს ტოლობა შეიძლება ჩაიწეროს ამ სახითაც:

$$Q^V_{\gamma_3} = \left(a^2 + b^2\right)^{1/2}\left[\left(\frac{1}{2}G_2 + G_3 - F_{\text{სწ}}tg\beta_0 - F_{\text{სწ}}\frac{y_1 - y_2 - e}{l\cos^3\beta_0}\right)\cos\gamma_3 - \right.$$

$$\left. - F_{\text{სწ}}\sin\gamma_3\right] - F_3^n\left(K_{\text{ხახ1}}sign\dot\gamma_3 + K_{\text{ხახ2}}\dot\gamma_3 + K_{\text{ხახ3}}\dot\gamma_3^2\right) . \qquad (3.75)$$

მეექვსე სახის მოძრაობისათვის $\left(K_1K_2P_3\right)$ უნდა განისაზღვროს განზოგადოებული $Q^{VI}_{\gamma 1}, Q^{VI}_{\gamma 2}, Q^{VI}_{x_3}$ და $Q^{VI}_{y_3}$, შესაბამისად $\gamma_1, \gamma_2, x_3, y_3$ განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ. აქედან პირველი ორი განისაზღვრება (3.54) და (3.61) ფორმულებით, ხოლო ბოლო ორი მოითხოვს დადგენას.

$$Q^{VI}_{\gamma_1} = -\Delta_1\left[F_1^n\left(K_{\text{ხახ1}}sign\dot\gamma_1 + K_{\text{ხახ2}}\dot\gamma_1 + K_{\text{ხახ3}}\dot\gamma_1^2\right) + F_{\text{სწ}}\sin\gamma_1 + \right.$$

$$+\left(\frac{3}{2}G_2+G_3+F_{\text{ხწ}}tg\beta_0+F_{\text{ხწ}}\frac{y_1-y_2-e}{l\cos^3\beta_0}\right)\cos\gamma_1\Bigg]. \tag{3.76}$$

$$Q_{\gamma_2}^{VI}=-\Delta_2\left[\left(\frac{1}{2}G_2+G_3+F_{\text{ხწ}}tg\beta_0+F_{\text{ხწ}}\frac{y_1-y_2-e}{l\cos^3\beta_0}\right)-\right.$$

$$\left.+F_2^n\left(K_{\text{ხახ}1}sign\dot\gamma_2+K_{\text{ხახ}2}\dot\gamma_2+K_{\text{ხახ}3}\dot\gamma_2^2\right)\right]. \tag{3.77}$$

განზოგადოებული $Q_{y_3}^{VI}$ ძალის განსაზღვრისათვის ვიხილავთ აქტიური ძალების მუშაობის δy_3 ვირტუალურ გადაადგილებაზე იმ პირობით, რომ განზოგადოებული γ_1,γ_2 და x_3 კოორდინატები ამ შემთხვევაში ფიქსირებულია:

$$W_{y_3}^{VI}=Q_{y_3}^{VI}\delta y_3=-G_2\delta Y_k+F_{\text{ხწ}}\delta X_c-G_3\delta e. \tag{3.78}$$

ნახაზიდან $X_C=r\cos\alpha+\Delta_1\cos\gamma_1+l\cos\beta-\Delta_2\cos\gamma_2+x_3$ და $\delta X_c=-l\sin\beta\delta\beta$.

ვსარგებლობთ რა (3.38) ტოლობით, შეგვიძლია დავწეროთ, რომ $l\sin\beta=-e$ ე.ი.

$$\delta\beta=-\frac{\delta e}{l\cos\beta}. \tag{3.79}$$

თუ δe-ს მნიშვნელობას ავიღებთ (3.68) ფორმულიდან, მაშინ

$$\delta\beta=\frac{1}{\cos\beta}\beta y_3, \tag{3.80}$$

ე.ი.

$$\delta X_c=-tg\beta\delta y_3. \tag{3.81}$$

ნახაზიდან $Y_k=\frac{1}{2}\sin\beta+\Delta_2\sin\gamma_2+e$ და იმის გამო, რომ γ_2 ფიქსირებული სიდიდეა, ამიტომ

$$\delta Y_k=\frac{1}{2}\cos\beta\delta\beta+\delta e.$$

(3.79) ტოლობის ძალით უკანასკნელი ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\delta Y_k=-\frac{1}{2}\delta y_3. \tag{3.82}$$

მაშინ (3.68), (3.81) და (3.82) ტოლობების ძალით (3.78) გამოსახულებიდან საძიებელი განზოგადოებული ძალა ჩაიწერება ასე:

$$Q_{y_3}^{VI} = \frac{1}{2}G_2 + G_3 - F_{სწ} tg\beta . \tag{3.83}$$

განზოგადოებული $Q_{x_3}^{VI}$ ძალის განსაზღვრისათვის ვწერთ:

$$W_{x_3}^{VI} = Q_{x_3}^{VI}\delta x_3 = F_{სწ}\delta X_C . \tag{3.84}$$

რადგან $X_c = r\cos\alpha + \Delta_1\cos\gamma_1 + l\cos\beta - \Delta_2\cos\gamma_2 + x_3$, ხოლო γ_1, γ_2 განზოგადოებული კოორდინატები ფიქსირებულია და x_3-ის ცვლილება დამოკიდებული არ არის β კუთხის ცვლილებაზე, ამიტომ

$$\delta X_c = \delta x_3 .$$

მაშინ (3.84) განტოლებიდან

$$W_{x_3}^{VI} = Q_{x_3}^{VI}\delta x_3 = F_{სწ}\delta X_c . \tag{3.85}$$

დამატებითი მოძრაობის მეშვიდე სახე $(K_1P_2K_3)$ ჩაიწერება γ_1, x_2, y_2 და γ_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ, ამიტომ საჭიროა შესაბამისი განზოგადოებული $Q_{\gamma_1}^{VII}, Q_{x_2}^{VII}, Q_{y_2}^{VII}, Q_{\gamma_3}^{VII}$ ძალების განსაზღვრა. აქედან პირველი და მეოთხე იანგარიშება უკვე $Q_{\gamma_1}^{V}$ და $Q_{\gamma_3}^{V}$ ძალების მსგავსად. გვექნება:

$$Q_{\gamma_1}^{VII} = -\Delta_1\Big[F_1^n\big(K_{ხახ1}sign\dot\gamma_1 + K_{ხახ2}\dot\gamma_1 + K_{ხახ3}\dot\gamma_1^2\big) +$$

$$+\left(\frac{3}{2}G_2 + G_3 + F_{სწ}tg\beta_0 + F_{სწ}\frac{y_1 - y_2 - e}{l\cos^3\beta_0}\right)\cos\gamma_1 + F_{სწ}\sin\gamma_1\Big] . \tag{3.86}$$

$$Q_{\gamma_3}^{VII} = \left(a^2 + b^2\right)^{1/2}\left[\left(\frac{1}{2}G_2 + G_3 - F_{სწ}tg\beta_0 - F_{სწ}\frac{y_1 - y_2 - e}{l\cos^3\beta_0}\right)\cos\gamma_3 -\right.$$

$$\left.- F_{სწ}\sin\gamma_3\right] + F_3^n\big(K_{ხახ1}sign\dot\gamma_3 + K_{ხახ2}\dot\gamma_3 + K_{ხახ3}\dot\gamma_3^2\big). \tag{3.87}$$

განზოგადოებული $Q_{y_3}^{VII}$ ძალის დადგენისათვის γ_1, γ_3, x_2 განზოგადოებულ კოორდინატებს ვთვლით ფიქსირებულად და

ვიხილავთ აქტიური ძალების მუშაობას δy_2 ვირტუალური გადაადგილების მიმართ. ვწერთ:

$$W_{y_2}^{VII} = Q_{y_2}^{VII}\delta y_2 = -G_2\delta Y_k + F_{სწ}\delta X_B \,. \qquad (3.88)$$

$$\delta Y_k = \frac{1}{2}\cos\beta\delta\beta + \delta y_2 \,. \qquad (3.89)$$

ნახაზის მიხედვით შედგენილი იგივეობა $r\sin\alpha + y_1 = l\sin\beta + y_2 + e$ გარდაქმნების შედეგად გვაძლევს

$$\delta\beta = -\frac{\delta y_2}{l\cos\beta} \,. \qquad (3.90)$$

მაშინ (3.89) მიიღებს სახეს:

$$\delta Y_k = \frac{1}{2}\delta y_2 \,. \qquad (3.91)$$

(3.90) ტოლობის ძალით

$$\delta X_B = tg\beta\delta y_2 \,. \qquad (3.92)$$

(3.91) და (3.92) ტოლობების შეტანა (3.88)-ში გვაძლევს:

$$Q_{y_2}^{VII} = -\frac{1}{2}G_2 + F_{სწ}tg\beta \,. \qquad (3.93)$$

განზოგადოებული $Q_{x_2}^{VII}$ ძალის განსაზღვრისათვის ვწერთ:

$$W_{x_2}^{VII} = Q_{x_2}^{VII}\delta x_2 = F_{სწ}tg\beta \,, \qquad (3.94)$$

წინა მსჯელობის მსგავსად მივიღებთ:

$$Q_{x_2}^{VII} = -F_{სწ} \,. \qquad (3.95)$$

განზოგადოებული ძალა $Q_{\gamma_1}^{VIII}$ იანგარიშება იგივე მიმდევრობით, როგორც მეხუთე სახის დამატებითი მოძრაობისას. ე.ი.

$$Q_{\gamma_1}^{VIII} = -\Delta_1\Big[F_1^n\left(K_{ხახ1}sign\dot\gamma_1 + K_{ხახ2}\dot\gamma_1 + K_{ხახ3}\dot\gamma_1^2\right) + G_3\cos\gamma_1 +$$

$$+\frac{3}{2}G_2\cos\gamma_1 + F_{სწ}\left(\cos\gamma_1 tg\beta + \sin\gamma_1\right)\Big] \,. \qquad (3.96)$$

ასევე მივიღებთ:

$$\left.\begin{aligned} Q_{x_2}^{VIII} &= F_{\text{სწ}}; \quad Q_{y_2}^{VIII} = -\frac{1}{2}G_2 - F_{\text{სწ}} tg\beta; \\ Q_{x_3}^{VIII} &= -F_{\text{სწ}}; \quad Q_{y_3}^{VIII} = \frac{1}{2}G_2 + G_3 + F_{\text{სწ}} tg\beta. \end{aligned}\right\} \tag{3.97}$$

მეოთხე სახის დამატებითი მოძრაობა $(P_1K_2K_3)$ ხასიათდება თავისუფალი მოძრაობით 1-2 კინემატიკურ წყვილში და კონტაქტურით 2-3 და 3-0 წყვილში. $Q_{\gamma_2}^{IV}$ და $Q_{\gamma_3}^{IV}$ განზოგადოებული ძალები იანგარიშება ისე, როგორც მეხუთე სახის მოძრაობისას:

$$Q_{\gamma_2}^{IV} = \Delta_2 \left[\cos\gamma_3 \left(\frac{1}{2}G_2 + G_3 + F_{\text{სწ}} tg\beta_0 - F_{\text{სწ}} \frac{y_1 - y_2 - e}{l\cos^3\beta_0} \right) - \right.$$

$$\left. - F_3^n \left(K_{\text{ხახ1}} sign\dot{\gamma}_2 + K_{\text{ხახ2}}\dot{\gamma}_2 + K_{\text{ხახ3}}\dot{\gamma}_2^2 \right) \right]. \tag{3.98}$$

$$Q_{\gamma_3}^{IV} = -F_3^n \left(K_{\text{ხახ1}} sign\dot{\gamma}_3 + K_{\text{ხახ2}}\dot{\gamma}_3 + K_{\text{ხახ3}}\dot{\gamma}_3^2 \right) + \left(a^2 + b^2\right)^{1/2} \times$$

$$\times \left[\left(\frac{1}{2}G_2 + G_3 - F_{\text{სწ}} tg\beta_0 + F_{\text{სწ}} \frac{y_1 - y_2 - e}{l\cos^3\beta_0} \right) \cos\gamma_3 - F_{\text{სწ}} \sin\gamma_3 \right]. \tag{3.99}$$

განზოგადოებული $Q_{y_1}^{IV}$ ძალის პოვნის მიზნით ვთვლით ფიქსირებულად x_1, γ_2 და γ_3 განზოგადოებულ კოორდინატებს და განვიხილავთ აქტიური ძალების მუშაობას δy_1 ვირტუალურ გადაადგილებაზე. გვექნება:

$$W_{y_1}^{IV} = Q_{y_1}^{IV} \delta y_1 = -G_2 \delta Y_k + F_{\text{სწ}} \delta X_B.$$

ნახაზიდან ვწერთ:

$$\delta Y_k = \delta y_1 - \frac{l}{2}\cos\beta\delta\beta. \tag{3.100}$$

იმავე ნახაზიდან სამართლიანია იგივეობა

$$r\sin\alpha + y_1 = l\sin\beta + y_2 + e.$$

რადგან δy_2 გადაადგილების დროს γ_2 ფიქსირებული სიდიდეა, ამიტომ

$$\delta y_1 = l\cos\beta\delta\beta.$$

აქედან

$$\delta\beta = \frac{1}{l\cos\beta}\delta y\,, \tag{3.101}$$

მაშინ (3.100) ტოლობა (3.101) გამოსახულების ძალით ჩაიწერება ასე:

$$\delta Y_k = \frac{1}{2}\delta y_1\,. \tag{3.102}$$

რადგან x_1 ფიქსირებული სიდიდეა, ამიტომ

$$\delta X_B = -tg\beta\delta y_1\,. \tag{3.103}$$

(3.101) და (3.103) ტოლობების შეტანა მუშაობის ფორმულაში გავაძლევს:

$$Q_{y_1}^{IV} = -\frac{1}{2}G_2 - F_{\text{სწ}}tg\beta. \tag{3.104}$$

განზოგადოებული x_1 კოორდინატის მიმართ გვექნება:

$$Q_{x_1}^{IV} = F_{\text{სწ}}\,. \tag{3.105}$$

მესამე სახის დამატებითი მოძრაობა (P_1, K_2, P_3) აღიწერება განზოგადოებული $x_1 y_1, \gamma_2, x_3$ და y_3 კოორდინატების მიმართ. მივიღებთ:

$$\left.\begin{aligned} &Q_{x_1}^{III} = F_{\text{სწ}}; \quad Q_{y_1}^{III} = -\frac{1}{2}G_2 - F_{\text{სწ}}tg\beta; \\ &Q_{x_3}^{III} = -F_{\text{სწ}}; \quad Q_{y_3}^{III} = \frac{1}{2}G_2 + G_3 + F_{\text{სწ}}tg\beta. \end{aligned}\right\} \tag{3.106}$$

$$Q_{\gamma_2}^{III} = \Delta_2\left[\cos\gamma_2\left(\frac{1}{2}G_2 + G_3 + F_{\text{სწ}}tg\beta_0 + F_{\text{სწ}}\frac{y_1 - y_2 - e}{l\cos^3\beta_0}\right) - \right.$$

$$\left. - F_2^n\left(K_{\text{ხახ}}\sin\dot{\gamma}_2 + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_2 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_2^{\,2}\right)\right]. \tag{3.107}$$

მეორე სახის დამატებითი მოძრაობა $(P_1 P_2 K_3)$ აღიწერება ერთდროულად $x_1 y_1, x_2, y_2$ და γ_3 განზოგადოებული კოორდინატების მიმართ. მიღებულია შესაბამისი განზოგადოებული ძალების ასეთი მნიშვნელობანი:

$$\left.\begin{array}{l}
Q''_{x_1} = F_{\text{სწ}}; \quad Q''_{y_1} = -\frac{1}{2}G_2 + F_{\text{სწ}} tg\beta; \quad Q''_{x_2} = F_{\text{სწ}}; \\
Q''_{y_2} = -\frac{1}{2}G_2 - F_{\text{სწ}} tg\beta; \\
Q''_{\gamma_3} = \left(a^2 + b^2\right)^{1/2}\left[\left(\frac{1}{2}G_2 + G_3 - F_{\text{სწ}} tg\beta_0 - F_{\text{სწ}} \sin\gamma_3 - F_{\text{სწ}} \frac{y_1 + y_2 - e}{l\cos^3\beta_0}\right] - \\
- F_3^n\left(K_{\text{ხახ}} \sin\dot{\gamma}_2 + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_2 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_2^{\,2}\right)\Delta_3.
\end{array}\right\}$$

(3.108)

პირველი სახის დამატებითი მოძრაობა $(P_1P_2P_3)$ აღიწერება ექვსი ხაზოვანი განზოგადოებული x_1, y_1, x_2, y_2, x_3 და y_3 კოორდინატების მიმართ. შესაბამისი განზოგადოებული ძალები ჩაიწერება ამ სახით.

$$\left.\begin{array}{l}
Q^I_{x_1} = F_{\text{სწ}}; \quad Q^I_{y_1} = -\frac{1}{2}G_2 + F_{\text{სწ}} tg\beta; \quad Q^I_{x_2} = -F; \\
Q^I_{y_2} = -\frac{1}{2}G_2 - F_{\text{სწ}} tg\beta; \quad Q^I_{x_3} = F; \quad Q^I_{y_3} = \frac{1}{2}G_2 + G_3 - F_{\text{სწ}} tg\beta.
\end{array}\right\} \qquad (3.109)$$

3.3. შემსრულებელი მექანიზმის ღრეჩოებიან სახსრულ შეერთებებში რეაქციისა და ხახუნის ძალების ანალიზური გამოკვლევა

რეაქციისა და ხახუნის ძალების გამოკვლევისათვის ვსარგებლობთ რა მექანიზმის დინამიკური მოდელით (ნახ. 3.8). რეაქციისა და ხახუნის ძალების განსაზღვრას ვიწყებთ 1-2 ღრეჩოებიანი შეერთებიდან. ამ შეერთებაში მოქმედი რეაქციის ძალის ნორმალური F_1^n მდგენელის განსაზღვრისათვის ვსარგებლობთ დალამბერის პრინციპით და ვწერთ მოქმედი ძალების მომენტების განტოლებას კონტაქტის B წერტილის

მიმართ. ძალების მომენტების დადებით მიმართულებად შერჩეულია ბარბაცას β მობრუნების კუთხის ზრდის მიმართულება.

$$-F_1^n l\sin\varphi_1 + F_{\text{ხახ}}^{1\text{-}2} l\sin\Psi_1 + M_{\text{ი}} + P_{\text{ი}x}\frac{l}{2}\sin\beta + P_{\text{ი}y}\frac{l}{2}\cos\beta - \\ -G_2\frac{l}{2}\cos\beta = 0, \tag{3.110}$$

სადაც $M_{\text{ი}}$ არის ინერციის ძალის მომენტი B წერტილის მიმართ;

$P_{\text{ი}x}$ და $P_{\text{ი}y}$- ბარბაცას ინერციის ძალის გეგმილები OX და OY ღერძებზე.

იმის გათვალისწინებით, რომ

$$F_{\text{ხახ}}^{1\text{-}2} = -F_1^n(K_{\text{ხახ1}} sign\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ2}}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ3}}\dot{\gamma}_1^{\,2}).$$
$$M_{\text{ი}} = -\frac{m_2}{12}l^2\ddot{\beta}.$$
$$p_{\text{ი}x} = -m_2\ddot{X}_k;$$
$$P_{\text{ი}y} = -m_2\ddot{Y}_k;$$
$$\Psi_1 = 90^0 - \varphi_1,$$

(3.110) ფორმულიდან მივიღებთ:

$$F_1^n = -\frac{m_2}{2}\cdot\frac{\frac{l}{6}\ddot{\beta} + \ddot{X}_k\sin\beta + \ddot{Y}_k\cos\beta + g\cos\beta}{\sin\varphi_1 + \left(K_{\text{ხახ1}} sign\gamma_1 + K_{\text{ხახ2}}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ3}}\dot{\gamma}_3^2\right)\cos\varphi_1}. \tag{3.111}$$

კუთხური $\ddot{\beta}$ აჩქარების განსაზღვრისათვის ნახაზიდან ვწერთ იგივეობას:

$$r\sin\alpha + y_1 = l\sin\beta + y_2 + e. \tag{3.112}$$

თუ ამ ტოლობაში შევითანთ $e = a + \Delta_3 - y_3$ მნიშვნელობას, მაშინ მიღებული გამოსახულების ორჯერადი დიფერენცირების შედეგად მივიღებთ:

$$\ddot{\beta} = \frac{1}{l\cos\beta}\left(\ddot{Y}_1 - \ddot{Y}_2 + \ddot{Y}_3 - r\omega^2 \sin\alpha + l_{\dot{\beta}^2} \sin\beta\right) \qquad (3.113)$$

ზარზაცას მასების ცენტრის აჩქარების $\ddot{X}_k$ გეგმილის პოვნისათვის ვწერთ:

$$X_k = r\cos\alpha + x_1 + \frac{1}{2}\cos\beta \,.$$

ამ ტოლობის ორჯერადი დიფერენცირება გვაძლევს:

$$\ddot{X}_k = -r\omega^2 \cos\alpha + \ddot{x}_1 - \frac{1}{2}\left(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 - r\omega^2 \sin\alpha + l\dot{\beta}^2 \sin\beta\right)tg\beta -$$

$$-\frac{1}{2}l\dot{\beta}^2 \cos\beta. \qquad (3.114)$$

ამავე აჩქარების $\ddot{Y}_k$ გეგმილის პოვნისათვის ვწერთ:

$$Y_k = \frac{1}{2}l\sin\beta + y_2 + e. \qquad (3.115)$$

ამ ტოლობაში e-ს მნიშვნელობის შეტანით და შემდეგ ორჯერადი დიფერენცირების შედეგად მივიღებთ:

$$\ddot{Y}_k = \frac{1}{2}\left(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 - \ddot{y}_3 - r\omega^2 \sin\alpha\right). \qquad (3.116)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ (3.113), (3.114) და (3.116) გამოსახულებებს და ტოლობას $\varphi_1 = \gamma_1 + \beta,$ მივიღებთ F_1^n ნორმალური მდგენელის მნიშვნელობას

$$F_1^n = -m_2\left\{\frac{1}{6\cos\beta}\left(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 - r\omega^2 \sin\alpha + l\dot{\beta}^2 \sin\beta\right) + \right.$$

$$+\sin\beta\left[\ddot{x}_1 - r\omega^2 \cos\alpha - \frac{1}{2}tg\beta\left(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 - r\omega^2 \sin\alpha + l\dot{\beta}^2 \sin\beta\right) - \right.$$

$$\left.\left. -\frac{l}{2}\dot{\beta}^2 \cos\beta\right] + \frac{1}{2}\cos\beta\left(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 - r\omega^2 \sin\alpha + 2g\right)\right\}\left[\sin 2\left(\gamma_1 + \beta\right) + \right.$$

$$\left. + 2\cos\left(\gamma_1 + \beta\right)\left(K_{\text{ხახ}1} sign\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_1^2\right)\right]^{-1}. \qquad (3.117)$$

თუ გავითვალისწინებთ (3.35) ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას

მივიღებთ ხახუნის ძალის ასეთ მნიშვნელობას

$$F_{\text{ხახ}}^{1\text{-}2} = m_2\left(K_{\text{ხახ}1} sign\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_1^{\,2}\right)\left\{\frac{1}{6\cos\beta}\left(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 - r\omega^2\sin\alpha + l\dot{\beta}^2\sin\beta\right) + \right.$$

$$+\sin\beta\left[\ddot{x}_1 - r\omega^2\cos\alpha - \frac{1}{2}tg\beta\left(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 - r\omega^2\sin\alpha + l\dot{\beta}^2\sin\beta\right) - \frac{1}{2}l\dot{\beta}^2\cos\beta\right] +$$

$$\left. + \frac{1}{2}\cos\beta\left(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 - \ddot{y}_3 - r\omega^2\sin\alpha + 2g\right)\right\}\left[\sin 2(\gamma_1 + \beta) + 2\cos(\gamma_1 + \beta)\left(K_{\text{ხახ}1} sign\dot{\gamma}_1 + \right.\right.$$

$$\left.\left. + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_1^{\,2}\right)\right]^{-1}. \qquad (3.118)$$

ბარბაცას მობრუნების კუთხური $\dot{\beta}$ სიჩქარე განისაზღვრება ტოლობით:

$$\dot{\beta} = \frac{1}{\cos\beta}\left(\dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3 - r\omega\cos\alpha\right). \qquad (3.119)$$

რეაქციის F_2^n ნორმალური მდგენელის განსაზღვრისათვის 2-3 შეერთებაში ვწერთ მომენტების განტოლებას ბარბაცას მასების K ცენტრის მიმართ:

$$-F_1^n\frac{l}{2}\sin\varphi_1 + F_{\text{ხახ}}^{1\text{-}2}\frac{l}{2}\sin\psi_1 + M_{\text{ი}} + F_2^n\frac{l}{2}\sin\left(90^0 - \psi_2\right) + F_{\text{ხახ}}^{2\text{-}3}\frac{l}{2}\sin\psi_2 = 0. \qquad (3.120)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\varphi_1 = \gamma_1 + \beta$ და $\varphi_2 = \gamma_2 + \beta$, მაშინ (3.120) ჩაიწერება ასე:

$$F_1^n\left[\sin(\gamma_1 + \beta) - \cos(\gamma_1 + \beta)\left(K_{\text{ხახ}1} sign\gamma_1 + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_3^2\right)\right] +$$

$$+ F_2^n\left[\sin(\gamma_2 + \beta) - \cos(\gamma_2 + \beta)\left(K_{\text{ხახ}1} sign\gamma_2 + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_2 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_2^2\right)\right] -$$

$$-\frac{1}{6}m_2 l^2\ddot{\beta} = 0. \qquad (3.121)$$

საბოლოოდ თუ (3.121) ფორმულაში შევიტანთ $\ddot{\beta}$-ის მნიშვნელობას, მივიღებთ რეაქციის F_2^n ნორმალური მდგენელის მნიშვნელობას:

$$F_2^n = -\Big\{F_1^n\big[\sin(\gamma_1+\beta) - \cos(\gamma_1+\beta)\big(K_{\text{ხახ}1} sign\gamma_1 + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_3^2\big)\big] -$$

$$-\frac{m_2 l}{6\cos\beta}\left(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 - r\omega^2\sin\alpha + l\dot{\beta}^2\sin\beta\right)\Big\}\big[\sin(\gamma_2+\beta) -$$

$$-\cos(\gamma_2+\beta)\big(K_{\text{ხახ}1} sign\gamma_2 + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_2 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_2^2\big)\big]^{-1}. \qquad (3.122)$$

ხახუნის $F_{\text{ხახ}}^{2\text{-}3}$ ძალა ამავე სახსრულ შეერთებაში

$$F_{\text{ხახ}}^{2\text{-}3} = -F_2^n\left(K_{\text{ხახ}1} sign\dot{\gamma}_2 + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_2 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_2^2\right), \qquad (3.123)$$

3-0 კინემატიკურ წყვილში რეაქციის F_3^n ნორმალური მდგენელის განსაზღვრისათვის ვსარგებლობთ დალამბერის პრინციპით და ვწერთ მომენტების განტოლებას Q წერტილის მიმართ.

$$F_3^n(2b\cos\delta) + G_3(b\cos\delta + a\sin\delta) + F_{\text{ხახ}}^{3-0}(2b\sin\delta) -$$

$$-F_{\text{სწ}}(a + \Delta - 2b\sin\delta) + M_{\text{ი}} + P_{\text{ი}x}(b\sin\delta) + P_{\text{ი}y}(b\cos\delta) = 0, \qquad (3.124)$$

სადაც $M_{\text{ი}}$ არის დგუშის ინერციის ძალის მომენტი Q წერტილის მიმართ;

$P_{\text{ი}x}$, $P_{\text{ი}y}$ – დგუშის მასების ცენტრში მოდებული ინერციის ძალის გეგმილები შესაბამისად OX და OY საკოორდინატო ღერძებზე.

თავის მხრივ

$$\left.\begin{aligned} M_{\text{ი}} &= -\frac{m_3(2b)^2}{12}\ddot{\gamma}_3; \\ P_{\text{ი}x} &= -m_3\ddot{X}_{02}; \\ P_{\text{ი}y} &= -m_3\ddot{Y}_{02}. \end{aligned}\right\} \qquad (3.125)$$

(ნახ.3.1)-ის მიხედვით

$$X_{02} = r\cos\alpha + x_1 + l\cos\beta - x_2.$$

ამ ტოლობის ორჯერადი დიფერენცირება გვაძლევს:

$$\ddot{X}_{02} = -r\omega^2\cos\alpha + \ddot{x}_1 - l\left(\ddot{\beta}\sin\beta + \dot{\beta}^2\cos\beta\right) - \ddot{x}_2. \qquad (3.126)$$

(3.113) ფორმულის ძალით (3.128) მიიღებს სახეს:

$$\ddot{X}_{02} = -r\omega^2 \cos\alpha + \ddot{x}_1 - tg\beta\left(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 - r\omega^2 \sin\alpha + l\dot{\beta}^2 \sin\beta\right) +$$
$$+ l\dot{\beta}^2 \cos\beta - \ddot{x}_2. \qquad (3.127)$$

ნახაზიდან (ნახ.3.1) ვწერთ:

$$Y_{02} = a + \Delta_3 - y_3 = e;$$

ე.ი.

$$\ddot{Y}_{02} = -\ddot{y}_3. \qquad (3.128)$$

(3.125), (3.127) და (3.128) ფორმულების შეტანა (3.124) ტოლობაში გვაძლევს

$$F_3^n = \left\{ m_3 b \sin\delta \left[\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2 - r\omega^2 \cos\alpha - tg\beta\left(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 - r\omega^2 \sin\alpha + \right.\right.\right.$$
$$\left.\left. + l\dot{\beta}^2 \sin\beta\right) + l\dot{\beta}^2 \cos\beta \right] + \frac{m_3}{3} b^2 \ddot{\gamma}_3 - m_3 b \cos\delta \dot{\gamma}_3^2 +$$
$$+ \left(a + \Delta_3 - 2b\sin\delta\right) F_{სწ} \Big\} \Big\{ 2b\left[\cos\delta - \sin\delta\left(K_{ხახ1} sign\dot{\gamma}_3 + \right.\right.$$
$$\left.\left. + K_{ხახ2}\dot{\gamma}_3 + K_{ხახ3}\dot{\gamma}_3^2 \right)\right]\Big\}^{-1}. \qquad (3.129)$$

(3.123) ფორმულის მიხედვით ხახუნის ძალა 3-0 წინსვლით კინემატიკურ წყვილში შეიძლება მოცემული იქნას ასეთი ტოლობით:

$$F_{ხახ}^{3-0} = -\left(K_{ხახ1} sign\dot{\gamma}_3 + K_{ხახ2}\dot{\gamma}_3 + K_{ხახ3}\dot{\gamma}_3^2\right)\Big\{ m_3 b \sin\delta \left[\ddot{x}_1 - r\omega^2 \sin\alpha - \right.$$
$$\left. - tg\beta\left(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 - r\omega^2 \sin\alpha + l\dot{\beta}^2 \sin\beta\right) + l\dot{\beta}^2 \sin\beta - \ddot{x}_2 \right] +$$
$$+ \frac{m_3}{3} b^2 \ddot{\gamma}_3 - m_3 b \cos\delta \ddot{y}_3 + F_{სწ}\left(a + \Delta_3 - 2b\sin\delta\right) \Big\} \Big\{ 2b\left[\cos\delta - \right.$$
$$\left. - \sin\delta\left(K_{ხახ1} sign\gamma_3 + K_{ხახ2}\dot{\gamma}_3 + K_{ხახ3}\dot{\gamma}_3^2\right)\right]\Big\}^{-1}. \qquad (3.130)$$

ამგვარად, გამოკვლეულია ყველა შეერთებაში მოქმედი რეაქციისა და ხახუნის ძალები მექანიზმის ყველა კინემატიკურ და დინამიკურ პარამეტრებთან, ასევე განზოგადოებულ კოორდინატებთან ფუნქციონალურ დამოკიდებულებაში.

3.4. შემსრულებელი ღრეჩოებიანი მექანიზმის დინამიკური და კინემატიკური სიზუსტის ანალიზური გამოკვლევა

სიზუსტის ანლიზური გამოკვლევა გულისხმობს დაგენილ იქნას ყველა დინამიკური და კინემატიკური პარამეტრების მნიშვნელობანი რეალური (ღრეჩოებიანი) და იდეალური (ღრეჩოების გარეშე) მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმისთვის, ხოლო შემდეგ ვიპოვოთ ერთსახელა პარამეტრების სიდიდეთა სხვაობა. ამ მიზნით შეიძლება გამოვიყენოთ მოცემული OAB მრუდმხარა-ცოცია მექანიზის დინამიკური მოდელის სქემა (ნახ.3.2). თუ წარმოვიდგენთ, რომ 1-2, 2-3 და 3-0 სახსრულ შეერთებებში ღრეჩოთა სიდიდეები ნულის ტოლია, ე.ი. $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta_3 = 0$, მაშინ A წერტილი გადაადგილდება O_1-ში, B წერტილი O_3-ში, O_2 დაემთხვევა O_3-ს, ხოლო აქსიალი გაუტოლდება ნულს, $e = 0$. მივიღებთ OAB ღრეჩოებიანი მექანიზმის შესაბამის იდეალურ Oo_1o_3 მექანიზმს.

დალამბერის პრინციპიდან გამომდინარე AB რგოლის წონასწორობისათვის აუცილებელია მასზედ მოქმედი ძალების მომენტების ჯამი უდრიდეს ნულს. თუ გავითვალისწინებთ, რომ $Ba = l\sin\varphi_1, Bc = l\sin\psi_1,$ და $Bb = \frac{l}{2}\cos\beta,$ მაშინ OAB რეალური მექანიზმის 1-2 სახსრულ შეერთებაში რეაქციის F_1^n ნორმალური მდგენელის პოვნისთვის მომენტების განტოლებას AB რგოლის B წერტილის მიმართ ექნება ასეთი სახე:

$$-F_1^n l\sin\varphi_1 + F_{\text{ხახ}}^{1\text{-}2} l\sin\psi_1 + M_{\text{ი}} + P_{\text{ი}x}\frac{l}{2}\sin\beta + P_{\text{ი}y}\frac{l}{2}\cos\beta - G_2\frac{l}{2}\cos\beta = 0, \qquad (3.131)$$

$F_{\text{ხახ}}^{1\text{-}2}$ ხახუნის ძალა ანუ რეაქციის ძალის ტანგენციალური მდგენელი A წერტილში,

$$F_{\text{ხახ}}^{1\text{-}2} = -F_1^n\left(K_{\text{ხახ}1}\, sign\,\gamma_1 + K_{\text{ხახ}2}\,\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ}3}\,\dot{\gamma}_1^2\right), \qquad (3.132)$$

თავის მხრივ

$$\left.\begin{aligned} M_{\text{ი}} &= -\frac{m_2}{12}l^2\ddot{\beta}, \\ P_{\text{ი}x} &= -m_2\ddot{X}_k; \\ P_{\text{ი}y} &= -m_2\ddot{Y}_k, \end{aligned}\right\} \qquad (3.133)$$

(3.132)-(3.133) ტოლობების შეტანით (3.131) ტოლობაში მივიღებთ:

$$F_1^n = -\frac{m_2}{2}\left(\frac{l}{6}\ddot{\beta} + \ddot{X}_k\sin\beta + \ddot{Y}_k\cos\beta + g\cos\beta\right)\Big[\sin\varphi_1 +$$

$$+\left(K_{\text{ხახ}1} sign\gamma_1 + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_1^2\right)\cos\varphi_1\Big]^{-1}. \qquad (3.134)$$

ბარბაცას მობრუნების კუთხური აჩქარების პოვნისათვის ნახაზიდან ვწერთ:

$$r\sin\alpha + y_1 = l\sin\beta + y_2 + a + \Delta_3 - y_3 .$$

ბოლო ტოლობის ორჯერადი დიფერენცირებით მივიღებთ:

$$\ddot{\beta} = \frac{1}{l\cos\beta}\left(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 - r\omega^2\sin\alpha + l\dot{\beta}^2\sin\beta\right). \qquad (3.135)$$

სადაც $\dot{\beta}$ წარმოადგენს ბარბაცას მობრუნების კუთხურ სიჩქარეს და ტოლია:

$$\dot{\beta} = \frac{1}{l\cos\beta}\left(\dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3 - r\omega\cos\alpha\right). \qquad (3.136)$$

ნახაზიდან

$$X_k = r\cos\alpha + x_1 + \frac{l}{2}\cos\beta;$$

$$Y_k = \frac{l}{2}\sin\beta + y_2 + a + \Delta_3 - y_3.$$

ამ ტოლობიდან მივიღებთ:

$$\ddot{X}_k = -r\omega^2\cos\alpha + \ddot{x}_1 - \frac{1}{2}\left(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 - \ddot{y}_3 - r\omega^2\sin\alpha + l\dot{\beta}^2\sin\beta\right)tg\beta -$$

$$-\frac{l}{2}\dot{\beta}^2\cos\beta; \tag{3.137}$$

$$\ddot{Y}_k = \frac{1}{2}\left(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 - \ddot{y}_3 - r\omega^2\sin\alpha\right). \tag{3.138}$$

თუ (3.136), (3.137) და (3.138) ტოლობებს შევიტანთ (3.134) ფორმულაში და გავითვალისწინებთ, რომ $\varphi_1 = \gamma_1 + \beta$, გარდაქმნის შემდეგ მივიღებთ:

$$F_1^n = -m_2\left\{\frac{1}{6\cos\beta}\left(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 - \ddot{y}_3 - r\omega^2\sin\alpha + l\dot{\beta}^2\sin\beta\right) + \right.$$

$$+\sin\beta\left[\ddot{x}_1 - r\omega^2\cos\alpha - \frac{1}{2}tg\beta\left(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 - \ddot{y}_3 - r\omega^2\sin\alpha + l\dot{\beta}^2\sin\beta\right) - \right.$$

$$\left.\left. - \frac{l}{2}\dot{\beta}^2\cos\beta\right] + \frac{1}{2}\cos\beta\left(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 - \ddot{y}_3 - r\omega^2\sin\alpha + 2g\right)\right\}\left[\sin 2\left(\gamma_1 + \beta\right) + \right.$$

$$\left. + 2\cos\left(\gamma_1 + \beta\right)\left(K_{\text{ხახ1}} sign\gamma_1 + K_{\text{ხახ2}}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ3}}\dot{\gamma}_1^2\right)\right]^{-1}. \tag{3.139}$$

1-2 სახსრულ შეერთებაში ნორმალური რეაქციის ძალის მდგენელის სიზუსტის ანუ ცდომილების განსაზღვრისათვის აუცილებელია ვიპოვოთ ამ მდგენელის შესაბამისი ნორმალური რეაქციის ძალის მდგენელი იდეალური მექანიზმისათვის. მაშინ დალამბერის პრინციპის მიხედვით B_0 წერტილის მიმართ გვექნება:

$$F_{1(0)}^t l + M_{\text{ი}} + P_{\text{ი}x}\frac{l}{2}\sin\beta + P_{\text{ი}y}\frac{l}{2}\cos\beta_0 - G_2\frac{l}{2}\cos\beta_0 = 0. \tag{3.140}$$

თავის მხრივ

$$M_{\text{o}} = -\frac{m_2}{12} l^2 \ddot{\beta}_0;$$
$$P_{\text{o}x} = -m_2 \ddot{X}_{k(0)};$$
$$P_{\text{o}y} = -m_2 \ddot{Y}_{k(0)},$$

სადაც $\ddot{\beta}_0$ არის იდეალური Oo_1B_0 მექანიზმის ბარბაცას მობრუნების კუთხური აჩქარება;

$\ddot{X}_{k(0),}\ddot{Y}_{k(0)}$ – შესაბამისად იდეალური მექანიზმის ბარბაცას მასების ცენტრის აჩქარების გეგმილები OX და OY საკოორდინატო ღერძებზე.

ბოლო სამი ტოლობის შეტანით (3.140) გამოსახულებაში მივიღებთ;

$$F_{1(0)}^{t} = \frac{m_2}{2}\left(\frac{l}{6}\ddot{\beta}_0 + X_{k(0)} \sin\beta_0 + \ddot{Y}_{k(0)} \cos\beta_0 + g\cos\beta_0\right). \qquad (3.141)$$

თუ მექანიზმის რგოლებზე მოქმედი ძალების გეგმილების ალგებრულ ჯამს OX და OY ღერძების მიმართ გავუტოლებთ ნულს, შესაძლებელია მივიღოთ:

$$F_{1(0)}^{n} = \frac{1}{\cos\beta_0}\left[\frac{m_2}{2}\left(\frac{l}{2}\ddot{\beta}_0 + \ddot{X}_{k(0)} \sin\beta_0 + \ddot{Y}_{k(0)} \cos\beta_0 + g\cos\beta_0\right) - \right.$$
$$\left. - m_2 \ddot{X}_{k(0)} - m_3 \ddot{X}_{02} + F_{\Pi C}\right], \qquad (3.142)$$

რეაქციის ნორმალური მდგენელის სიზუსტე ანუ ცდომილება ტოლია:

$$\Delta F_1^n = F_1^n - F_{1(0)}^n,$$

ანუ

$$\Delta F_1^n = -\frac{1}{\cos\beta_0}\left[\frac{m_2}{2}\left(\frac{l}{6}\ddot{\beta}_0 + \ddot{X}_{k(0)} \sin\beta_0 + \ddot{Y}_{k(0)} \cos\beta_0 + g\cos\beta_0\right) - \right.$$
$$\left. - m_2 \ddot{X}_{k(0)} - m_3 \ddot{X}_{02} + F_{\text{სწ}}\right] - m_2\left\{\frac{1}{6\cos\beta}\left(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 - r\omega^2 \sin\alpha + \right.\right.$$

$$+l\dot{\beta}^2 \sin\beta\Big)+\sin\beta\Big[\ddot{x}_1 - r\omega^2\cos\alpha - \frac{1}{2}tg\beta\big(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 -$$

$$-r\omega^2\sin\alpha + l\dot{\beta}^2\sin\beta\big) - \frac{l}{2}\dot{\beta}^2\cos\beta\Big] + \frac{1}{2}\cos\beta\big(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 - r\omega^2\sin\alpha +$$

$$+2g\big)\}\big[\sin 2(\gamma_1+\beta)2\cos(\gamma_1+\beta)\big(K_{\text{ხახ}1} sign\gamma_1 + K_{\text{ხახ}2}\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ}3}\dot{\gamma}_1^2\big)\big]^{-1}. \qquad (3.143)$$

ტოლობის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ რეაქციის ძალის ნორმალური მდგენელის ცდომილება ფუნქციონალურ დამოკიდებულებაშია მექანიზმის დინამიკურ და კინემატიკურ პარამეტრებთან.

$$\Delta F_1^n = \Delta F_1^n\big(m_2, l, z, \alpha, \beta, \beta_0, \dot{\beta}, \dot{\beta}_0, \ddot{\beta}, \ddot{\beta}_0, \ddot{x}_i, \ddot{y}_i, \ddot{\gamma}_1, \dot{\gamma}_1, \gamma_1, \Delta_1\big).$$

შეიძლება დაიწეროს:

$$\Delta F_2^n = F_2^n - F_{2(0)}^n; \qquad (3.144)$$

$$\Delta F_3^n = F_3^n - F_{3(0)}^n. \qquad (3.145)$$

მექანიზმის კინემატიკური პარამეტრების სიზუსტე გულისხმობს დგუშის გადაადგილების, გადაადგილების სიჩქარისა და აჩქარების ცდომილებების დადგენას. ანალოგიური მსჯელობით მიიღება ცდომილებანი:

$$\Delta X_{02} = X_{02} - X_{B0} = x_1 - x_2 + l(\cos\beta - \cos\beta_0). \qquad (3.146)$$

$$\Delta\dot{X}_{02} = \dot{x}_1 - \dot{x}_2 - l\big(\dot{\beta}\sin\beta + \dot{\beta}_0\sin\beta_0\big). \qquad (3.147)$$

$$\Delta\ddot{X}_{02} = \ddot{x}_1 - \ddot{x}_2 l\big(\ddot{\beta}\sin\beta + \ddot{\beta}_0\sin\beta_0 + \dot{\beta}^2\cos\beta + \dot{\beta}_0^{\,2}\cos\beta_0\big). \qquad (3.148)$$

სიზუსტის მიღებულ ფორმულებში

$$\left.\begin{aligned} \dot{\beta}_0 &= \frac{1}{l\cos\beta_0} r\omega\cos\alpha; \\ \ddot{\beta}_0 &= \frac{z\omega}{l^2\cos^2\beta_0}\big(r\omega\cos^2\alpha tg\beta_0 - \omega\sin\alpha\cos\beta_0\big). \end{aligned}\right\} \qquad (3.149)$$

ამგვარად, მიღებულია დიზელის ძრავის მრუდმხარა-ბარბაცა ღრეჩოებიანი მექანიზმის დინამიკური და კინემატიკური სიზუსტის

მახასიათებელი გამოსახულებანი, რომელთა რიცხვითი მნიშვნელობანი ნაპოვნი იქნება მოცემული ღრეჩოებიანი მექანიზმის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნის შედეგად.

მესამე თავის დასკვნები

1. ჩატარებულია შემსრულებელი მექანიზმის კინეტიკური ენერგიის გამოკვლევა. მიღებულია კინეტიკური ენერგიის ანალიზური გამოსახულებანი როგორც ცვლადი ხაზოვანი, ასევე კუთხური განზოგადოებული კოორდინატებისა და ღრეჩოების გათვალისწინებით.

2. გამოკვლეულია შემსრულებელი მექანიზმის დამატებით მოძრაობათა შესაბამისი განზოგადოებული ძალები. მიღებულია რვა სახის დამატებითი მოძრაობის განზოგადოებული ძალების ანალიზური გამოსახულებანი.

3. დამუშავებულია დინამიკური მოდელის მიხედვით ღრეჩოებიან სახსრულ შეერთებებში რეაქციისა და ხახუნის ძალების კვლევის მათემატიკური აპარატი. მიღებულია ამ პარამეტრების მნიშვნელობათა ანალიზური გამოსახულებანი. გადაწყვეტილია ამ პარამეტრების სიზუსტის ამოცანა.

თავი IV. შემსრულებელი ღრეჩოებიანი მრუდმხარა-ზარზაცა მექანიზმის დამატებით მოძრაობათა დიფერენციალური განტოლებების დამუშავება

მოძრაობის დოფერენციალური განტოლებების შედგენა ვაგონმშენებლობის პრობლემური საკითხების კვლევისას ხდება დალამბერის პრინციპის ან ლაგრანჟეს მეორე რიგის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების გამოყენებით. ჩვენს შემთხვევაში ვსარგებლობთ ლაგრანჟეს მეორე რიგის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}\right)-\frac{\partial T}{\partial q_i}=Q_i, \tag{4.1}$$

სადაც T არის მექანიზმის ცვლადი კინეტიკური ენერგია;

q_i – განზოგადოებული კოორდინატა;

Q_i – განზოგადოებული კოორდინატის შესაბამისი განზოგადოებული ძალა.

4.1 თავისუფალი დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები

შემსრულებელი ღრეჩოებიანი მრუდმხარა-ზარზაცა მექანიზმის დამატებითი მოძრაობების ჩატარებული კლასიფიკაციის (ცხრილი 2.1) მიხედვით, დამატებითი მოძრაობის ამ შემთხვევისთვის ($P_1P_2P_3$) განზოგადოებული კოორდინატებია: x_1, y_1, x_2, y_2, x_3 და y_3.

I(1). x_1-ის მიმართ პირველი სახის დამატებითი მოძრაობის

ზოგადი დიფერენციალური განტოლება (4.1)-ის მიხედვით ჩაიწერება ამ სახით.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_1}=Q_{x_1}^I, \tag{4.2}$$

სადაც განზოგადოებული Q_{x1} აიღება (3.109) სისტემიდან.

განზოგადოებული $\dot{x}_1$ კოორდინატის სიჩქარით კინეტიკური ენერგიის კერძო დიფერენციალი გამოისახება ტოლობით:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1}=m_2\left(-r\omega\sin\alpha+\dot{x}_1\right)-\frac{m_2}{2}tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2+\dot{y}_3\right)+$$
$$+m_3\left[-r\omega\sin\alpha+\dot{x}_1-tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2+\dot{y}_3\right)-\dot{x}_2+\dot{x}_3\right]. \tag{4.3}$$

კინეტიკური ენერგიის კერძო დიფერენციალი x_1-ით ნულის ტოლია

მაშინ პირველი სახის დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება x_1 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ, (4.3) ტოლობის გათვალისწინებით, ჩაიწერება ასეთი სახით:

$$\left(m_2+m_3\right)\ddot{x}_1-\left(m_2+m_3\right)tg\beta\ddot{y}_1-m_3\ddot{x}_2+\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\ddot{y}_2+$$
$$+m_3\ddot{x}_3-\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\ddot{y}_3-A_{x_1}^1=0, \tag{4.4}$$

სადაც $A_{x_1}^I$ განისაზღვრება ტოლობით (იხ. დანართი 1).

I(2). პირველი სახის თავისუფალი დამატებითი მოძრაობის განტოლება y_1-ის მიმართ ზოგადი სახით ჩაიწერება ტოლობით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1}\right)-\frac{\partial T}{\partial y_1}=Q_{y_1}^I, \tag{4.5}$$

რომელშიც განზოგადოებული $Q_{y_1}^I$ ძლა აიღება (3.109) სისტემიდან.

კერძო დიფერენციალი $\dot{y}_1$ განზოგადოებული კოორდინატით გამოითვლება ტოლობით:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1}=\frac{m_2}{2}\left\{-tg\beta\left(-r\omega\sin\alpha+\dot{x}_1\right)+\frac{1}{2}\left(tg^2\beta+1\right)\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1\right)-\right.$$

$$\left.-\frac{1}{2}\left(tg^2\beta-1\right)\left(\dot{y}_2-\dot{y}_3\right)+\frac{1}{6\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2+\dot{y}_3\right)\right\}-$$

$$-m_3tg\beta\left[-r\omega\sin\alpha+\dot{x}_1-tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2+\dot{y}_3\right)-\right.$$

$$\left.-\dot{x}_2+\dot{x}_3\right]. \tag{4.6}$$

კინეტიკური ენერგიის კერძო დიფერენციალი y_1 კოორდინატით ნულია.

საბოლოოდ პირველი სახის დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება y_1 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ (4.6) ტოლობის მხედველობაში მიღებით ჩაიწერება ასე:

$$-\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\ddot{x}_1+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta+1\right)+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta\right]\ddot{y}_1+$$

$$+m_3tg\beta\ddot{x}_2+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)-\frac{m_2}{12\cos^2\beta}-m_3tg^2\beta\right]\ddot{y}_2-$$

$$-m_3tg\beta\ddot{x}_3+\left[-\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta\right]\ddot{y}_3-A^I_{y_1}=0, \tag{4.7}$$

რომელშიც $A^I_{y_1}$ განისაზღვრება ფორმულით (იხ. დანართი 1).

I(3). პირველი სახის დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება x_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ზოგადად ასეთია:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_2}=Q^I_{x_2}, \tag{4.8}$$

სადაც განზოგადოებული ძალა $Q^I_{x_2}$ აიღება (3.109.) სისტემიდან.

კერძო დიფერენციალი კინეტიკური ენერგიისა $\dot{x}_2$ კოორდინატით ტოლია:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2} = m_3\left[-r\omega\sin\alpha + \dot{x}_1 - tg\beta\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3\right) - \dot{x}_2 + \dot{x}_3\right]. \qquad (4.9)$$

კინეტიკური ენერგიის კერძო დიფერენციალი x_2 კოორდინატით ნულია.

საბოლოოდ პირველი სახის დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება x_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ (4.9) ტოლობის გათვალისწინებით მიიღებს სახეს

$$-m_3\ddot{x}_1 + m_3 tg\beta\ddot{y}_1 + m_3\ddot{x}_2 - m_3 tg\beta\ddot{y}_2 - m_3\ddot{x}_3 + m_3 tg\beta\ddot{y}_3 - A^I_{x_2} = 0, \qquad (4.10)$$

სადაც $A^I_{x_2}$ განისაზღვრება ტოლობით (დანართი 1).

I(4). პირველი სახის დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება y_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ზოგადი სახით ჩაიწერება ასე

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_2}\right) - \frac{\partial T}{\partial y_2} = Q^I_{y_2}, \qquad (4.11)$$

სადაც $Q^I_{y_2}$ აიღება (3.109) სისტემიდან.

ამ ტოლობებში კინეტიკური ენერგიის კერძო დიფერენციალი $\dot{y}_2$ განზოგადოებული კოორდინატით ტოლია:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_2} = \frac{m_2}{2}\left[tg\beta\left(-r\omega\sin\alpha + \dot{x}_1\right) + \frac{1}{2}\left(tg^2\beta + 1\right)\left(\dot{y}_2 - \dot{y}_3\right) - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2}\left(tg^2\beta - 1\right)\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1\right) - \frac{1}{6\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3\right)\right] +$$

$$+ m_3\left[-r\omega\sin\alpha + \dot{x}_1 - tg\beta\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3\right) - \dot{x}_2 + \dot{x}_3\right]. \qquad (4.12)$$

მაშინ პირველი სახის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება განზოგადოებული y_2 კოორდინატის მიხედვით, (4.11) ტოლობისა და იმის მიხედვით, რომ კინეტიკური ენერგიის კერძო დიფერენციალი y_2-ით ნულის ტოლია, მიიღებს სახეს;

$$\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\ddot{x}_1-\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+tg^2\beta m_3\right]\ddot{y}_1+$$

$$+\left(\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta\right)\ddot{y}_2-m_3tg\beta\ddot{x}_2+m_3tg\beta\ddot{x}_3-$$

$$-\left(\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta\right)\ddot{y}_3-A^I_{y_2}=0, \qquad (4.13)$$

სადაც $A^I_{y_2}$ განისაზღვრება ტოლობით (დანართი 1).

I(5). პირველი სახის დამატებითი თავისუფალი მოძრაობის ზოგადი დიფერენციალური განტოლება x_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ასე ჩაიწერება:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_3}=Q^I_{x_3}, \qquad (4.14)$$

სადაც განზოგადოებული $Q^I_{x_3}$ ძალა x_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ჩაიწერება (3.109.) სისტემიდან.

კინეტიკური ენერგიის კერძო დიფერენციალი $\dot{x}_3$ განზოგადოებული კოორდინატით შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი გამოსახულებით:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3}=m_3\left[-r\omega\sin\alpha+\dot{x}_1-tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2+\dot{y}_3\right)-\right.$$

$$\left.-\dot{x}_2+\dot{x}_3\right]+\frac{m_3b^2}{3y_3^2}\dot{x}_3. \qquad (4.15)$$

მაშინ პირველი სახის დამატებითი თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება x_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ (4.15) ტოლობისა და იმის გათვალისწინებით, რომ კინეტიკური ენერგიის კერძო დიფერენციალი x_3 განზოგადოებული კოორდინატით ნულის ტოლია $\partial T/\partial x_3=0$, მიიღებს სახეს:

$$m_3\ddot{x}_1-m_3tg\beta\ddot{y}_1-m_3\ddot{x}_2+m_3tg\beta\ddot{y}_2+\left(m_3+\frac{m_3b^2}{3}\right)\ddot{x}_3-$$

$$m_3 tg\beta \ddot{y}_3 - A^I_{x_3} = 0, \tag{4.16}$$

სადაც $A^I_{x_3}$ განისაზღვრება ტოლობით (იხ. დანართი 1).

I(6). პირველი სახის დამატებითი თავისუფალი მოძრაობის ზოგადი დიფერენციალური განტოლება y_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ჩაიწერება ტოლობით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_3}\right) - \frac{\partial T}{\partial y_3} = Q^I_{y_3}, \tag{4.17}$$

სადაც განზოგადოებული $Q^I_{y_3}$ ძალა განისაზღვრება (3.109) სისტემიდან.

(4.25) ზოგადი დიფერენციალური განტოლების ფრჩხილების ქვეშ მოთავსებული კინეტიკური ენერგიის კერძო დიფერენციალი $\dot{y}_3$ განზოგადოებული კოორდინატით შეიძლება მოვიყვანოთ ასეთი სახით:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_3} = \frac{m_2}{2}\left\{ tg\beta(r\omega \sin\alpha - \dot{x}_1) - \frac{1}{2}(tg^2\beta + 1)(\dot{y}_2 - \dot{y}_3) + \right.$$
$$+ \frac{1}{2}(tg^2\beta - 1)(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1) + \left.\frac{1}{6\cos^2\beta}(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3)\right\} +$$
$$+ \frac{m_3}{2}\{2[\dot{x}_1 - r\omega\sin\alpha - tg\beta(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3) - \dot{x}_2 + \dot{x}_3](-tg\beta) +$$
$$\left. + 2\dot{y}_3 + \frac{2b^2}{3}\dot{y}_3 \right\}. \tag{4.18}$$

კინეტიკური ენერგიის კერძო დიფერენციალი y_3-ით ნულია.

ამიტომ პირველი სახის დამატებითი თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება y_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ (4.18) ტოლობის გათვალიწინებით მიიღებს სახეს:

$$\left(\frac{m_2}{2} - m_3\right) tg\beta \ddot{x}_1 + \left[\frac{m_2}{4}(tg^2\beta - 1) + \frac{m_2}{12\cos^2\beta}\right]\ddot{y}_1 + m_3 tg\beta \ddot{x}_2 -$$
$$- \frac{m_2}{12\cos^2\beta}\ddot{y}_2 - m_3 tg\beta \ddot{x}_3 + \left(\frac{m_2}{12\cos^2\beta} + m_3 + \frac{m_3 b^2}{3}\right)\ddot{y}_3 - A^I_{y_3} = 0, \tag{4.19}$$

სადაც $A_{y_3}^{I}$ განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით (იხ. დანართი 1).

ამგვარად, მიღებულია პირველი სახის $(P_1P_2P_3)$ თავისუფალი დამატებითი მოძრაობის ამსახავი დიფერენციალური განტოლებები (4.4), (4.7), (4.10), (4.13), (4.16) და (4.19) შესაბამისად x_1, y_1, x_2, y_2 და x_3, y_3 მოძრაობის განზოგადოებული ხაზოვანი კოორდინატების მიმართ.

4.2. წყვეტილ-კონტაქტური დამატებითი მოძრაობების დიფერენციალური განტოლებები

II(1). მეორე სახის დამატებითი მოძრაობა $P_1P_2K_3$ ღრეჩოების არსებობისას განისაზღვრება ხუთი x_1, y_1, x_2, y_2, და γ_3 განზოგადოებული კოორდინატებით. მეორე სახის დამატებითი წყვეტილ-კონტაქტური $P_2P_2K_3$ მოძრაობის ზოგადი დიფერენციალური განტოლება x_1 კოორდინატის მიმართ ასეთია:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1}\right) - \frac{\partial T}{\partial x_1} = Q_{x_1}^{II}, \qquad (4.19)$$

რომელშიც $Q_{x_1}^{II}$ განზოგადოებული ძალა განისაზღვრება (3.108) სისტემიდან.

მოცემულ შემთხვევაში და შემდგომ ცვლადი კინეტიკური ენერგიის კერძო დიფერენციალის პოვნა განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ (4.19) განტოლებაში არაა საჭირო. ვისარგებლებთ პირველი სახის დამატებითი მოძრაობის (4.4) დიფერენციალური განტოლებით x_1 კოორდინატის მიმართ, რომელშიც მოვახდენთ შემდეგ ჩასმებს (იხ. დანართი 2).

მივიღებთ მეორე სახის დამატებითი $(P_1P_2K_3)$ წყვეტილ-კონტაქტური მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას განზოგადოებული ხაზოვანი x_1 კოორდინატის მიმართ:

$$(m_2+m_3)\ddot{x}_1-\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\ddot{y}_1-m_3\ddot{x}_2+\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\ddot{y}_2+$$

$$+\left[\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\frac{R^2}{U}\cos\gamma_3-m_3R\right]\frac{1}{\sin^2\gamma_3}\ddot{\gamma}_3+A_{x_1}^{II}=0, \qquad (4.20)$$

სადაც $A_{x_1}^{II}$ განისაზღვრება ტოლობით (იხ. დანართი 2):

II(2). მეორე სახის დამატებითი წყვეტილ-კონტაქტური $(P_1P_2K_3)$ მოძრაობის ზოგადი დიფერენციალური განტოლება y_1 კოორდინატის მიმართ ასეთია:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\dot{y}_1}\right)-\frac{\partial T}{\partial y_1}=Q_{y_1}^{II}. \qquad (4.21)$$

ამ ტოლობაში განზოგადოებული $Q_{y_1}^{II}$ ძალა აიღება (3.108) სისტემიდან.

საძიებელი დამატებითი მოძრაობის დიფერენციული განტოლების შედგენის მიზნით ვსარგებლობთ (4.7) დიფერენციალური განტოლებით y_1 კოორდინატის მიმართ და ვახდენთ ჩასმებს (იხ. დანართი 2). მივიღებთ მეორე სახის $P_1P_2K_3$ მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას y_1 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ.

$$-\left(\frac{m_2}{2}+m_3tg\beta\right)\ddot{x}_1+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta+1\right)+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta\right]\ddot{y}_1+$$

$$+m_3tg\beta\ddot{x}_2+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)-\frac{m_2}{12\cos^2\beta}-m_3tg^2\beta\right]\ddot{y}_2+$$

$$+\left\{\frac{m_3Rtg\beta}{\sin^2\gamma_3}+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta\right]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\right\}\ddot{\gamma}_3-A_{y_1}^{II}=0, \qquad (4.38)$$

სადაც $A_{y_1}^{II}$ გამოისახება ფორმულით (იხ. დანართი 2):

II(3). მეორე სახის დამატებითი $(P_1P_2K_3)$ წყვეტილ-კონტაქტური მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების სახე x_2 კოორდინატის მიმართ ასეთია:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2}\right) - \frac{\partial T}{\partial x_2} = Q_{x_2}^{II}, \tag{4.23}$$

სადაც განზოგადოებული ძალა $Q_{x_2}^{II}$ აიღება (3.108) სისტემიდან.

მაშინ, მეორე სახის დამატებითი $(P_1P_2K_3)$ წყვეტილ-კონტაქტური მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება x_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ, (4.10) განტოლებაში ჩასმების შეტანისა და ალგებრული გარდაქმნების შემდეგ, მიიღებს სახეს:

$$-m_3\ddot{x}_1 + m_3 tg\beta \ddot{y}_1 + m_3\ddot{x}_2 + \left(m_3 - m_3\frac{R}{U}tg\beta\right)\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\ddot{\gamma}_3 - m_3 tg\beta \ddot{y}_2 - A_{x_2}^{II} = 0, \tag{4.24}$$

სადაც $A_{x_2}^{II}$ გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 2).

II(4). ლაგრანჟეს მეორე რიგის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების მიხედვით მეორე სახის დამატებითი $(P_1P_2K_3)$ წყვეტილ-კონტაქტური მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ზოგადი სახე y_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიხედვით შეიძლება წარმოვადგინოთ ასეთი სახით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_2}\right) - \frac{\partial T}{\partial y_2} = Q_{y_2}^{II}, \tag{4.25}$$

სადაც y_2-ის შესაბამისი განზოგადოებული $Q_{y_2}^{II}$ ძალა აიღება (3.108) სისტემიდან.

მაშინ მოცემული მეორე სახის დამატებითი $(P_1P_2K_3)$ მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება y_2 განზოგადოებული ძალის მიმართ შეიძლება ჩავწეროთ (4.13) დიფერენციალური განტოლების მიხედვით, მასში ჩასმების განხორციელების შემდეგ.

$$\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\ddot{x}_1-\left[\frac{m_4}{4}\left(tg^2\beta-1\right)+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta\right]\ddot{y}_1-$$

$$-m_3tg\beta\ddot{x}_2+\left(\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta\right)\ddot{y}_2+\left\{\left(\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+\right.\right.$$

$$\left.\left.+m_3tg^2\beta\right)\frac{R^2}{U\sin^2\gamma_3}\cos\gamma_3-\frac{m_3R}{\sin^2\gamma_3}tg\beta\right\}\ddot{\gamma}_3-A^{II}_{y_2}=0, \tag{4.26}$$

მიღებულ დიფერენციალურ განტოლებაში $A^{II}_{y_2}$ გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 2).

II(5). მეორე სახის დამატებითი $(P_1P_2K_3)$ წყვეტილ-კონტაქტური მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება γ_3 განზოგადოებული კუთხური კოორდინატის მიმართ გამოისახება ზოგადი დიფერენციალური განტოლებით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\dot{\gamma}_3}\right)-\frac{\partial T}{\partial\gamma_3}=Q^{II}_{\gamma_3}, \tag{4.27}$$

სადაც განზოგადოებული $Q^{II}_{\gamma_3}$ ძალა ცნობილია (3.108) სისტემიდან.

განტოლების შედგენისას γ_3 კოორდინატის მიმართ ვსარგებლობთ რა მექანიზმის ცვლადი კინეტიკური ენერგიის (3.29) ტოლობით, შედგენას ვახდენთ (4.27) ზოგადი განტოლების მიხედვით. იმის გამო, რომ კინეტიკური ენერგიის (3.29) ტოლობაში A, B, C, D,K კოეფიციენტების მნიშვნელობა მოცემულია (3.14) და (3.28) ტოლობებით ხაზოვან კოორდინატებში, ამიტომ საჭიროა ისინი გარდაიქმნას კუთხურ კოორდინატებში, გვექნება (იხ. დანართი 2).

ასეთივე მიმდევრობით განისაზღვრება შესაბამისი კერძო დიფერენციალები $\dot{\gamma}_3$ განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ. ბოლოს მათი მნიშვნელობების შეტანა (4.27) ზოგად განტოლებაში გვაძლევს დიფერენციალურ განტოლებას γ_3 განზოგადოებული კოორდინატის

მიმართ

$$\left[tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right]\ddot{x}_1+\left\{-\left[\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\left(\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)-\right.\right.\right.$$

$$\left.\left.\left.-\frac{m_2}{12\cos^2\beta}-m_3tg\beta\right)\right]-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}+\frac{m_2R^2}{12\cos^2\beta}\left(\frac{\dot{\gamma}_3}{U\sin\gamma_3}+\frac{\cos^4\gamma_3H\dot{\gamma}_3}{\sin^3\gamma_3U}\right)\right\}\ddot{y}_1-$$

$$-m_3\left(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)\ddot{x}_2+\left[\frac{m_2R\cos\gamma_3}{4U\sin^2\gamma_3}\left(tg^2\beta+\right.\right.$$

$$\left.+\frac{1}{3\cos^2\beta}+1\right)+m_3tg\beta\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\left(tg\beta\frac{R\cos\gamma_3}{U}-1\right)-$$

$$\left.-\frac{m_2R^2}{12\cos^2\beta U\sin\gamma_3}\dot{\gamma}_3\left(U^2+2U^2\cos^2\gamma_3-H\cos^2\gamma_3\right)\right]\ddot{y}_2+$$

$$+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta+1\right)\frac{R^4\cos^2\gamma_3}{U^2\sin^4\gamma_3}+\frac{m_2R^4\cos^2\gamma_3}{U^2\sin^4\gamma_3}-\frac{m_3R^2}{\sin^4\gamma_3}\left(\frac{tg\beta R\cos\gamma_3}{U}-1\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{m_3R^3\cos\gamma_3}{U\sin^4\gamma_3}+\frac{m_3b^2R^2}{3U^2}\right]\ddot{\gamma}_3-A^{II}_{\gamma_3}=0, \qquad (4.28)$$

სადაც $A^{II}_{\gamma_3}$ შეიცავს როგორც შესაბამის განზოგადოებულ ძალას, ასევე მიღებული განტოლების იმ წევრებსაც, რომლებიც არ შედის განზოგადოებული ძალების მეორე როგი დიფერენციალის კოეფიციენტებში. $A^{II}_{\gamma_3}$ გამოისახება (იხ. დანართი 2).

მესამე სახის $(P_1K_2P_3)$ მოძრაობა წარმოადგენს წყვეტილ-კონტაქტურ მოძრაობას, რომელიც აღიწერება დამატებითი მოძრაობების დიფერენციალური ხუთი განტოლებით განზოგადოებული x_1, y_1, γ_2, x_3 და y_3 კოორდინატების მიმართ.

III(1). პირველ რიგში შევადგენთ მესამე სახის $(P_1K_2P_3)$ დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას x_1 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ. ამ განტოლებას ლაგრანჟეს მეორე რიგის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების მიხედვით ექნება ზოგადი

სახე:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_1}=Q_{x_1}^{III},$$

რომელშიც $Q_{x_1}^{III}$ განსაზღვრული იქნება (3.106) სისტემიდან.

ვსარგებლობთ თავისუფალი დამატებითი მოძრაობის (4.4) დიფერენციალური განტოლებით და ვახდენთ მასში სათანადო ჩასმებს (2.29) და (2.30) ტოლობების მიხედვით.

მივიღებთ მესამე სახის $(P_1K_2P_3)$ წყვეტილ-კონტაქტური დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას განზოგადოებული x_1 კოორდინატის მიმართ. გვექნება:

$$(m_2+m_3)\ddot{x}_1-\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\ddot{y}_1+\left[\Delta_2 m_3\sin\gamma_2+\left(\frac{m_2}{2}+\right.\right.$$

$$\left.\left.+m_3\right)tg\beta\Delta_2\cos\gamma_2\right]\ddot{y}_2+m_3\ddot{x}_2-\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\ddot{y}_3-A_{x_1}^{III}=0, \qquad (4.29)$$

სადაც $A_{x_1}^{III}$ წარმოადგენს გამოსახულებას (იხ. დანართი 3).

III(2). შემსრულებელი მექანიზმის მესამე სახის $(P_1K_2P_3)$ დამატებითი მოძრაობის ზოგადი დიფერენციალური განტოლება y_1 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ლაგრანჟეს მეორე რიგის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების მიხედვით გამოისახება ტოლობით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1}\right)-\frac{\partial T}{\partial y_1}=Q_{y_1}^{III}, \qquad (4.30)$$

სადაც განზოგადოებული $Q_{y_1}^{III}$ ძალა აიღება (3.106) სისტემიდან.

საძიებელი განტოლების შედგენისათვის ვსარგებლობთ თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალური (4.7) განტოლებით. ამ განტოლებაში განზოგადოებული კოორდინატების მნიშვნელობათა

შეტანის შემდეგ (იხ. დანართი 3) მივიღებთ დიფერენციალურ განტოლებას y_1 განზოგადოებული კოორდინატის მომართ.

$$
\begin{aligned}
&-\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\ddot{x}_1+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta+1\right)+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta\right]\ddot{y}_1+\\
&+\left\{\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)-\frac{m_2}{12\cos^2\beta}-m_3tg^2\beta\right]\Delta_2\cos\gamma_2-\right.\\
&\left.-m_3tg\beta\Delta_2\sin\gamma_2\right\}\ddot{\gamma}_2-m_3tg\beta\ddot{x}_3+\left[\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta-\right.\\
&\left.-\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)\right]\ddot{y}_3-A_{y_1}^{III}=0, \qquad (4.31)
\end{aligned}
$$

სადაც $A_{y_1}^{III}$ არის წევრი, რომელიც შეიცავს განზოგადოებული $Q_{y_1}^{III}$ ძალას და მიღებული განტოლების დანარჩენ გამოსახულებებსაც (იხ. დანართი 3).

III(3). მესამე სახის $\left(P_1K_2P_3\right)$ დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება γ_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ზოგადი სახით ასეთია:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\dot{\gamma}_2}\right)-\frac{\partial T}{\partial\gamma_2}=Q_{\gamma_3}^{III}, \qquad (4.32)$$

სადაც განზოგადოებული $Q_{\gamma_3}^{III}$ აიღება (3.107) განტოლებიდან.

(4.31)-ის მიხედვით დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების შედგენის მიზნით მექანიზმის კინეტიკური ენერგიის ფორმულაში (3.30) მოვახდენთ (2.29) და (2.30) ტოლობით გამოსახულ ჩასმებს. ვსაზღვრავთ კინეტიკური ენერგიის კერძო წარმოებულებს γ_2 და $\dot{\gamma}_2$ განზოგადოებული კოორდინატების მიხედვით (იხ. დანართი 3).

მაშინ მესამე სახის დამატებითი მოძრაობის $\left(P_1K_2P_3\right)$ დიფერენციალური განტოლება γ_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ჩაიწერება ამ სახით:

$$\left[\frac{m_2\Delta_2}{2}tg\beta\cos\gamma_2+m_3(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2)\right]\ddot{x}_1+\left[-\frac{m_2\Delta_2}{2}(tg^2\beta-\right.$$

$$\left.-1)\cos\gamma_2-\frac{m_2\Delta_2\cos\gamma_2}{12\cos^2\beta}-m_3tg\beta(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2)\right]\ddot{y}_1+$$

$$+\left[\frac{m_2\Delta_2^2}{2}\cos^2\gamma_2(tg^2\beta+1)+\frac{m_2\Delta_2^2\cos^2\gamma_2}{12\cos^2\beta}+m_3\Delta_2tg\beta\cos\gamma_2\times\right.$$

$$\left.\times(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2)+m_3\Delta_2(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2)\right]\ddot{y}_2+$$

$$+m_3(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2)\ddot{x}_3-\left[\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2(tg^2\beta-1)+\right.$$

$$\left.+\frac{m_2\Delta_2}{12\cos^2\beta}\cos\gamma_2\right]\ddot{y}_3-A_{\gamma_2}^{III}=0, \tag{4.33}$$

სადაც $A_{\gamma_2}^{III}$ შეიცავს როგორც განზოგადოებული $Q_{\gamma_2}^{III}$ ძალას, ასევე მიღებული განტოლების თავისუფალ წევრებსაც. იგი გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 3).

III(4). მესამე სახის დამატებითი მოძრაობის $(P_1K_2P_3)$ დიფერენციალური განტოლება x_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ზოგადი სახით წარმოგვიდგება შემდეგი ტოლობით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\dot{x}_3}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_3}=Q_{x_3}^{III}, \tag{4.34}$$

სადაც განზოგადოებული $Q_{x_3}^{III}$ ძალა მოცემულია (3.106) სისტემაში.

ვსარგებლობთ თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალური (4.16) განტოლებით, რომელშიც შეგვაქვს (2.29) და (2.30) ჩასმები. მივიღებთ დამატებითი წყვეტილ-კონტაქტური მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას x_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ.

$$m_3\ddot{x}_1-m_3tg\beta\ddot{y}_1+(m_3\Delta_2\sin\gamma_2+m_3tg\beta\Delta_2\cos\gamma_2)\ddot{y}_2+$$

$$+\left(m_3+\frac{b_2}{3y_3^2}m_3\right)\ddot{x}_3-m_3tg\beta\ddot{y}_3-A_{x_3}^{III}=0, \tag{4.35}$$

სადაც $A_{x_3}^{III}$ შეიცავს $Q_{x_3}^{III}$ განზოგადოებულ ძალას და მოცემული

განტოლების დანარჩენ თავისუფალ წევრებს (იხ. დანართი 3).

III(5). მესამე სახის წყვეტილ-კონტაქტური $(P_1K_2P_3)$ დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ზოგადი სახე y_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ, ლაგრანჟეს მეორე რიგის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების მიხედვით, გამოისახება ტოლობით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_3}\right)-\frac{\partial T}{\partial y_3}=Q_{y_3}^{III}, \tag{4.36}$$

სადაც განზოგადოებული $Q_{y_3}^{III}$ აიღება (3.106) სისტემიდან.

განტოლების შედგენის მიზნით ვსარგებლობთ (4.28) განტოლებით. ამ განტოლებაში ჩასმების შეტანის შედეგად მივიღებთ მესამე სახის წყვეტილ-კონტქტური მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას y_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ:

$$\begin{gathered}-\left(\frac{m_2}{2}-m_3\right)tg\beta\ddot{x}_1+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}\right]\ddot{y}_1-\\-\left(m_3 tg\beta\Delta_2\sin\gamma_2+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}\Delta_2\cos\gamma_2\right)\ddot{\gamma}_2-m_3tg\beta\ddot{x}_3+\\+\left(\frac{m_3}{12\cos^2\beta}+m_3+\frac{m_3b^2}{3x_3^2}\right)\ddot{y}_3-A_{y_3}^{III}=0,\end{gathered} \tag{4.37}$$

რომელშიც $A_{y_3}^{III}$ შეიცავს $Q_{y_3}^{III}$ განზოგადოებულ ძალას და მიღებული განტოლების თავისუფალ წევრებსაც (იხ. დანართი 3).

ამგვარად, მიღებულია წყვეტილ-კონტაქტური $(P_1K_2P_3)$ მესამე სახის დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური (4.29), (4.31), (4.33), (4.35) და (4.37) განტოლებები.

მეოთხე სახის წყვეტილ-კონტაქტური $(P_1K_2K_3)$ დამატებითი მოძრაობა განსაზღვრულია 1-2 კინემატიკურ წყვილში x_1 და y_1

ხაზოვანი, ხოლო 2-3 და 3-0 კინემატიკურ წყვილებში შესაბამისად γ_2 და γ_3 კუთხური განზოგადოებული კოორდინატებით.

IV(1). პირველ რიგში შევადგინოთ დამატებითი წყვეტილ-კონტაქტური მოძრაობის $(P_1K_2K_3)$ დიფერენციალური განტოლება x_1 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ. ამ განტოლების ზოგადი სახე ლაგრანჟეს მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლების მიხედვით ჩაიწერება გამოსახულებით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_1}=Q_{x_1}^{IV}, \tag{4.38}$$

სადაც $Q_{x_1}^{IV}$ განზოგადოებული ძალა აიღება (3.105) ფორმულიდან.

განტოლების შედგენის მიზნით ვსარგებლობთ თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალური (4.4) განტოლებით. ვსარგებლობთ რა ჩასმებით (იხ. დანართი 3), (2.29) და (2.30) გარდაქმნებით, მივიღებთ დამატებითი წყვეტილ-კონტაქტური მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას x_1 განზოგადობული კოორდინატის მიმართ.

$$\begin{aligned}&(m_2+m_3)\ddot{x}_1-\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\ddot{y}_1-m_3\ddot{x}_2+\Delta_2\left[m_3\sin\gamma_2+\left(\frac{m_2}{2}+\right.\right.\\&\left.\left.+m_3\right)tg\beta\cos\gamma_2\right]\ddot{\gamma}_2+\left[\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-m_3\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right]\ddot{\gamma}_3-A_{x_1}^{IV}=0,\end{aligned} \tag{4.39}$$

სადაც $A_{x_1}^{IV}$ შეიცავს მიღებული განტოლების თავისუფალ წევრებს და განზოგადოებული $Q_{x_1}^{IV}$ ძალის მნიშვნელობასაც (იხ. დანართი 4).

IV(2). მეოთხე სახის წყვეტილ-კონტაქტური $(P_1K_2K_3)$ დამატებითი დიფერენციალური განტოლების შედგენისათვის y_1 განზოგადოებული კოორდინეტის მიმართ ვსარგებლობთ თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალური (4.7) განტოლებით. გარდაქმნებისა და გამარტივების შედეგად მივიღებთ მეოთხე სახის დამატებითი მოძრაობის

დიფერენციალურ განტოლებას y_1 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ.

$$-\left(\frac{m_2}{2}+m_3\right)tg\beta\ddot{x}_1+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta+1\right)+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta\right]\ddot{y}_1+$$

$$+\left\{\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)-\frac{m_2}{12\cos^2\beta}-m_3tg^2\beta\right]\Delta_2\cos\gamma_2-m_3\Delta_2tg\beta\sin\gamma_2\right\}\ddot{\gamma}_3+$$

$$+\left\{m_3tg\beta\frac{R}{\sin^2\gamma_3}+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta+1\right)-\frac{m_2}{\cos^2\beta}-m_3tg^2\beta\right]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\right\}\ddot{\gamma}_3-A_{y_1}^{IV}=0, \qquad (4.40)$$

სადაც $A_{y_1}^{IV}$ შეიცავს მიღებული განტოლების თავისუფალ წევრებს და $Q_{y_1}^{IV}$ განზოგადოებული ძალის მნიშვნელობას (იხ. დანართი 4).

IV(3). მეოთხე სახის წყვეტილ-კონტაქტური $\left(P_1K_2K_3\right)$ დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება γ_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ზოგადი სახით ჩაიწერება ტოლობით

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\dot{\gamma}_2}\right)-\frac{\partial T}{\partial\gamma_2}=Q_{\gamma_2}^{IV}, \qquad (4.41)$$

სადაც $Q_{\gamma_2}^{IV}$ განზოგადოებული ძალა აიღება (3.98) ფორმულიდან.

(4.41) განტოლების შედგენისთვის ვსარგებლობთ (4.63) განტოლებით. სათანადო ჩასმებისა (იხ. დანართი 2) და გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ წყვეტილ-კონტაქტური $\left(P_1K_2K_3\right)$ დამატებითი მეოთხე სახის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას γ_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ:

$$\left[\frac{m_2\Delta_2}{2}tg\beta\cos\gamma_2+m_3\left(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2\right)\right]\ddot{x}_1-\left[\frac{m_2\Delta_2}{2}\left(tg^2\beta-\right.\right.$$
$$\left.-1\right)\cos\gamma_2+\frac{m_2\Delta_2}{12\cos^2\beta}\cos\gamma_2+m_3tg\beta\left(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2\right)\Big]\ddot{y}_1+$$
$$+\left[\frac{m_2\Delta_2^2}{2}\cos^2\gamma_2\left(tg^2\beta+1\right)+\frac{m_2\Delta_2^2}{\cos^2\beta}\cos^2\gamma+tg\beta\left(tg\beta\cos\gamma_2+\right.\right.$$
$$\left.+\Delta_2\sin\gamma_2\right)m_3\Delta_2\cos\gamma_2+m_3\Delta_2\left(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2\right)\Big]\ddot{\gamma}_2+$$
$$+\left[\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2\left(tg^2\beta+1\right)+\frac{m_2\Delta_2}{12\cos^2\beta}\cos\gamma_2-m_3\left(tg\beta\cos\gamma_2+\right.\right.$$
$$\left.\left.+\Delta_2\sin\gamma_2\right)\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right]\ddot{\gamma}_3-A_{\gamma_2}^{IV}=0, \tag{4.42}$$

სადაც $A_{\gamma_2}^{IV}$ გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 4).

IV(4). მეოთხე სახის $(P_1K_2K_3)$ დიფერენციალური განტოლება γ_3 განზოგადოებული ძალის მიმართ ზოგადი სახით ჩაიწერება ტოლობით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\dot{\gamma}_3}\right)-\frac{\partial T}{\partial\gamma_3}=Q_{\gamma_3}^{IV}, \tag{4.43}$$

სადაც $Q_{\gamma_3}^{IV}$ განზოგადოებული ძალა აიღება (3.99) ფორმულიდან.

საძიებელი განტოლების შედგენას ვახდენთ მეორე სახის მოძრაობის დიფერნციალური (4.28) განტოლების გამოყენებით, რომელშიც (2.29), (2.30) ჩასმებისა და გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ მეოთხე სახის $(P_1K_2K_3)$ დამატებით მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას γ_3 განზოგადოებული ძალის მიმართ.

$$\left[\frac{m_2}{2}tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}+m_3\left(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)\right]\ddot{x}_1+\left[-\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)\times\right.$$
$$\times\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{m_2R^2\cos\gamma_3}{12\cos^2\beta U\sin^2\gamma_3}-m_3tg\beta\left(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)+$$
$$\left.+\frac{m_2R^2\dot{\gamma}_3}{12\cos^2\beta U^3\sin^3\gamma_3}\left(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)\right]\ddot{y}_1+$$

$$+\left[\left(\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta+1\right)\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}+\frac{m_2R^2\cos\gamma_3}{12\cos^2\beta U\sin^2\gamma_3}+m_3tg\beta\left(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\right.\right.\right.$$

$$\left.\left.-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)-\frac{m_2R^2\dot{\gamma}_3}{12\cos^2\beta U^3\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3\left(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-\right.\right.$$

$$\left.\left.-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)\Delta_2\cos\gamma_2+m_3\left(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)\Delta_2\sin\gamma_2\right]\ddot{\gamma}_2+$$

$$+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta+1\right)\frac{R^4\cos^2\gamma_3}{U^2\sin^4\gamma_3}+\frac{m_2R^4\cos^2\gamma_3}{12\cos^2\beta U^2\sin^4\gamma_3}-\frac{m_3R}{\sin^2\gamma_3}\times\right.$$

$$\left.\times\left(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)+\frac{m_3R^3\cos\gamma_3}{U\sin^4\gamma_3}+m_3\frac{b^2R^2}{\left(a^2+b^2\right)\sin^2\gamma_3-R^2\cos^2\gamma_3}\right]\ddot{\gamma}_3-$$

$$-A_{\gamma_3}^{IV}=0, \tag{4.44}$$

სადაც $A_{\gamma_3}^{IV}$ გამოისახება შემდეგი ტოლობით (იხ. დანართი 4).

4.3. დიფერენციალური განტოლებები დამატებითი კონტაქტური სახის მოძრაობისათვის

V(1). მეხუთე სახის $(K_1K_2K_3)$ დამატებითი კონტაქტური მოძრაობა აღიწერება სამივე ღრეჩოიანი კინემატიკური წყვილის კონტაქტის წერტილების განზოგადოებული $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ კუთხური კოორდინატების მიმართ. პირველ რიგში ვადგენთ განტროლებას γ_1-ის მიმართ. ამისთვის ვსარგებლობთ ისევ ლაგრანჟეს მეორე რიგის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებით, რომლის მიხედვით

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\dot{\gamma}_1}\right)-\frac{\partial T}{\partial\gamma_1}=Q_{\gamma_1}^{V}, \tag{4.45}$$

სადაც $Q_{\gamma_1}^{V}$ განზოგადოებული ძალა აიღება (3.105) ფორმულიდან.

განტოლებაში შემავალი კინეტიკური ენერგიის კერძო წარმოებულების პოვნის მიზნით ვსაზღვრავთ კინეტიკური ენერგიის

(3.29) ფორმულაში შემავალი სიდიდეების კერძო წარმოებულებს (2.29) და (2.30) ჩასმების მიხედვით.

კინეტიკური ენერგიის (3.29) ფორმულაში შემავალი (3.14) და (3.28) სიდიდეების კერძო წარმოებულები ჩაიწერება ასეთი სახით (იხ. დანართი 5).

მაშინ დიფერენციალური განტოლება γ_1 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ჩაიწერება ასეთი სახით:

$$\Bigg[m_2\Delta_1^2\sin^2\gamma_1 + m_2 tg\beta\Delta_1^2\sin\gamma_1\cos\gamma_1 + \frac{m_2\Delta_1^2}{4}\left(tg^2\beta+1\right)\cos^2\gamma_1 +$$

$$+\frac{m_2\Delta_1^2\cos^2\gamma_1}{12\cos^2\beta} + m_3\Delta_1\sin\gamma_1\left(\Delta_1\sin\gamma_1 + tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\right) + m_3 tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\times$$

$$\times\left(\Delta_1\sin\gamma_1 + tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\right)\Big]\ddot{\gamma}_1 + \Big\{m_2 tg\beta\left(\Delta_1\sin\gamma_1 + tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\right)\Delta_2\sin\gamma_2 -$$

$$-\Delta_2\cos\gamma_2\left[\frac{m_2}{2}tg\beta\Delta_1\sin\gamma_1 + \frac{m_2\Delta_1}{4}\left(tg^2\beta-1\right)\cos\gamma_1 + \frac{m_2\Delta_1}{12\cos^3\beta}\cos\gamma_1 +\right.$$

$$\left.+m_3\left(\Delta_1\sin\gamma_1 + tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\right)tg\beta\right]\Big\}\ddot{\gamma}_2 - \left[\frac{m_2}{2}tg\beta\Delta_1\sin\gamma_1 - \left(tg^2\beta-1\right)\times\right.$$

$$\times\frac{m_2\Delta_1}{4}\cos\gamma_1 + \frac{m_2\Delta_1\cos\gamma_1}{12\cos^2\beta} + m_3 tg\beta\left(\Delta_1\sin\gamma_1 + tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\right)\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3} -$$

$$\left.-m_3 tg\beta\left(\Delta_1\sin\gamma_1 + tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\right)\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right]\ddot{\gamma}_3 - A_{\gamma_1}^V = 0, \tag{4.46}$$

სადაც $A_{\gamma_1}^V$ გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 5).

V(2). მეხუთე სახის $(K_1K_2K_3)$ დამატებითი კონტაქტური მოძრაობის ზოგადი დიფერენციალური განტოლება γ_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ჩაიწერება ასე:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\dot{\gamma}_2}\right) - \frac{\partial T}{\partial\gamma_2} = Q_{\gamma_2}^V, \tag{4.47}$$

სადაც $Q_{\gamma_2}^V$ განზოგადოებული ძალის მნიშვნელობა აიღება (3.61) ტოლობიდან.

ჩვენს შემთხვევაში ვსარგებლობთ (4.42) მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებით, რომელშიც (2.29), (2.30) ჩასმების შედეგად მივიღებთ მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას γ_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ:

$$\begin{aligned}
&\left\{-\Delta_1 \sin\gamma_1\left[\frac{m_2\Delta_2}{2}tg\beta\cos\gamma_2 + m_3\left(tg\beta\cos\gamma_2 + \Delta_2\sin\gamma_2\right)\right] - \right.\\
&-\left[\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2\left(tg^2\beta - 1\right) + \frac{m_2\Delta_2}{12\cos^2\beta}\cos\gamma_2 + m_3 tg\beta\left(tg\beta\cos\gamma_2 + \right.\right.\\
&\left.\left.\left. + \Delta_2\sin\gamma_2\right)\right]\Delta_1\cos\gamma_1\right\}\ddot{\gamma}_1 + \left[\frac{m_2\Delta_2^2}{2}\cos^2\gamma_2\left(tg^2\beta + 1\right) + \frac{m_2\Delta_2^2\cos^2\gamma_2}{12\cos^2\beta} + \right.\\
&+ m_3 tg\beta\Delta_2\cos\gamma_2\left(tg\beta\cos\gamma_2 + \Delta_2\sin\gamma_2\right) + m_3\Delta_2\left(tg\beta\cos\gamma_2 + \right.\\
&\left.\left. + \Delta_2\sin\gamma_2\right)\right]\ddot{\gamma}_2 + \left\{\left[\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2\left(tg^2\beta + 1\right) + \frac{m_2\Delta_2^2\cos^2\gamma_2}{12\cos^2\beta}\right]\times\right.\\
&\left.\times\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3} - \frac{R}{\sin^2\gamma_3}\left(tg\beta\cos\gamma_2 + \Delta_2\sin\gamma_2\right)\right\}\ddot{\gamma}_3 - A^V_{\gamma_2} = 0, \qquad (4.48)
\end{aligned}$$

სადაც $A^V_{\gamma_2}$ გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 5).

V(3). მეხუთე სახის $(K_1K_2K_3)$ დამატებითი კონტაქტური მოძრაობის დიფერენციალური ზოგადი სახის განტოლება γ_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ასეთია:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\dot{\gamma}_3}\right) - \frac{\partial T}{\partial\gamma_3} = Q^V_{\gamma_3}, \qquad (4.49)$$

სადაც $Q^V_{\gamma_3}$ აიღება (3.74) ტოლობიდან.

საძიებელი განტოლების შედგენის მიზნით ვსარგებლობთ (4.44) დიფერენციალური განტოლებით, რომელშიც ვახდენთ (2.29) და (2.30) ჩასმებს. მივიღებთ მეხუთე სახის $(K_1K_2K_3)$ დამატებითი კონტაქტური მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას γ_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ:

$$\left\{\frac{R\Delta_1}{\sin^2\gamma_3}\sin\gamma_1\left(\frac{m_3}{U}tg\beta R\cos\gamma_3-\frac{m_2R}{2U}tg\beta\cos\gamma_3-m_3\right)-\frac{R\Delta_1}{\sin^2\gamma_3}\cos\gamma_1\times\right.$$

$$\times\left[\frac{m_2R}{4U}\left(tg^2\beta-1\right)\cos\gamma_3+\frac{m_2R}{12\cos^2\beta\cdot U}\cos\gamma_3+m_3tg\beta\left(\frac{R\cos\gamma_3}{U}tg\beta-1\right)-\right.$$

$$\left.\left.-\frac{m_2R}{12U^3\cos^2\beta\sin\gamma_3}\dot{\gamma}_3\left(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)\right]\right\}\ddot{\gamma}_1+$$

$$+\left\{m_3\left(\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}tg\beta-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)\Delta_2\sin\gamma_2+\left[\frac{m_2R^2\cos\gamma_3}{4U\sin^2\gamma_3}\left(tg^2\beta+1\right)+\right.\right.$$

$$+\frac{m_2R^2\cos\gamma_3}{12\cos^2\beta U\sin^2\gamma_3}+m_3tg\beta\left(\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}tg\beta-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)-\frac{m_2R^2}{12\cos^2\beta}\dot{\gamma}_3\times$$

$$\left.\left.\times\frac{1}{U\sin^3\gamma_3}\left(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3H\right)\right]\Delta_2\cos\gamma_2\right\}\ddot{\gamma}_2+$$

$$+\left[\frac{m_2R^4\cos^2\gamma_3}{4U^2\sin^4\gamma_3}\left(tg^2\beta+1\right)+\frac{m_2R^4\cos^2\gamma_3}{12\cos^2\beta U^2\sin^4\gamma_3}-\frac{m_3R}{\sin^2\gamma_3}\left(\frac{R^2\cos^2\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}tg\beta-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)+m_3\frac{R^3\cos\gamma_3}{U\sin^4\gamma_3}+\frac{m_3b^2R^2}{3U}\right]\ddot{\gamma}_3-A^V_{\gamma_3}=0, \qquad (4.50)$$

თავის მხრივ $A^V_{\gamma_3}$ წარმოგვიდგება ასეთი სახით (იხ. დანართი 5).

4.4 დიფერენციალური განტოლებები დამატებითი კონტაქტურ-წყვეტილი სახის მოძრაობისთვის

VI(1). მეექვსე სახის $(K_1K_2P_3)$ დამატებითი კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობა ხასიათდება ერთდროული კონტაქტებით 1-2, 2-3 და წყვეტით 3-0 კინემატიკურ წყვილებში, ამიტომ ამ მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები უნდა აღიწეროს γ_1,γ_2,x_3 და y_3 განზოგადოებული კოორდინატების მიმართ.

პირველ რიგში ვადგენთ კონტაქტურ-წყვეტილი დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას γ_1 განზოგადოებული

კოორდინატის მიმართ.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\gamma}_1}\right)-\frac{\partial T}{\partial \gamma_1}=Q_{\gamma_1}^{VI}, \qquad (4.51)$$

სადაც $Q_{\gamma_1}^{VI}$ განზოგადოებული ძალა აიღება (3.76) ტოლობიდან.

მაშინ (4.51) განტოლების საფუძველზე (4.29), (4.30) ტოლობების და კერძო წარმოებულების ძალით მიიღება მეექვსე სახის დიფერენციალური განტოლება γ_1 განზოგადოებული კუთხური კოორდინატის მიმართ.

$$\Delta_1^2\left[m_2\sin^2\gamma_1+m_2 tg\beta\sin\gamma_1\cos\gamma_1+\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta+1\right)\cos^2\gamma_1+\right.$$

$$+\frac{\cos^2\gamma_1}{6\cos^2\beta}+m_3\left(\sin\gamma_1+tg\beta\cos\gamma_1\right)\sin\gamma_1+m_3 tg\beta\left(\sin\gamma_1+\right.$$

$$\left.\left.+\cos\gamma_1\right)\right]\ddot{y}_1+\left[-\frac{m_2}{2}tg\beta\Delta_1\sin\gamma_1\Delta_2\cos\gamma_2-\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)\cos\gamma_2-\right.$$

$$-\frac{\Delta_1\cos\gamma_1}{6\cos^2\beta}\Delta_2\cos\gamma_2+m_3 tg\beta\left(-\Delta_1\sin\gamma_1-tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\right)\Delta_2\cos\gamma_2+$$

$$\left.+m_3\Delta_2\left(-\Delta_1\sin\gamma_1-tg\beta\Delta_2\cos\gamma_2\right)\sin\gamma_2\right]\ddot{y}_2-m_3\left(\Delta_1\sin\gamma_1+\right.$$

$$\left.+tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\right)\ddot{x}_3+\Delta_1\left[tg\beta\sin\gamma_1+\frac{1}{2}\left(tg^2\beta-1\right)\cos\gamma_1+\right.$$

$$\left.+m_3 tg\beta\left(\sin\gamma_1+tg\beta\cos\gamma_1\right)\right]\ddot{y}_3-A_{\gamma_1}^{VI}=0, \qquad (4.52)$$

სადაც $A_{\gamma_1}^{VI}$ ჩაიწერება ტოლობით (იხ. დანართი 6).

VI(2). მეექვსე სახის $(K_1K_2P_3)$ დამატებითი კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობა γ_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ აღიწერება ზოგადი სახის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებით

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\gamma}_2}\right)-\frac{\partial T}{\partial \gamma_2}=Q_{\gamma_2}^{VI}, \qquad (4.53)$$

სადაც $Q_{\gamma_2}^{VI}$ განზოგადოებული ძალის მნიშვნელობა განისაზღვრება (3.77)

ტოლობიდან.

ვსარგებლობთ რა წარმოებულების ტოლობებით (იხ. დანართი 3) ასევე სათანადო ჩასმებით დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება γ_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ჩაიწერება ასეთი გამოსახულებით

$$\Bigg\{\Bigg[m_3\left(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2-\frac{m_2\Delta_2}{2}tg\beta\cos\gamma_2\right)\Bigg]\Delta_1\sin\gamma_1-\Big[\big(tg^2\beta-$$

$$-1\big)\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2+\frac{m_2\Delta_2\cos\gamma_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg\beta\big(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2\big)\Big]\times$$

$$\times\Delta_1\cos\gamma_1\Bigg\}\ddot{y}_1+\left[\frac{m_2}{2}\Delta_2^2\cos^2\gamma_2\left(tg^2\beta+1\right)+\frac{m_2\Delta_2^2\cos^2\gamma_2}{12\cos^2\beta}+\right.$$

$$+m_3tg\beta\Delta_2\cos\gamma_2\left(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2\right)+m_3\Delta_2\left(tg\beta\cos\gamma_2+\right.$$

$$\left.\left.+\Delta_2\sin\gamma_2\right)\right]\ddot{y}_2+m_3\left(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2\right)\ddot{x}_3-\Big[\big(tg^2\beta+$$

$$+1\big)\frac{m_2\Delta_2}{2}tg\beta\cos\gamma_2+\frac{m_2\Delta_2\cos\gamma_2}{12\cos^2\beta}\Big]\ddot{y}_3-A_{\gamma_2}^{VI}=0, \tag{4.54}$$

სადაც $A_{\gamma_2}^{VI}$ ჩაიწერება ასეთი სახით (იხ. დანართი 6).

VI(3). მეექვსე სახის $(K_1K_2P_3)$ დამატებითი კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობის ზოგადი განტოლება x_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ზოგადად ასეთია:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial\dot{x}_3}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_3}=Q_{x_3}^{VI}, \tag{4.55}$$

სადაც განზოგადოებული $Q_{x_3}^{VI}$ ძალა განისაზღვრება (3.85) ტოლობით.

საძიებელი დიფერენციალური განტოლების შედგენისთვის ვსარგებლობთ პირველი სახის მოძრაობის დიფერენციალური (4.16) განტოლებით x_3 კოორდინატის მიმართ. (4.29) და (4.30) ჩასმების შემდეგ მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას x_3

განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ:

$$-m_3\Delta_1\left(m_3\sin\gamma_1 - m_3 tg\beta\cos\gamma_1\right)\ddot{\gamma}_1 + \left(m_3\Delta_2\sin\gamma_2 + \right.$$

$$\left. + m_3 tg\beta\Delta_2\cos\gamma_2\right)\ddot{\gamma}_2 + \left(m_3 + m_3\frac{b^2}{3y_3^2}\right)\ddot{x}_3 - m_3 tg\beta\ddot{y}_3 - A_{x_3}^{VI} = 0, \qquad (4.56)$$

სადაც $A_{x_3}^{VI}$ ტოლია (იხ. დანართი 6).

VI(4). მეექვსე სახის $(K_1K_2P_3)$ დამატებითი კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობის ზოგადი განტოლება y_3 კოორდინატის მიმართ გამოისახება ტოლობით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_3}\right) - \frac{\partial T}{\partial y_3} = Q_{y_3}^{VI}, \qquad (4.57)$$

სადაც განზოგადოებული $Q_{y_3}^{VI}$ ძალა აიღება (3.83) ტოლობით.

ვსარგებლობთ პირველი სახის მოძრაობის დიფერენციალური (4.19) განტოლებით y_3-ის მიმართ. სათანადო ჩასმებისა და ალგებრული გარდაქმნების შემდეგ, მივიღებთ მეექვსე სახის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას y_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ:

$$\left[\left(\frac{m_2}{2}tg\beta + m_3 tg\beta\right)\Delta_1\sin\gamma_1 + \frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta - 1\right)\Delta_1\cos\gamma_1 + \right.$$

$$\left. + \frac{m_2}{12\cos^2\beta}\Delta_1\cos\gamma_1\right]\ddot{\gamma}_1 - \left(m_3 tg\beta\Delta_2\sin\gamma_2 + \frac{m_2}{12\cos^2\beta}\Delta_2\cos\gamma_2\right)\ddot{\gamma}_2 -$$

$$- m_3 tg\beta\ddot{x}_3 + \left(\frac{m_2}{12\cos^2\beta} + m_3 + \frac{m_3 b^2}{3x_3^2}\right)\ddot{y}_3 - A_{y_3}^{VI} = 0, \qquad (4.58)$$

სადაც $A_{y_3}^{VI}$ გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 6).

ამგვარად შედგენილია მეექვსე $(K_1K_2P_3)$ სახის დამატებითი კონტაქტურ-წყვეტილი სახის მოძრაობის დიფერენციალური (4.95), (4.98), (4.101) და (4.58) განტოლებანი γ_1, γ_2, x_3 და y_3 კოორდინატის მიმართ.

VII(1). მეშვიდე სახის $(K_1P_2K_3)$ კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობა ხასიათდება ერთდროული კონტაქტით 1-2, 3-0 და თავისუფალი მოძრაობით 2-3 შეერთებაში. პირველ რიგში შევადგენთ მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას γ_1 კოორდინატის მიმართ.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\gamma}_1}\right)-\frac{\partial T}{\partial \gamma_1}=Q_{\gamma_1}^{VII}, \tag{4.59}$$

სადაც $Q_{\gamma_1}^{VII}$ აიღება (3.86) ტოლობიდან.

ვსარგებლობთ მეხუთე სახის (4.46) დიფერენციალური განტოლებით γ_1 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ. მაშინ ჩასმებისა (იხ. დანართი 2) და გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას γ_1 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ გვექნება:

$$\begin{aligned}
&\Delta_1^2\Bigg[m_1\sin^2\gamma_1+m_2 tg\beta\sin\gamma_1\cos\gamma_1+\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta+1\right)\cos^2\gamma_1+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}\cos^2\gamma_1+\\
&+m_3\sin\gamma_1\left(\sin\gamma_1+tg\beta\cos\gamma_1\right)+m_3 tg\beta\cos\gamma_1\left(\sin\gamma_1+tg\beta\cos\gamma_1\right)\Bigg]\ddot{\gamma}_1-\\
&-m_3 tg\beta\Delta_1\left(\sin\gamma_1+tg\beta\cos\gamma_1\right)\ddot{x}_2-\Bigg[\frac{m_2}{2}tg\beta\sin\gamma_1+\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)\times\\
&\times\cos\gamma_1+\frac{m_2\cos\gamma_1}{12\cos^2\beta}+m_3 tg\beta\left(\sin\gamma_1+tg\beta\cos\gamma_1\right)\Bigg]\Delta_1\ddot{y}_2-\\
&-\Delta_1\Bigg\{\Bigg[\frac{m_2\cos\gamma_1}{12\cos^2\beta}+\frac{m_2}{2}tg\beta\sin\gamma_1-\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)\cos\gamma_1+m_3 tg\beta\big(\sin\gamma_1+\\
&+tg\beta\cos\gamma_1\big)\Bigg]\frac{R^2}{U\sin^2\gamma_3}\cos\gamma_3+m_3 tg\beta\left(\sin\gamma_1+tg\beta\cos\gamma_1\right)\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\Bigg\}\ddot{\gamma}_3--A_{\gamma_1}^{VII}=0,
\end{aligned} \tag{4.60}$$

სადაც $A_{\gamma_1}^{VII}$ გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 7).

VII(2). მეშვიდე სახის $(K_1P_2K_3)$ დამატებითი კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება x_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ ზოგადად ჩაიწერება ასე:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_2}=Q_{x_2}^{VII}, \qquad (4.61)$$

რომელშიც $Q_{x_2}^{VII}$ განზოგადოებული ძალა აიღება (3.95) ტოლობიდან.

საძიებელი განტოლების შედგენის მიზნით ვსარგებლობთ თავისუფალი პირველი სახის გამატებითი მოძრაობის (4.10) განტოლებით, რომელშიც (2.29), (2.30) გარდაქმნების და ჩასმების (იხ. დანართი 2) შედეგად მიიღება განტოლება x_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ.

$$\Delta_1 m_3\left(\sin\gamma_1+tg\beta\cos\gamma_1\right)\ddot{\gamma}_1+m_3\ddot{x}_2-m_3 tg\beta\ddot{y}_2+\frac{m_3 R}{\sin^2\gamma_3}\left(1-\right.$$

$$\left.-tg\beta\frac{R\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\right)\ddot{\gamma}_3-A_{x_2}^{VII}=0, \qquad (4.62)$$

სადაც $A_{x_2}^{VII}$ ტოლია (იხ. დანართი 7).

VII(3). მეშვიდე სახის $\left(K_1P_2K_3\right)$ დამატებითი კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება y_2-ის მიმართ ზოგადად ასეთია:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_2}\right)-\frac{\partial T}{\partial y_2}=Q_{y_2}^{VII}, \qquad (4.63)$$

სადაც $Q_{y_2}^{VII}$ განზოგადოებული ძალა გაირკვევა (3.93) ტოლობიდან.

განტოლების შედგენის მიზნით ვსარგებლობთ თავისუფალი პირველი სახის მოძრაობის დიფერენციალური (4.13) განტოლებით y_2-ის მიმართ. ჩასმებისა და გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ მეშვიდე სახის დიფერენციალურ განტოლებას განზოგადოებული y_2 კოორდინატის მიმართ.

$$\left\{tg^2\beta m_3-\left(\frac{m_2}{2}tg\beta+tg\beta m_3\right)\Delta_1\sin\gamma_1-\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}\right]\Delta_1\cos\gamma_1\right\}\ddot{\gamma}_1-m_3tg\beta\ddot{x}_2\left(\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta\right)\ddot{y}_2+$$

$$+\left[\left(\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg^2\beta\right)\frac{R^2}{U\sin^2\gamma_3}\cos\gamma_3-m_3tg\beta\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right]\ddot{\gamma}_3-A^{VII}_{y_2}=0, \qquad (4.64)$$

სადაც $A^{VII}_{y_2}$ გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 7).

VII(4). მეშვიდე სახის $(K_1P_2K_3)$ დამატებითი კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობის ზოგადი დიფერენციალური განტოლების შედგენისათვის ვსარგებლობთ მეორე სახის დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური (4.28) განტოლებით, საიდანაც ჩასმებისა და გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას γ_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ.

$$\left\{\left[\frac{m_2}{2U}tg\beta R\cos\gamma_3-m_3\left(\frac{R\cos\gamma_3}{U}tg\beta-1\right)\right]\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\Delta_1\sin\gamma_1-\right.$$

$$-\left[\frac{m_2R^2}{U\sin^2\gamma_3}\cos\gamma_3+\frac{m_2R^2\cos\gamma_3}{12U\cos^3\beta\sin^2\gamma_3}-\frac{m_2R^2\dot{\gamma}_3}{12U^3\cos^2\beta\sin^2\gamma_3}\left(\sin^4\gamma_3\times\right.\right.$$

$$\times\left(a^2+b^2\right)-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2R^2\cos^4\gamma_3\Big)+m_3\frac{tg\beta R}{\sin^2\gamma_3}\left(tg\beta\frac{R\cos\gamma_3}{U}+\right.$$

$$\left.+1\right)\Big]\Delta_1\cos\gamma_1\Big\}\ddot{\gamma}_1-m_3\left(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)\ddot{x}_2+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta+\right.\right.$$

$$\left.+1\right)\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}+\frac{m_2R^2\cos\gamma_3}{12\cos^2\beta U\sin^2\gamma_3}+m_3tg\beta\left(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)-$$

$$\left.-\frac{m_2R^2\dot{\gamma}_3}{12U^3\cos^2\beta\sin^3\gamma_3}\left(\sin^4\gamma_3\left(a^2+b^2\right)-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2R^2\cos^4\gamma_3\right)\right]\ddot{y}_2+$$

$$+\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta+1\right)\frac{R^4\cos^2\gamma_3}{U^2\sin^4\gamma_3}+\frac{m_2R^2}{12\cos^2\beta U^2\sin^4\gamma_3}\cos^2\gamma_3-\frac{m_3R^2}{\sin^2\gamma_3}\times\right.$$

$$\left.\times\left(tg\beta\frac{R\cos\gamma_3}{U}-1\right)+\frac{m_3R^3}{U\sin^2\gamma_3}\cos\gamma_3+\frac{m_3b^2R^2}{3U^2}\right]\ddot{\gamma}_3-A^{VII}_{\gamma_3}=0, \qquad (4.65)$$

სადაც $A^{VII}_{\gamma_3}$ გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 7).

ამგვარად შედგენილია მეშვიდე სახის $(K_1P_2K_3)$ დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები (4.60), (4.62), (4.64) და (4.65), შესაბამისად განზოგადოებული γ_1, x_2, y_2 და γ_3 კოორდინატების მიმართ.

VIII(1). მერვე სახის დამატებითი $(K_1P_2P_3)$ მოძრაობა აღიწერება დიფერენციალური განტოლებებით γ_1, x_2, y_2, x_3 და y_3 განზოგადოებული კოორდინატების მიმართ. პირველ რიგში ვადგენთ განტოლებას γ_1 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ. ვსარგებლობთ გამოთვლილი კერძო წარმოებულების გამოსახულებებით (იხ. დანართი 1, 5), რომელთა შეტანა მოძრაობის ზოგად დიფერენციალურ განტოლებაში,

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\gamma}_1}\right) - \frac{\partial T}{\partial \gamma_1} = Q^{VIII}_{\gamma_1}, \tag{4.66}$$

სადაც $Q^{VIII}_{\gamma_1}$ განზოგადოებული ძალის მნიშვნელობა აიღება (3.96) სისტემიდან, დიფერენციალურ განტოლებას γ_1 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ.

$$\Delta_1^2\Big[m_1 \sin^2\gamma_1 + m_2 tg\beta \sin\gamma_1 \cos\gamma_1 + \frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta + 1\right)\cos^2\gamma_1 +$$

$$+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}\cos^2\gamma_1 + m_3 \sin\gamma_1\left(sm\gamma_1 + tg\beta\cos\gamma_1\right) + m_3 tg\beta\cos\gamma_1\left(\sin\gamma_1 +\right.$$

$$\left.+ tg\cos\gamma_1\right)\Big]\ddot{y}_1 - m_3 tg\beta\Delta_1\left(\sin\gamma_1 + tg\beta\cos\gamma_1\right)\ddot{x}_2 -$$

$$-\Big[\frac{m_2}{2}tg\beta\sin\gamma_1 + \frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta - 1\right)\cos\gamma_1 + \frac{m_2\cos\gamma_1}{12\cos^2\beta} +$$

$$+ m_3 tg\beta\left(\sin\gamma_1 + tg\beta\cos\gamma_1\right)\Big]\Delta_1\ddot{y}_2 + \Delta_1\Big[\frac{m_2}{2}tg\beta\sin\gamma_1 -$$

$$-\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta - 1\right)\cos\gamma_1 + \frac{m_2\cos\gamma_1}{12\cos^2\beta} + m_3 tg\beta\left(\sin\gamma_1 +\right.$$

$$+tg\beta\cos\gamma_1)]\ddot{y}_3 - m_3\Delta_1 tg\beta(\sin\gamma_1 - tg\beta\cos\gamma_1)\ddot{x}_3 - -A_{\gamma_1}^{VIII} = 0, \qquad (4.67)$$

სადაც $A_{\gamma_1}^{VIII}$ გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 8).

VIII(2). მერვე სახის დამატებითი $(K_1P_2P_3)$ კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ზოგადი სახე x_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ გამოისახება ტოლობით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2}\right) - \frac{\partial T}{\partial x_2} = Q_{x_2}^{VIII}, \qquad (4.68)$$

სადაც $Q_{x_2}^{VIII}$ განზოგადოებული ძალა მოცემულია (3.97) სისტემიდან.

შესაბამისი ჩასმისა და გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ დიფერენციალურ განტოლებას x_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ.

$$\Delta_1(m_3\sin\gamma_1 + m_3 tg\beta\cos\gamma_1)\ddot{\gamma}_1 + m_3\ddot{X}_2 - m_3 tg\beta\ddot{Y}_2 - m_3\ddot{X}_3 +$$

$$+ m_3 tg\beta\ddot{Y}_3 - A_{x_2}^{VIII} = 0, \qquad (4.69)$$

სადაც $A_{x_2}^{VIII}$ გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 8).

VIII(3). მერვე სახის კონტაქტურ-წყვეტილი $(K_1P_2P_3)$ მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ზოგადი სახე y_2 კოორდინატის მიმართ ასეთია:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_2}\right) - \frac{\partial T}{\partial y_2} = Q_{y_2}^{VIII}, \qquad (4.70)$$

სადაც განზოგადოებული $Q_{y_2}^{VIII}$ ძალა განისაზღვრება (3.97) სისტემიდან.

ვსარგებლობთ პირველი სახის მოძრაობის (4.13) განტოლებით. ჩასმებისა და გარდაქმნების შემდეგ განტოლება y_2 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ წარმოგვიდგება ტოლობის სახით:

$$\left\{-\Delta_1\sin\gamma_1\left(\frac{m_2}{2}tg\beta + tg\beta m_3\right) - \Delta_1\cos\gamma_1\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta - 1\right) +\right.\right.$$

$$+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+tg^2\beta m_3 \Big]\ddot{y}_1 - m_3 tg\beta x_2 + \left(\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3 tg^2\beta \right)\ddot{y}_2 + m_3 tg\beta\ddot{x}_3 -$$

$$-\left(\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3 tg^2\beta\right)\ddot{y}_3 - A_{y_2}^{VIII} = 0, \tag{4.71}$$

სადაც $A_{y_2}^{VIII}$ განისაზღვრება ტოლობით (იხ. დანართი 8).

VIII(4). მერვე სახის დამატებითი $(K_1P_2P_3)$ კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობის დიფერენციალური ზოგადი განტოლება x_3 კოორდინატის მიმართ შეიძლება ჩაიწეროს ასეთი სახით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \ddot{x}_3}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_3} = Q_{x_3}^{VIII}, \tag{4.72}$$

სადაც $Q_{x_3}^{VIII}$ განზოგადოებული ძალა აიღება (3.97)სისტემიდან

ვსარგებლობთ პირველი სახის დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური (4.16) განტოლებით x_3-ის მიმართ, საიდანაც მივიღებთ განტოლებას x_3 განზოგადოებული კოორდინატის მიმართ.

$$-m_3\Delta_1(\sin\gamma_1 + tg\beta\cos\gamma_1)\ddot{\gamma}_1 - m_3\ddot{x}_2 + m_3 tg\beta\ddot{y}_2 +$$

$$+\left(m_3 + \frac{m_3 b^2}{3y_3^2}\right)\ddot{x}_3 - m_3 tg\beta\ddot{y}_3 - A_{x_3}^{VIII} = 0, \tag{4.73}$$

სადაც $A_{x_3}^{VIII}$ ტოლია (იხ. დანართი 8).

VIII(5). მერვე სახის დამატებითი $(K_1P_2P_3)$ კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობის დიფერენციალური ზოგადი განტოლება y_3 კოორდინატის მიმართ შეიძლაბა წარმოვადგინოთ შემდეგი ტოლობის სახით:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_3}\right)-\frac{\partial T}{\partial y_3} = Q_{y_3}^{VIII}, \tag{4.74}$$

სადაც $Q_{y_3}^{VIII}$ განზოგადოებული ძალა აიღება (3.97) სისტემიდან.

ვსარგებლობთ პირველი სახის მოძრაობის დიფერენციალური

(4.19) განტოლებით y_3 კოორდინატის მიმართ. მივიღებთ მერვე სახის დიფერენციალურ განტოლებას y_3 კოორდინატის მიმართ.

$$\left\{\frac{m_2}{2}tg\beta\Delta_1\sin\gamma_1\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}\right]\Delta_1\cos\gamma_1\right\}\ddot{y}_1+m_3tg\beta\ddot{x}_2-$$

$$-\frac{m_2}{12\cos^2\beta}\ddot{y}_2-m_3tg\beta\ddot{x}_3+\left(\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+m_3+\frac{m_3b^2}{3x_3^2}\right)\ddot{y}_3-A_{y_3}^{VIII}=0, \qquad (4.75)$$

სადაც $A_{y_2}^{VIII}$ გამოისახება ტოლობით (იხ. დანართი 8).

ამრიგად, მიღებულია დიზელის ძრავის შემსრულებელი ღრეჩოებიანი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დამატებითი რვა სახის მოძრაობის ამსახავი დიფერენციალური განტოლებები შესაბამისი განზოგადოებული ხაზოვანი და კუთხური კოორდინატების მიმართ.

მეოთხე თავის დასკვნები

1. დამუშავებულია შემსრულებელი მექანიზმის თავისუფალი დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები მოძრავი საკოორდინატო სისტემის ხაზოვანი განზოგადოებული კოორდინატების მიმართ, რომლის დროსაც მხედველობაშია მიღებული ამ მოძრაობის შესაბამისი განზოგადოებული ძალები.
2. დამატებითი წყვეტილ-კონტაქტური და კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები შედგენილია როგორც ხაზოვანი, ასევე კუთხური განზოგადოებული ცვლადი კოორდინატების მიმართ.კონტაქტურიდან თავისუფალ მოძრაობაზე

ან პირიქით გადასვლისთვის გამოყენებულია გადასვლის მახასიათებელი გამოსახულებანი.

3. კონტაქტური დამატებითი მოძრაობისათვის შედგენილია მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები მხოლოდ განზოგადოებული კუთხური კოორდინატების მიმართ ღრეჩოების გაომეტრიული ზომების, გარე მოქმედი ძალებისა და შესაბამისი განზოგადოებული ძალების გათვალისწინებით.

თავი V. ღრეჩოს სიდიდის გავლენა შემსრულებელი მექანიზმის მახასიათებელ პარამეტრებზე და დიზელის ძრავის საიმედობაზე

5.1 ღრეჩოს სიდიდის გავლენა დიზელის ძრავის შემსრულებელი მექანიზმის დინამიკაზე

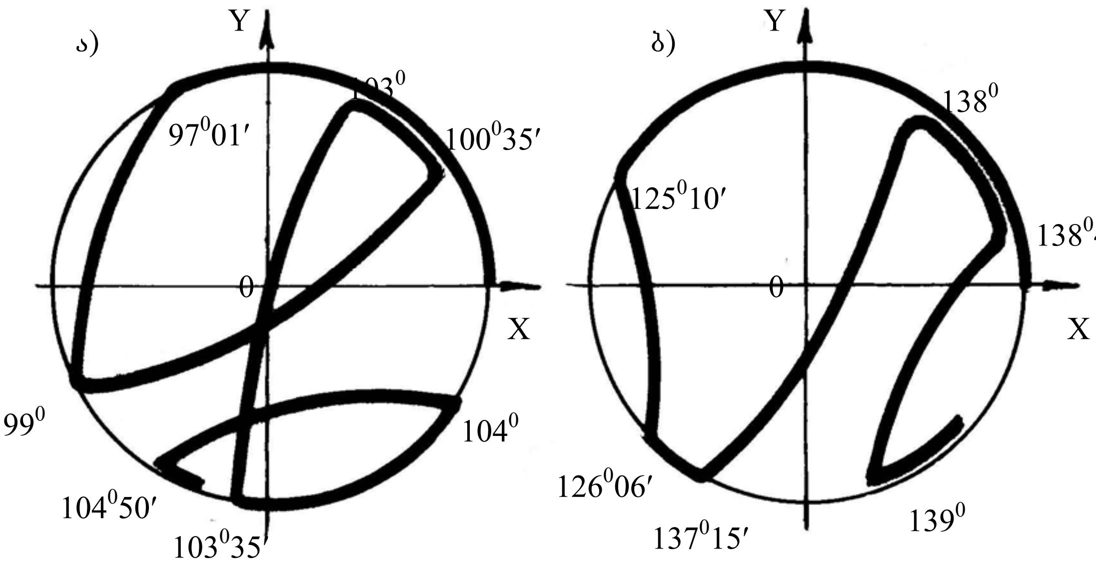
კვლევის ამ ეტაპისათვის მივიჩნევთ, რომ მექანიზმის მუშა, დატვირთული რეჟიმისათვის ყველა კინემატიკურ წყვილში ხახუნის კოეფიციენტი ნულის ტოლია. ასევე სასარგებლო წინაღობის $F_{სწ}$ ძალაც ნულს უდრის, ხოლო რგოლები წარმოდგენილია აბსოლუტურად ხისტი ღეროების სახით.

მანქანური გამოთვლებისათვის დამუშავებული პროგრამის, ქვეპროგრამებისა და ალგორითმის მიხედვით გაანგარიშებებს ვახდენთ ორ ეტაპად. პირველ ეტაპზე მივიჩნევთ, რომ ყველა კინემატიკურ წყვილში გვაქვს ღრეჩოს ერთნაირი გაზრდილი მნიშვნელობა $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta_3 = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ, ხოლო მეორე ეტაპზე კი $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta_3 = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ. ასეთი გაანგარიშება საშუალებას იძლევა წარმოდგენა შეგვექმნას რეაქციის ძალების მყის, გაზრდილ სიდიდეზე სახსრული შეერთების სხვადასხვა ცვეთის პირობებში.

სამივე კინემატიკურ წყვილში ღრეჩოების არსებობისას მექანიზმს შეიძლება გააჩნდეს რვა სახის დამატებითი მოძრაობა, რომლის მიხედვითაც შედგენილია ცალკეული დამატებითი მოძრაობების დიფერენციალური განტოლებები. ერთი სახის დამატებითი მოძრაობიდან მეორეზე გადასვლა (კონტაქტურიდან წყვეტილზე ან პირიქით) ხდება გადასვლის საწყისი პირობების საშუალებით, რაც

ითვალისწინებს მექანიზმის კუთხური კოორდინატებიდან ხაზოვანზე გადასვლას ან პირიქით. გადასვლის საწყისი პირობები ჩართულია თითოეულ ქვეპროგრამაში და მოქმედებაში მოდის მექანიზმის ძალოვანი და ხაზოვანი კონტურის წყვეტის ან ჩაკეტვის მომენტში.

მანქანური გამოთვლების შედეგების მიხედვით აღნოჩნდა, რომ 1-2 სახსრულ შეერთებაში გაზრდილი ღრეჩოს პირობებში, როცა $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ, შეერთებების შიგა ელემენტი სრიალებს გარე ელემენტის მიმართ მრუდმხარას შემობრუნების $97^0 01'$-მდე (ნახ. 5.1.ა). ამ მომენტში წყდება ელემენტების კონტაქტური მოძრაობა და იწყება შიგა ელემენტის თავისუფალი მოძრაობა ღრეჩოს არეში. იგი გრძელდება მრუდმხარას მობრუნების 99^0-მდე. აქ უკვე ადგილი აქვს შიგა ელემენტის დარტყმით მოვლენას გარე ელემენტის მიმართ. დარტყმის შემდეგ შიგა ელემენტი ასრულებს არეკვლით მოძრაობას და მრუდმხარას მობრუნების $100^0 35'$-თვის ხდება განმეორებითი დარტყმა გარე ელემენტის მიმართ. ამის შემდეგ იგი სრიალებს გარე ელემენტის მიმართ და მრუდმხარას მობრუნების 103^0-თვის იწყება ახალი თავისუფალი მოძრაობა ღრეჩოს არეში. თავისუფალი მოძრაობა მთავრდება დარტყმით მრუდმხარას მობრუნების $100^0 35'$-თვის, ხოლო შემდეგ შიგა ელემენტი სრიალებს გარე ელემენტის შიგა ზედაპირის მიმართ 104^0-ით მობრუნებამდე. შემდეგ ისევ თავისუფალი მოძრაობა დარტყმით მრუდმხარას $104^0 50'$ კუთხით მობრუნებისას. აქედან ისევ კონტაქტური მოძრაობა მრუდმხარას სრული 306^0 მობრუნების ბოლომდე.

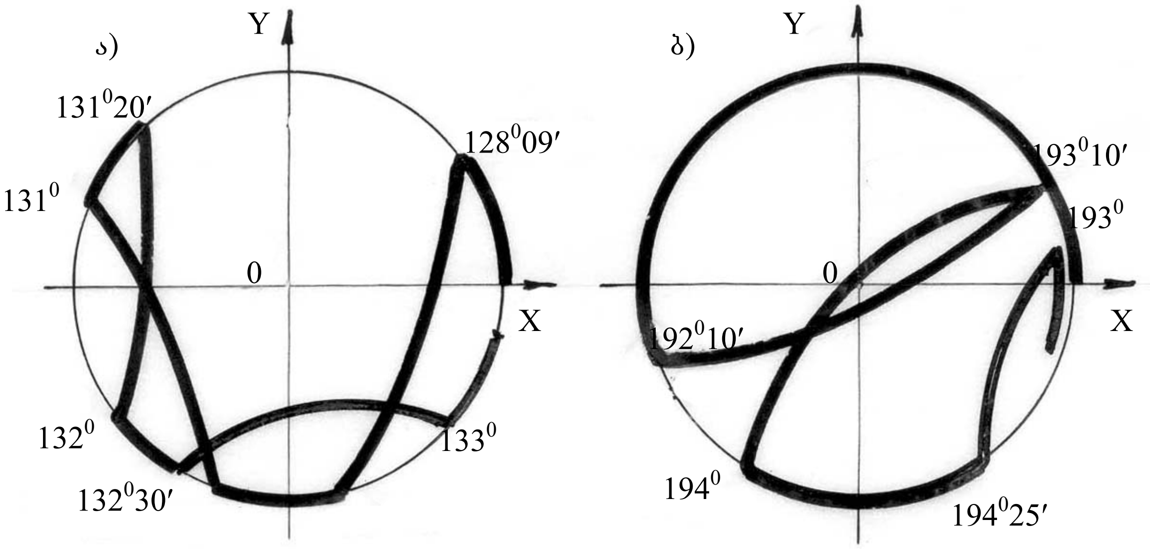


ნახ. 5.1. სახსრული 1-2 შეერთების შიგა ელემენტის მოძრაობა ღრეჩოს ორი ა) $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ და ბ) $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ მნიშვნელობისათვის ნულოვანი ხახუნის დროს

მანქანურმა გამოთვლებმა გვიჩვენა, რომ მრუდმხარას მომდევნო ახალი სრული მობრუნების დროს ადგილი აქვს წყვეტისა და კონტაქტის ახალ განლაგებას, ე.ი. ცხადია, რომ რეაქციის ძალა განიცდის მუდმივ ცვლილებას მრუდმხარას მომდევნო შემობრუნების ინტერვალში.

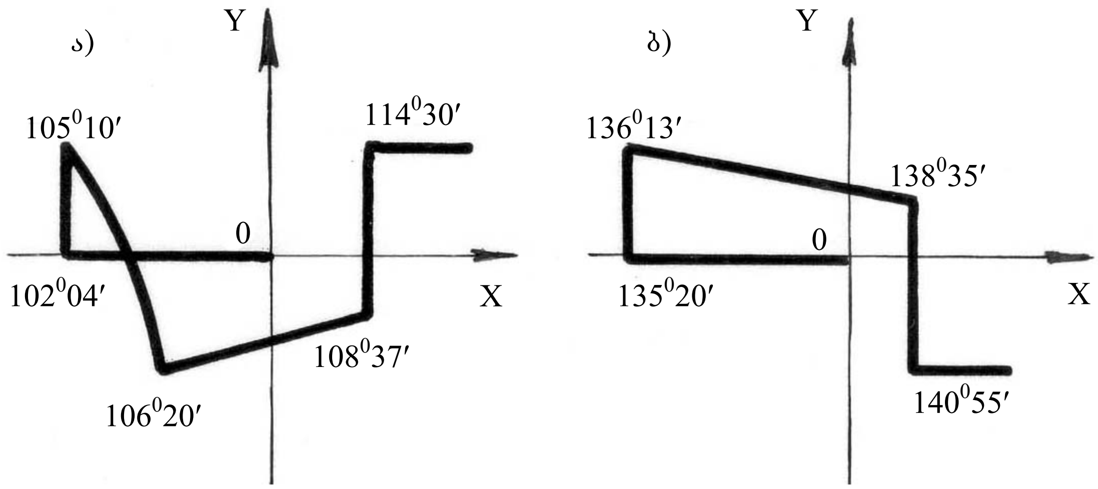
ღრეჩოს გეომეტრიული ზომების შემცირება დადებით ზემოქმედებას ახდენს სახსრული შეერთების ელემენტების მუშაობაზე. მაშინ, როცა 1-2 სახსრულ შეერთებაში ღრეჩოს მნიშვნელობაა $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ (ნახ.5.1.ბ.), პირველი წყვეტითი მოვლენა იწყება მრუდმხარას $125^010'$-ით მობრუნებისას. ამ დროს შიგა ელემენტის თავისუფალი მოძრაობა გრძელდება მრუდმხარას მობრუნების $126^006'$-თვის, რაც მთავრდება დარტყმის მოვლენით. ამ მომენტიდან თითო ასრულებს სრიალს გარე ელემენტის მიმართ და მთავრდება იგი მრუდმხარას მობრუნების $137^015'$-თვის. როცა იწყება წყვეტა და თავისუფალი

მოძრაობა. მრუდმხარას მობრუნების 138^0-თვის ადგილი აქვს თითის დარტყმით მოვლენას გარე ელემენტის მიმართ, შემდეგ კონტაქტი $138^0 40'$-ით მობრუნებისას და ისევ დარტყმა მობრუნებისას 139^0-ზე. შემდეგ თითი ასრულებს სრიალს გარე ელემენტის მიმართ.



ნახ. 5.2. სახსრული 2-3 შეერთების შიგა ელემენტის მოძრაობა ღრეჩოს ორი ა) $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ და ბ) $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ მნიშვნელობისათვის ნულოვანი ხახუნის დროს

მრუდმხარას იგივე მობრუნების სრული ციკლისთვის ბრუნვითი 2-3 სახსრული შეერთების შიგა და გარე ელემენტების წყვეტისა და კონტაქტის მოვლენებს ასახავს დიაგრამა (ნახ.5.2) ღრეჩოს $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ და $3 \cdot 10^{-2}$ მმ მნიშვნელობისათვის. ამ დიაგრამის ანალიზი საშუალებას იძლევა დავასკვნათ, რომ კინემატიკური წყვილის შიგა ელემენტის თავისუფალი მოძრაობის შეზღუდვის ძირითად პირობას წარმოადგენს ღრეჩოს სიდიდის შემცირება. ცხადია, ამ დროს მცირდება დარტყმითი მოვლენები სახსრული შეერთების ელემენტებს შორის და უმჯობესდება დინამიკური მაჩვენებლები.



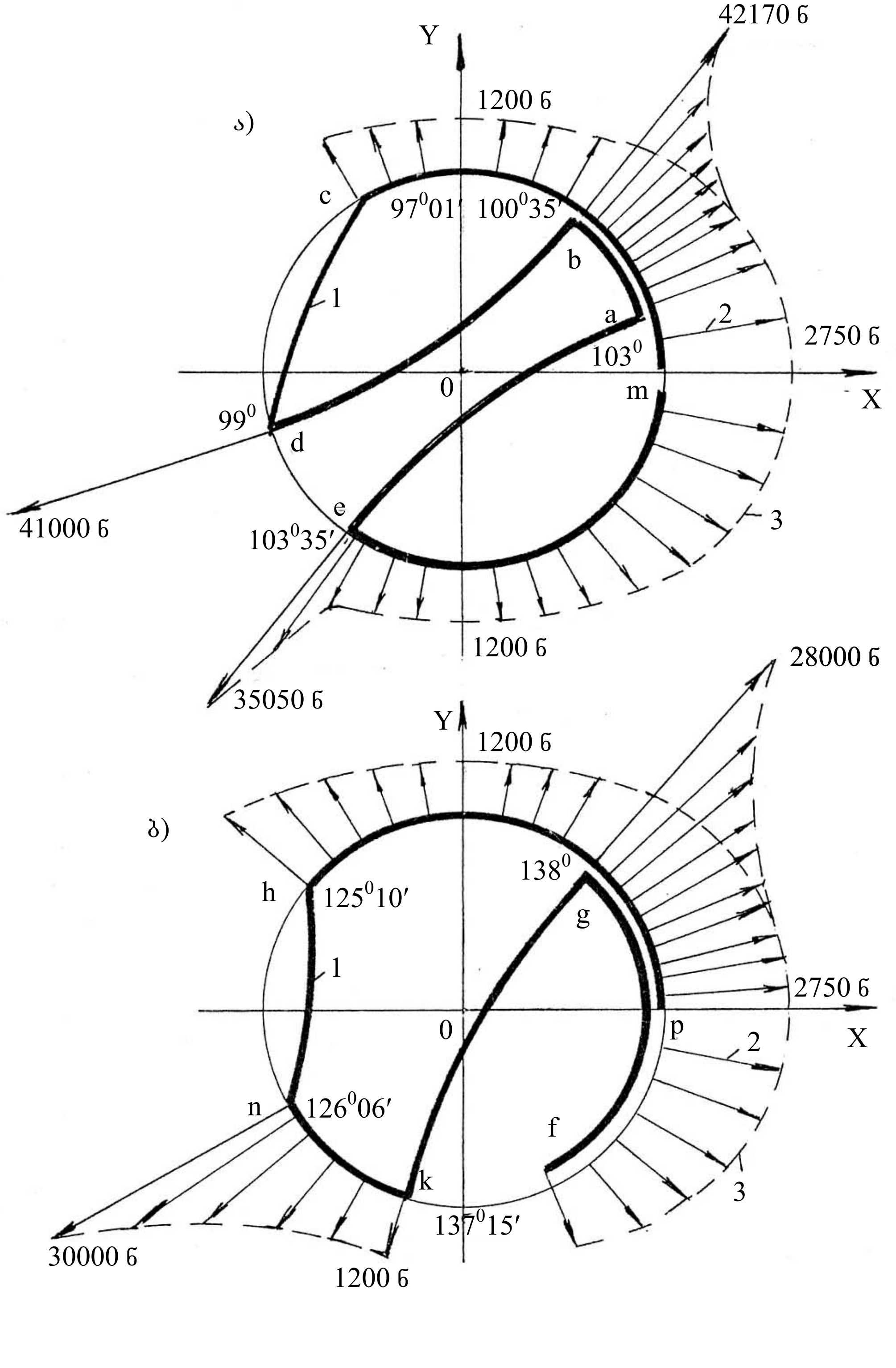
ნახ. 5.3. წინსვლითი 3-0 შეერთების დგუშის მოძრაობის დიაგრამა ა) $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ და ბ) $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს მნიშვნელობისას ნულოვანი ხახუნის შემთხვევაში

მრუდმხარას იგივე მობრუნების სრული ციკლისთვის წინსვლით 3-0 კინემატიკურ წყვილში შიგა ელემენტის, დგუშის ცენტრის მოძრაობას გარე ელემენტის მიმართ ასახავს დიაგრამა (ნახ.5.3). დიაგრამიდან ჩანს, რომ $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს პირობებში (ნახ.5.3.ა.) დგუში ასრულებს ბრტყელ-პარალელურ გადატანით მოძრაობას გარე ელემენტის მიმართ მრუდმხარას მობრუნების $102^0 04'$-მდე. აქ უკვე ადგილი აქვს პირველ წყვეტით მოვლენას და მრუდმხარას მობრუნების $105^0 10'$-თვის ხდება პირველი დარტყმა ცილინდრის შიგა ზედაპირის მიმართ. დგუში, ასრულებს რა არეკვლით მოძრაობას, ახდენს განმეორებით დარტყმას მრუდმხარას $106^0 20'$-ით მობრუნებისას. ამის შემდეგ დგუში ასრულებს თავისუფალ მოძრაობას ღრეჩოს არეში, რაც მთავრდება დარტყმით მრუდმხარას მობრუნების $114^0 30'$-თვის. ანალოგიურ მოვლენებს აქვს ადგილი ამ კინემატიკურ წყვილში შემცირებული $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს შემთხვევაშიც (ნახ. 5.3 ბ.). დიაგრამების ანალიზი ცხადყოფს, რომ წინსვლით 3-0 კინემატიკურ

წყვილში ღრეჩოს გეომეტრიული ზომის შემცირებას თან ახლავს შიგა და გარე ელემენტებს შორის დარტყმითი მოვლენების ნაკლები რაოდენობა, ასევე დარტყმისას რეაქციის ძალების შესუსტებაც.

რეაქციის ძალის ცვლილებას, მრუდმხარა-ბარბაცას 1-2 სახსრულ შეერთებაში ნულოვანი ხახუნისა, $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ და $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს მნიშვნელობისათვის, ასახავს გრაფიკი (ნახ.5.4). ნახაზზე 3 პუნქტირით აღნიშნულია ამავე სახსრულ შეერთებაში რეაქციის ძალის ცვლილების დიაგრამა ღრეჩოს გარეშე, ხოლო 1 კონტურით კი შიგა ელემენტის მოძრაობა ღრეჩოს არსებობის დროს. ნახაზზე რეაქციის ძალის ცვლილება წარმოდგენილია 2 წირებით მრუდმხარას სრული 360^0-ით მობრუნებისთვის.

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, მრუდმხარას $97^0 01'$-ით მობრუნებისას წყდება 1-2 კინემატიკურ წყვილში კონტაქტური მოძრაობა და იწყება შიგა ელემენტის თავისუფალი გადაადგილება ღრეჩოს არეში. ამ მომენტამდე ღრეჩოს შესაბამისი რეაქციის ძალა და უღრეჩოო წყვილის რეაქციის ძალა ემთხვევიან ერთმანეთს. თავისუფალი მოძრაობა მრუდმხარას 99^0 მობრუნებისას მთავრდება დარტყმით, რომლის დროსაც რეაქციის ძალის სიდიდე აღწევს 41000 ნიუტონს. დარტყმის შემდეგ თითი აისხლიტება გარე ელემენტების შიგა ზედაპირიდან და $100^0 35'$ მობრუნების შემდეგ ხდება ხელახალი დარტყმა. რეაქციის ძალა ამ დროს 42170 ნიუტონია. მრუდმხარას შემობრუნების 103^0-მდე თითი სრიალებს გარე ელემენტის შიგა ზედაპირზე, 103^0-ზე ისევ ხდება წყვეტა და $103^0 - 103^0 35'$ ინტერვალში თავისუფალი მოძრაობის შედეგად მყარდება კონტაქტური მოძრაობა.



ნახ. 5.4. რეაქციის ძალის ცვლილების დიაგრამა 1-2 სახსარში ნულოვანი ხახუნისა და ღრეჩოს ა) $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ და ბ) $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ მნიშვნელობისას

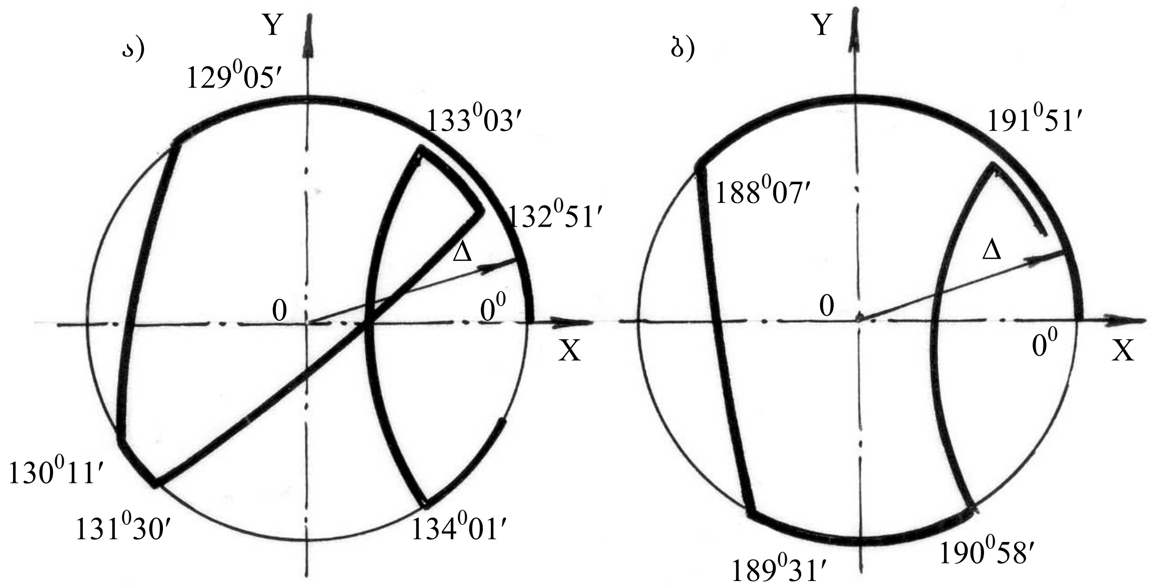
ამ დროს აღძრული რეაქციის ძალა აღწევს 35050 ნიუტონს. მსგავსად განხილულისა აგებულია რეაქციის ძალის ცვლილების გრაფიკები 1-2 კინემატიკურ წყვილში $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს არსებობისას მიღებული მანქანური გამოთვლებისა და ნახ. 5.1 ბ. მიხედვით. ასევე შესაძლებელია აიგოს რეაქციის ძალის ცვლილების დიაგრამები 2-3 და 3-0 წყვილებისათვის გაზრდილი და შემცირებული ღრეჩოს პირობებში. ამგვარად, მანქანური გამოთვლების შედეგად ჩატარებული გრაფიკული გამოკვლევები საშუალებას იძლევა დავასკვნათ, რომ დიზელის ძრავის შემსრულებელი მექანიზმის სახსრულ შეერთებებში აღძრული დარტყმითი მოვლენები რაოდენობრივად პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია სახსრულ შეერთებებში არსებული ღრეჩოების გეომეტრიული ზომების ზრდასთან. ამ ზომების მინიმუმამდე დაყვანა თავისთავად გამორიცხავს მზარდი რეაქციის ძალების არსებობას, მაშინ, როცა გაზრდილი ღრეჩოს შემთხვევაში რეაქციის ძალის მნიშვნელობა 18-20-ჯერ აჭარბებს იდეალური უღრეჩოო კინემატიკურ წყვილში აღძრულ რეაქციის ძალის სიდიდეს.

5.2 ღრეჩოსა და ხახუნის ძალის გავლენა შემსრულებელი მექანიზმის ძირითად მახასიათებელ პარამეტრებზე

ღრეჩოსა და ხახუნის ძალების გავლენის გამოკვლევა მექანიზმის ძირითად მახასიათებელ პარამეტრებზე შეიძლება წარვმართოთ მექანიზმის დინამიკური მოდელის მიხედვით შექმნილი პროგრამისა და ქვეპროგრამის მიხედვით. დინამიკური მოდელი (ნახ.3.2.) ითვალისწინებს Δ_1, Δ_2 და Δ_3 ღრეჩოების არსებობას 1-2, 2-3 და 3-0 კინემატიკურ წყვილებში. პირობითად მივიჩნევთ. რომ მექანიზმის

რგოლები აბსოლუტურად ხისტია და ერთგვაროვანი, ხოლო ღრეჩოებიან წყვილებში გვაქვს მხოლოდ მშრალი ხახუნი და შესაბამისად მშრალი ხახუნის კოეფიციენტი.

დინამიკური მოდელი საშუალებას იძლევა წარმოვადგინოთ როგორც ღრეჩოებიანი OAB მექანიზმი, ასევე მისი შესაბამისი $0_{0_1}B_0$ იდეალური მექანიზმიც, რომელიც ნახაზზე მოცემულია პუნქტირის სახით. ბარბაცას მობრუნების კუთხეა β, ხოლო შესაბამისი იდეალურისა კი – β_0. კვლევას ვახორციელებთ ღრეჩოს ორი მნიშვნელობისთვის სამივე კინემატიკურ წყვილში, როცა $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta_3 = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ და $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta_3 = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ. ორივე შემთხვევაში რეაქციის ძალებზე და ღრეჩოს არეში აღძრულ ფიზიკურ მოვლენებზე ვიმსჯელებთ მშრალი ხახუნის მიხედვით, როცა ხახუნის კოეფიციენტი $K_{ხახ} = 0{,}001$ და $K_{ხახ} = 0{,}01$.



ნახ. 5.5. დამატებითი მოძრაობა 1-2 სახსრული შეერთების ღრეჩოს არეში ღრეჩოს ა) $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ და ბ) $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ მნიშვნელობისა და ხახუნის $K_{ხახ} = 0{,}001$ კოეფიციენტის დროს

ღრეჩოს არეში შიგა ელემენტის მოძრაობის ხასიათი განპირობებულია მრავალი ფაქტორით, როგორიცაა რგოლის ინერციის ძალა, მოქმედი გარე ძალები, ღრეჩოს გეომეტრიული ზომა და ა.შ. უკვე ჩატარებულმა მანქანურმა გამოთვლებმა გვიჩვენეს, რომ დამატებით მოძრაობაზე მოქმედ ერთ-ერთ ძლიერ ფაქტორად გვევლინება ხახუნის ძალა და შესაბამისად ხახუნის კოეფიციენტი. გამოთვლები ჩატარდა ყველა კინემატიკურ წყვილში მშრალი ხახუნის $K_{\text{ხახ}} = 0{,}001$ მნიშვნელობისათვის, შემდეგ კი $K_{\text{ხახ}} = 0{,}01$ სიდიდისთვის. კვლევის პირველ ეტაპზე, როცა $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$მმ, ხოლო $K_{\text{ხახ}} = 0{,}001$, 1-2 სახსრის შიგა ელემენტი სრიალებს გარე ელემენტის მიმართ მრუდმხარას $129^0 05'$ კუთხით შემობრუნებამდე (ნახ. 5.5.ა). ეს თითქმის ემთხვევა ფიზიკურ მოვლენას იგივე 1-2 სახსარში ხახუნის უგულვებელყოფისას. შიგა ელემენტის თავისუფალი მოძრაობა გრძელდება მრუდმხარას მობრუნების $130^0 11'$-მდე და მთავრდება შიგა ელემენტის, დარტყმით გარე ელემენტის შიგა ზედაპირზე. დარტყმის შემდეგ შიგა ელემენტი ასრულებს კონტაქტურ მოძრაობას მრუდმხარას $131^0 30'$ კუთხით მობრუნებამდე. ამ პერიოდში ადგილი აქვს კონტაქტის A წერტილის ვერტიკალურ რხევას OX ღერძისადმი. მრუდმხარას $131^0 30'$ კუთხით მობრუნების შემდეგ ხდება ხელახალი არეკვლა გარე ელემენტის მიმართ და ისევ მყარდება თავისუფალი მოძრაობა ღრეჩოს არეში. განმეორებითი კონტაქტური მოძრაობა იწყება მრუდმხარას მობრუნების $132^0 51'$-დან. აქ ადგილი აქვს დარტყმით მოვლენას გარე ელემენტის მიმართ, რომელიც აღინიშნება რეაქციის ძალის მკვეთრი ზრდით. აღინიშნება აგრეთვე კონტაქტის წერტილის ვერტიკალური

რხევა OX ღერძისადმი ძალზე მცირე ამპლიტუდით. აღსანიშნავია, რომ ხახუნის დროს მრუდმხარას ერთი სრული მობრუნებისას შიგა ელემენტის მიერ ორჯერ აღიწერება თავისუფალი მოძრაობა, მაშინ როცა ხახუნის გარეშე კვლევისას თავისუფალი მოძრაობა აღიწერებოდა სამჯერ. შესამჩნევია, რომ მრუდმხარას მომდევნო სრული მობრუნებისას ღრეჩოს არეში დამატებითი მოძრაობა მიმდინარეობს, განსხვავებულად, წყვეტისა და კონტაქტის წერტილების კოორდინატები იღებენ სხვა მნიშვნელობებს, მაგრამ ამ წერტილების რაოდენობა იგივეა, რაც მრუდმხარას პირველი სრული შემობრუნებისას. ბრუნვით 1-2 სახსარში პარამეტრების ცვლილებაზე წარმოდგენას იძლევა ცხრილი (ცხრ. 5.1).

მსგავსი ფიზიკური მოვლენები აღინიშნება იმავე კინემატიკურ წყვილში ხახუნის კოეფიციეტის იგივე $K_{ხახ} = 0{,}001$ მნიშვნელობისა და $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ სიდიდისათვის. აქ კონტაქტური მოძრაობა ღრეჩოს არეში გრძელდება მრუდმხარას $188^0 07'$ კუთხით მობრუნებამდე. ხდება არეკვლა და იწყება თავისუფალი მოძრაობა

ცხრილი 5.1

ღრეჩოს მახასიათებელი პარამეტრები 1-2 კინემატიკურ წყვილში $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$მმ ღრეჩოს არსებობისას

ღრეჩოს მნიშვნელობა	$\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$მმ		
მშრალი ხახუნის კოეფიციენტი $K_{ხახ}$	0	0,001	0,01
წყვეტის შესაბამისი α კუთხე, გრად.	97, 99, 103, 104	129, 131, 133	145
წყვეტის ხანგრძლივობა α-ს მიხედვით, გრადუსი	2^0	$1^0 30'$	$1^0 10'$
მაქსიმალური რეაქციის ძალები, 10^2ნ.	410	270	250
კონტაქტის წერტილის რხევათა	0	30	25

რიცხვი გარდამავალ რეჟიმში შიგა ელემენტის მაქსიმალური სიჩქარე, მ/წმ.	0,030	0,019	0,015

გარე ელემენტის მიმართ (ნახ. 5.5 ზ). თავისუფალი მოძრაობა აღინიშნება მრუდმხარას $189^0 31'$ კუთხით მობრუნებამდე და მთავრდება შიგა ელემენტის დარტყმით გარე ელემენტისადმი. აქედან იწყება კონტაქტური მოძრაობა. აქაც დარტყმის მომენტში ადგილი აქვს რეაქციის ძალის მკვეთრ ზრდას, რომელსაც მოყვება კონტაქტის წერტილის ვერტიკალური რხევა OX ღერძის მიმართ მცირე ამპლიტუდის თანხლებით. კონტაქტური მოძრაობა გრძელდება მრუდმხარას სრულ შემობრუნებამდე. აქაც შეინიშნება, რომ მრუდმხარას მომდევნო სრული შემობრუნებისას კონტაქტისა და წყვეტის წერტილების კოორდინატები განიცდიან ცვლილებას, მაგრამ წერტილების რაოდენობა იგივეა. ამავე წყვილში ღრეჩოს ნაკლები მნიშვნელობის პირობებში პარამეტრების ცვლილებას ასახავს შემდეგი ცხრილი (5.2)

მიღებული მანქანური გაანგარიშება ცხადად აჩვენებს, რომ ღრეჩოს სიდიდის შემცირება და ხახუნის არსებობა ღრეჩოს არეში აუმჯობესებს მექანიზმის დინამიკას, რადგან მცირდება წყვეტისა დ თავისუფალი მოძრაობის მოვლენები.

ცხრილი 5.2

ღრეჩოს მახასიათებელი პარამეტრები 1-2 კინემატიკურ წყვილში, როცა $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ

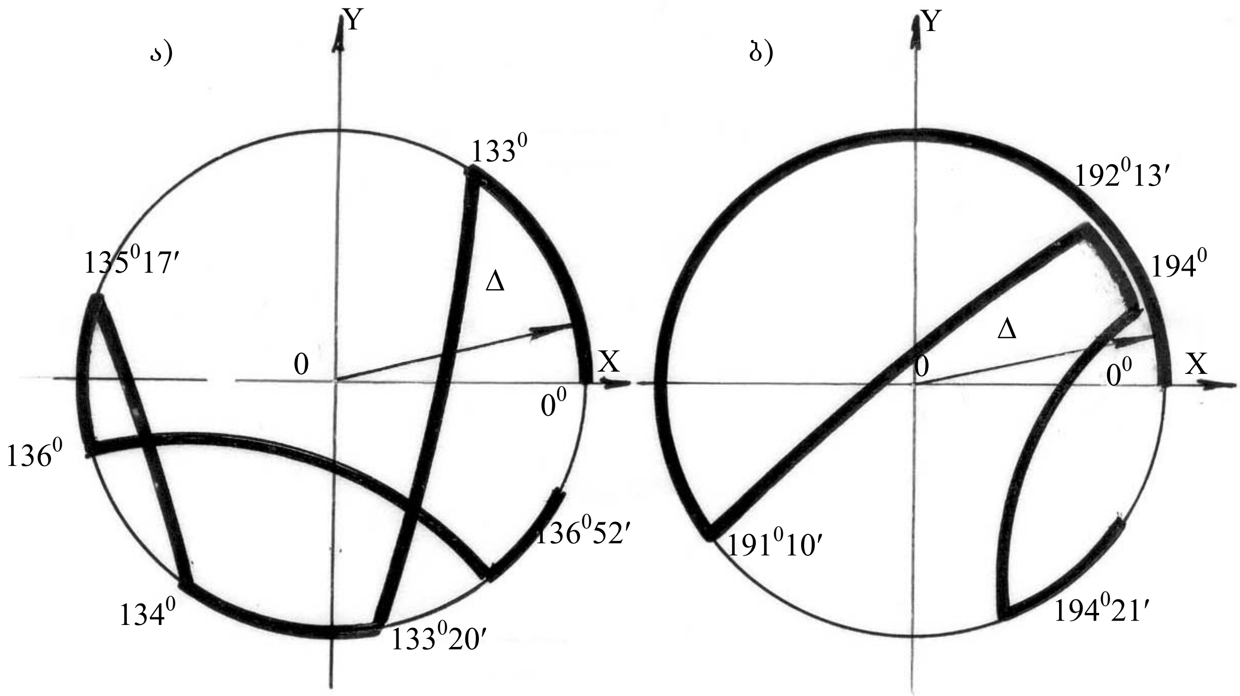
ღრეჩოს მნიშვნელობა	$\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ

მშრალი ხახუნის კოეფიციენტი $K_{ხახ}$	0	0,001	0,01
წყვეტის შესაბამისი α კუთხე, გრადუსი	130, 131, 133,	188, 190	205
წყვეტის ხანგრძლივობა α-ს მიხედვით, გრადუსი	$1^0 20'$	$1^0 36'$	1^0
მაქსიმალური რეაქციის ძალები, 10^2 ნ.	385	320	220
კონტაქტის წყვეტის რხევათა რიცხვი გარადმავალ რეჟიმში	0	30	16
შიგა ელემენტის მაქსიმალური სიჩქარე, მ/წმ.	0,020	0,018	0,013

გაანგარიშებებმა გვიჩვენა, რომ 2-3 სახსრულ შეერთებაში ხახუნის $K_{ხახ} = 0{,}001$ კოეფიციენტის არსებობისა და ღრეჩოს $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$მმ სიდიდის დროს სახსრის შიგა ელემენტი ასრულებს კონტაქტურ მოძრაობას გარე ელემენტის მიმართ მოძრაობის დაწყებიდან მრუდმხარას 133^0 კუთხით მობრუნებამდე (ნახ. 5.6 ა). ამ წერტილიდან იწყება შიგა ელემენტის თავისუფალი მოძრაობა ღრეჩოს არეში და მრუდმხარას მობრუნების $133^0 20$ კუთხისათვის ხდება კონტაქტური მოძრაობის აღდგენა, რომელიც ხასიათდება რეაქციის მკვეთრი და მყისი ზრდით. იწყება კონტაქტური მოძრაობა, რომელიც გრძელდება მრუდმხარას 134^0 კუთხით მობრუნებამდე. აქედან ისევ იწყება შიგა ელემენტის თავისუფალი მოძრაობა ღრეჩოს არეში. მრუდმხარას $135^0 17'$ კუთხით მობრუნებისას მთავრდება შიგა ელემენტის თავისუფალი მოძრაობა, ადგილი აქვს შიგა ელემენტის დარტყმით მოვლენას გარე ელემენტის მიმართ. შემდეგ კონტაქტური და თავისუფალი მოძრაობა დარტყმით მრუდმხარას მოძრაობის $136^0 52'$ კუთხისათვის. უნდა აღინიშნოს, რომ ისე, როგორც 1-2 კინემატიკურ წყვილში აქაც მრუდმხარას მეორე,

მესამე და შემდგომი სრული მობრუნებისას იცვლება კონტაქტისა და წყვეტის წერტილების კოორდინატები, მაგრამ ამავე დროს ნებისმიერი სრული მობრუნებისას მათი რაოდენობა უცვლელია. მაქსიმალური რეაქციის ძალა აღწევს 39 500 ნ-ს.

იმავე კინემატიკურ წყვილში, ღრეჩოს $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ სიდიდისა და იგივე ხახუნის ნულოვანი კოეფიციენტის დროს, მობრუნების დაწყებიდან მრუდმხარას $191^0 10'$ კუთხით მობრუნებამდე შიგა ელემენტი ასრულებს კონტაქტურ მოძრაობას (ნახ. 5.6 ბ). აქედან იწყება მისი თავისუფალი მოძრაობა და გრძელდება მრუდმხარას $192^0 13'$ კუთხით მობრუნებამდე. ამ დროს ადგილი აქვს დარტყმას გარე ელემენტის მიმართ და გრძელდება კონტაქტური მოძრაობა მრუდმხარას 194^0 მობრუნებამდე. აქაც მრუდმხარას $194^0 21'$ მობრუნებისას ხდება დარტყმა და იწყება კონტაქტური მოძრაობა.



ნახ. 5.6. დამატებითი მოძრაობა 2-3 სახსრული შეერთების ღრეჩოს არეში ღრეჩოს ა) $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ და ბ) $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ

მნიშვნელობისა და ხახუნის $K_{\text{ხახ}} = 0{,}001$ კოეფიციენტის დროს

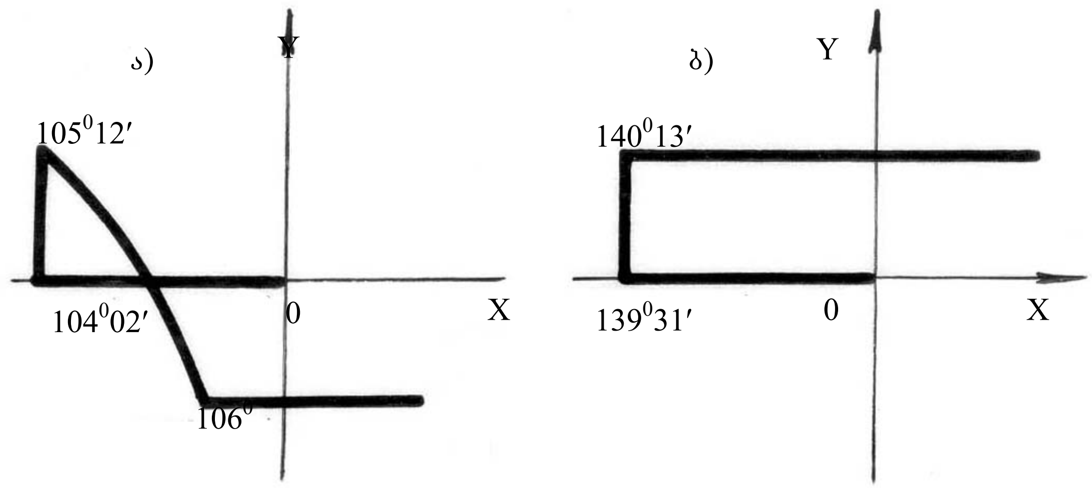
წინსვლით 3-0 კინემატიკურ წყვილს ახასიათებს მსგავსი წყვეტისა და კონტაქტის წერტილები ღრეჩოს არეში $K_{\text{ხახ}} = 0{,}001$ ხახუნის კოეფიციენტისა $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$მმ ღრეჩოს არსებობისას. ამ დროს აღძრული რეაქციის ძალები იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$F_3^n = \Big\{ m_3 b \sin\delta \big[\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2 - r\omega^2 \sin\alpha - tg\beta \big(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 - \ddot{y}_3 - r\omega^2 \sin\alpha + l\dot{\beta}^2 \sin\beta \big) +$$

$$+ l\dot{\beta}^2 \cos\beta \big] + \frac{m_3}{3} b^2 \ddot{y}_3 - m_3 b \cos\delta \ddot{y}_3 + \left(a + \Delta - 2b \sin\delta \right) F_{\text{ს}} \Big\} \times$$

$$\times \Big\{ 2b \big[\cos\delta - \sin\delta \big(K_{\text{ხახ1}} sign\dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ2}} \dot{\gamma}_1 + K_{\text{ხახ3}} \dot{\gamma}_1^2 \big) \big] \Big\}^{-1}. \qquad (5.1)$$

მოძრაობის დაწყებიდან დგუში ასრულებს რა კონტაქტურ მოძრაობას მიმმართველი ცილინდრის მიმართ, მრუდმხარას მობრუნების $104^0 02'$ კუთხით მობრუნებისას იწყებს თავისუფალ მოძრაობას ღრეჩოს არეში, რაც მთავრდება დარტყმითი მოვლენით მრუდმხარას მობრუნების $105^0 12'$ კუთხისათვის. აქ ისევ ხდება დგუშის ასხლეტა და ხდება განმეორებითი დარტყმა თავისუფალი მოძრაობის ინტერვალის შემდეგ მრუდმხარას 106^0 კუთხით მობრუნებისას (ნახ.5.7.ა.). აქედან იწყება კონტაქტური მოძრაობა და გრძელდება იგი მრუდმხარას სრულ მობრუნებამდე. მაქსიმალური რეაქციის ძალა ამ დროს არის 3500 ნ.



ნახ. 5.7. დამატებითი მოძრაობა 3-0 წინსვლით წყვილში, როცა ხახუნის კოეფიციენტი $K_{ხახ} = 0{,}001$ ხოლო ღრეჩოს მნიშვნელობა ა) $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ და ბ) $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ

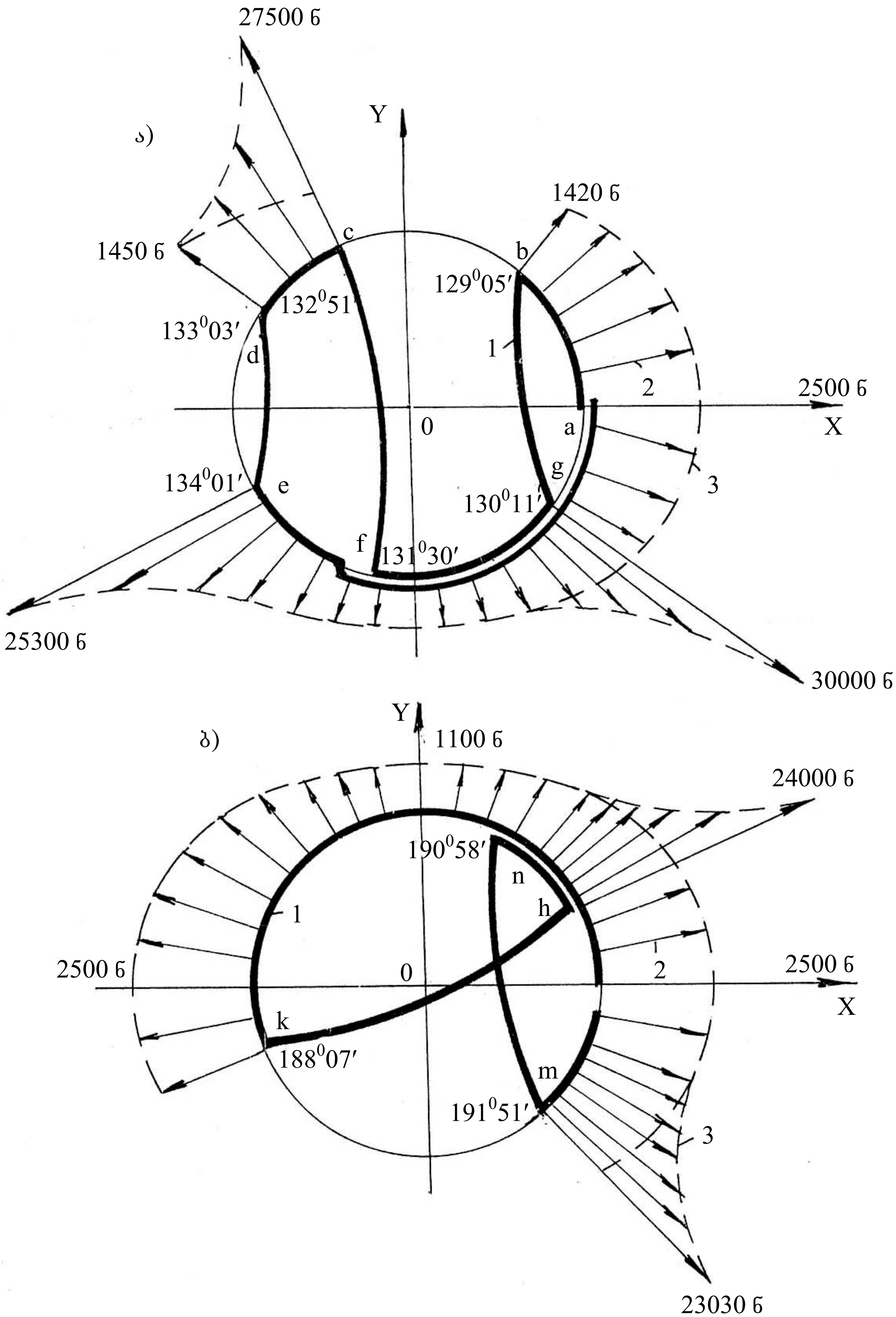
ღრეჩოს შემცირება ამცირებს წყვეტისა და კონტაქტის წერტილების რაოდენობას. $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ სიდიდისა და ხახუნის $K_{ხახ} = 0{,}001$ კოეფიციენტის დროს წინსვლითი წყვილის კონტაქტური მოძრაობა გრძელდება (ნახ. 5.7 ბ) მობრუნებას $139^0 31'$ კუთხით მობრუნებამდე. ამ დროს წყდება კონტაქტური მოძრაობა და იწყება თავისუფალი მოძრაობა მრუდმხარას $140^0 13'$ კუთხით მობრუნებამდე. ამის შემდეგ მყარდება კონტაქტური მოძრაობა მრუდმხარას სრულ შემობრუნებამდე. რეაქციის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა ამ დროს აღწევს 3250 ნ-ს.

რეაქციის ძალის ცვლილებაზე ღრეჩოს არეში წარმოდგენას გვაძლევს გაანგარიშებით მიღებული დიაგრამები (ნახ. 5.8) ბრუნვითი 1-2 კინემატიკური წყვილისათვის, როცა ღრეჩოს სიდიდე $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ, ხოლო მშრალი ხახუნის კოეფიციენტი $K_{ხახ} = 0{,}001$. (ნახ. 5.8 ა). მრუდი 3 ასახავს რეაქციის ძალის ცვლილებას იდეალური $0o_1 B_0$

მექანიზმისათვის, როცა $K_{ხახ}$=0, $\Delta = 0$. მრუდი 2 შეესაბამება რეაქციის ძალის ცვლილებას $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$მმ ღრეჩოს შემთხვევისთვის. ხახუნის პირობებში მცირდება კინემატიკური ჯაჭვის წყვეტისა და კონტაქტის წერტილების რაოდენობა, მაგარამ ამასთან ერთად ადგილი აქვს კონტაქტის წერტილის ვერტიკალურ რხევით მოვლენას OX ღერძის მიმართ. ასეთივე მოვლენას აქვს ადგილი $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ დროსაც (ნახ. 5.8 ზ).

მანქანური გამოთვლები ჩატარებულია 2-3 და 3-0 კინემატიკური წყვილების მიმართაც $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$მმ, $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოთა სიდიდეებისა და ხახუნის $K_{ხახ}$=0, $K_{ხახ} = 0{,}001$, $K_{ხახ}$=0,01 კოეფიციენტის მნიშვნელობისათვის. შედეგები შეიძლება აისახოს წარმოდგენილი დიაგრამისა და ცხრილების მსგავსად.

გამოთვლებმა აჩვენა, რომ ღრეჩოს არეში მყარი დარტყმისას აღძრული რეაქციის ძალების მნიშვნელობანი პროპორციულ დამოკიდებულებაშია ღრეჩოს გეომეტრიულ ზომებთან. ღრეჩოს არეში ხახუნის ძალის არსებობა ამცირებს კონტაქტისა და წყვეტის წერტილების რაოდენობას, რაც აუმჯობესებს



ნახ. 5.8. რეაქციის ძალის ცვლილების დიაგრამა 1-2 სახსრულ შეერთებაში ღრეჩოს ა) $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ და ბ) $\Delta = 3 \cdot 10^{-2}$ მმ

მნიშვნელობისას ხახუნის $K_{ხახ} = 0{,}001$ კოეფიციენტის პირობებში

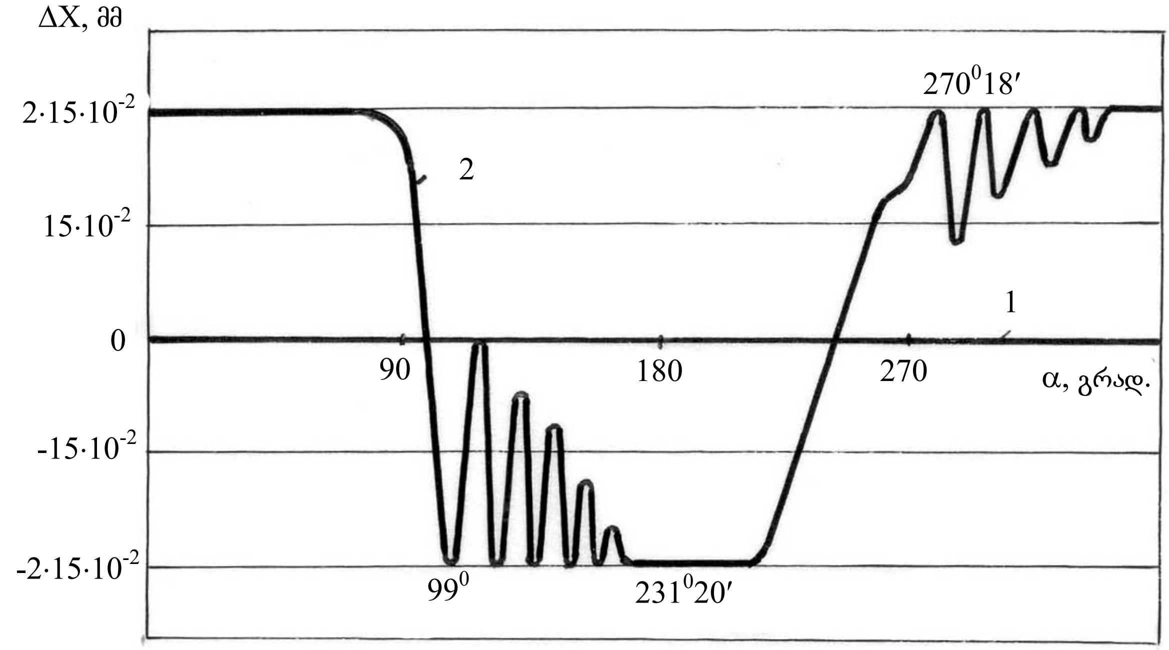
დინამიკურ მაჩვენებლებს. გამოთვლები საშუალებას იძლევა განისაზღვროს და შეირჩეს ღრეჩოს ოპტიმალური ზომები ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობასთან კავშირში მოცემული მექანიზმის საიმედო და უმტყუვნო მუშაობის თვალსაზრისით.

5.3. ღრეჩის სიდიდისა და მოქმედი ძალების გავლენა შემსრულებელი მეანიზმის კინემატიკური და დინამიკური პარამეტრების სიზუსტეზე

ღრეჩოს სიდიდისა და ხახუნის $K_{ხახ}$ კოეფიციენტის ცვლილებისას რეაქციის და სხვა პარამეტრების მნიშვნელობანი განიცდიან მკვეთრ ცვლილებას. ამ ცვლილების დახასიათების მიზნით შემოგვაქვს პარამეტრის სიზუსტის ცნება, რომელიც გულისხმობს სხვაობას პარამეტრის ორ მნიშვნელობას შორის შესაბამისად იდეალური და არსებული რეალური მექანიზმის პირობებში.

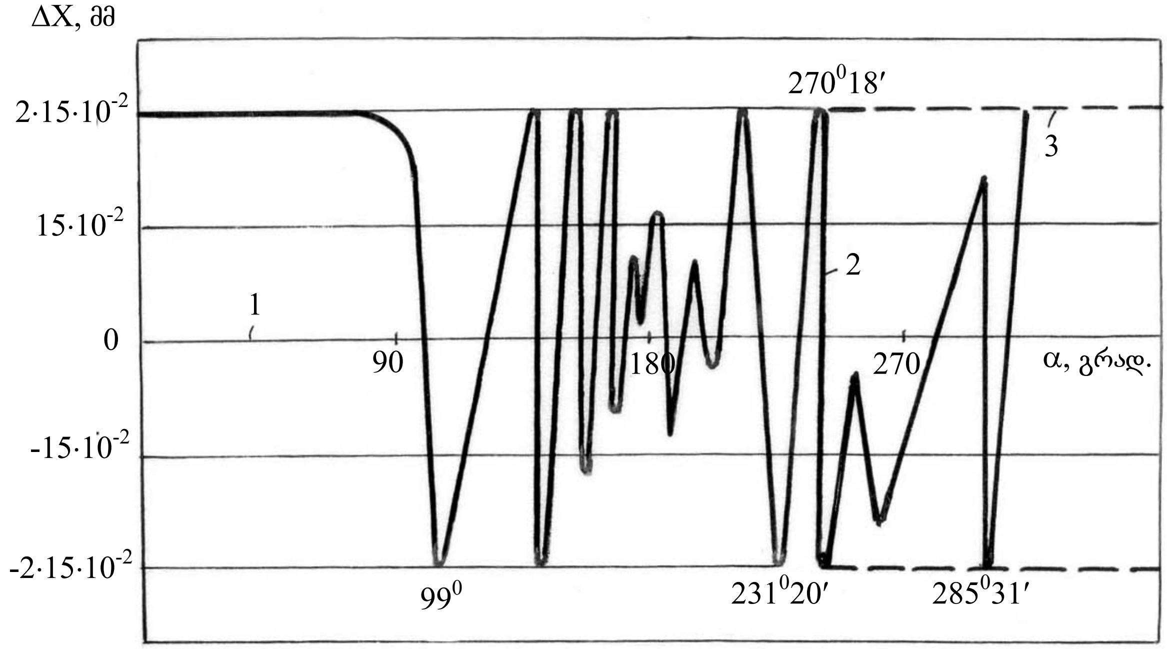
ჯერ განვიხილოთ სიზუსტის ამოცანა დგუშის გადაადგილების მიმართ $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს, ნულოვანი ხახუნის $K_{ხახ}$ კოეფიციენტის და გარე $F_{სწ}=0$ ძალის პირობებში. დგუშის გადაადგილების ცდომილების გრაფიკი წარმოდგენილია ნულოვანი ხახუნის $K_{ხახ}$ კოეფიციენტის და ნულოვანი გარე ძალის დროს ასეთი სახით (ნახ. 5.9). ცდომილების ნულოვან მნიშვნელობებს მრუდმხარას სრული 360^0-ით შემობრუნებისას ასახავს 1 სწორხაზოვანი მრუდი. იგი შეესაბამება ნულოვან ცდომილებას იდეალურ $0o_1B_0$ მექანიზმისათვის, ხოლო 2 მრუდი ასახავს დგუშის სვლის ცდომილებას რეალური OAB

მექანიზმისათვის. იმ დროს, როცა დგუშის გადაადგილება მაქსიმუმია, ე.ი. იგი მდებარეობს ზედა მკვდარ მდგომარეობაში, მაშინ OA მრუდმხარა და AB ბარბაცა განლაგდება ერთმანეთის გასწვრივ OX ღერძზე (ნახ. 3.2). ამ მომენტში მრუდმხარას მობრუნების კუთხე $\alpha = 0$, ხოლო დგუშის გადაადგილების მაქსიმალური ცდომილება არის $2 \cdot 15 \cdot 10^{-2}$ მმ (ნახ. 5.9). დგუშის გადაადგილების ეს მაქსიმალური ცდომილება ვრცელდება მრუდმხარას 96^0 კუთხით მობრუნებამდე, ე.ი. იმ დრომდე, როცა 1-2 სახსრულ შეერთებაში დასაზამი ეძლევა შიგა ელემენტის თავისუფალ მოძრაობას და მთავრდება კონტაქტური მოძრაობა. წყვეტის ამ წერტილიდან ცდომილების აბსოლუტური მნიშვნელობა თანდათან მცირდება, ეცემა 0-მდე, ხოლო მრუდმხარას 99^0 კუთხით მობრუნებისას, როცა ხდება კონტაქტური მოძრაობის აღდგენა, ცდომილება ისევ აღწევს თავის მაქსიმუმს, ოღონდაც უარყოფითი ნიშნით. აქედან მოყოლებული, მრუდმხარას მობრუნების 180^0-მდე ცდომილება ხასიათდება მილევადი გავრცელებით. მაშინ, როცა დგუში გადაადგილდება მის ქვედა მდგომარეობაში, დაიწყება მისი წინსვლითი მოძრაობა, ცდომილება ინარჩუნებს მაქსიმალურ მნიშვნელობას მრუდმხარას $235^0 20'$ კუთხით მობრუნებამდე. ხოლო ამის შემდეგ იწყება მისი სიდიდის შემცირება და მრუდმხარას $270^0 8'$ კუთხის მობრუნებისას იგი ისევ აღწევს მაქსიმუმს დადებითი მნიშვნელობით. აქედან ცდომილების გავრცელებას ენიჭება მილევადი ხასიათი, $278^0 - 285^0$ ინტერვალში ირხევა 0-დან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე, მაგრამ იგი არ უტოლდება ნულს. მრუდმხარას მობრუნების $285^0 31'$-თვის და შემდეგ იგი ისევ ორმაგი ღრეჩოს სიდიდის ტოლია.



ნახ. 5.9. შემსრულებელი მექანიზმის დგუშის გადაადგილების ცდომილება $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს, $K_{ხახ} = 0,001$ კოეფიციენტისა და ნულოვანი $F_{სწ} = 0$ ძალის შემთხვევაში

დგუშის გადაადილების რეალური Δx ცდომილება გვევლინება იმ შემთხვევაში, როცა ცდომილებაზე გავლენას ახდენს როგორც $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$მმ ღრეჩო, ასევე ხახუნის $K_{ხახ}$=0,001 კოეფიციენტი და გარე $F_{სწ}$ ძალა. ამ მოვლენას ასახავს გრაფიკი (ნახ. 5.10), რომელზეც 1 სწორი ხაზით მოცემულია დგუშის გადაადგილების ნულოვანი ცდომილება (ნულოვანი ცდომილება შეესაბამება იდეალურ $0o_1B_0$ მექანიზმს), ხოლო 2 მრუდი ასახავს რეალური OAB მექანიზმის დგუშის გადაადგილების ცდომილებას. წყვეტილი 3 არის ცდომილებათა შემომვლები.



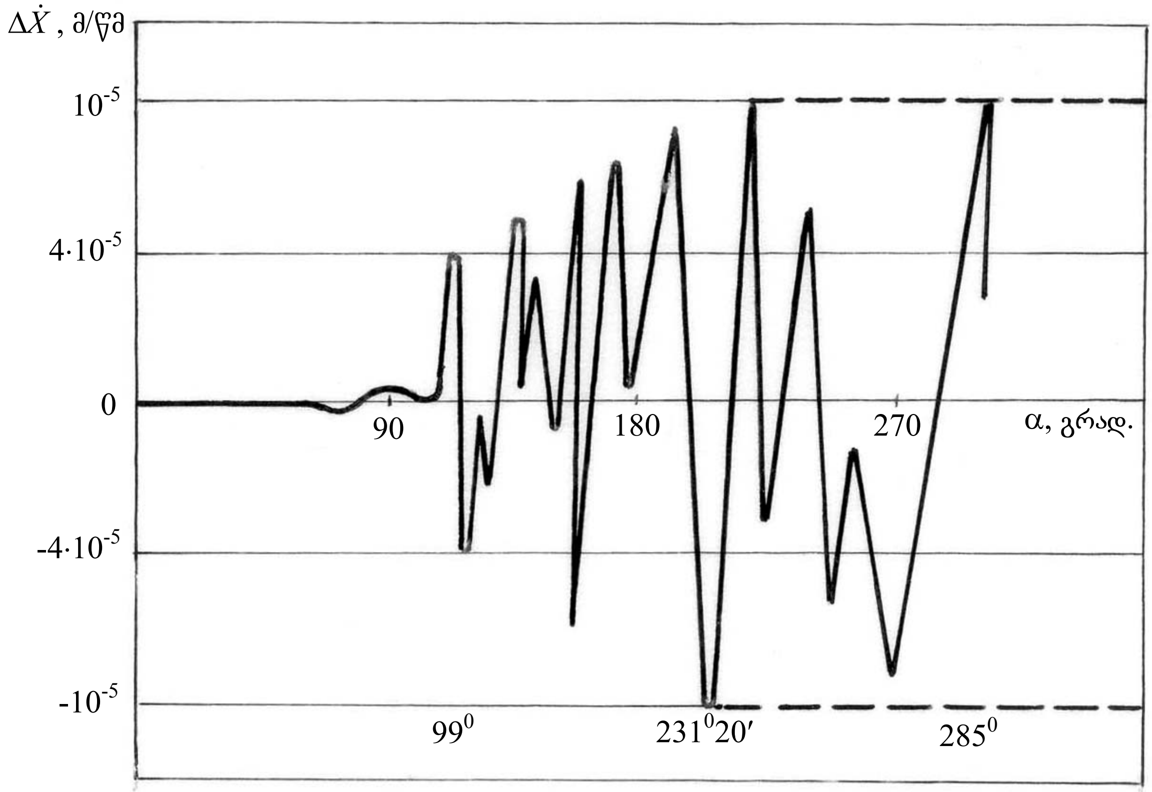
ნახ. 5.10. დგუშის გადაადგილების ცდომილება $\Delta = 15\cdot10^{-2}$ მმ ღრეჩოს, ხახუნის $K_{ხახ} = 0{,}001$ კოეფიციენტისა და $F_{სწ} = 1800$ ნ. ძალის შემთხვევაში

როგორც გრაფიკიდან ჩანს მოძრაობის დაწყებიდან მრუდმხარას მობრუნების 99^0 კუთხისთვის დგუშის ცდომილება განისაზღვრება გაორმაგებული ღრეჩოს სიდიდით, როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი მიმართულებით. მობრუნების 99^0 კუთხისათვის ისევ ხდება ცდომილების კლება ნულამდე და ისევ ზრდა ორმაგი ღრეჩოს სიდიდემდე. მობრუნების $231^0 20'$-ის მახლობელ ზონაში ცდომილებას აქვს მილევადი ხასიათი, იგი თითქმის უახლოვდება ნულოვან მნიშვნელობას, მაგრამ მობრუნების $270^0 18'$ კუთხისთვის იგი აღწევს ორმაგი ღრეჩოს მნიშვნელობებს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი მიმართულებით. აქედან მოყოლებული იგი იცვლება გარკვეული სიხშირით, მაგრამ ცვლილების ნებისმიერ მომენტში აღწევს მაქსიმუმს, რომელიც განისაზღვრება ღრეჩოს ორმაგი გეომეტრიული ზომით. აღსანიშნავია, რომ მოცემულ შემთხვევაში სასარგებლო $F_{სწ}$ წინააღმდეგობის ძალა დაფიქსირებულია მისი მუდმივი მნიშვნელობით $(F_{სწ} = const = 1800ნ)$, ხოლო მისი ცვალებადობისას აუცილებლად

მივიღებდით გადაადგილების Δx ცდომილებას განსხვავებული მნიშვნელობით და მრუდსაც ექნებოდა განსხვავებული სახე.

ღრეჩოს სიდიდე, ხახუნის ძალა და გარე $F_{სწ}$ სასარგებლო წინაღობის ძალა გავლენას ახდენს ღრეჩოს შიგნით შიგა ელემენტის დამატებითი მოძრაობის ხასიათზე და დგუშის გადაადგილების სიჩქარეზე.

გაანგარიშებები ჩატარდა $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$მმ ღრეჩოს, ხახუნის $K_{ხახ}$=0,001 კოეფიციენტისა და გარე სასარგებლო წინაღობის $F_{სწ}$=1800ნ ძალის შემთხვევაში. შედეგები მოცემულია დიაგრამის სახით (ნახ. 5.11).



ნახ. 5.11. დგუშის გადაადგილების სიჩქარის ცდომილება $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს, ხახუნის $K_{ხახ} = 0{,}001$ კოეფიციენტისა და $F_{სწ} = 1800$ ნ. ძალის შემთხვევაში

ნახაზიდან ჩანს, რომ მოძრაობის დაწყებიდან $0^0 - 84^0 10'$ ინტერვალში დგუშის გადაადგილების სიჩქარის ცდომილება ინარჩუნებს ნულოვან მნიშვნელობას. მრუდმხარას მობრუნების 90^0

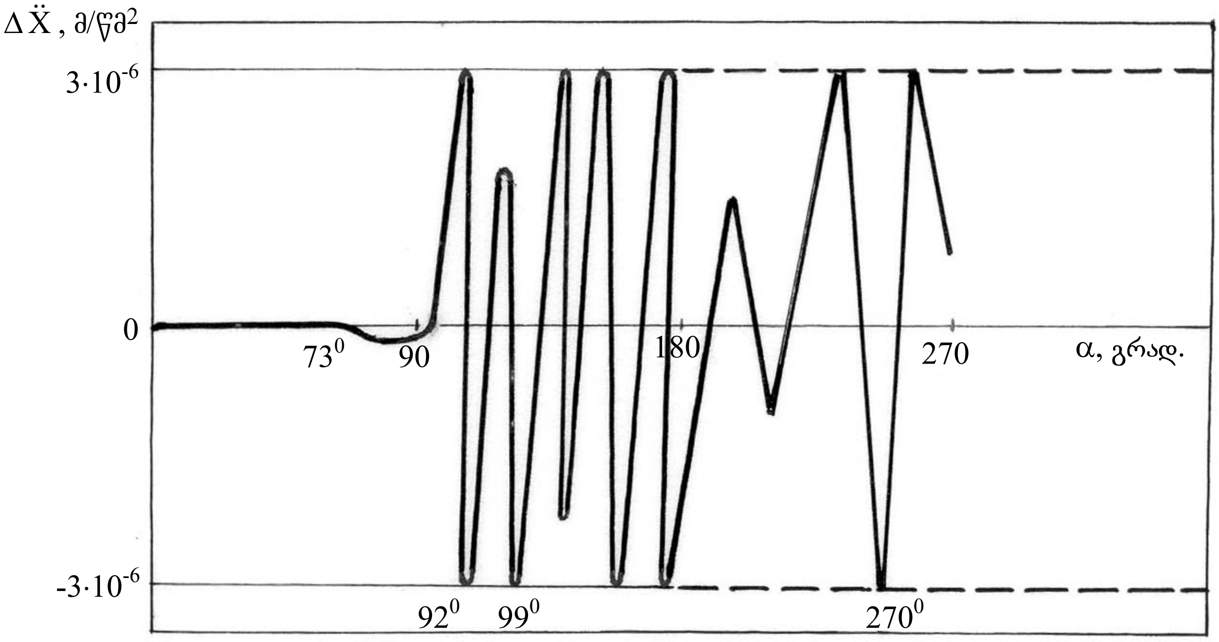
კუთხის მახლობლად სიჩქარის ცდომილება იზრდება გარკვეული მცირე სიდიდით და 99^0-ით მობრუნებისას კი იზრდება მყისიერად. მისი ზრდა ვრცელდება როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი მიმართულებით. დროგამოშვებით იგი იღებს ნულოვან მნიშვნელობებს და შემდეგ ისევ განიცდის ზრდას. საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ იგი იზრდება ან მცირდება სიმეტრიულად დადებითი და უარყოფითი მიმართულებით. შემსრულებელი მექანიზმის მრუდმხარას მობრუნების $231^0 20'$ კუთხის შესაბამისი სიჩქარის ცდომილება აღწევს 10^{-5} მნიშვნელობას და ვრცელდება დადებითი და უარყოფითი მიმართულებით, $231^0 - 285^0$ ინტერვალში იცვლება მცირე ამპლიტუდით, ხოლო 285^0-დან ინარჩუნებს მაქსიმალურ მნიშვნელობას მრუდმხარას სრული მობრუნების ბოლომდე.

დგუშის გადაადგილების სიჩქარის ცდომილება 0-დან 10^{-5} მ/წმ-მდე 0-დან -10^{-5} მ/წმ-მდე მოქმედებს დგუშის კინეტიკური ენერგიის ცვლილებაზე მრუდმხარას მობრუნების $99^0 - 360^0$ დიაპაზონში, ამასთან ერთად იცვლება შემსრულებელი მექანიზმის კინეტიკური ენერგიაც, რაც უარყოფითად მოქმედებს დინამიკურ მახასიათებლებზე.

შემსრულებელი მექანიზმის დამატებითი მოძრაობების ხასიათზე დიდ გავლენას ახდენს დგუშის გადაადგილების აჩქარება. მისი ცვლილების გამო იცვლება დგუშის მოძრაობის რაოდენობა, ინერციის ძალა და ა.შ. ჩვენს მიერ მანქანური გამოთვლების საშუალებით დადგინდა დგუშის გადაადგილების აჩქარების ცდომილება და სიზუსტის პარამეტრები მრუდმხარას მობრუნების ნებისმიერი კუთხისათვის.

გაანგარიშების შედეგად მიღებულია დგუშის გადაადგილების აჩქარების ცდომილების მიხედვით მიღებულია აჩქარების ცვლილების

დიაგრამა (ნახ. 5.12) ღრეჩოს $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ, ხახუნის $K_{ხახ}$=0,001 კოეფიციენტისა და გარე სასარგებლო წინაღობის $F_{სწ}$=1800 ნ ძალის მნიშვნელობისათვის.



ნახ. 5.12. დგუშის გადაადგილების აჩქარების ცდომილება $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს, ხახუნის $K_{ხახ} = 0{,}001$ კოეფიციენტისა და $F_{სწ} = 1800$ ნ. ძალის არსებობისას

დიაგრამის მიხედვით ჩანს, რომ მრუდმხარას მობრუნების კუთხის $0^0 - 73^0$ ინტერვალში დგუშის აჩქარება ნულის ტოლია. $73^0 - 90^0$ ინტერვალში შეინიშნება აჩქარების მცირე ცვლილება დადებითი და უარყოფითი მიმართულებით. მრუდმხარას 92^0 კუთხით მობრუნებისას იწყება დგუშის აჩქარების მკვეთრი ზრდა დადებითი მიმართულებით და მრუდმხარას 99^0 კუთხით მობრუნებისას აჩქარების ცვლილება აღწევს მის მაქსიმალურ მნიშვნელობას. ამის შემდეგ იგი ეცემა ნულამდე და შემდეგ ვითარდება რა უარყოფითი მიმართულებით, აღწევს უდიდეს მნიშვნელობას, როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი მიმართულებით. უდიდესი ცდომილებანი აბსოლუტური მნიშვნელობებით ერთმანეთის ტოლია და იგი უდრის $3 \cdot 10^{-6}$ მ/წმ^2-ს.

მრუდმხარას 180^0 კუთხით შემობრუნების შემდეგ ცდომილების უდიდესი ზღვარი ეცემა, ხოლო $270^0 - 285^0 10'$ ინტერვალში აღიდგენს მაქსიმუმს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი მიმართულებით მრუდმხარას სრული 360^0-ით მობრუნებამდე. განმეორებითი სრული მობრუნების დროს დიაგრამის კონტური განიცდის ცვლილებას, მაგრამ ცდომილების ზღვარი ორივე მიმართულებით იგივეა, რაც პირველი სრული შემობრუნებისას.

შეერთებებში არსებული ღრეჩო და პარამეტრები უარყოფით ზეგავლენას ახდენს ღრეჩოს არეში რეაქციის ძალის მნიშვნელობაზე. ამავე დროს რომელიმე ღრეჩოიან შეერთებაში ამის მიზეზად გვევლინება არა მარტო ამ შეერთებაში არსებული ღრეჩო, არამედ სხვა ღრეჩოს სიდიდე და მოძრაობის ხასიათი სხვა ღრეჩოს არეში. უმნიშვნელოვანეს ფაქტორს წარმოადგენს აგრეთვე დგუშზე მოქმედი გარე $F_{სწ}$ სასარგებლო წინაღობის ძალა, რომლის ზემოქმედება ვრცელდება არა მარტო დგუშზე, არამედ ყველა ღრეჩოებიან შეერთებაზე. ამავე დროს ამ ძალის მოქმედებისას აუცილებელია გათვალისწინებული იქნას მისი ფიზიკური არსი, როგორია მისი ბუნება, მუდმივია თუ ცვლადი და ა.შ. კვლევის გაიოლების მიზნით მას ყოველთვის მივიჩნევთ მუდმივად.

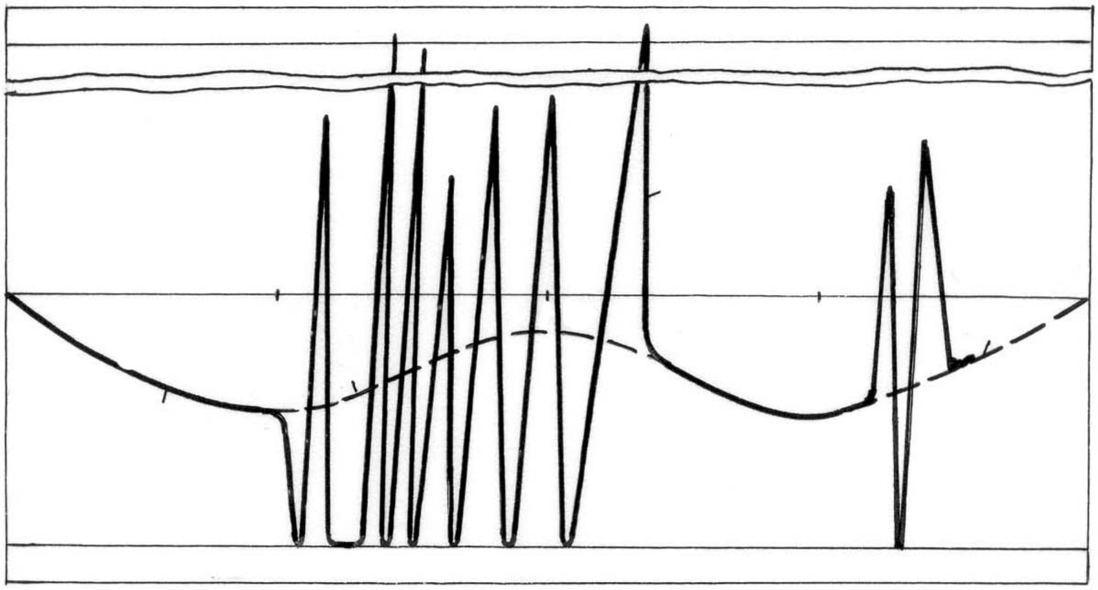
მხედველობაში მივიღეთ რა ამ ძალის მუდმივობა, გაანგარიშებანი რეაქციის ძალის გამოთვლისათვის ჩატარდა უკვე თეორიულად გამოკვლეული რეაქციის ძალის ცდომილების საანგარიშო (3.149) ფორმულის მიხედვით 1-2 შეერთებაში. გაანგარიშების შედეგი მოცემულია გრაფიკზე (ნახ. 5.13).

F_1^n, ნ

78000

2

α, გრად



ნახ. 5.13. რეაქციის ძალის ცვლილება 1-2 სახსრულ შეერთებაში $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს, ხახუნის $K_{\text{ხახ}} = 0{,}001$ კოეფიციენტისა და $F_{\text{სწ}} = 1800$ ნ. ძალის არსებობისას

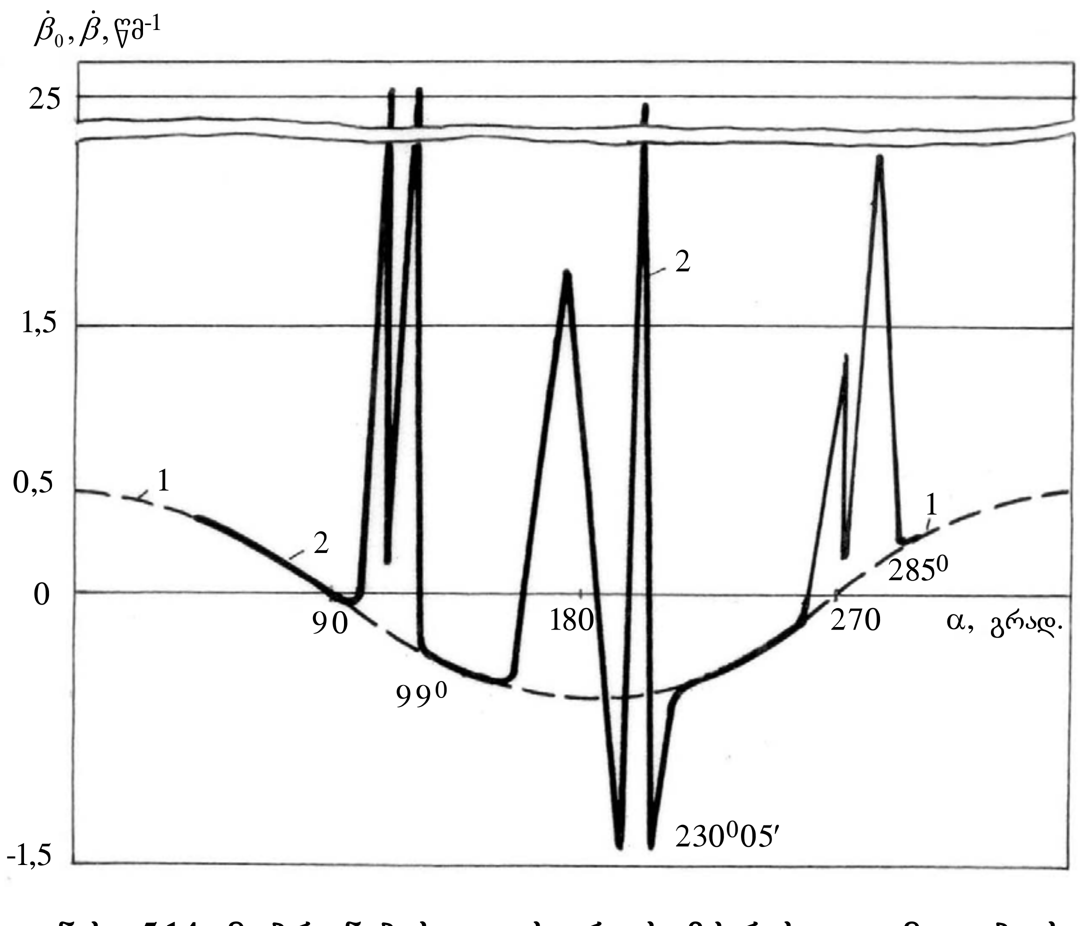
გრაფიკზე (ნახ. 5.13) ნაჩვენები ორი დიაგრამიდან ციფრით 1 აღნიშნულია 1-2 შეერთებაში რეაქციის ძალის ნორმალური მდგენელის დიაგრამა იდეალური Oo_1B_0 შემსრულებელი მექანიზმისათვის, ხილო ციფრით 2 აღნიშნულია ისევ იმავე შეერთებაში რეაქციის ნორმალური F_1^n მდგენელის დიაგრამა რეალური OAB შესაბამისი ღრეჩოებიანი შემსრულებელი მექანიზმისათვის. გაანგარიშებანი ჩატარდა $15 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს, ხახუნის $K_{\text{ხახ}}$=0,001 კოეფიციენტიასა და გარე სასარგებლო წინაღობის $F_{\text{სწ}}$=1800 ნ ძალის პირობებში.

როგორც დიაგრამიდან ჩანს (ნახ.5.13), მრუდმხარას 90^0 კუთხით მობრუნებამდე რეაქციის ძალის სიდიდეები რეალური და იდეალური შესაბამისი მექანიზმისათვის 1-2 შეერთებაში თანხვდებიან ერთმანეთს. აქედან რეაქციის ძალა მკვეთრად მცირდება და მრუდმხარას 99^0

კუთხით მობრუნებისას საწყისი 9800 ნ-დან ეცება ნულამდე. აქ ადგილი აქვს პირველ წყვეტით მოვლენას და თავისუფალი დამატებითი მოძრაობის შემდეგ კონტაქტის დროს რეაქციის ძალის სიდიდე აღწევს 45000 ნ-ს. მრუდმხარას მობრუნების $108^0 06'$ კუთხისათვის რეაქციის ძალა ეცემა ნულამდე და მომდევნო $109^0 35'$ კუთხით მრუდმხარას მობრუნებისას კონტაქტის აღდგენისას ადგილი აქვს დარტყმით მოვლენას, რომლის საწყის ფაზაში რეაქციის ძალა აღწევს 70000ნ-ს. შემდეგ მომდევნო კონტაქტური მოძრაობისას რეაქციის ძალის სიდიდე 65500 ნიუტონია. რეაქციის ძალის ცვალებადობა მიმდინარეობს მრუდმხარას $224^0 10'$ კუთხით მობრუნებამდე, რომლის შემდეგაც მისი მნიშვნელობა ემთხვევა იდეალურ შესაბამის მექანიზმში რეაქციის ძალის სიდიდეს 284^0 მობრუნებამდე. შემდეგ ისევ იცვლება მრუდმხარას 300^0 მობრუნებამდე, რის შემდეგ ემთხვევა იდეალურ რეაქციის ძალას. აქაც საგულისხმოა ის ფაქტი, რომ გარე სასარგებლო $F_{სწ}$ წინაღობის ძალის მოქმედების ხასიათი საგრძნობ გავლენას მოახდენს რეაქციის ძალის ცდომილების მნიშვნელობაზე.

შემსრულებელი მექანიზმის კინეტიკური ენერგიის ძირითადი ნაწილი ბარბაცას კინეტიკურ ენერგიაზე მოდის, ამიტომ მისი მობრუნების კუთხური სიჩქარის მცირე ცვლილებაც კი სცილდება საპროექტო მაჩვენებლებს, რაც საერთოდ იწვევს შემსრულებელი მექანიზმის დინამიკური პარამეტრების გაუარესებას. შედგენილი პროგრამის მიხედვით ჩატარებული მანქანური გამოთვლების შედეგად მიღებულია ბარბაცას მობრუნების კუთხური სიჩქარის ცვალებადობის

დიაგრამა (ნახ. 5.14), სადაც პუნქტირით აგებული 1 მრუდი ასახავს მობრუნების კუთხური სიჩქარის ცვლილებას იდეალური მექანიზმისათვის, ხოლო კონტურით შესრულებული 2 მრუდი მიეკუთვნება კუთხური სიჩქარის ცვლილებას რეალურ შემსრულებელ მექანიზმში. მრუდი აგებულია 1-2 შეერთებაში $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს, ხახუნის $K_{\text{ხახ}}$=0,001 კოეფიციენტისა და გარე



ნახ. 5.14. მობრუნების კუთხური სიჩქარის ცდომილება სახსრულ შეერთებებში $\Delta = 15 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოს, ხახუნის $K_{\text{ხახ}} = 0{,}001$ კოეფიციენტისა და $F_{\text{სწ}} = 1800$ ნ. ძალის არსებობისას

$F_{\text{სწ}}$=1800 ნ სასარგებლო წინაღობის ძალის პირობებში. ჩანს, რომ მრუდმხარას მობრუნების 99^0 კუთხემდე კუთხური სიჩქარეები თანხვდებიან ერთმანეთს, ხოლო ამ წერტილის შემდეგ ხდება

კუთხური სიჩქარის მყისი ზრდა, რაც შეესაბამება ღრეჩოს არეში შიგა ელემენტის თავისუფალ მოძრაობას. შემდეგ კი დიაგრამის მიხედვით კუთხური სიჩქარის ცდომილება თანხვდება წყვეტისა და კონტაქტის წერტილების მიმდევრობას.

ამგვარად, დამუშავებული პროგრამის მიხედვით ჩატარებულია შემსრულებელი მექანიზმის ძირითადი კინემატიკური და დინამიკური პარამეტრების სიზუსტის გაანგარიშება, რაც მოცემულია დიაგრამების სახით დგუშის გადაადგილების, სიჩქარის, აჩქარების, ღრეჩოში რეაქციის ძალის, ზარბაცას მობრუნების კუთხისა და მობრუნების კუთხური სიჩქარის ცდომილებებისათვის.

5.4. დისერტაციის მეცნიერული შედეგების ტექნიკური ეფექტიანობის განსაზღვრა

ყველა დანადგარი ან მოწყობილობა, რომლის კვების წყარო დიზელია, ემსახურება რეფრიჟერატორულ მუშა კამერებში სამაცივრო ციკლის უზრუნველყოფას. ამდენად, აუცილებელი და საჭიროა პირველ რიგში უზრუნველყოფილ იქნას დიზელის ძრავის გამართული და საიმედო მუშაობა, მოხდეს მის შემსრულებელ მექანიზმის სახსრულ შეერთებებში ოპტიმალური ღრეჩოს სიდიდის დადგენა.

განვიხილოთ დიზელის ძრავის შემსრულებელი მექანიზმი ოპტიმალური ღრეჩოს დადგენის მიზნით (ნახ. 2.8). იმის გამო, რომ მრუდმხარა-ზარბაცა და ზარბაცა-დგუშის სახსრულ შეერთებებში არსებობს Δ ღრეჩო, ამიტომ მრუდმხარას მობრუნების ნებისმიერი α კუთხისათვის ზარბაცას სიგრძედ შეიძლება მივიღოთ $l+4\Delta$ ან $l-4\Delta$

სიდიდეები. ღრეჩოს გათვალისწინებით ვწერთ:

$$X_{\text{დ}} = X_{\text{დ}}(\alpha, \Delta), \tag{5.2}$$

სადაც $X_{\text{დ}}$ - არის დგუშის გადაადგილება (სვლა) მრუდმხარას მობრუნების α კუთხისათვის.

შესაძლო ცდომილება, რომელიც იმოქმედებს დგუშის სვლის სიდიდეზე, იანგარიშება შემდეგი სხვაობის მიხედვით:

$$\Delta_{X_{\text{დ}}} = X_{\text{დ}(\max)} - X_{\text{დ}(\min)}. \tag{5.3}$$

თავის მხრივ დგუშის მაქსიმალური სვლა

$$X_{\text{დ}(\max)} = (l + 4\Delta)\cos\beta_{\min} - r\cos\alpha, \tag{5.4}$$

დგუშის მინიმალური სვლა

$$X_{\text{დ}(\min)} = (l - 4\Delta)\cos\beta_{\max} - r\cos\alpha. \tag{5.5}$$

ბარბაცას მობრუნების კუთხის კოსინუსი

$$\cos\beta = \sqrt{l^2 - N}\big/l, \tag{5.6}$$

სადაც N განისაზღვრება ტოლობით

$$N = r^2\sin^2\alpha \tag{5.7}$$

ან

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \frac{N}{l^2}}. \tag{5.8}$$

მაშინ, იმის გამო, რომ ბარბაცას l სიგრძეს Δ ღრეჩოს არსებობისას შეუძლია მიიღოს ორი მნიშვნელობა, ბარბაცას მობრუნების კუთხის კოსინუსები შეიძლება წარმოვადგინოთ ამგვარად:

$$\cos\beta_{\max} = \frac{1}{(l - 4\Delta)}\left[(l - 4\Delta)^2 - N\right]^{1/2} \tag{5.9}$$

$$\cos\beta_{\max} = \frac{1}{(l + 4\Delta)}\left[(l + 4\Delta)^2 - N\right]^{1/2} \tag{5.10}$$

(5.9) და (5.10) მნიშვნელობების შეტანით შესაბამისად (5.4) და

(5.5) ტოლობებში მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებებს:

$$X_{\text{დ}(\max)} = \left[(l + 4\Delta)^2 - N\right]^{1/2} - r\cos\alpha. \qquad (5.11)$$

$$X_{\text{დ}(\min)} = \left[(l - 4\Delta)^2 - N\right]^{1/2} - r\cos\alpha. \qquad (5.12)$$

(5.11) და (5.12) ტოლობების ძალით (5.3) გამოსახულება ჩაიწერება ასე:

$$\Delta_{X_{\text{დ}}} = \left[(l + 4\Delta)^2 - N\right]^{1/2} - \left[(l - 4\Delta)^2 - N\right]^{1/2} \qquad (5.13)$$

ასევე შეიძლება დაიწეროს

$$\Delta x_{\text{დ}(\max)} = S_{\text{დ}(\max)} - S_{\text{დ}} \qquad (5.14)$$

$$\Delta x_{\text{დ}(\min)} = S_{\text{დ}} - S_{\text{დ}(\text{მ}in)} \qquad (5.15)$$

მარტივი გარდაქმნების შემდეგ ამ ტოლობებიდან მივიღებთ:

$$\Delta x_{\text{დ}(\max)} = \left[(l + 4\Delta)^2 - N\right]^{1/2} - \left(l^2 - N\right)^{1/2}; \qquad (5.16)$$

$$\Delta x_{\text{დ}(\max)} = \left(l^2 - N\right)^{1/2} - \left[(l - 4\Delta)^2 - N\right]^{1/2}. \qquad (5.17)$$

(5.17) და (5.18) გამოსახულებების მიხედვით ჩატარებულმა მანქანურმა გამოთვლებმა ღრეჩოს სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის აჩვენა, რომ აუცილებელია შენარჩუნებულ იქნას ღრეჩოს მნიშვნელობა ტექნოლოგიური ღრეჩოს მახლობელ არეში. ღრეჩოს მნიშვნელობად აღებულ იქნა უმცირესი და უდიდესი ორი უკიდურესი გეომეტრიული ზომა, Δ=0,03 მმ და Δ=0,15 მმ.

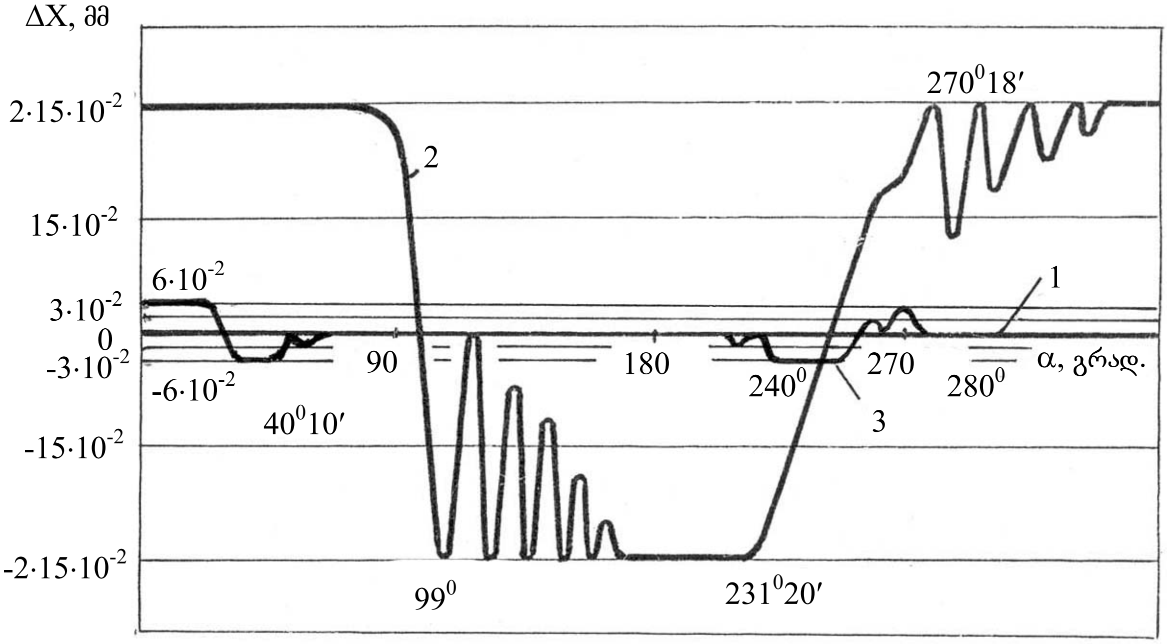
N პარამეტრის (5.7) მნიშვნელობის გათვალისწინებით (5.17) და (5.18) ტოლობები ჩაიწერება ასეთი სახით:

$$\Delta x_{\text{დ}(\max)} = \left[(l + 4\Delta)^2 - r^2\sin^2\alpha\right]^{1/2} - \left(l^2 - r^2\sin^2\alpha\right)^{1/2}; \qquad (5.19)$$

$$\Delta x_{\text{დ}(\min)} = \left(l^2 - r^2\sin\alpha\right)^{1/2} - \left[(l - 4\Delta)^2 - r^2\sin^2\alpha\right]^{1/2}. \qquad (5.20)$$

მიღებული (5.19) და (5.20) გამოსახულების მიხედვით ღრეჩოს ორი $\Delta = 15\cdot 10^{-2}$მმ და $\Delta = 3\cdot 10^{-2}$მმ მმ მნიშვნელობისათვის, ნულოვანი

ხახუნისა და გარე ძალების შემთხვევაში, გაანგარიშებული იქნა რეფრიჟერატორული ვაგონის დიზელის ძრავის შემსრულებელი მექანიზმის დგუშის გადაადგილების ცდომილება (ნახ. 5.15).



ნახ. 5.15. შემსრულებელი მექანიზმის დგუშის გადაადილების ცდომილებათა დიაგრამა ოპტიმალური ღრეჩოს განსაზღვრის მიზნით

დიაგრამიდან ჩანს, რომ $\Delta = 3\cdot10^{-2}$ მმ ღრეჩოს არსებობისას მრუდმხარას $\alpha = 40^0 10'$ მობრუნების კუთხისათვის $0^0 - 40^0 10'$ დიაპაზონის შემდეგ ცდომილება ორმაგი ღრეჩოს სიდიდიდან (მრუდი 3) ეცემა ნულამდე, შემდეგ იძენს ღრეჩოს გაორმაგებულ მნიშვნელობას უარყოფითი ნიშნით და $43^0 05' - 235^0 31'$ დიაპაზონში თანხვდება უღრეჩოო შესაბამისი მექანიზმისათვის დგუშის ნულოვან ცდომილებას (მრუდი 1). $240^0 - 250^0 05'$ მობრუნების დიაპაზონში ცდომილება იძენს გაორმაგებული ღრეჩოს მნიშვნელობებს, ხოლო 270^0-დან მისი მნიშვნელობა ნულის ტოლია. ცხადია ღრეჩოს სიდიდის შემცირებით

გამოისახება ის მკვეთრი გადასვლები ცდომილების ცვლილებისას, რაც ახასიათებს ღრეჩოს დიდ მნიშვნელობას (მრუდი 2).

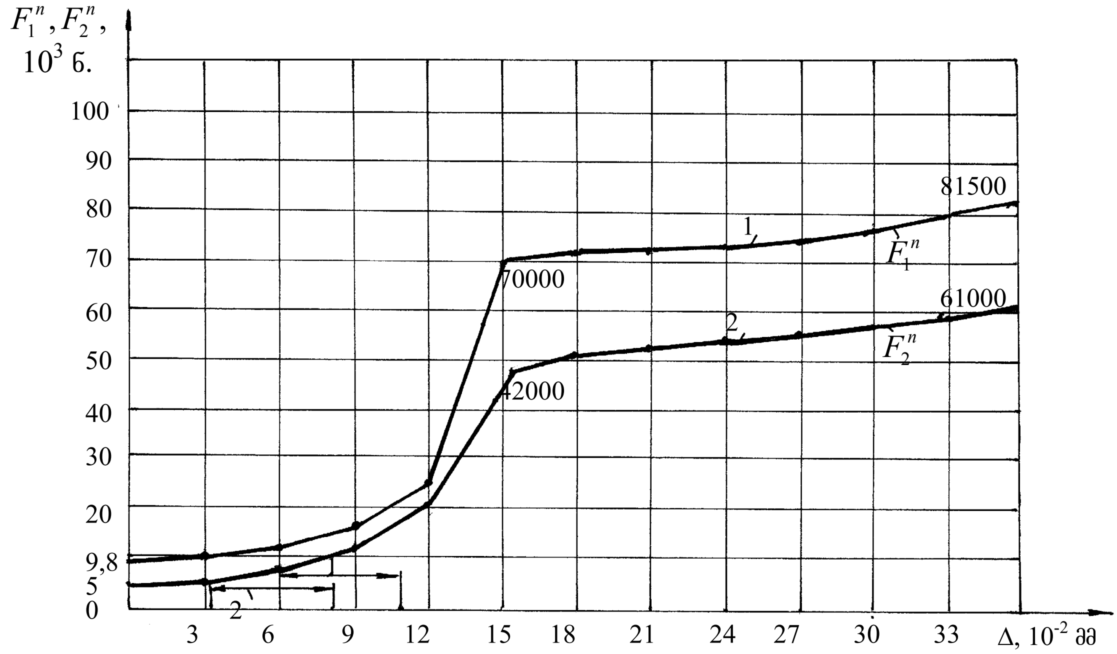
რკინიგზის რეფრიჟერატორულ ვაგონებში გამოყენებულია სხვადასხვა ტიპის დიზელის ძრავი, რომელთაგან აღსანიშნავია ავტონომიური რეფრიჟერატორული ვაგონის დიზელის 4VD 12,5/9 SRL სახის ძრავი. იგი საქარხნო დაშლით შეკეთებას გადის 5000 საათის მუშაობის შემდეგ, ხოლო ექსპლუატაციისას გამოვლენილი მტყუვნების გამო შეიძლება ჩაუტარდეს ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკა და მოხდეს მისი ნაწილობრივი სადეპოო შეკეთება.

დასაშვებია დიზელის ძრავის ორჯერადი საქარხნო შეკეთება. პირველი – მუშაობის 5000 საათის შემდეგ; მეორე – პირველი საქარხნო შეკეთებიდან 4500 საათის მუშაობის შემდეგ. დიზელის ძრავის მუშაობისას ყველაზე დიდი დინამიკური დატვირთვები მოდის მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმზე, კერძოდ მის ბარბაცა-დგუშოვან ჯგუფზე. ეს გამოწვეულია დგუშისა და ბარბაცას ინერციის ძალებით, გაზის წნევის გამოწვეულ სასარგებლო წინაღობის ძალით, გაზრდილი ღრეჩოს მნიშვნელობით სახსრულ შეერთებებში და ა.შ. მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დინამიკურ დატვირთვაზე ზემოქმედებას ახდენს ძრავის ცილინდრის მუშა ზედაპირის ცვეთაც, რომელიც გამოწვეულია შემზეთი მასალების ცუდი ხარისხით, შეზეთვის რეჟიმის დარღვევით, შეწოვილი ჰაერის არადამაკმაყოფილებელი ფილტრაციით და ბარბაცა-დგუშოვანი ჯგუფის აწყობის არასწორი ტექნოლოგიით. ამის გამო ცილინდრის მუშა ზედაპირზე შეიძლება გაჩნდეს ნაკაწრები, ბზარები და ამონაგლეჯები.

მსგავსი უწესივრობანი შეინიშნება ბარბაცას მიმართაც. ხშირია

ბარბაცას გაღუნვა და გრეხვა გრძივი ღერძის მიმართ, აგრეთვე გაზრდილი ღრეჩოები მრუდმხარა-ბარბაცასა და ბარბაცა-დგუშის ბრუნვით შეერთებებში. ამიტომ შეკეთებისას ბარბაცას გაწმენდის შემდეგ ახდენენ ღრეჩოების გაზომვას და შემოწმებას გაღუნვასა და გრეხვაზე. დასაშვებია ბარბაცას გაღუნვა 0,03 მმ მისი სიგრძის ყოველ 100 მმ-ზე, ამავე დროს გრეხვა ამავე სიგრძეზე არ უნდა შეიცვალოს, ხოლო ერთი დიზელისათვის ბარბაცას კომპლექტში ბარბაცების მასების სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს 1%-ს.

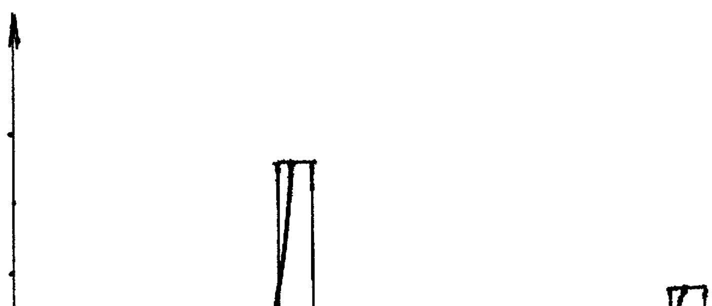
გამოთვლითი ექსპერიმენტის შედეგების მიხედვით დადგენილი იქნა რეაქციის ნორმალური მდგენელის მნიშვნელობანი ღრეჩოს გარკვეული სიდიდისთვის $0–38{\cdot}10^{-2}$ მმ დიაპაზონში. ღრეჩოს სიდიდისაგან ნორმალური რეაქციის ძალის დამოკიდებულების გრაფიკი (ნახ. 5.16) წარმოდგენილია მრუდმხარა-ბარბაცა და ბარბაცა-დგუში შეერთებისათვის ღრეჩოს აღნიშნულ დიაპაზონში 0-დან $0{,}03{\cdot}10^{-2}$ მმ, $0{,}06{\cdot}10^{-2}$ მმ, ... $0{,}38{\cdot}10^{-2}$ მმ-მდე შერჩეული $0{,}03{\cdot}10^{-2}$ მმ ბიჯით. მრუდი 1 ასახავს ნორმალური რეაქციის ძალის ცვლილებას მრუდმხარა-ბარბაცა, ხოლო მრუდი 2 კი ბარბაცა-დგუშის შეერთებაში. აქვე აღნიშნულია საქარხნო (სარემონტო) ღრეჩოების ოპტიმალური დიაპაზონები 0,06-0,108 და 0,035-0,08 მკ შესაბამისად მრუდმხარა-ბარბაცა და ბარბაცა-დგუშის შეერთებებში.

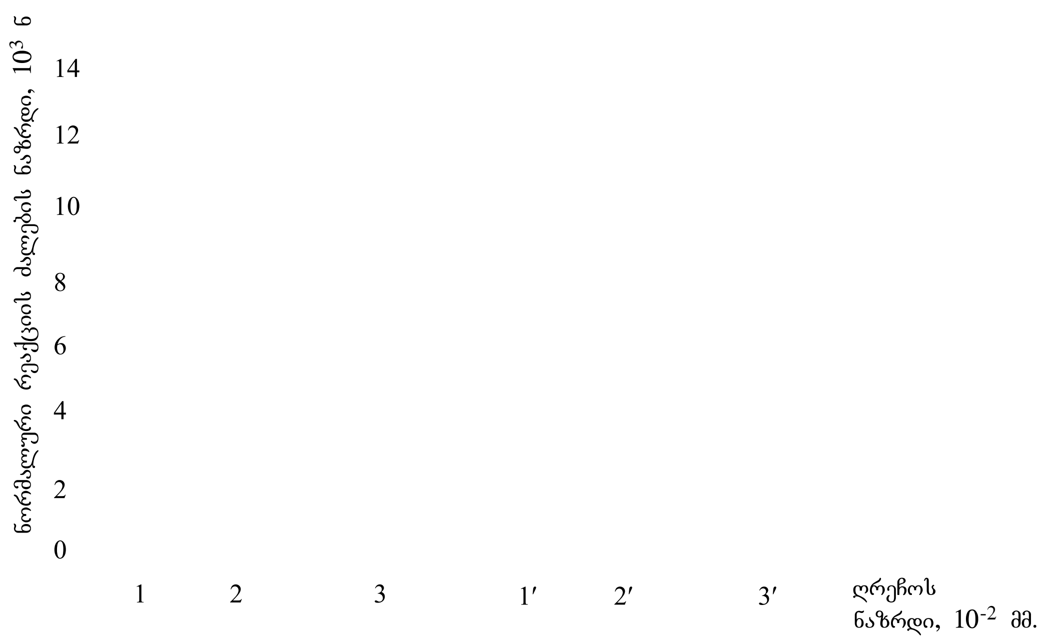


ნახ. 5.16. ნორმალური რეაქციის ძალების სიდიდეების დამოკიდებულება შესაბამის შეერთებებში ღრეჩოების სიდიდეთა ცვალებადობისადმი

რეაქციის ძალები იცვლებიან დიაგრამაზე ნაჩვენები მიმდევრობით და $12 \cdot 10^{-2}$ მმ ღრეჩოსთვის აღინიშნება ნორმალური რეაქციის ნახტომისებური ზრდის მოვლენა ორივე შეერთებაში (48000 ნ და 70000 ნ). ამის შემდეგ ნორმალური რეაქცია იზრდება მდოვრედ და ღრეჩოს $38 \cdot 10^{-2}$ მმ მნიშვნელობისას იგი ითვლის შესაბამისად 81500 და 61000 ნ-ს.

მიღებული შედეგები და მოცემული დიაგრამების ანალიზი საშუალებას იძლევა დავამყაროთ დამოკიდებულება ნორმალური რეაქციის ძალების ნაზრდისა და ღრეჩოს სიდიდეთა დიაპაზონების ნაზრდს შორის (ნახ. 5.17).





ნახ. 5.17. ღრეჩოს სიდიდის 0,015-0,09(1,1′), 0,09-0,12(2,2′) და 0,12-0,15(3,3′) მმ დიაპაზონების ნაზრდის 1 მკ-ზე მოსული ნორმალური რეაქციის ძალების ნაზრდი მრუდმხარა-ბარბაცა (1, 2, 3) და ბარბაცა-დგუშის (1′, 2′, 3′) შეერთებებისთვის

ღრეჩოსა და ნორმალური რეაქციის ძალების დამოკიდებულების (ნახ. 5.16), ასევე მიღებული ჰისტოგრამების (ნახ. 5.17) ანალიზი ცხადყოფს, რომ მრუდმხარა-ბარბაცა და ბარბაცა-დგუშის ანუ საბარბაცე ყელისა და დგუშის თითის შეერთებებისათვის : ა) რეკომენდირებული საქარხნო (სარემონტო) ღრეჩოები 0,06-0,108 მმ და 0,035-0,08 მმ მოთავსებულია ოპტიმალურ დიაპაზონში ; ბ) რეკომენდირებული საქარხნო (სარემონტო) ოპტიმალური დიაპაზონების ღრეჩოების გაზრდა შესაძლებელია 0,06-0,108 მმ-დან 0,06-0,12 მმ-მდე და 0,035-0,08 მმ-დან 0,035-0,12 მმ-მდე.

მეხუთე თავის დასკვნები

1. გამოკვლეულია ღრეჩოს სიდიდის გავლენა ღრეჩოებიან სახსრულ შეერთებებში რეაქციისა და ხახუნის ძალების მნიშვნელობაზე. დადგინდა, რომ რეაქციის ძალის მნიშვნელობა პროპორციულ დამოკიდებულებაშია ღრეჩოს სიდიდესთან.

2. დადგენილია, რომ ღრეჩოს არეში ხახუნის ძალის არსებობა ამცირებს წყვეტისა და კონტაქტის წერტილების რაოდენობას. ხახუნის კოეფიციენტის გადიდებით მცირდება დარტყმების რაოდენობა და რეაქციის ძალის მნიშვნელობა ღრეჩოს არეში.

3. გამოკვლეულია ღრეჩოს სიდიდის, ხახუნისა და გარე მოქმედი ძალების ერთდროული გავლენა დიზელის ძრავის შემსრულებელი მეანიზმის კინემატიკური და დინამიკური პარამეტრების სიზუსტეზე. მოხდა ღრეჩოს სიდიდის ოპტიმიზირება შემსრულებელი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის დინამიკური დატვირთვების შემცირების მიზნით და დიზელის ძრავის ხანგამძლეობის უზრუნველყოფისთვის.

საერთო დასკვნები

1. დამუშავებულია რეფრიჟერატორული ვაგონის დიზელის ძრავის შემსრულებელი მექანიზმის წინსვლითი დგუში-ცილინდრის შეერთების დინამიკური მოდელი ღრეჩოსა და ცვლადი დეზაქსიალის გათვალისწინებით. დგუშის რთული შეძენილი მოძრაობიდან გამომდინარე გამოკვლეულია მოძრაობის ხასიათი მუშა ცილინდრის ღრეჩოს არეში და დგუშის შესაძლო სამი სახის მოძრაობის მიხედვით ჩატარებულია შეძენილ მოძრაობათა კლასიფიკაცია ღრეჩოს სიდიდის, წინსვლითი სახსრული შეერთების გეომეტრიული და დინამიკური პარამეტრების, აგრეთვე ცვლადი დეზაქსიალის მიხედვით. მოძრაობის დინამიკური და კინემატიკური ანალიზიდან გამომდინარე დადგენილია დგუშის ჩვიდმეტი სახის დამატებითი მოძრაობა მუშა ცილინდრის მიმართ დეზაქსიალის ცვლილებისას ნულიდან ღრეჩოს მნიშვნელობამდე ინტერვალში. თითოეული დამატებითი მოძრაობის ამსახველი ანალიზური გამოსახულებანი ამავე დროს წარმოადგენს ერთი სახის მოძრაობიდან მეორეზე გადასვლის საწყის პირობებს მოცემული ღრეჩოსა და დეზაქსიალის შემთხვევაში.

2. დამუშავებულია მექანიზმის დინამიკური მოდელი გაზრდილი ცვეთების შედეგად მიღებული ღრეჩოების გათვალისწინებით სამ სახსრულ შეერთებაში. მოდელის აგებისას გათვალისწინებულია ცვლადი საკოორდინატო სისტემები თითოეული ღრეჩოიანი შეერთების გეომეტრიულ ცენტრებში და შემოღებულია ცვლადი ხაზოვანი და კუთხური განზოგადოებული კოორდინატები. დადგენილია ცვლადი დეზაქსიალის არსებობის პირობა წინსვლითი სახსრული შეერთების

გეომეტრიული წყობისა და ღრეჩოს სიდიდის გათვალისწინებით. დამუშავებულია საკოორდინატო გადასვლის ფორმულები. ღრეჩოსა და დეზაქსიალის არსებობისას გამოკვლეულია შემსრულებელი მექანიზმის შესაძლო დამატებითი მოძრაობანი და მოცემულია ამ მოძრაობათა კლასიფიკაცია. დადგენილ იქნა დამატებით მოძრაობათა რვა სახეობა, რომლებიც აღიწერებიან მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებებით მოძრაობის განმსაზღვრელი განზოგადოებული კოორდინატების მიმართ.

3. გამოკვლეული იქნა დიზელის ძრავის ღრეჩოებიანი შემსრულებელი მექანიზმის ცვლადი დინამიკური პარამეტრები. აღმოჩნდა, რომ კინეტიკური ენერგიისა და განზოგადოებული კოორდინატების შესაბამისი განზოგადოებული ძალების მნიშვნელობათა ცვლილება დამოკიდებულია ცვლად განზოგადოებულ კოორდინატების კომბინაციაზე მოცემული დამატებითი მოძრაობისას, სახსრული შეერთების ელემენტების ცვეთის სიდიდეზე და დეზაქსიალზე. მიღებულია კინეტიკური ენერგიისა და განზოგადოებული ძალების ანალიზური გამოსახულებანი ცვეთებისა და დეზაქსიალთან ფუნქციონალურ დამიკიდებულებაში. ცვლადი დინამიკური პარამეტრების კვლევის მათემატიკური აპარატი გამოსადეგია ვაგონის ნებისმიერი მექანიკური გადაცემის ანალიზური გამოკვლევისას.

4. დამუშავებულია დიზელის ძრავის მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის ღრეჩოებიან სახსრულ შეერთებებში რეაქციისა და ხახუნის ძალების კვლევის მათემატიკური აპარატი. მიღებულია სათანადო ალგებრული გამოსახულებენი რეაქციის და ხახუნის ძალების

განსაზღვრისათვის. ანალიზური გამოკვლევებით დადგინდა, რომ რეაქციის ან ხახუნის ძალების ცვლილების ფაქტორს ნებისმიერი სახის დამატებითი მოძრაობის დროს წარმოადგენს ელემენტის ცვეთის ხარისხი, განზოგადოებულ კოორდინატთა კომბინაცია, დეზაქსიალის მნიშვნელობა, სახსრის ელემენტებს შორის არსებული ხახუნის კოეფიციენტი და სახსრის ელემენტებთან დაკავშირებული რგოლების მასები.

5. დადგინდა მათემატიკური აპარატი დიზელის ძრავის შემსრულებელი მექანიზმის დამატებითი მორაობათა დიფერენციალური განტოლებების შედგენის მიზნით. დამატებით მოძრაობათა რვა სახეობის მიხედვით დამუშავებული იქნა მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები მოძრაობის განმსაზღვრელი ცვლადი განზოგადოებული ხაზოვანი და კუთხური კოორდინატების მიმართ. მიღებულ იქნა რვა სისტემა დამატებითი თავისუფალი, კონტაქტური, წყვეტილ-კონტაქტური და კონტაქტურ-წყვეტილი მოძრაობებისათვის. დამუშავდა გადასვლის პირობები ერთი სახის მოძრაობიდან მეორეზე გადასვლისთვის და საკოორდინატო გადასვლის ანალიზური გამოსახულებანი.

6. გამოკვლეულ იქნა მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის სახსრულ შეერთებებში არსებული ღრეჩოს გავლენა ძირითად მახასიათებელ პარამეტრებზე. თეორიული კვლევების მიხედვით შედგენილი პროგრამების რეალიზაციამ გვიჩვენა, რომ დიდი ცვეთების დროს სახსარში აღძრული რეაქციის ძალა 10-15-ჯერ აღემატება მის იდეალურ მნიშვნელობას, ამასთან იზრდება დარტყმების რაოდენობა სახსრულ შეერთებაში. დიაგრამებისა და ჰისტოგრამების ანალიზით დადგინდა,

რომ რეკომენდირებული საქარხნო (სარემონტო) ღრეჩოების ოპტიმალური დიაპაზონის გაზრდა შესაძლებელია გარკვეულ ზღვრებში.

ლიტერატურა

1. Абрамов Б.М. Динамика шарнирных механизмов с учетом трения. Харьков, изд. Харьк. Ун-та, 1960 - 150 с.
2. Артоболевский И.И., Костицын В.Т., Раевский Н.П. Об одном состоянии вала, вращающегося в подшипнике без смазки с зазором. - Изв. АН СССР, ОТН, 1949, №2, с. 168-173
3. Асташев В.К., Бабицкий В.И., Вульфсон И.И. и др. Динамика машин и управление машинами. М., Машиностроение, 1988 - 240 с.
4. Бахвалов Н.С. Численные методы. М., Наука, 1975 - 631 с.
5. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений, т. 2. М., Физматгиз, 1962 - 639 с.
6. Бромберг Е.М., Вериго М.Ф. и др. Взаимодействие пути и подвижного состава. М., Трансжелдориздат, 1956 - 315 с.
7. Банах Л.Л. Некоторые явления, возникающие при движении вала в подшипнике с зазором. Машиноведение, 1965, № 1, с 70-77
8. Барсов Г.А., Безменова Л.В. Теория плоских механизмов и динамика машин. М., Высшая школа, 1961 - 336 с.
9. Блохин Е.П., Манашкин Л.А. Динамика поезда. М., Транспорт, 1982 - 436 с.
10. Бидерман В.Л. Теория удара. М., Машгиз, 1952 - 351 с.
11. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. М., Высшая школа, 1980 - 408 с.
12. Бруевич Н.Г. Точность механизмов. М., Гостехиздат, 1946 - 332 с.
13. Бруевич Н.Г., Сергеев В.И. К проблеме точности в теории надежности. Изв. АН СССР, Механика и машиностроение, 1984, №2, с. 78-81
14. Бруевич Н.Г., Сергеев В.И. Основы нелинейной теории точности механизмов с низшими кинематическими парами. Сб. «Точность

механизмов и автоматизированных измерительных средств». М., Наука, 1966, с. 3-35

15. Бруевич Н.Г., Доступов В.И. Метод определения ошибок скоростей и ускорений механизмов. Машиностроение, №3, 1976, с. 27-34
16. Бруевич Н.Г., Сергеев В.И. К исследованию ошибок скоростей и ускорений плоских механизмов с высшими кинематическими парами. Сб. «Точность механизмов и автоматизированных измерительных средств». М., Наука, 1966, с. 184-191
17. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Природа контакта между ударяющимися телами. Сб. «Трение и граничная смазка», 1953, с. 115-141
18. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М., Наука, 1968 - 355 с.
19. Быховский М.Л. Основы динамической точности электрических и механических цепей. Изд. АН СССР, 1958 - 157 с.
20. Бейлин И.Ш., Вейц В.Л., Мартыненко А.М. Вопросы динамики машинного агрегата при учете зазоров в кинематических парах. «Машиностроение», вып. 19, 1972, с. 189-200
21. Бронштейн Р.Е., Кобринский А.Е. К динамике нелинейного элемента с зазорами. Труды института машиноведения, 1959, т. 19, вып. 75, с. 31-48
22. Быховский М.Л. Точность механизмов, у которых положение звеньев описывается дифференциальными уравнениями. Изв. АН СССР, ОТН, 1947, №1, с. 1455-1512
23. Бакрадзе Ю.М., Кржимовский В.Е., Скрипкин В.В. Рефрижераторный подвижный состав. М., Транспорт, 1971 - 327 с.
24. Вулфсон И.И., Коловский М.З. Нелинейные задачи динамики машин. Л., Машиностроение, 1968 - 284 с.
25. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Челноков И.И. Динамика вагона. М., Транспорт, 1978 - 352 с.
26. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона. М., Транспорт, 1991 - 360 с.

27. Вагоны. Конструкция, теория и расчет. Под ред. Л.А. Шадура. М., Транспорт, 1982 - 222 с.
28. Гарт В.К., Дуккипати Р.В. Динамика подвижного состава. Пер. с англ. М., Транспорт, 1988 - 425 с.
29. Грант, Фосетт. Влияние зазоров в механизмах. Труды Американского общества инженеров и механиков (АОИМ), рус. пер., №4, (АНН), 1978 - 78 с.
30. Галеев А.У., Першиц Ю.И. Вопросы механики поезда. М., Трансжелдориздат, 1958 - 232 с.
31. Голдстейн Г.М. Классическая механика. Гостехиздат, 1957 - 408 с.
32. Головкин Н.А., Чижов Г.Б. Холодильная технология пищевых продуктов. М., Госторгиздат, 1963 - 240 с.
33. Гогин А.Ф., Богданов А.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. М., Транспорт, 1983 - 280 с.
34. ГОСТ 20831-75. Система технологического обслуживания и ремонта техники.
35. Динамика подвижного состава железных дорог. Под ред. Камаева А.А., Камаева Б.А. Труды БИТМ-а, 1974, вып. 25 - 210 с.
36. Демьянков Н.В. Сравнительная характеристика различных систем охлаждения изотермических вагонов. Труды МИИТ-а, вып. 376, М., 1971 - 45 с.
37. Демьянков Н.В. Холодильные машины и установки. М., Транспорт, 1976 - 360 с.
38. Демьянков Н.В., Маталасов С.Ф. Хладотранспорт. М., Транспорт, 1976 - 248 с.
39. Дизели ряда 6г12/14 и агрегаты. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. М., Машиностроение, 1981 - 270 с.

40. Дубовски С., Фрейденштейн Ф. Динамический расчет механических систем с зазорами. Ч. 1, Составление динамической модели. Труды АОИМ (рус. перевод), №1, 1971, с. 247-252
41. Дубовски С., Фрейденштейн Ф. Динамический расчет механических систем с зазорами. Ч. 2, Движение систем. Труды АОИМ (рус. перевод), №1, 1971, с. 252-258
42. Дубовски С., Гарднер А. Расчет и анализ многозвенных механизмов с упругими звеньями и несколькими зазорами в соединениях. Труды АОИМ (рус. перевод), № 1, 1977, с. 57-68
43. Дьячков А.К. Исследование влияния величины зазора на показатели работы подшипника скольжения. Изд. АН СССР, 1950 - 213 с.
44. Давиташвили Н.С., Шарашенидзе Г.С. Некоторые вопросы динамического исследования точности сферических механизмов с зазорами. Труды XXVIII Международного коллоквиума (Ильменау, Германия), т. 3, 1983, с. 157-160
45. Давиташвили Н.С., Шарашенидзе Г.С., Абайшвили В.В. Динамическое исследование сферического кривошипно-ползунного шарнирного механизма с зазорами. Сб. «Вопросы прикладной механики», изд. ТГУ, вып. I, Тбилиси, 1983, с. 31-62
46. Давиташвили Н.С., Шарашенидзе Г.С. Исследование сферического и плоского четырехзвенных шарнирных механизмов с учетом зазоров в кинематических парах. Труды ГПИ им. В.И. Ленина, «Теория механизмов и машин», № 1(246), Тбилиси, 1982, с. 21-27
47. Давиташвили Н.С., Абайшвили В.В. Динамика плоского пятизвенного шарнирного механизма с зазором. Труды IV Международного симпозиума «SY'ROM-85», Бухарест, 1985, т. I-I, с. 1-8
48. Давиташвили Н.С., Шарашенидзе Г.С. Исследование влияния зазора в кинематических парах на динамику сферического шарнирного механизма.

Труды IV Международного симпозиума «SY’ROM-85», Бухарест, 1985, т. I-I, с. 79-86

49. Давиташвили Н.С., Шарашенидзе Г.С. Динамическое исследование плоского четырехзвенного шарнирного механизма с зазорами. Сообщения АН ГССР, 1981, т. 104, №3, с. 681-684
50. Давиташвили Н.С., Абайшвили В.В. Дифференциальные уравнения движения плоского пятизвенного шарнирного механизма с зазорами. «Вопросы прикладной механики», Тбилиси, изд. ТГУ, 1984, вып. 2, с. 181-185
51. Давиташвили Н.С. Вопросы кинематики и точности пятизвенных шарнирных механизмов. Всемирный конгресс по теории механизмов и машин (Монреаль, Канада), 1979, т. I, с. 557-561
52. Давиташвили Н.С. Основы теории погрешности и точности шарнирно-рычажных механизмов. Тбилиси, Технический университет, 1999 - 386 с.
53. Давиташвили Н.С., Основы динамического исследования шарнирно-рычажных механизмов с учетом трения. Тбилиси, Комитет ИФТоММа Грузии, 2002 - 352 с.
54. Диментберг Ф.М. Изгибные колебания вращающихся валов. М., изд. АН СССР, 1959 - 248 с.
55. Екимовский И.П. Эксплуатация и техническое обслуживание рефрижераторного подвижного состава. М., Транспорт, 1983 - 190 с.
56. Жоголев Е.А., Трифонов Н.П. Курс программирования. М., Наука, 1971 - 400 с.
57. Железнодорожный хладотранспорт. Справочник. М., Транспорт, 1983 - 190 с.
58. Ждановский Н.С., Николаенко А.В. Надежность и долговечность автотракторных двигателей. Л., Колос, 1974 - 175 с.
59. Исследования динамики вагонов. Труды ВНИИЖТ, вып. 307, 1965 - 180 с.

60. Инструкция по ремонту дизеля типа 4VD 12,5/9 SRL. VEB Robur-Werke Zittau (Германия), 1979 - 160 с.
61. Кожевников С.Н., Ленский А.Н. Динамические исследования механизмов с зазорами в кинематических парах. Труды II Всесоюзного совещания по основным проблемам ТММ. «Динамика машин», Машгиз, 1960, с. 85-100
62. Кожевников С.Н., Гранаткин Ю.Г. Исследования влияния формы соударяющихся тел на коэффициент восстановления скорости. «Теория механизмов и машин», Харьков, изд. Харьковского ун-та, 1971, вып. 11, с. 3-7
63. Крагельский И.В. Трение и износ. М., Машиностроение, 1968 - 480 с.
64. Котуранов В.П., Хусидов В.Д., Устич П.А., Быков А.И. Динамика вагона. М., Транспорт, 1991 - 238 с.
65. Кунц К.С. Численный анализ. Киев, Техника, 1964 - 390 с.
66. Кобринский А.Е. Некоторые вопросы практического расчета на точность механизмов с низшими парами. Труды семинара по ТММ, т. 6, вып. 23, с. 74-89
67. Кобринский Н.Е. Кинематические ошибки плоских механизмов, вызываемые зазорами в кинематических парах. Изв. АН СССР, ОТН, 1946, с. 291-304
68. Коплатц Л. Численные методы решения дифференциальных уравнений. Ил., 1953 - 459 с.
69. Крейнин Г.В., Бессонов А.П., Воскресенский В.В. и др. Кинематика, динамика и точность механизмов. Справочник. М., Машиностроение, 1984 - 224 с.
70. Крылов Ю.С., Пирог П.И. и др. Проектирование холодильников. М., Пищевая промышленность, 1972 - 310 с.
71. Кузнецов А.В. Устройство и эксплуатация двигателей внутреннего сгорания. М., Высшая школа, 1979 - 288 с.

72. Кумсков В.Т., Маханько М.Г., Штейнберг Л.Д. Основы теплоэнергетики для теплотехников и локомотивных бригад. М., Транспорт, 1984 - 174 с.
73. Кржимовский В.Е., Постарнак С.Ф., Романов В.А. Двигатели внутреннего сгорания рефрижераторного подвижного состава. М., Транспорт, 1980 - 256 с.
74. Кржимовский В.Е., Скрипкин В.В., Филюнин Г.И. Рефрижераторные секции отечественной постройки. М., Транспорт, 1983 - 185 с.
75. Кушнаренко К.Ф. Краткий справочник по горючему. М., Воениздат, 1979 - 382 с.
76. Лазарян В.А. Динамика вагонов. М., Транспорт, 1964 - 252 с.
77. Лазарян В.А. Некоторые современные проблемы динамики транспортных средств. Киев, Наукова думка, 1980, с. 3-43
78. Лазарян В.А. Динамика транспортных средств. Избранные труды. Киев, Наукова думка, 1985 - 528 с.
79. Лазарян В.А. Применение математических машин непрерывного действия к решению задач динамики подвижного состава железных дорог. М., Трансжелдориздат, 1963 - 215 с.
80. Львов А.А., Грачева Л.О. Современные методы исследований динамики вагонов. Труды ВНИИЖТ, вып. 457, 1972, с. 40-56
81. Луканин В.Н., Гаврилин В.В. К анализу ударных явлений в шатунном подшипнике. Изв. ВУЗ-ов, «Машиностроение», №7, 1971, с. 41-45
82. Ленский А.Н., Лобода В.М. Моделирование стержневых механизмов на электронных АВМ. Сб. «Теория механизмов и машин», вып. 10, изд. Харьковского ун-та, 1971, с. 15-25
83. Левенталь Л.Я., Сучков Д.И. Дизели рефрижераторных вагонов. М., Транспорт, 1987 - 166 с.
84. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М., Наука, 1977 - 454 с.

85. Милн В.Э. Численное решение дифференциальных уравнений. ИЛ, 1955 - 291 с.
86. Мейдема, Мансур. Исследование механизмов с зазорами: модель трех форм движения. Труды АОИМ (рус. пер.), №4, 1976, с. 174-179
87. Мансур, Таунсенд. Спектры и интенсивность ударов в быстродействующих механизмах. Труды АОИМ (рус. пер.), №1, 1975, с. 336-343
88. Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Динамика неголомных систем. М., Наука, 1967 - 519 с.
89. Никольский Л.Н. Вопросы исследования надежности и динамики элементов транспортных машин и подвижного состава. Труды БИИТМ-а, 1978, с. 88-89
90. Нойбауэр А., Коен Р., Холл А. Аналитическое исследование динамики упругих рычажных механизмов. Труды АОИМ, «Конструирование и технология машиностроения», сер. ВМ, №3, 1966, с. 82-89
91. Овакимов А.Г. Аналитический метод решения задач динамики плоских механизмов. М., МАИ, 1978 - 82 с.
92. Осипов А.И. Динамика механизмов с несколькими степенями свободы. «Динамика машин», М., Машиностроение, 1969, с. 212-219
93. Организация и технология ремонта рефрижераторных вагонов. Под ред. Ю.И. Артеменко, Ю.М. Бакрадзе и др. М., Транспорт, 1973 - 303 с.
94. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара. М., Наука, 1973 - 415 с.
95. Пахомов Э.А. Методы диагностики при эксплуатации тепловозов. М., Транспорт, 1974 - 215 с.
96. Правила деповского ремонта рефрижераторных вагонов ЦВ/2428. М., Транспорт, 1966 - 81 с.
97. Постарнак С.Ф., Романов В.А. Дизели рефрижераторного подвижного состава. М., Транспорт, 1989 - 288 с.

98. Рефрижераторные вагоны постройки ГДР. Под ред. Ю.М. Бакрадзе, В.В. Скрипкина и др. М., Транспорт, 1977 - 272 с.

99. Раус Дж. Динамика системы твердых тел, т. 1. М., Наука, 1983 - 464 с.

100. Сергеев В.И. Некоторые вопросы расчета точности механизмов. «Механика машин», вып. 13. М., Наука, 1968, с. 21-26

101. Сергеев В.И., Юдин К.М. Об одной модели механизмов с зазорами. «Машиноведение», №5, 1970, с. 28-32

102. Сергеев В.И., Юдин К.М. Исследование динамики плоских механизмов с зазорами. М., Наука, 1974 - 111 с.

103. Стрелков С.П. Механика. М., Наука, 1978 - 560 с.

104. Ткачев С.М. Кинематические ошибки механизмов с зазорами. «Вестник машиностроения», 1961, №11, с. 42-46

105. Таунсенд, Мансур. Маятниковая модель механизмов с зазорами во вращательных парах. Труды АОИМ (рус. пер.), №1, 1975, с. 344-348

106. Уинфри, Андерсон, Гнилка. Анализ упругих механизмов с зазорами. Труды АОИМ (рус. пер.), №3, 1973, с. 30-37

107. Ушкалов В.Ф. Проблемы динамики железнодорожного транспорта. Днепропетровск, 1980 - 160 с.

108. Фаерштейн Ю.О., Осадчук Г.И. Ремонт оборудования изотермического подвижного состава. М., Транспорт, 1979 - 341 с.

109. Хрущов М.М. Трение и износ в машинах. Сб. VIII, изд. АН СССР, 1953, с. 5-21

110. Хеминг Р.В. Численные методы. Пер. с англ. М., Наука, 1972 - 400 с.

111. Хусидов В.Д. Об использовании численных методов в решении задач нелинейных колебаний. Труды МИИТ, вып. 368, 1971, с. 3-17

112. Чжу З.Ж., Чжэнь И. Устойчивость движения шатуна. Труды АОИМ, «Конструирование и технология машиностроения», т. 106, №4. М., Мир, 1983, с. 169-172

113. Шарашенидзе Г.С. Динамика вагонов. Тбилиси, Ганатлеба, 2001 - 544 с. (на груз. яз.)
114. Шепетельников В.А. Об одной особенности уравновешивания вагонных колесных пар. Труды МИИТ, вып. 102, 1959, с.51-58
115. Шарашенидзе Г.С. К вопросу определения силы реакции в кинематических парах сферического кривошипно-ползунного идеального механизма. Труды ГПИ, сб. ТММ, №3(273), Тбилиси, 1984, с. 68-71
116. Шарашенидзе Г.С., Шарашенидзе С.Г. Классификация и динамический анализ движения ползуна к/п механизма с зазором дизеля ж/д рефрижераторного вагона. // Проблемы прикладной механики, №2(3), Тбилиси, 2001, с. 57-62
117. Шарашенидзе Г.С., Шарашенидзе С.Г. Аналитические исследования сил реакций и трения в шарнирных соединениях с зазорами исполнительного механизма дизеля рефрижераторного вагона. // Проблемы прикладной механики, № 2(7), Тбилиси, 2002, с. 38-45
118. Шарашенидзе Г.С., Шарашенидзе С.Г. Учет непостоянного дезаксиала при исследовании обобщенных сил исполнительного механизма с зазором дизеля рефрижераторного вагона. // Проблемы прикладной механики, № 4(9), Тбилиси, 2002, с. 41-51
119. Шарашенидзе С.Г. Аналитическое исследование динамической и кинематической точности кривошипно-ползунного механизма с зазорами дизельного двигателя рефрижераторного ж/д вагона. // Проблемы прикладной механики, № 3(8), Тбилиси, 2002, с. 38-43
120. Шура-Бура М.Р. Оценки ошибок численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. ПММ, т. 16, вып. 5, 1952, с. 575-588
121. Швецова Е.М., Крагельский И.В. Классификация видов разрушения поверхностей деталей машин в условиях сухого и граничного трения. «Трение и износ в машинах», сб. VIII, изд. АН СССР, 1953, с. 18-19

122. Юдин К.М. Динамическое исследование модели механизмов с зазорами. «Машиноведение», №2, 1971, с. 58-60
123. Contact Theories. In the general problem of rolling contact. (A.-L. Krowne and N.T. Tsai, eds) - Transactions of American Society of mechanical engineers, applied mechanics division, 1980, vol. 40, N., pp. 77-92
124. Kuba F. Druckwechsel und Stösse an Kolbenmaschinen mit Achubkurbelgetriebe. Wein, 1931 - 210 s.
125. Fawsett I.N., Burdess I.S. Effect of Bearing Clearance in a four-bar linkage, Proc. of the Third Congress for the theory of machines and mechanisms, Kupari, Yugoslavia, September13-20, V.C., 1971, pp. 175-187
126. Von Kurt Hain. Einflüsse von Gelenkepiel und Reibung auf die im Getriebe wirkenden Kräfte, VIII - Verlag, Dusseldorf, 1969, Keine, 1, [1] 17 - 105 s.
127. Dawitaschvili N., Scharaschenidze G. Zu einigen Fragen der dinamischen Untersuchung eines ebenen vierliedrigen Gelenkgetriebes mit Spiel. Wissenschaftlich Zeitschrift der Technischen Hochschule Ilmenau, Heft 2, 1982, s. 123-133
128. Davitashvili N.S., Sharashenidze G.S. Dynamic study of a spherical four-barcrank-and-rockerlink mechanism with clearance. // VII World congress of theory of mach. and mech. Sevilla, 1987, vol. 1, pp. 545-548
129. Davitashvili N.S., Sharashenidze G.S., Morchiladze R.G., Sharashenidze S.G. The influence of a clearance and a friction force on the basic characteristic parameters of the operation mechanism of a refrigerator railcar’s diesel engine. // Problems of Applied mechanics, Tbilisi, 2004, №2(15), pp. 9-16
130. Gayfer J.R., Mills B. Small-amplitude vibrations of the four-bar linkage chain. // J. Mech. Eng. Sci., 1965, vol. 7, №3, pp. 252-258
131. Pollit E.P. Five-bar linkages with two drive cranks. // Mach. Design, 1962, vol. 34, №2, pp. 168-179

132. Sharashenidze G.S., Sharashenidze S.G. The influence of the size of a clearance on dynamics of an operational mechanism of refrigerator railcar's diesel engine. // Problems of Applied mechanics, Tbilisi, 2003, №4(13), pp. 19-26

133. Sharashenidze S.G. General differential equations of supplementary motions for the operating mechanism with clearance of diesel engine refrigerator railcar. // Problems of Applied mechanics, Tbilisi, 2003, №1(10), pp. 49-55

134. Sharashenidze G.S., Sharashenidze S.G. Optimal brake leverage for railcar wheel with two-sided press the shoes andcalculation of it's characteristic parameters. // Problems of Applied mechanics, Tbilisi, 2003, №3(12), pp. 28-36

დ ა ნ ა რ თ ე ბ ი

დანართი 1

$$A_{x_1}^I = m_2 r\omega^2 \cos\alpha + \frac{1}{2} m_2 \dot{\beta} \frac{1}{\cos^2\beta} \left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 + \dot{y}_3 - \dot{y}_2 \right) -$$

$$- \frac{m_2}{2} r\omega^2 tg\beta \sin\alpha + \frac{m_3}{\cos^2\beta} \dot{\beta} \left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3 \right) -$$

$$- m_3 r\omega^2 \sin\alpha tg\beta + F_{\text{სჭ}}.$$

$$A_{y_1}^I = \frac{m_2}{2\cos^2\beta} \dot{\beta} \left(-r\omega\sin\alpha + \dot{x}_1 \right) - \frac{m_2}{2} tg\beta r\omega^2 \cos\alpha -$$

$$- \frac{m_2}{2} tg\beta \frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta} \left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 \right) - \frac{m_2}{4} \left(tg^2\beta + 1 \right) \left(-r\omega^2 \sin\alpha \right) +$$

$$+ \frac{m_2}{2} tg\beta \frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta} \left(\dot{y}_2 - \dot{y}_3 \right) + \frac{m_2}{12\cos^2\beta} r\omega^2 \sin\alpha - (r\omega\cos\alpha +$$

$$+ \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3) \frac{m_2 \sin\beta}{6\cos^3\beta} \dot{\beta} + \frac{m_3}{\cos^2\beta} \dot{\beta} [-r\omega\sin\alpha + \dot{x}_1 -$$

$$- tg\beta \left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3 \right) - \dot{x}_2 + \dot{x}_3] - m_3 r\omega^2 \cos\alpha tg\beta -$$

$$- \frac{m_3}{\cos^2\beta} \dot{\beta} tg\beta \left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3 \right) + m_3 tg^2\beta \cdot r\omega^2 \sin\alpha +$$

$$+ \frac{1}{2} G_2 - F_{\&\&} tg\beta.$$

$$A_{x_2}^I = m_3 tg\beta r\omega^2 \sin\alpha - m_3 r\omega^2 \cos\alpha - \frac{m_3}{\cos^2\beta} \dot{\beta} (\dot{y}_1 - \dot{y}_2 +$$

$$+ \dot{y}_3 + r\omega\cos\alpha) - F_{\text{სჭ}}.$$

$$A_{y_2}^I = \frac{m_2}{2} \omega^2 r \cos\alpha tg\beta - \frac{m_2}{2\cos^2\beta} \dot{\beta} \left(-r\omega\sin\alpha + \dot{x}_1 \right) - \frac{m_2}{2} tg\beta \frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta} \left(\dot{y}_2 - \dot{y}_3 \right) -$$

$$- \frac{m_2}{4} \left(tg^2\beta + 1 \right) + \frac{m_2}{2} tg\beta \frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta} \left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 \right) - \frac{m_2}{4} \left(tg^2\beta - 1 \right) r\omega^2 \sin\alpha -$$

$$-\frac{m_2}{12\cos^2\beta}r\omega^2\sin\alpha+\left(\frac{m_2}{6}+m_3\right)\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2+\dot{y}_3\right)+m_3tg\beta r\omega^2\cos\alpha-$$

$$-m_3tg^2\beta r\omega^2\sin\alpha-\frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}\left[\dot{x}_1-r\omega\sin\alpha-\right.$$

$$\left.-tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2+\dot{y}_3\right)-\dot{x}_2+\dot{x}_3\right]-\frac{1}{2}G_2-F_{\&\&}tg\beta.$$

$$A^I_{x_3}=m_3r\omega^2\cos\alpha+\frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2+\dot{y}_3)+$$

$$+m_3tg\beta r\omega^2\sin\alpha-\frac{m_3}{3y_3^3}\dot{x}_3\dot{y}_3+F_{\text{სჭ}}.$$

$$A^I_{y_3}=\frac{m_2}{2\cos^2\beta}\dot{\beta}\left(\dot{x}_1-r\omega\sin\alpha\right)-\frac{m_2}{2}tg\beta r\omega^2\cos\alpha+\frac{m_2}{4}\left[(\dot{y}_2-\right.$$

$$\left.-\dot{y}_3)2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}-\left(tg^2\beta+1\right)\right]-\frac{m_2}{2}tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(\dot{y}_1+\right.$$

$$+r\omega\cos\alpha-\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2+\right.$$

$$\left.+\dot{y}_3\right)\left(m_3tg^2\beta+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}tg\beta\cdot\dot{\beta}+m_3\frac{\sin\beta}{\cos^3\beta}\dot{\beta}\right)+$$

$$+\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)r\omega^2\sin\alpha+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}r\omega^2\sin\alpha-$$

$$-m_3tg\beta r\omega^2\cos\alpha+\frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}\left[-r\omega\sin\alpha+\dot{x}_1-\right.$$

$$\left.-tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2+\dot{y}_3\right)-\dot{x}_2+\dot{x}_3\right]+\frac{2m_3b^2}{3}\dot{y}_3\dot{x}_3+$$

$$+\frac{1}{2}G_2+G_3-F_{\&\&}tg\beta.$$

დანართი 2

$$\left.\begin{aligned}
&x_3 = Rctg\gamma_3;\\
&\dot{x}_3 = -\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3;\\
&\ddot{x}_3 = -\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\ddot{\gamma}_3 + \frac{2R\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2;\\
&y_3 = \frac{U}{\sin\gamma_3};\\
&\dot{y}_3 = -\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3;\\
&\ddot{y}_3 = -\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\ddot{\gamma}_3 + \frac{R^2}{U\sin\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2 + \frac{2\cos^2\gamma_3}{U\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3 +\\
&+\frac{\cos^2\gamma_3}{U^3}\left(R + a^2 + b^2\right)\dot{\gamma}_3^2,
\end{aligned}\right\}$$

სადაც შემოტანილია აღნიშვნები:

$$\left.\begin{aligned}
&R = \left(a + \Delta_3 - e\right);\\
&U = \left[\left(a^2 + b^2\right)\sin^2\gamma_3 + \left(a + \Delta_3 - e\right)^2\cos\gamma_3\right]^{1/2}.
\end{aligned}\right\}$$

შემოტანილია y_3-ის მნიშვნელობა მოცემული იყოს ფორმულით:

$$y_3 = \left[\left(a^2 + b^2\right) - \left(a + \Delta_3 - e\right)^2 ctg^2\gamma_3\right]^{1/2}.$$

$$\begin{aligned}
A_{x_1}^{II} = &-\frac{2m}{\sin^3\gamma_3}R\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_3 + \left(\frac{m_2}{2} + m_3\right)tg\beta\frac{R^2}{U\sin^4\gamma_3}[\sin^2\gamma_3 U\dot{\gamma}_3^2 +\\
&+2U^2\dot{\gamma}_3\sin\gamma_3\cos^2\gamma_3 - \sin^3\gamma_3\cos^2\gamma_3\dot{\gamma}_3^2(a^2 + b^2 + R^2)] + m_2 r\omega^2\cos\alpha +\\
&+\frac{m_2}{2\cos^2\beta}\dot{\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) - \frac{m_2}{2}r\omega^2 tg\beta\sin\alpha +\\
&+\frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) - m_3 r\omega^2\sin\alpha tg\beta - F_{\text{სჭ}}.
\end{aligned}$$

$$A_{y_1}^{II} = \frac{2m_3}{\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2 tg\beta R\cos\gamma_3 + \left[\frac{m_2}{12\cos^2\beta} - \frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta - 1\right)m_3 tg^2\beta\right]\times$$

$$\times \frac{R^2}{U \sin^4 \gamma_3}\left[-U^2 \sin^2 \gamma_3 \dot{\gamma}_3^2 - 2U^2 \dot{\gamma}_3 \sin \gamma_3 \cos^2 \dot{\gamma}_3 - \dot{\gamma}_3^2 \sin^3 \gamma_3 \times\right.$$

$$\left.\times \cos^2 \gamma_3 \left(a^2 + b^2 + R^2\right)\right] - \frac{m_2}{2\cos^2 \beta}\dot{\beta}\left(r\omega \sin \alpha - \dot{x}_1\right) - \frac{m_2}{2} r\omega^2 \cos \alpha tg\beta -$$

$$- \frac{m_2}{2\cos^2 \beta}\dot{\beta} tg\beta\left(r\omega \cos \alpha + \dot{y}_1\right) + \frac{m_2}{4}\left(1 + tg^2 \beta\right) r\omega^2 \sin \alpha + \frac{m_2}{2\cos^2 \beta} tg\beta \times$$

$$\times \dot{\beta}\left(\dot{y}_2 - \frac{R \cos \gamma_3}{U \sin^2 \gamma_3}\right) + \frac{m_2}{12\cos^2 \beta} r\omega^2 \sin \alpha - \frac{m_3}{6\cos^3 \beta}\dot{\beta}\left(r\omega \cos \alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 -\right.$$

$$\left.- \frac{R^2}{U \sin^2 \gamma_3}\dot{\gamma}_3 \cos \gamma_3\right) + \frac{m_3}{\cos^2 \beta}\dot{\beta}\left[\dot{x}_1 - r\omega \sin \alpha - tg\beta\left(\dot{y}_1 - \dot{y}_2 + r\omega \cos \alpha -\right.\right.$$

$$\left.\left.- \frac{R^2}{U \sin^2 \gamma_3}\dot{\gamma}_3 \cos \gamma_3\right) - \dot{x}_2 - \frac{R}{\sin^2 \gamma_3}\dot{\gamma}_3\right] - m_3 r\omega^2 \cos \alpha tg\beta - \frac{m_3}{\cos^2 \beta} \times$$

$$\times \dot{\beta} tg\beta\left(r\omega \cos \alpha + \dot{y}_1 + \dot{y}_2 - \frac{R \cos \gamma_3}{U \sin^2 \gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) + m_3 r\omega^2 \sin \alpha - \frac{G_2}{2} + F_{\&\&} tg\beta.$$

$$A_{x_2}^{II} = \frac{2m_3 R}{\sin^3 \gamma_3}\dot{\gamma}_3 \cos \gamma_3 + m_3 tg\beta \frac{R^2}{U \sin^4 \gamma_3}\left[U^2 \dot{\gamma}_3^2 \sin^3 \gamma_3 -\right.$$

$$\left.- 2\dot{\gamma}_3 \sin \gamma_3 \cos^2 \gamma_3 U^2 - \dot{\gamma}_3^2 \sin^3 \gamma_3 \cos^2 \gamma_3 \left(a^2 + b^2 + R^2\right)\right] +$$

$$+ m_3 r \sin \alpha tg\beta \omega^2 - m_3 r\omega^2 \cos \alpha - \frac{m_3}{\cos^2 \beta}\dot{\beta}\left(r\omega \cos \alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 -\right.$$

$$\left.- \frac{R^2 \cos \gamma_3}{U \sin^2 \gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) + F_{\text{ხღ}}.$$

$$A_{y_2}^{II} = -\frac{2m_3}{\sin^3 \gamma_3}\cos \gamma_3 R tg\beta \dot{\gamma}_3^2 - \left(\frac{m_2}{12\cos^2 \beta} + m_3 tg^2 \beta\right) \times$$

$$\times \frac{R}{U \sin^4 \gamma_3}\left[-U^2 \sin^3 \gamma_3 \dot{\gamma}_3^2 - 2U^2 \dot{\gamma}_3 \sin \gamma_3 \cos^2 \gamma_3 - \left(a^2 + b^2 + R^2\right) \times\right.$$

$$\left.\times \dot{\gamma}_3^2 \sin^3 \gamma_3 \cos^2 \gamma_3\right] + \frac{m_2}{2} r\omega^2 \cos \alpha tg\beta - \frac{m_2}{2\cos^2 \beta}\dot{\beta}\left(\dot{x}_1 -\right.$$

$$\left.- r\omega \sin \alpha\right) - \frac{m_2}{2\cos^2 \beta}\dot{\beta} tg\beta\left(\dot{y}_2 + \frac{R^2 \cos \gamma_3}{U \sin^2 \gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) - \frac{m_2}{4}\left(1 + tg^2 \beta\right) +$$

$$+\frac{m_2}{2\cos^2\beta}\dot{\beta}tg\beta(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1)-\frac{m_2}{4}(tg^2\beta-1)r\omega^2\sin\alpha-$$

$$-\frac{m_2}{12\cos^2\beta}r\omega^2\sin\alpha+\frac{m_2}{6\cos^3\beta}\dot{\beta}\sin\beta\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\right)+$$

$$+m_3r\omega^2\cos\alpha tg\beta-m_2r\omega^2\sin\alpha tg^2\beta+\frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}tg\beta(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-$$

$$\left.-\dot{y}_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)-\frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}\left[\dot{x}_1-r\omega\sin\alpha-tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2-\frac{R^2\cos\alpha}{U\sin^2\gamma_3}\right)-\right.$$

$$\left.-\dot{x}_2-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right]-\frac{G_2}{2}-F_{\text{სტ}}tg\beta.$$

$$\left.\begin{aligned}
&A=-r\omega\sin\alpha-\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1;\\
&B=r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1;\\
&C=\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3;\\
&D=\frac{R^3\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3ctg\gamma_3+\frac{R}{\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3;\\
&K=R^2ctg^2\gamma_3+\frac{R^2}{\sin^2\gamma_3}.
\end{aligned}\right\}$$

საჭიროა განისაზღვროს უკანასკნელი ტოლობისა და ზოგიერთი ფუნქციის კერძო დიფერენციალები γ_3 კოორდინატით. გვექნება:

$$\frac{\partial A}{\partial\gamma_3}=\frac{\partial B}{\partial\gamma_3}=\frac{\partial\dot{x}_2}{\partial\gamma_3}=0;$$

$$\frac{\partial tg\beta}{\partial\gamma_3}=0;$$

$$\frac{\partial\dot{y}_3}{\partial\gamma_3}=\frac{R^2\dot{\gamma}_3}{U\sin\gamma_3}\left(1+\frac{2U'}{U^2}tg^2\gamma_3\right);$$

$$\frac{\partial C}{\partial\gamma_3}=-R^2\dot{\gamma}_3\frac{1}{U^2\sin^4\gamma_3}\left(U\sin^3\gamma_3+2U'\cos^2\gamma_3\right),$$

$$\frac{\partial D}{\partial\gamma_3} = R^3\dot{\gamma}_3\left[ctg\gamma_3\frac{\partial}{\partial\gamma_3}\left(\frac{\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\right) - \dot{\gamma}_3\frac{\cos\gamma_3}{U\sin^4\gamma_3}\right] - R\dot{\gamma}_3\frac{U\cos\gamma_3}{\sin^4\gamma_3} + \dot{\gamma}_3\frac{R^3\cos\gamma_3}{U\sin^4\gamma_3}.$$

$$\frac{\partial K}{\partial\gamma_3} = -\frac{R^2}{\sin^2\gamma_3}\left(1 + 2R^2\frac{\cos\gamma_3}{\sin^2\gamma_3}\right).$$

$$A^{II}_{\gamma_3} = \frac{m_2}{2}\left[-\frac{\beta'}{\cos^2\beta}\left(\dot{x}_1 - r\omega\sin\alpha\right) + tg\beta r\omega^2\cos\alpha\right]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3} -$$

$$-tg\beta R^2\left(\dot{x}_1 - r\omega\sin\alpha\right)\frac{\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(U^2\sin^2\gamma_3 + 2U^2\cos^2\gamma_3 - H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right) +$$

$$+\frac{1}{2}\left[2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(\dot{y}_2 + \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) + \left(tg^2\beta + 1\right)\dot{\gamma}_3 U_3\sin\gamma_3\left(R^2U^2\sin^2\gamma_3 -\right.\right.$$

$$\left.\left.-2U^2\cos^2\gamma_3 - H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)\right]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3} - \frac{1}{2}\left(tg^2\beta + 1\right)\left(\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3 +\right.$$

$$\left.+\dot{y}_2\right)\frac{R^2\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(U^2\sin^2\gamma_3 + 2U^2\cos^2\gamma_3 - H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right) - \frac{1}{2}\left[\left(r\omega\cos\alpha +\right.\right.$$

$$\left.\left.+\dot{y}_1\right)2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta} - \left(tg^2\beta - 1\right)r\omega\cos\alpha\right]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3} + \frac{1}{2}\left(tg^2\beta - 1\right)\left(\dot{y}_1 +\right.$$

$$\left.+r\omega\cos\alpha\right)\frac{R^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3\left(U^2\sin^2\gamma_3 + 2U^2\cos^2\gamma_3 - H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right) +$$

$$+\frac{R^2\cos\gamma_3}{6U\cos^2\beta\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\frac{R^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(-U^2\sin^2\gamma_3 - 2U^2\cos^2\gamma_3 -\right.$$

$$\left.-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right) - \frac{1}{6U\cos^3\beta\sin^2\gamma_3}\left[\left(-r\omega^2\sin\alpha +\right)\cos\beta - 2\left(\dot{y}_1 -\right.\right.$$

$$\left.\left.-\dot{y}_2 + r\omega\cos\alpha + \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\beta}\sin\beta\right)\right]R^2\cos\gamma_3 + \frac{1}{6\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha -\right.$$

$$\left.-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\frac{R^2\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(U^2\sin^2\gamma_3 + 2U^2\cos^2\gamma_3 - H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right) -$$

$$-\frac{m_3}{2}\left\{2\left[-r\omega^2\cos\alpha - \frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) -\right.\right.$$

$$-tg\beta\left(\left(-r\omega^2\sin\alpha - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3} - \frac{R^2\sin\gamma_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3\left(U^2\sin^2\gamma_3\dot{\gamma}_3 -\right.\right.\right.$$

$$-2U^2\cos^2\gamma_3 - H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3)))+\frac{2R\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\dot\gamma_3^2\Bigg]\Bigg(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-$$

$$-\frac{R^2\sin\gamma_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\Bigg)+2[\dot x_1 - r\omega\sin\alpha - tg\beta(r\omega\cos\alpha+\dot y_1-\dot y_2-$$

$$-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3\Bigg)-\dot x_2-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3\Bigg]\Bigg[\frac{\dot\beta}{\cos^2\beta}\cdot\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-$$

$$-tg\beta\frac{R^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\dot\gamma_3\left(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)+$$

$$+2\frac{R\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\dot\gamma\Bigg]+2\Bigg[\frac{\dot\gamma_3}{U^4\sin^5\gamma_3}\big(R^4U^2\sin^2\gamma_3\cos\gamma_3-2U^2R^2\cos^3\gamma_3-$$

$$-HR^2\sin^2\gamma_3\cos^3\gamma_3\big)-\frac{R^4\cos\gamma_3}{U^4\sin^5\gamma_3}\dot\gamma_3^2\big(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-$$

$$-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\big)\Big]-\frac{4b^2R^2}{3U^2\sin^3\gamma_3}\Big[\big(a^2+b^2\big)\sin^2\gamma_3-R^2\cos^3\gamma_3\dot\gamma_3+$$

$$+H\dot\gamma_3^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\Big]\Big\}-\frac{m_2R^2}{2U^3\sin^4\gamma_3}\dot\gamma_3\Big[\big(a^2+b^2\big)\sin^5\gamma_3+$$

$$+2R^2\cos^4\gamma_3\sin\gamma_3-3\big(a^2+b^2\big)\sin^3\gamma_3\cos^2\gamma_3\Big]-tg\beta(\dot x_1-r\omega\sin\alpha)-$$

$$-\frac{1}{2}\left(tg^2\beta+1\right)\left(\dot y_2+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3\right)+\frac{1}{2}(tg\beta-1)(r\omega\cos\alpha+\dot y_1)+$$

$$+\frac{1}{6\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\dot y_1-\dot y_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3\right)\Bigg]+\frac{m_3}{2}\{2[\dot x_1-r\omega\sin\alpha-$$

$$-tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\dot y_1-\dot y_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3\right)-\dot x_2-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3\Bigg]\Bigg[-tg\beta+\frac{2R^2\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\dot\gamma_3-$$

$$-2\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3+\frac{2b^2R^2}{3U^3\sin^3\gamma_3}\dot\gamma_3^2\left(U\cos\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)\Bigg]+$$

$$+\frac{2b^2R^4}{3U^4\sin^3\gamma_3}\dot\gamma_3^2\Bigg\}+\left(a^2+b^2\right)^{1/2}\Bigg[\Bigg(\frac{1}{2}G_2+G_3-F_{\text{სჭ}}tg\beta_0-$$

$$-F_{\text{სჭ}}\frac{y_1-y_2-e}{l\cos^3\beta_0}\Bigg)\cos\gamma_3-F_{\text{სჭ}}\sin\gamma_3\Bigg],$$

დანართი 3

$$A_{x_1}^{III} = m_2 r\omega\cos\alpha + m_2\frac{\dot\beta}{2\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \dot y_1 - \Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2 + \right.$$

$$\left. + \dot y_3\right) - \frac{m_2}{2}r\omega tg\beta\sin\alpha + \frac{m_3\dot\beta}{\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \dot y_1 + \dot y_3 - \right.$$

$$\left. - \Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2\right) - m_3 r\omega^2 tg\beta\sin\alpha - m_3\Delta_2\dot\gamma_2^2\cos\gamma_2 +$$

$$+ \Delta_2\dot\gamma_2^2\sin\gamma_2\left(\frac{m_2}{2} + m_3\right)tg\beta + F_{\text{სწ}}.$$

$$A_{y_1}^{III} = \frac{m_2}{2\cos^2\beta}\dot\beta\left(\dot x_1 - r\omega\sin\alpha\right) - \frac{m_2}{2}tg\beta r\omega^2\cos\alpha - \left(r\omega\cos\alpha + \right.$$

$$\left. + \dot y_1\right)\frac{m_2}{2\cos^2\beta}tg\beta\dot\beta + \frac{m_2}{4}\left(tg\beta + 1\right)r\omega^2\sin\alpha + \left(\Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2 - \right.$$

$$\left. \dot y_3\right)\frac{m_2}{2\cos^2\beta}tg\beta\dot\beta + \frac{m_2}{12\cos^2\beta}r\omega^2\sin\alpha - \frac{m_2\sin\beta}{6\cos^3\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \right.$$

$$\left. + \dot y_1 - \Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2 + \dot y_3\right) + \frac{m_3}{\cos^2\beta}\left[\dot x_1 - r\omega\sin\alpha - \right.$$

$$\left. - tg\beta\left(r\omega\cos\alpha + \dot y_1 - \Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2 + \dot y_3\right) + \Delta_2\dot\gamma_2\sin\gamma_2 + \dot x_3\right] -$$

$$- m_3 r\omega^2\cos\alpha tg\beta - \frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot\beta tg\beta\left(r\omega\cos\alpha + \dot y_1 + \dot y_3 - \right.$$

$$\left. - \Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2\right) + m_3 r\omega^2\sin\alpha tg^2\beta + m_3 tg\beta\Delta_2\dot\gamma_2^2\cos\gamma_2 +$$

$$+ \left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta - 1\right) - \frac{m_2}{12\cos^2\beta} - m_3 tg^2\beta\right]\Delta_2\dot\gamma_2^2\sin\gamma_2 +$$

$$+ F_{\&\&}tg\beta - \frac{1}{2}G_2.$$

$$\frac{\partial T}{\partial\dot\gamma_2} = \frac{m_2\Delta_2}{2}tg\beta\left(\dot x_1 - r\omega\sin\alpha\right) + \frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2\left(tg^2\beta + \right.$$

$$\left. + 1\right)\left(\Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2 - \dot y_3\right) - \frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2\left(tg^2\beta - 1\right)\left(r\omega\cos\alpha + \dot y_1\right) -$$

$$- \frac{m_2\Delta_2\cos\gamma_2}{12\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \dot y_1 - \Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2 + \dot y_3\right) + \left[m_3\dot x_1 - m_3 r\omega\sin\alpha - \right.$$

$$\left. - m_3 tg\beta\left(r\omega\cos\alpha + \dot y_1 - \Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2 + \dot y_3\right) + m_3\Delta_2\dot\gamma_2 + m_3\dot x_3\right]\times$$

$$\times\left(tg\beta\cos\gamma_2 + \Delta_2\sin\gamma_2\right).$$

$$\frac{\partial T}{\partial \gamma_2}=\frac{m_2}{2}\left[tg\beta(r\omega\sin\alpha-\dot{x}_1)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2-\frac{1}{2}(tg^2\beta+1)(\dot{y}_3+\right.$$

$$+\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+\frac{1}{2}(tg^2\beta-1)(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+$$

$$\left.+\frac{1}{6\cos^2\beta}(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\right]+m_3[\dot{x}_1-$$

$$-r\omega\sin\alpha-tg\beta(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3)+\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+$$

$$+\dot{x}_3]tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+m_3\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2.$$

$$A_{\gamma_2}^{III}=-\frac{m_2\Delta_2}{2}tg\beta\cos\gamma_2\cdot r\omega^2\cos\alpha+\frac{m_2\Delta_2}{2}\left(\frac{1}{\cos^2\beta}\dot{\beta}\cos\gamma_2-\right.$$

$$\left.-tg\beta\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\right)(\dot{x}_1-r\omega\sin\alpha)-\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2(tg^2\beta+1)\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_2+$$

$$+\frac{m_2}{2}\left[2\cos\gamma_2 tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}-\sin\gamma_2\dot{\gamma}_2(tg^2\beta+1)(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\dot{y}_3)\right]+$$

$$+\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2(tg^2\beta-1)r\omega^2\sin\alpha-\frac{m_2\Delta_2}{2}\left[2\cos\gamma_2\frac{tg\beta}{\cos^2\beta}\dot{\beta}-\right.$$

$$\left.-\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2(tg^2\beta-1)(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1)\right]-\frac{m_2\Delta_2}{12\cos^3\beta}(2\cos\gamma_2\dot{\beta}\sin\beta-$$

$$-\sin\gamma_2\dot{\gamma}_2\cos\beta)(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3)+\frac{m_2\Delta_2\cos\gamma_2}{12\cos^2\beta}r\omega^2\sin\alpha-$$

$$-\frac{m_2\Delta_2\cos\gamma_2}{12\cos^2\beta}\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\sin\gamma_2+\left[-m_3r\omega^2\cos\alpha-m_3\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}(r\omega\cos\alpha+\right.$$

$$+\dot{y}_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3)+m_3tg\beta r\omega^2\sin\alpha-m_3tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\sin\gamma_2-$$

$$-m_3tg\beta\dot{y}_3](tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2)+[-m_3r\omega\sin\alpha+m_3\dot{x}_1-$$

$$-m_3tg\beta(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3)+m_3\Delta_2\dot{\gamma}_2+$$

$$+m_3\dot{x}_3]\left(\frac{\cos\gamma_2}{\cos^2\beta}\dot{\beta}-tg\beta\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2\right)-\frac{m_2}{2}[tg\beta(r\omega\sin\alpha-$$

$$-\dot{x}_1)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2-\frac{1}{2}(tg^2\beta+1)(\dot{y}_3+\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+$$

$$+\frac{1}{2}(tg^2\beta-1)(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+\frac{1}{6\cos^2\beta}(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-$$

$$-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2]+m_3[\dot{x}_1-r\omega\sin\alpha-tg\beta(\dot{y}_1+$$

$$+r\omega\cos\alpha-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3\big)+\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+\dot{x}_3\big]tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+$$

$$+m_3\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\Delta_2\Bigg\{\cos\gamma_2\Bigg[\frac{1}{2}G_2+G_3+F_{\&\&}tg\beta_0+\frac{F_{\&\&}}{l\cos^3\beta_0}\big(y_1-$$

$$-e-\Delta_2\sin\gamma_2\big)\Big]\Big\}.$$

$$A_{x_3}^{III}=m_2r\omega^2\cos\alpha+\frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}\big(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3\big)+$$

$$+m_3tg\beta r\omega^2\sin\alpha-\frac{m_3b^2}{3y_3^2}\dot{x}_3\dot{y}_3-m_3\Delta_2\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_2+$$

$$+m_3tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\sin\gamma_2-F_{\text{სწ}}.$$

$$A_{y_3}^{III}=\frac{m_2}{2\cos^2\beta}\dot{\beta}\big(\dot{x}_1-r\omega\sin\alpha\big)-\frac{m_2}{2}tg\beta r\omega^2\cos\alpha+$$

$$+\frac{m_2}{4}\left[2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\big(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\dot{y}_3\big)-\big(tg^2\beta+1\big)\right]-\frac{m_2}{2}tg\beta\times$$

$$\times\dot{\beta}\frac{1}{\cos^2\beta}\big(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1\big)+\frac{m_2}{4}\big(tg^2\beta-1\big)r\omega^2\sin\alpha+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}r\omega^2\sin\alpha-$$

$$-\frac{m_2\sin\beta}{12\cos^3\beta}\dot{\beta}\big(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3\big)-m_3tg\beta r\omega^2\cos\alpha-$$

$$-m_3tg^2\beta\big(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3\big)-m_3tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\big(r\omega\cos\alpha+$$

$$+\dot{y}_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3\big)+\frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}\big[\dot{x}_1-r\omega\sin\alpha-tg\beta\big(\dot{y}_1+$$

$$+r\omega\cos\alpha-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3\big)+\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+\dot{x}_3\big]+\frac{2}{3}m_3b^2\dot{y}_3\dot{x}_3+$$

$$+m_3tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\cos\gamma_2-\frac{m_2}{12\cos^2\beta}\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\sin\gamma_2+\frac{1}{2}G_2+G_3+F_{\text{სწ}}tg\beta. \quad (4.70)$$

დანართი 4

$$A_{x_1}^{IV} = m_2 r\omega^2\cos\alpha + \frac{m_2}{2\cos^2\beta}\dot{\beta}(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 -$$

$$-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3 - \frac{m_2}{2}r\omega^2\sin\alpha tg\beta + \frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 -$$

$$\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 - \frac{R\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\Bigg) - m_3 r\omega^2\sin\alpha tg\beta - m_3\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\cos\gamma_2 -$$

$$-\frac{2m_3}{\sin^2\gamma_3}r\dot{\gamma}_3^2\cos\gamma_3 + \left(\frac{m_2}{2} + m_3\right)tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\sin\gamma_2 - \left(\frac{m_2}{2} + m_3\right)tg\beta R^2\times$$

$$\times\frac{1}{U^3\sin^4\gamma_3}(-\dot{\gamma}_3^2U^2\sin^3\gamma_3 - 2\dot{\gamma}_3U^2\sin\gamma_3\cos^2\gamma_3 -$$

$$-\dot{\gamma}_3^2H\sin^3\gamma_3\cos^2\gamma_3) + F_{\text{სწ}}.$$

$$A_{y_3}^{IV} = \frac{m_2}{2\cos\beta}\dot{\beta}(\dot{x}_1 - r\omega\sin\alpha) - \frac{m_2}{2}tg\beta r\omega^2\cos\alpha - (\dot{y}_1 + r\omega\cos\alpha)\times$$

$$\times\frac{m_2}{2}tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta} + \frac{m_2}{4}(tg^2\beta + 1)r\omega^2\sin\alpha + \frac{m_2}{2}tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\times$$

$$\times\left(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 + \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) + \frac{m_1}{12\cos^2\beta}r\omega^2\sin\alpha - \frac{m_2\sin\beta}{6\cos^3\beta}\dot{\beta}\times$$

$$\times\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) + \frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}[\dot{x}_1 - r\omega\sin\alpha +$$

$$tg\beta\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 - -\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) + \Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2 - \frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\Bigg] -$$

$$-m_3 tg\beta r\omega^2\cos\alpha - \frac{m_3 tg\beta}{\cos^2\beta}\dot{\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) +$$

$$+m_3 tg^2\beta r\omega^2\sin\alpha + m_3 tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\cos\gamma_2 + 2m_3 tg\beta\frac{R\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2 +$$

$$+\left[\frac{m_2}{4}(tg^2\beta - 1) - \frac{m_2}{12\cos^2\beta} - m_3 tg^2\beta\right]\Delta_2\sin\gamma_2\dot{\gamma}_2^2 - \frac{R^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3\times$$

$$\times(U^2\sin^2\gamma_3 + 2U^2\cos^2\gamma_3 + H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3)\times\left[\frac{m_2}{12\cos^2\beta} - \frac{m_2}{4}(tg^2\beta - 1) + m_3 tg^2\beta\right] -$$

$$-\frac{G_2}{2} - F_{\text{სწ}}tg\beta.$$

$$A_{\gamma_2}^{IV} = -2m_3\left(tg\beta\cos\gamma_2 + \Delta_2\sin\gamma_2\right)\frac{R\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2 - \left[\left(tg^2\beta+1\right)\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2 -\right.$$

$$\left.-\frac{m_2\Delta_2}{12\cos^2\beta}\cos\gamma_2\right]\frac{R^2\sin\gamma_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(-U^2\dot{\gamma}_3^2\sin^2\gamma_3 - 2U^2\dot{\gamma}_3\cos^2\gamma_3 -\right.$$

$$\left.-H\dot{\gamma}_3^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right) + \frac{m_2\Delta_2}{2}tg\beta\cos\gamma_2 r\omega^2\cos\alpha - \frac{m_2\Delta_2}{2}\times$$

$$\times\left(\frac{\cos\gamma_2}{\cos^2\beta}\dot{\beta} - tg\beta\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\right)\left(\dot{x}_1 - r\omega\sin\alpha\right) + \left(tg^2\beta+1\right)\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2\sin\gamma_2\dot{\gamma}_2 -$$

$$-\frac{m_2\Delta_2}{2}\left[2\cos\gamma_2 tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta} - \left(tg^2\beta\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2 + \sin\gamma_2\dot{\gamma}_2\right)\left(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 + \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\right] -$$

$$-\left(tg^2\beta-1\right)\frac{m_2\Delta_2}{2}r\omega^2\sin\alpha + \frac{m_2\Delta_2}{2}\left[2\cos\gamma_2\dot{\beta}tg\beta/\cos^2\beta - \sin\gamma_2\dot{\gamma}_2\left(tg^2\beta-1\right)\right]\times$$

$$\times\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1\right) + \frac{m_2\Delta_2}{12\cos^3\beta}\left(2\dot{\beta}\cos\gamma_2\sin\gamma_3 - \sin\gamma_2\cos\beta\dot{\gamma}_2\right)\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 -\right.$$

$$\left.-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) - \frac{m_2\Delta_2\cos\gamma_2}{12\cos^2\beta}r\omega^2\sin\alpha + \frac{m_2\Delta_2^2}{12\cos^2\beta}\dot{\gamma}_2^2\sin\gamma_2 +$$

$$+m_3\left[r\omega^2\cos\alpha + \frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) -\right.$$

$$\left.-tg\beta r\omega^2\sin\alpha + \Delta_2 tg\beta\dot{\gamma}_2^2\sin\gamma_2 + tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right]\left(tg\beta\cos\gamma_2 + \Delta_2\sin\gamma_2\right) -$$

$$-\left[\dot{x}_1 - r\omega\sin\alpha - tg\beta\left(r\omega\cos\alpha + \dot{y}_1 - \Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2 - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) + \Delta_2\dot{\gamma}_2 -\right.$$

$$\left.-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right]\left(\frac{\cos\gamma_2}{\cos^2\beta}\dot{\beta} - tg\beta\sin\gamma_2\dot{\gamma}_2 + \Delta_2\cos\gamma_2\dot{\gamma}_2\right) - \Delta_2\left[\cos\gamma_2 + G_3 +\right.$$

$$\left.+\frac{G_2}{2} + F_{\&\&}tg\beta_0 + F_{\&\&}\frac{y_1 - e}{l\cos^3\beta_0} - F_{\&\&}\frac{\Delta_2\sin\gamma_2}{l\cos^3\beta_0}\right].$$

$$A_{\gamma_3}^{IV} = \frac{m_2}{2}\left\{\left[-\frac{\beta'}{\cos^2\beta}\left(\dot{x}_1 - r\omega\sin\alpha\right) + tg\beta r\omega^2\cos\alpha\right]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3} -\right.$$

$$-tg\beta R^2\left(\dot{x}_1 - r\omega\sin\alpha\right)\frac{\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(U^2\sin^2\gamma_3 + 2U^2\cos^2\gamma_3 - H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right) +$$

$$+\frac{1}{2}\left[2tg\beta\frac{\dot\beta}{\cos^2\beta}\left(\dot y_2+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3\right)+\left(tg^2\beta+1\right)\dot\gamma_3U^3\sin^3\gamma_3\left(R^2U^2\sin^2\gamma_3-\right.\right.$$

$$\left.\left.-2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)\right]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{1}{2}\left(tg^2\beta+1\right)\left(\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3+\right.$$

$$\left.+\dot y_2\right)\frac{R^2\dot\gamma_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)-\frac{1}{2}\left[\left(r\omega\cos\alpha+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\dot y_1\right)2tg\beta\frac{\dot\beta}{\cos^2\beta}-\left(tg^2\beta-1\right)r\omega\sin\alpha\right]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}+\frac{1}{2}\left(tg^2\beta-1\right)\left(\dot y_1+\right.$$

$$\left.+r\omega\cos\alpha\right)\frac{R^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\dot\gamma_3\left(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)+$$

$$+\frac{R^2\cos\gamma_3}{6U\cos^2\beta\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3\frac{R^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(-U^2\sin^2\gamma_3-2U^2\cos^2\gamma_3-\right.$$

$$\left.-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)-\frac{1}{6U\cos^3\beta\sin^2\gamma_3}\left[\left(-r\omega^2\sin\alpha+\right)\cos\beta-2\left(\dot y_1-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\dot y_2+r\omega\cos\alpha+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot\beta\sin\beta\right)\right]R^2\cos\gamma_3+\frac{1}{6\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha-\right.$$

$$\left.\left.-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3\right)\frac{R^2\dot\gamma_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)\right\}-$$

$$-\frac{m_3}{2}\left\{2\left[-r\omega^2\cos\alpha-\frac{\dot\beta}{\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\dot y_1-\dot y_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3\right)-\right.\right.$$

$$-tg\beta\left(\left(-r\omega^2\sin\alpha-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{R^2\sin\gamma_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\dot\gamma_3\left(U^2\sin^2\gamma_3\dot\gamma_3-\right.\right.\right.$$

$$\left.\left.\left.\left.-2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)\right)\right)+\frac{2R\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\dot\gamma_3^2\right]\left(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\right.$$

$$\left.-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)+2\left[\dot x_1-r\omega\sin\alpha-tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\dot y_1-\dot y_2-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3\right)-\dot x_2-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot\gamma_3\right]\left[\frac{\dot\beta}{\cos^2\beta}\cdot\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\right.$$

$$-tg\beta\frac{R^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\dot\gamma_3\left(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)+$$

$$\left.+2\frac{R\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\dot\gamma\right]+2\left[\frac{\dot\gamma_3}{U^4\sin^5\gamma_3}\left(R^4U^2\sin^2\gamma_3\cos\gamma_3-2U^2R^2\cos^3\gamma_3-\right.\right.$$

$$\left.-HR^2\sin^2\gamma_3\cos^3\gamma_3\right)-\frac{R^4\cos\gamma_3}{U^4\sin^5\gamma_3}\dot\gamma_3^2\left(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-\right.$$

$$-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3)\big]\big]-\frac{4b^2R^2}{3U^2\sin^3\gamma_3}\Big[\big(a^2+b^2\big)\sin^2\gamma_3-R^2\cos^3\gamma_3\dot{\gamma}_3+$$

$$+H\dot{\gamma}_3^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\big]\big\}-\frac{m_2R^2}{2U^3\sin^4\gamma_3}\dot{\gamma}_3\Big[\big(a^2+b^2\big)\sin^5\gamma_3+$$

$$+2R^2\cos^4\gamma_3\sin\gamma_3-3\big(a^2+b^2\big)\sin^3\gamma_3\cos^2\gamma_3\big]\cdot\big[-tg\beta(\dot{x}_1-r\omega\sin\alpha)-$$

$$-\frac{1}{2}\big(tg^2\beta+1\big)\left(\dot{y}_2+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)+\frac{1}{2}(tg\beta-1)(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1)+\frac{1}{6\cos^2\beta}\times$$

$$\times\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\Bigg]+\frac{m_3}{2}\{2\big[\dot{x}_1-r\omega\sin\alpha-tg\beta\times$$

$$\times\left(r\omega\cos\alpha+\dot{y}_1-\dot{y}_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)-\dot{x}_2-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\Bigg]\Bigg[-tg\beta+\frac{2R^2\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3-$$

$$-2\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3+\frac{2b^2R^2}{3U^3\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2\big(U\cos\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\big)\Bigg]+$$

$$+\frac{2b^2R^4}{3U^4\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2\Bigg\}+\big(a^2+b^2\big)^{1/2}\Bigg[\left(\frac{1}{2}G_2+G_3-F_{\&\&}tg\beta_0-\right.$$

$$\left.-F_{\&\&}\frac{y_1-y_2-e}{l\cos^3\beta_0}\right)\cos\gamma_3-F_{\text{ȕȚ}}\sin\gamma_3\Bigg],$$

დანართი 5

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial C}{\partial \gamma_1}=0; \quad \frac{\partial C}{\partial \dot{\gamma}_1}=0;\\
&\frac{\partial D}{\partial \gamma_1}=0; \quad \frac{\partial D}{\partial \gamma_1}=0;\\
&\frac{\partial K}{\partial \gamma_1}=0; \quad \frac{\partial K}{\partial \gamma_1}=0;\\
&\frac{\partial A}{\partial \gamma_1}=-\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1;\\
&\frac{\partial B}{\partial \gamma_1}=-\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1;\\
&\frac{\partial A}{\partial \dot{\gamma}_1}=-\Delta_1\cos\gamma_1;\\
&\frac{\partial B}{\partial \dot{\gamma}_1}=\Delta_1\sin\gamma_1.
\end{aligned}\right\}$$

$$A_{\gamma_1}^{V}=-m_3tg\beta\left(\Delta_1\sin\gamma_1+tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\right)\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\cos\gamma_2+\left[-\frac{m_2}{2}tg\beta\Delta_1\sin\gamma_1-\right.$$

$$-\left[\frac{m_2\Delta_1}{4}\left(tg^2\beta-1\right)\cos\gamma_1-\frac{m_2\Delta_1\cos\gamma_1}{12\cos^2\beta}-m_3tg\beta\left(\Delta_1\sin\gamma_1+tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\right)\right]\times$$

$$\times\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\sin\gamma_2+\left[\frac{m_2}{2}tg\beta\Delta_1\sin\gamma_1-\frac{m_2\Delta_1}{4}\left(tg^2\beta-1\right)1\cos\gamma_1+\frac{m_2\Delta_1\cos\gamma_1}{12\cos^2\beta}+\right.$$

$$\left.+m_3tg\beta\left(\Delta_1\sin\gamma_1+tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\right)\right]\frac{R^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2\left(U^2\sin^2\gamma_3-2U^2\cos^2\gamma_3-\right.$$

$$\left.-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)+m_3tg\beta\left(-\Delta_1\sin\gamma_1-tg\beta\dot{\Delta}_1\cos\gamma_1\right)\frac{2R\cos\dot{\gamma}_3}{\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2+$$

$$+m_2\Delta_1\sin\gamma_1\left(-r\omega^2\cos\alpha-\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_1\right)+m_2\left(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1+$$

$$+m_2tg\beta\left[-\Delta_1\cos\gamma_1\dot{\gamma}_1\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)-\right.$$

$$-\Delta_1\sin\gamma_1\left(\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1-r\omega^2\sin\alpha\right)+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\left(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)-$$

$$\left.-\Delta_1^2\dot{\gamma}_1^2\cos^2\gamma_2-\Delta_1\cos\gamma_1r\omega^2\cos\alpha\right]+\frac{m_2\Delta_1}{4}\left[2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\cos\gamma_1-\left(tg^2\beta+\right.\right.$$

$$\left.\left.+1\right)\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right]\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)+\frac{m_2\Delta_1}{4}\left(tg^2\beta+1\right)\left(r\omega^2\sin\alpha+\right.$$

$$+\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1\Big)\cos\gamma_1+\frac{m_2\Delta_1}{4}\left[2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\cos\gamma_1-\left(tg^2\beta-1\right)\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right]\times$$

$$\times\left(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)+\frac{m_2\Delta_1\cos\gamma_1}{12\cos^2\beta}\left(r\omega^2\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1\right)+$$

$$+\frac{m_2\Delta_1}{12\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\right)\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1+$$

$$+m_3\left(\Delta_1\sin\gamma_1+tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\right)\Big[-r\omega^2\cos\alpha-\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_1-\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\times$$

$$\times\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)tg\beta\Big(r\omega^2\sin\alpha+$$

$$+\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1\Big)\Big]+m_3\Big(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1+tg\beta r\omega\cos\alpha+tg\beta\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-$$

$$-tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3-\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\Big)\times$$

$$\times\left(-\Delta_1\cos\gamma_1\dot{\gamma}_1-\frac{\Delta_1\dot{\beta}}{\cos^2\beta}+\Delta_1 tg\beta\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)\frac{m_2}{2}\Big\{\left(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)\times$$

$$\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1+tg\beta\Big[\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)-$$

$$-\left(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\Big]+\frac{1}{2}\left(tg^2\beta+1\right)\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)\times$$

$$\times\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1+\frac{1}{2}\left(tg^2\beta-1\right)\left(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1-\frac{1}{6\cos^2\beta}\times$$

$$\times\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\Big\}+$$

$$+m_3\Big[-r\omega\sin\alpha-\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1-tg\beta\Big(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-$$

$$-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\Big)+\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\Big]\left(tg\beta\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1-\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)-$$

$$-\Delta_1\left(\frac{3}{2}G_2+G_3+F_{\text{ხფ}}tg\beta_0+F_{\text{ხფ}}\frac{y_1-y_2-e}{l\cos^3\beta_0}\right)\cos\gamma_1-\Delta_1F_{\text{ხფ}}\sin\gamma_1.$$

$$A_{\gamma_2}^{V}=\left(\frac{m_2\Delta_2}{2}tg\beta\cos\gamma_2+m_3tg\beta\cos\gamma_2+m_3\Delta_2\sin\gamma_2\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_1-$$

$$-\Big[\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2\left(tg^2\beta-1\right)+\frac{m_2\Delta_2\cos\gamma_2}{12\cos^2\beta}+m_3tg\beta\Big(tg\beta\cos\gamma_2+$$

$$+\Delta_2\sin\gamma_2)]\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1-\left[\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2\left(tg^2\beta+1\right)+\frac{m_2\Delta_2\cos\gamma_2}{12\cos^2\beta}\right]\times$$

$$\times\frac{R^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3\left(-U^2\dot{\gamma}_3\sin^2\gamma_3-2U^2\cos^2\gamma_3-H\dot{\gamma}_3^2\sin^2\gamma_3\cos\gamma_3\right)+$$

$$+m_3\left(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2\right)\frac{2}{\sin^3\gamma_3}R^2\dot{\gamma}_3^2\cos\gamma_3+\frac{m_2\Delta_2}{2}tg\beta\cos\gamma_2\times$$

$$\times r\omega^2\cos\alpha-\frac{m_2\Delta_2}{2}\left[2\cos\gamma_2 tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}-\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\left(tg^2\beta+1\right)\right]\times$$

$$\times\left(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)-\frac{m_2\Delta_2}{2}r\omega^2\sin\alpha\left(tg^2\beta-1\right)\cos\gamma_2-$$

$$-\frac{m_2\Delta_2}{2}\left(\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\cos\gamma_2-tg\beta\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\right)\left(-r\omega\sin\alpha-\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)+$$

$$+\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2\left(tg^2\beta+1\right)\dot{\gamma}_2^2+\frac{m_2\Delta_2}{2}\left[2\cos\gamma_2\frac{\dot{\beta}tg\beta}{\cos^2\beta}-\sin\gamma_1\dot{\gamma}_1^2\left(tg^2\beta-1\right)\right]\times$$

$$\times\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)+\frac{m_2\Delta_2^2}{12\cos^3\beta}\left(-\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\cos\beta+2\cos\gamma_2\dot{\beta}\sin\beta\right)\times$$

$$\times\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\right)-\frac{m_2\Delta_2}{12\cos^2\beta}\cos\gamma_2 r\omega^2\sin\alpha+$$

$$+\frac{m_2\Delta_2^2}{12\cos^2\beta}\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_2\cos\gamma_2+\left[m_3 r\omega^2\cos\alpha+\frac{m_3}{\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha-\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_2-\right.\right.$$

$$\left.-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)+m_3 tg\beta r\omega^2\sin\alpha-m_3 tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+$$

$$\left.+m_3 tg\beta\cos\gamma_3\frac{R^2}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right]\left(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2\right)-\left[-m_3 r\omega\sin\alpha-m_3\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1-\right.$$

$$-m_3 tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\right)+m_3\Delta_2\dot{\gamma}_2-$$

$$\left.-m_3\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right]\left(\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\cos\gamma_2-tg\beta\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2\right)+\frac{m_2}{2}\left[tg\beta\left(r\omega\sin\alpha+\right.\right.$$

$$+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\left.\right)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2-\frac{1}{2}\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\left(tg^2\beta+1\right)\left(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)+$$

$$+\frac{1}{2}\left(tg^2\beta-1\right)\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+\frac{1}{6\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\right.$$

$$+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\Bigg)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\Bigg]+m_3\big[r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1+$$

$$+tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)-\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2-$$

$$-\frac{R\dot{\gamma}_3}{\sin^2\gamma_3}\Bigg]\sin\gamma_2 tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2+\frac{m_2}{2}\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\Delta_2\Bigg(\frac{3}{2}G_2+G_3+$$

$$+F_{\text{ხჭ}}tg\beta_0+F_{\text{ხჭ}}\frac{y_1-y_2-e}{l\cos^3\beta_0}\Bigg)\cos\gamma_2.$$

$$A^V_{\gamma_3}=\left[\frac{m_2 tg\beta}{2U}R\cos\gamma_3+m_3\left(\frac{R\cos\gamma_3}{U}tg\beta-1\right)\right]\frac{R\Delta_1}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_1+$$

$$+\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\Bigg[\frac{m_2R}{4U}\cos\gamma_3\left(tg^2\beta+1\right)+\frac{m_2R\cos\gamma_3}{12U\cos^2\beta}+m_3 tg\beta\left(\frac{tg\beta}{U}\cos\gamma_3-1\right)-$$

$$-\frac{m_2R}{12\cos^2\beta}\dot{\gamma}_3\left(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)\Bigg]\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\sin\gamma_2+$$

$$+\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\Bigg[-\frac{m_2R}{4U}\cos\gamma_3\left(tg^2\beta-1\right)-\frac{m_2R}{12\cos^2\beta U}\cos\gamma_3+\frac{m_2R\dot{\gamma}_3}{12\cos^2\beta U^3\sin\gamma_3}\times$$

$$\times\left(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)-m_3 tg\beta\Bigg(tg\beta\frac{R}{U}\cos\gamma_3-$$

$$-1\Bigg)\Bigg]\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1-\frac{m_3R\Delta_2}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_2^2\cos\gamma_2\left(\frac{R\cos\gamma_3}{U}tg\beta-1\right)-\frac{m_2}{2}\times$$

$$\times\Bigg\{\left[\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)-tg\beta r\omega^2\cos\alpha\right]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}+$$

$$+tg\beta\left(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)\frac{R^2\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\Big(\sin^4\gamma_3\left(a^2+b^2\right)-$$

$$-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2R^2\cos^4\gamma_3\Big)+\frac{1}{2}\Bigg[2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\Big(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+$$

$$+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\Big)+\left(tg^2\beta+1\right)\frac{\dot{\gamma}_3^2R^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\Big(U^2\sin^2\gamma_3-2U^2\cos^2\gamma_3-$$

$$-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\big)\Big]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{1}{2}\left(tg^2\beta+1\right)\left(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\frac{R^2\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\cos\gamma_3\right)\times$$

$$\times\frac{R^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3\left(\sin^4\gamma_3\left(a^2+b^2\right)-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2R^2\cos^4\gamma_3\right)-$$

$$-\frac{1}{2}\left[2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)-\left(tg^2\beta-1\right)r\omega\sin\alpha\right]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}+$$

$$+\frac{1}{2}\left(tg^2\beta-1\right)\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)\frac{R^2\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(\sin^4\gamma_3\left(a^2+b^2\right)-\right.$$

$$\left.2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2\cos^4\gamma_3R^2\right)+\frac{R^4\cos\gamma_3\dot{\gamma}_3}{6\cos^2\beta\sin^6\gamma_3U^4}\left(-U^2\dot{\gamma}_3\sin^2\gamma_3-\right.$$

$$\left.2U^2\cos^2\gamma_3-\dot{\gamma}_3\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3H\right)-\frac{R^2\cos\gamma_3}{6\cos^3\beta U\sin^2\gamma_3}\Big[-r\omega^2\sin\alpha\cos\beta-$$

$$-2\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2++\frac{R^2\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\right)\dot{\beta}\sin\beta\Big]+\frac{1}{6\cos^2\beta}\times$$

$$\times\left(r\omega\cos\alpha-\frac{R^2\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\right)\frac{R^2\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(\sin^4\gamma_3\left(a^2+b^2\right)-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2\cos^4\gamma_3R^2\right)\Big\}-$$

$$-\frac{m_3}{2}\Big\{2\Big[-r\omega^2\cos\alpha-\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\Big(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-$$

$$-\frac{R^2\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\Big)+tg\beta\Big(\Big(r\omega\sin\alpha+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}+\frac{R^2\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\Big(R^2\dot{\gamma}_3\sin\gamma_3-$$

$$-2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\Big)+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\Big)\Big)+\frac{2R\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\Big]\times$$

$$\times\left(\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}tg\beta-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)+2\Big[-r\omega\sin\alpha-\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1-$$

$$-tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\right)+\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2-$$

$$-\frac{R\dot{\gamma}_3}{\sin^2\gamma_3}\Big]\Big[\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-tg\beta\frac{R^2\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\times$$

$$\times\left(\sin^4\gamma_3\left(a^2+b^2\right)-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2\cos^4\gamma_3R^2\right)+2\frac{R\dot{\gamma}_3\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\Big]+$$

$$+2\left[\frac{\dot{\gamma}_3 R^4\cos\gamma_3}{U^4\sin^5\gamma_3}\left(-U^2\dot{\gamma}_3\sin^2\gamma_3-2U^2\cos^2\gamma_3-\dot{\gamma}_3 H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)-\right.$$

$$\left.-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U^4\sin^5\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2\left(\sin^4\gamma_3\left(a^2+b^2\right)-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2R^2\cos^4\gamma_3\right)\right]-$$

$$\left.-\frac{4b^2R^2}{3U^2\sin^3\gamma_3}\left[2\left(a^2+b^2\right)+R^2\left(\dot{\gamma}_3\sin^2\gamma_3\cos\gamma_3-R^2\cos^3\gamma_3\right)\right]\right\}+$$

$$+\frac{m_3P}{2}\left[tg\beta\left(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)-\frac{1}{2}\left(tg^2\beta+1\right)\left(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\right.\right.$$

$$\left.+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)+\frac{1}{2}\left(tg^2\beta+1\right)\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)+$$

$$\left.+\frac{1}{6\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\right]+$$

$$+\frac{m_3}{2}\left\{2\left[-r\omega\sin\alpha-\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_2-tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\right.\right.\right.$$

$$\left.\left.-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)+\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right]\left(-Ptg\beta+\right.$$

$$\left.\left.+\frac{2R\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)-\frac{2R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3P+\frac{2b^2R^4}{3U^4\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2\right\}+$$

$$+\left(a^2+b^2\right)^{1/2}\left[\left(\frac{1}{2}G_2+G_3-F_{\text{სჵ}}tg\beta_0-F_{\text{სჵ}}\frac{y_1-y_2-e}{l\cos^3\beta_0}\right)\cos\gamma_3-\right.$$

$$-F_{\text{სჵ}}\sin\gamma_3.$$

დანართი 6

$$A_{\gamma_1}^{VI} = -m_2\left(r\omega^2\sin\alpha - \Delta_1\dot\gamma_1^2\cos\gamma_1\right)\Delta_1\sin\gamma_1 - m_2\bigl(r\omega\sin\alpha +$$

$$+\Delta_1\dot\gamma_1\sin\alpha\bigr)\Delta_1\dot\gamma_1\cos\gamma_1 - \frac{m_2}{2}\bigl[tg\beta\Delta_1\dot\gamma_1\cos\gamma_1\bigl(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot\gamma_1\cos\gamma_1 -$$

$$-\Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2+\dot y_3\bigr)+tg\beta\sin\gamma_1\left(\Delta_1\dot\gamma_1^2 - r\omega^2\sin\alpha+\Delta_2\dot\gamma_2^2\sin\gamma_2\right)+$$

$$+tg\beta\Delta_1\dot\gamma_1\sin\gamma_1\left(-r\omega\sin\alpha-\Delta_1\dot\gamma_1\sin\gamma_1\right)-tg\beta\Delta_1\cos\gamma_1\bigl(-r\omega^2\cos\alpha-$$

$$-\Delta_1\dot\gamma_1^2\cos\gamma_1\bigr)+\frac{\Delta_1}{2}\left(2tg\beta\frac{\dot\beta}{\cos^2\beta}-\left(tg^2\beta+1\right)\dot\gamma_1\sin\gamma_1\right)\bigl(r\omega\cos\alpha+$$

$$+\Delta_1\dot\gamma_1\cos\gamma_1\bigr)+\frac{\Delta_1}{2}\cos\gamma_1\left(tg^2\beta+1\right)\left(-r\omega^2\sin\alpha-\Delta_1\dot\gamma_1\sin\gamma_1\right)-$$

$$-\frac{1}{2}\Delta_1\left(2tg\beta\frac{\dot\beta}{\cos^2\beta}\cos\gamma_1-\left(tg^2\beta+1\right)\dot\gamma_1\sin\gamma_1\right)\left(\Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2-\dot y_3\right)+$$

$$+\frac{1}{2}\left(tg^2\beta-1\right)\dot\gamma_2\Delta_2\cos\gamma_2\sin\gamma_2+\frac{\Delta_1}{6\cos^2\beta}\cos\gamma_1\bigl(-r\omega^2\sin\alpha-$$

$$-\Delta_1\dot\gamma_1\sin\gamma_1-\Delta_2\dot\gamma_2^2\sin\gamma_2\bigr)-\frac{\Delta_1}{6\cos^2\beta}\bigl(r\omega\cos\alpha-\Delta_1\dot\gamma_1\cos\gamma_1-$$

$$-\Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2+\dot y_3\bigr)\dot\gamma_1\sin\gamma_1\bigr]-m_3\bigl[-r\omega^2\cos\alpha-\Delta_1\dot\gamma_1^2\cos\gamma_1-$$

$$-\frac{\dot\beta}{\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot\gamma_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2+\dot y_3\right)-tg\beta\bigl(-r\omega^2\sin\alpha-$$

$$-\Delta_1\dot\gamma_1^2\sin\gamma_1-\Delta_2\dot\gamma_2^2\sin\gamma_2\bigr)+\Delta_2\dot\gamma_2^2\cos\gamma_2\bigr]\left(-\Delta_1\sin\gamma_1-tg\Delta_1\cos\gamma_1\right)-$$

$$-m_3\bigl(-r\omega^2\sin\alpha-\Delta_1\dot\gamma_1\sin\gamma_1-tg\beta r\omega\cos\alpha-tg\beta\Delta_1\dot\gamma_1\cos\gamma_1+$$

$$+tg\beta\Delta_2\dot\gamma_2-tg\beta\dot y_3+\Delta_2\dot\gamma_2\sin\gamma_2+\dot x_3\bigr)\Biggl(-\Delta_1\cos\gamma_1\dot\gamma_1-\frac{1}{\cos^2\beta}\Delta_1\dot\beta\cos\gamma_1+$$

$$+\Delta_1 tg\beta\dot\gamma_1\sin\gamma_1\Biggr)+\frac{m_2}{2}\bigl\{2\left(r\omega\sin\alpha-\Delta_1\dot\gamma_1\sin\gamma_1\right)\Delta_1\dot\gamma_1\cos\gamma_1-$$

$$-tg\beta\bigl[-\Delta_1\dot\gamma_1\cos\gamma_1\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot\gamma_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2+\dot y_3\right)-$$

$$-\left(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\sin\gamma_1\right)\Delta_1\dot\gamma_1\sin\gamma_1\bigr]-\frac{1}{2}\left(tg^2\beta+1\right)\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_2\dot\gamma_1\cos\gamma_1\right)\times$$

$$\times\Delta_1\dot\gamma_1\sin\gamma_1+\frac{1}{2}\left(tg^2\beta-1\right)\left(\Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2-\ddot y_3\right)\Delta_1\dot\gamma_1\sin\gamma_1+\frac{1}{6\cos^2\beta}\times$$

$$\times\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_2\dot\gamma_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2+\dot y_3\right)\Delta_1\dot\gamma_1\sin\gamma_1\bigr\}+\frac{m_3}{2}\bigl\{2\bigl[-r\omega\sin\alpha-$$

$$-\Delta_1\dot\gamma_1\sin\gamma_1-tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_2\dot\gamma_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot\gamma_2\cos\gamma_2+\dot y_3\right)+$$

$$+\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+\dot{x}_3\big]\big(-\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1+tg\beta\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin^2\gamma_1\big)\big\}-\Delta_1\left(\frac{3}{2}G_2+G_3+\right.$$

$$\left.+F_{\text{тр}}tg\beta_0+F_{\text{тр}}\frac{y_1-y_2-e}{l\cos^3\beta_0}\right)\cos\gamma_1.$$

$$A^{VI}_{\gamma_2}=\left(\frac{m_2\Delta_2}{2}tg\beta\cos\gamma_2+m_3tg\beta\cos\gamma_2+m_3\Delta_2\sin\gamma_2\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_1-$$

$$-\left[\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2\left(tg^2\beta-1\right)+\frac{m_2\Delta_2}{12\cos^2\beta}\cos\gamma_2+m_3tg\beta\big(tg\beta\cos\gamma_2+\right.$$

$$\left.+\Delta_2\sin\gamma_2\big)\right]\Delta_1\Delta_1^2\sin\gamma_1+\frac{m_2\Delta_2}{2}tg\beta\cos\gamma_2r\omega^2\cos\alpha-\frac{m_2\Delta_2}{2}\times$$

$$\times\left(\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\cos\gamma_2-tg\beta\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\right)\left(-r\omega\sin\alpha-\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)+\frac{m_2\Delta_2}{2}\times$$

$$\times\cos\gamma_2\left(tg^2\beta+1\right)\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_2-\frac{m_2\Delta_2}{2}\left[2\cos\gamma_2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}-\big(tg^2\beta+\right.$$

$$\left.+1\big)\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\right]\left(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\dot{y}_3\right)-\frac{m_2\Delta_2}{2}\cos\gamma_2\left(tg^2\beta-1\right)r\omega^2\sin\alpha+$$

$$+\frac{m_2\Delta_2}{2}\left[2\cos\gamma_2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}-\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\left(tg^2\beta-1\right)\big(r\omega\cos\alpha+\right.$$

$$\left.+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\big)\right]+\frac{m_2}{12\cos^3\beta}\Delta_2\big(2\cos\gamma_2\dot{\beta}\sin\beta-$$

$$-\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\cos\beta\big)\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3\right)-$$

$$-\frac{m_2\Delta_2}{12\cos^3\beta}\cos\gamma_2r\omega^2\sin\alpha+\frac{m_2\Delta_2}{12\cos^3\beta}\cos\gamma_2\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\sin\gamma_2+$$

$$+\left[m_3r\omega^2\cos\alpha+m_3\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\big(r\omega\cos\alpha-\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\right.$$

$$\left.+\dot{y}_3\big)-m_3tg\beta r\omega^2\sin\alpha+m_3tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+m_3tg\beta\dot{y}_3\right]\times$$

$$\times\left(tg\beta\cos\gamma_2+\Delta_2\sin\gamma_2\right)+\big[m_3r\omega^2\sin\alpha+m_3\Delta_1\sin\gamma_1+$$

$$+m_3tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3\right)-m_3\Delta_2\dot{\gamma}_2-$$

$$-m_3\dot{x}_3\big]\left(\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\cos\gamma_2-tg\beta\sin\gamma_2\dot{\gamma}_2+\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2\right)+$$

$$+\frac{m_2}{2}\left[tg\beta\left(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2-\frac{1}{2}\big(tg^2\beta+\right.$$

$$+1\big)\left(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\dot{y}_3\right)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+\frac{1}{2}\left(tg^2\beta-1\right)\big(r\omega\cos\alpha+$$

$$+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\big)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+\frac{1}{6\cos^2\beta}\big(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1+\dot{y}_3-$$

$$-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2\big)\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2\big]+m_3\big[r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1+$$

$$+tg\beta\big(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3\big)-\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2-\dot{x}_3\big]\times$$

$$\times\sin\gamma_2 tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2+m_3\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\Delta_2\left(\frac{G_2}{2}+G_3+F_{\&\&}tg\beta_0+F_{\&\&}\frac{y_1-y_2-e}{l\cos^3\beta_0}\right).$$

$$A_{x_3}^{VI}=m_3\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_1-m_3\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\cos\gamma_2-m_3tg\beta\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1+$$

$$+m_3tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\sin\gamma_2+m_3r\omega^2\cos\alpha+\frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}\big(r\omega\cos\alpha+$$

$$+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_2-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3\big)+m_3tg\beta r\omega^2\sin\alpha-\frac{m_3b^2}{3y_3^3}\dot{x}_3\dot{y}_3-F_{\text{სღ}}.$$

$$A_{y_3}^{VI}=-\left(\frac{m_2}{2}tg\beta+m_3tg\beta\right)\left(\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_1+_3 tg\beta\Delta_2\dot{\gamma}_2^2\cos\gamma_2\right)+$$

$$+\left(\frac{m_2}{4}tg^2\beta-\frac{m_2}{4}+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1-\frac{m_2\Delta_2}{12\cos^2\beta}\dot{\gamma}_2^2\sin\gamma_2-$$

$$-\frac{m_2}{2\cos^2\beta}\dot{\beta}\big(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\big)-\frac{m_2}{2}tg\beta r\omega^2\cos\alpha+$$

$$+\frac{m_2}{4}\left[2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\big(\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2-\dot{y}_3\big)-\big(tg^2\beta+1\big)\right]-\frac{m_2}{2}tg\beta\times$$

$$\times\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\big(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\big)+\frac{m_2}{4}\big(tg^2\beta-1\big)r\omega^2\sin\alpha+$$

$$+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}r\omega^2\sin\alpha-\frac{m_2\sin\beta}{12\cos^2\beta}\dot{\beta}\big(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+$$

$$+\dot{y}_3\big)-m_3tg\beta r\omega^2\cos\alpha-m_3tg^2\beta\big(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1+\dot{y}_3-$$

$$-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2\big)-\frac{m_3tg\beta}{\cos^2\beta}\dot{\beta}\big(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+$$

$$+\dot{y}_3\big)+\frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}\big[-r\omega\sin\alpha-\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1-tg\beta\big(r\omega\cos\alpha+$$

$$+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\Delta_2\dot{\gamma}_2\cos\gamma_2+\dot{y}_3\big)+\Delta_2\dot{\gamma}_2\sin\gamma_2+\dot{x}_3\big]+$$

$$+\frac{2m_3b^2}{3x_3^3}\dot{y}_3\dot{x}_3+\frac{G_2}{2}+G_3-F_{\text{სღ}}tg\beta.$$

დანართი 7

$$A_{\gamma_1}^{VII} = \Delta_1\left[\frac{m_2}{2}tg\beta\sin\gamma_1 - \frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)\cos\gamma_1 + \frac{m_2}{12\cos^2\beta}\cos\gamma_1 + \right.$$

$$\left. + m_3 tg\beta\left(\sin\gamma_1 + tg\beta\cos\gamma_1\right)\right]\frac{R^2\dot{\gamma}_3^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(U^2\sin^2\gamma_3 - 2U^2\cos^2\gamma_3 - \right.$$

$$\left. - H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3 - \frac{2m_3\Delta_1}{\sin^3\gamma_3}tg\beta\left(\sin\gamma_1 + tg\beta\cos\gamma_1\right)R^2\dot{\gamma}_3^2\cos\gamma_3 + \right.$$

$$+ m_2\Delta_1\left(-r\omega^2\cos\alpha - \Delta_1\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_1\right) + m_2\Delta_1\cos\gamma_1\left(r\omega\sin\alpha + \right.$$

$$\left. + \Delta_1\sin\gamma_1\right)\dot{\gamma}_1 + m_2 tg\beta\left[-\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 - \dot{y}_2 - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\right) - \Delta_1\sin\gamma_1\left(-r\omega^2\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1\right) + \Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1 \times \right.$$

$$\left. \times\left(r\omega\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right) - \Delta_1 r\omega^2\cos\alpha\cos\gamma_1 - \Delta_1^2\dot{\gamma}_1^2\cos^2\gamma_1\right] +$$

$$+ \frac{m_2}{4}\left\{\left[2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\cos\gamma_1 - \left(tg^2\beta+1\right)\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right]\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right) + \right.$$

$$+ \left(tg^2\beta+1\right)\cos\gamma_1\left(r\omega^2\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1\right)\Big] + \left[2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\cos\gamma_1 - \right.$$

$$\left. - \left(tg^2\beta+1\right)\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right]\left(\dot{y}_2 + \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) - \frac{\cos\gamma_1}{3\cos^2\beta}\left(r\omega^2\sin\alpha + \right.$$

$$\left.\left. + \Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1\right) + \frac{\sin\gamma_1}{3\cos^2\beta}\dot{\gamma}_1\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 - \dot{y}_2 - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\right\} +$$

$$+ m_3\Delta_1\left(\sin\gamma_1 + tg\beta\cos\gamma_1\right)\left[-r\omega^2\cos\alpha - \Delta_1\dot{\gamma}_1^2 - \frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 - \dot{y}_2 - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) + tg\beta\left(r\omega^2\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1\right)\right] -$$

$$- m_3\left(r\omega\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1 + tg\beta r\omega\cos\alpha + tg\beta\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 - tg\beta\dot{y}_2 + \right.$$

$$\left. + \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}tg\beta\cos\gamma_3 - \dot{x}_2 - \frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\left(\Delta_1 tg\beta\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1 - \frac{\Delta_1\dot{\beta}}{\cos^2\beta} - \right.$$

$$\left. - \Delta_1\cos\gamma_1\dot{\gamma}_1\right) + \frac{m_2}{2}\left\{\left[2\left(r\omega\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 + tg\beta \times \right.\right.$$

$$\times\left[\Delta_1\cos\gamma_1\dot{\gamma}_1\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 + \dot{y}_2 - \frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right) - \left(r\omega\sin\alpha + \right.\right.$$

$$+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1)\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1]-\frac{1}{2}(tg^2\beta+1)(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1)\times$$

$$\times\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1+\frac{1}{2}(tg^2\beta-1)\left(\dot{y}_2+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1-$$

$$-\frac{1}{6\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\dot{y}_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\Bigg\}+$$

$$+m_3[r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1+tg\beta(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\dot{y}_2-$$

$$\left.-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)+\dot{x}_2+\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\Bigg](tg\beta\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1-\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1)-$$

$$-\Delta_1\left(\frac{3}{2}G_2\cos\gamma_1+G_3\cos\gamma_1+F_{\&\&}(\sin\gamma_1+tg\beta\cos\gamma_1)\right).$$

$$A_{x_2}^{VII}=m_3tg\beta r\omega^2\sin\alpha-m_3r\omega^2\cos\alpha-\frac{m_3\dot{\beta}}{\cos^2\beta}(r\omega\cos\alpha+$$

$$\left.+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\dot{y}_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)+m_3tg\beta\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1-m_3\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_1+$$

$$+\frac{m_3tg\beta}{U^3\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2(R^2\dot{\gamma}_3U^2\sin\gamma_3-2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3)+$$

$$+2m_3R\dot{\gamma}_3^2\cos\gamma_3/\sin^3\gamma_3-F_{\text{ษฐ}}.$$

$$A_{y_2}^{VII}=\frac{m_2}{2}tg\beta r\omega^2\cos\alpha+\frac{m_2}{2\cos^2\beta}\dot{\beta}(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1)-$$

$$-\frac{m_2\dot{\beta}}{2\cos^2\beta}tg\beta\left(\dot{y}_2+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)-\frac{m_2}{4}(tg^2\beta+1)+(r\omega\cos\alpha+$$

$$+\dot{y}_1)\frac{m_2\dot{\beta}}{2\cos^2\beta}tg\beta-\frac{m_2}{4}(tg^2\beta-1)r\omega^2\sin\alpha-\frac{m_2}{12\cos^2\beta}r\omega^2\sin\alpha+$$

$$+\frac{m_2\sin\beta}{6\cos^3\beta}\dot{\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\dot{y}_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)+$$

$$+m_3tg\beta r\omega^2\cos\alpha-tg^2\beta m_3r\omega^2\sin\alpha+\frac{m_3tg\beta}{\cos^2\beta}\dot{\beta}(r\omega\cos\alpha+$$

$$+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\dot{y}_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\Bigg)-\frac{m_3}{\cos^2\beta}\dot{\beta}\Big[-r\omega\sin\alpha-$$

$$-\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1-tg\beta\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\dot{y}_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)-$$

$$-\dot{x}_2-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\Bigg]+\left(\frac{m_2}{2}tg\beta+m_3tg\beta\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_1-$$

$$-\left[\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}+tg^2\beta m_3\right]\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1-$$

$$-\frac{2m_3tg\beta}{\sin^3\gamma_3}R\dot{\gamma}_3^2\cos\gamma_3+\frac{\dot{\gamma}_3^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\Big(U^2\sin^2\gamma_3+2U^2\cos^2\gamma_3+$$

$$+H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\Big)\left(m_3tg^2\beta+\frac{m_2}{12\cos^2\beta}\right)R^2-\frac{G_2}{2}+F_{\text{ъ}}tg\beta.$$

$$A_{\gamma_3}^{VII}=\left[\frac{m_2}{2}tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}+m_3\left(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_1\right]+$$

$$+\Bigg[-\frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta-1\right)\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\frac{m_2R^2\cos\gamma_3}{12U\cos^2\beta\sin^2\gamma_3}\times$$

$$\times\left(\sin^4\gamma_3\left(a^2+b^2\right)-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2R^2\cos^4\gamma_3\right)-m_3tg\beta\Bigg(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-$$

$$-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\Bigg)\Bigg]\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1-\frac{m_2}{2}\left\{\left[\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(r\omega\sin\alpha-\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)-tg\beta r\omega^2\cos\alpha\right]\times\right.$$

$$\times\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}+tg\beta\left(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)\frac{R^2\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\Big(\sin^4\left(a^2+b^2\right)-$$

$$-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2R^2\cos^4\gamma_3\Big)+\frac{1}{2}\Bigg[2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(\dot{y}_2+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)+$$

$$+\left(tg^2\beta+1\right)\frac{\dot{\gamma}_3^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(U^2\sin^2\gamma_3-2U^2\cos^2\gamma_3-\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3H\right)\Bigg]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-$$

$$-\frac{R^2}{2}\left(tg^2\beta+1\right)\left(\dot{y}_2+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\frac{\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\Big(\sin^4\left(a^2+b^2\right)-$$

$$-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2R^2\cos^4\gamma_3\Big)-\frac{1}{2}\Bigg[2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)-$$

$$-\left(tg^2\beta-1\right)r\omega\sin\alpha\Big]\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}+\frac{1}{2}\left(tg^2\beta-1\right)\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)R^2\times$$

$$\times\frac{\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\left(\sin^4\gamma_3\left(a^2+b^2\right)-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2R^2\cos^4\gamma_3\right)+\frac{R^4\cos\gamma_3}{6\cos^2\beta U^4\sin^5\gamma_3}\times$$

$$\times\dot{\gamma}_3^2\left(U^2\sin^2\gamma_3-2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)-\frac{R^2\cos\gamma_3}{6\cos^3\beta U\sin^2\gamma_3}\times$$

$$\times\left(-r\omega^2\sin\alpha\cos\beta-2r\omega\cos\alpha+2\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-2\dot{y}_2+\frac{2R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\dot{\beta}\times$$

$$\times\sin\beta+\frac{R^2}{6\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)\frac{\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\Big[\sin^4\gamma_3\left(a^2+b^2\right)-$$

$$-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2R^2\cos^4\gamma_3\Big]\Big\}-\frac{m_3}{2}\left\{2\left[-r\omega^2\cos\alpha-\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\right.\right.\right.$$

$$\left.+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\dot{y}_2-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)+tg\beta\left(r\omega^2\sin\alpha+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}+\frac{R^2\dot{\gamma}_3^2}{U^3\sin^3\gamma_3}\times\right.$$

$$\left.\times\left(U^2\sin^2\gamma_3-2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)+\frac{2R^2\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right]\left(tg\beta\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}-\right.$$

$$\left.-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\right)-2\Big[r\omega\sin\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1+tg\beta\Big(r\omega\cos\alpha+\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1-\dot{y}_2-$$

$$\left.-\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)-\dot{x}_2-\frac{R}{\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\Big]\left[\frac{\dot{\beta}R^2\cos\gamma_3}{\cos^2\beta U\sin^2\gamma_3}-tg\beta\frac{R^2\dot{\gamma}_3}{U^3\sin^3\gamma_3}\times\right.$$

$$\left.\times\left(\sin^4\gamma_3\left(a^2+b^2\right)-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2R^2\cos^4\gamma_3\right)+2\frac{R\cos\gamma_3}{\sin^3\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right]+$$

$$+2\frac{R^4\cos\gamma_3}{U^4\sin^5\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2\left(U^2\sin^2\gamma_3-2U^2\cos^2\gamma_3-H\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3\right)-$$

$$-\frac{R^4\cos\gamma_3}{U^4\sin^5\gamma_3}\dot{\gamma}_3^2\left(\sin^4\gamma_3\left(a^2+b^2\right)-2R^2\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-2R^2\cos^4\gamma_3\right)-$$

$$\left.-\frac{4b^2R^2}{3U^2\sin^3\gamma_3}\Big[\left(2\left(a^2+b^2\right)+R^2\right)\dot{\gamma}_3\sin^2\gamma_3\cos^2\gamma_3-R^2\cos^3\gamma_3\Big]\right\}+$$

$$+\frac{m_2}{2}P\left[tg\beta\left(r\omega\sin\alpha+\Delta_1\gamma_1\sin\gamma_1\right)-\frac{1}{2}\left(tg\beta+1\right)\left(\dot{y}_2+\frac{R^2\cos\gamma_3}{U\sin^2\gamma_3}\dot{\gamma}_3\right)+\right.$$

$$+\frac{1}{2}\left(tg^{2}\beta-1\right)\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_{1}\dot{\gamma}_{1}\cos\gamma_{1}\right)+\frac{1}{6\cos^{2}\beta}\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_{1}\dot{\gamma}_{1}\cos\gamma_{1}-\right.$$

$$\left.\left.-\dot{y}_{2}-\frac{R^{2}\cos\gamma_{3}}{U\sin^{2}\gamma_{3}}\dot{\gamma}_{3}\right)\right]+\frac{m_{3}}{2}\left\{\left[2r\omega\sin\alpha-2\Delta_{1}\dot{\gamma}_{1}\sin\gamma_{1}-2tg\beta\times\right.\right.$$

$$\left.\times\left(r\omega\cos\alpha+\Delta_{1}\dot{\gamma}_{1}\cos\gamma_{1}--\dot{y}_{2}-\frac{R^{2}\cos\gamma_{3}}{U\sin^{2}\gamma_{3}}\dot{\gamma}_{3}\right)-2\dot{x}_{2}-\frac{2R}{\sin^{2}\gamma_{3}}\dot{\gamma}_{3}\right]\times$$

$$\left.\times\left(\frac{2R\cos\gamma_{3}}{\sin^{3}\gamma_{3}}\dot{\gamma}_{3}-Ptg\beta\right)-\frac{2PR^{2}\cos\gamma_{3}}{U\sin^{2}\gamma_{3}}\dot{\gamma}_{3}+\frac{2b^{2}R^{4}}{3U^{4}\sin^{3}\gamma_{3}}\dot{\gamma}_{3}\right\}+$$

$$+\left(a^{2}+b^{2}\right)^{1/2}\left[\left(\frac{G_{2}}{2}+G_{3}-F_{\&\&}tg\beta\right)\cos\gamma_{3}-F_{\&\&}\sin\gamma_{3}\right].$$

დანართი 8

$$A_{\gamma_1}^{VIII} = m_2\Delta_1 \sin\gamma_1\left(-r\omega^2\cos\alpha - \Delta_1\dot{\gamma}_1{}^2\cos\gamma_1\right) + m_2\left(r\omega\sin\alpha +\right.$$

$$\left.+\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\sin\gamma_1\right)\Delta_1\cos\gamma_1\dot{\gamma}_1 + m_2 tg\beta\left[\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\left(r\omega\cos\alpha - \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 +\right.\right.$$

$$\left.+\dot{Y}_2 - \dot{Y}_3\right) + \Delta_1\sin\gamma_1\left(r\omega^2\sin\alpha - \Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_2\right) - \left(tg^2\beta+1\right)\sin\gamma_1\dot{\gamma}_1\left.\right)x$$

$$x\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)\Big] + \frac{m_2}{2}\left\{\frac{\Delta_1}{2}\left(tg^2\beta+1\right)\cos\gamma_1\left(r\omega^2\sin\alpha +\right.\right.$$

$$\left.+\Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1\right) + \frac{\Delta_1}{2}\left[2tg\beta\frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\cos\gamma_1 - \left(tg^2\beta-1\right)\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right]\left(\dot{Y}_2 -\right.$$

$$\left.-\dot{Y}_3\right) + \frac{\Delta_1\cos\gamma_1}{6\cos^2\beta}\left(r\omega^2\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1\right) + \frac{\Delta_1}{6\cos^2\beta}x$$

$$x\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 - \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3\right)\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\Big\} - m_3\Delta_1\left(\sin\gamma_1 +\right.$$

$$\left.+tg\beta\cos\lambda_1\right)\left[r\omega^2\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1^2\cos\gamma_1 + \frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 -\right.\right.$$

$$\left.\left.-\dot{Y}_2 + \dot{Y}_3\right) + tg\beta\left(r\omega^2\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1^2\sin\gamma_1\right)\right] - m_3\left(\dot{X}_3 - \dot{X}_2 -\right.$$

$$\left.-tg\beta\dot{Y}_3 + tg\beta\dot{Y}_2 - r\omega\sin\alpha - \Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1 - tg\beta r\omega\cos\alpha - tg\beta\gamma_1'\cos\gamma_1\right)\cdot$$

$$\cdot\Delta_1\left(\cos\gamma_1\dot{\gamma}_1 - \frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta} + tg\beta\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right) + \frac{m_2}{2}\left\{2\left(r\omega\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)\cdot\right.$$

$$\cdot\Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 - tg\beta\left[\left(r\omega\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1 - \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3\right)\right] - \frac{1}{2}\left(tg\beta+1\right)\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1\right)\cdot$$

$$\cdot\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1 + \frac{1}{2}\left(tg^2\beta+1\right)\left(\dot{y}_2 - \dot{y}_3\right)\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1 + \frac{\Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1}{6\cos^2\beta}\cdot$$

$$\left.\cdot\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3\right)\right\} - m_3\left[r\omega\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1 + tg\beta\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\left(t\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1\cos\gamma_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3\right) - \dot{x}_2 + \dot{x}_3\right]\cdot\left(tg\beta\dot{\gamma}_1\sin\gamma_1 - \gamma_1'\cos\gamma_1\right)\Delta_1 -$$

$$-\Delta_1\left[G_3\cos\gamma_1 + \frac{3}{2}G_2\cos\gamma_1 + F_{\text{სწ}}\left(\cos\gamma_1 tg\beta + \sin\gamma_1\right)\right.$$

$$A_{x_2}^{VIII} = m_3 tg\beta \Delta_1 \dot{\gamma}_1{}^2 \sin\gamma_1 - m_3 \Delta_1 \dot{\gamma}_1{}^2 \cos\gamma_1 + m_3 tg\beta r\omega^2 \sin\alpha -$$

$$- m_3 r\omega^2 \cos\alpha - \frac{m_3 \dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1 \cos\gamma_1 - \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3\right) - F_{\text{სჭ}}.$$

$$A_{y_2}^{VIII} = \Lambda_1 \dot{\gamma}_1{}^2 \cos\gamma_1 \left(\frac{m_2}{2} tg\beta + m_3 tg\beta\right) - \Delta_1 \dot{\gamma}_1^2 \sin\gamma_1 \left[\frac{m_2}{4} \times\right.$$

$$\left. \times \left(tg^2\beta - 1\right) + \frac{m_2}{12\cos^2\beta} + m_3 tg^2\beta \right] + \frac{m_2}{2} tg\beta r\omega^2 \cos\alpha +$$

$$+ \frac{m_2 \dot{\beta}}{2\cos^2\beta}\left(r\omega\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1 \sin\gamma_1\right) - \frac{m_2}{2} tg\beta \frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta} \cdot \left(\Delta_2 \gamma_2 \cos\gamma_2 - \dot{y}_3\right)$$

$$- \frac{m_2}{2} tg\beta \frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta}\left(\Delta_2 \dot{\gamma}_2 \cos\gamma_2 - \dot{y}_3\right) - \frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta + 1\right) + \frac{m_2}{2} tg\beta \frac{\dot{\beta}}{\cos^2\beta} \times$$

$$\times \left(r\omega\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1 \sin\gamma_1\right) - \frac{m_2}{4}\left(tg^2\beta + 1\right) r\omega^2 \sin\alpha - \frac{m_2}{12\cos^2\beta} r\omega^2 \sin\alpha +$$

$$+ \frac{m_2 \sin\beta}{6\cos^3\beta} \dot{\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1 \cos\gamma_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3\right) + m_3 tg\beta r\omega^2 \cos\alpha -$$

$$- tg^2\beta m_3 r\omega^2 \sin\alpha + \frac{m_3 tg\beta}{\cos^2\beta} \dot{\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1 \cos\gamma_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3\right) +$$

$$+ \frac{m_3 tg\beta}{\cos^2\beta} \dot{\beta}\left[r\omega\sin\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1 \sin\gamma_1 + tg\beta\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1 \cos\gamma_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3\right) + \right.$$

$$\left. + \dot{x}_2 - \dot{x}_3 \right] - \frac{G_2}{2} - F_{\text{სჭ}} tg\beta.$$

$$A_{x_3}^{VIII} = m_3 \Delta_1 \dot{\gamma}_1{}^2 \cos\gamma_1 m_3 tg\beta \Delta_1 \sin\gamma_1 \dot{\gamma}_1^2 + m_3 r\omega^2 \cos\alpha +$$

$$m_3 tg\beta r\omega^2 \sin\alpha + \frac{m_3}{\cos^2\beta} \dot{\beta}\left(r\omega\cos\alpha + \Delta_1\dot{\gamma}_1 \cos\gamma_1 - \dot{y}_2 + \dot{y}_3\right) - m_3 \frac{b^2}{3y_3^3} \dot{x}_3 \dot{y}_3 - F_{\text{სჭ}}$$

$$A_{y_3}^{VIII} = \frac{m_2 \Delta_1 \sin\gamma_1}{12\cos^2\beta} \dot{\gamma}_1^2 - m_3 tg\beta \Delta_1 \dot{\gamma}_1^2 \cos\gamma_1 - \left(r\omega\sin\alpha - \right.$$

$$\left. - \Delta_1 \dot{\gamma}_1 \sin\gamma_1\right) \frac{m_2}{2\cos^2\beta} \dot{\beta} - \frac{m_2}{2} tg\beta r\omega^2 \cos\alpha + \frac{m_2}{4}\left[2tg\beta \cdot\right.$$

$$\cdot \frac{\dot{\beta}}{\cos^2 \beta}\left(\dot{Y}_2 - \dot{Y}_3\right) - \left(tg^2 \beta + 1\right)\Bigg] - \frac{m_2}{2} tg\beta \frac{\dot{\beta}}{\cos^2 \beta}\left(r\omega \cos\alpha + \right.$$

$$\left. + \Delta_1 \dot{\gamma}_1 \cos\gamma_1 \right) + \frac{m_2}{4}\left(tg^2 \beta - 1\right) r\omega^2 \sin\alpha + \frac{m_2}{12\cos^2 \beta} r\omega^2 \sin\alpha -$$

$$- \frac{m_2 \sin\beta}{12\cos^3 \beta}\dot{\beta}\left(r\omega \cos\alpha + \Delta_1 \dot{\gamma}_1 \cos\gamma_1 - \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3\right) - m_3 tg\beta r\omega^2 \cos\alpha -$$

$$- m_3 tg^2 \beta\left(r\omega \cos\alpha + \Delta_1 \dot{\gamma}_1 \cos\gamma_1 - \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3\right) - m_3 tg\beta \frac{\dot{\beta}}{\cos^2 \beta} \cdot$$

$$\cdot \left(r\omega \cos\alpha + \Delta_1 \dot{\gamma}_1 \cos\gamma_1 - \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3\right) - \frac{m_3}{\cos^2 \beta}\dot{\beta}\left[r\omega \sin\alpha - \right.$$

$$- \Delta_1 \dot{\gamma}_1 \sin\gamma_1 + tg\beta\left(r\omega \cos\alpha + \Delta_1 \dot{\gamma}_1 \cos\gamma_1 - \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3\right) +$$

$$+ \frac{2 m_3 b^2}{3 X_3^3}\dot{Y}_3 \dot{X}_3 + \frac{G_2}{2} + G_3 + F_{\text{სტ}} tg\beta.$$