

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნანა მახარაშვილი

ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზის, როგორც რთული
ელექტრომექანიკური სისტემის, ზოგიერთი დინამიკური
რეჟიმის კვლევა და ოპტიმიზაცია

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილია დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2012წელი.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

სამთო – გეოლოგიური ფაკულტეტის

სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრ. პროფესორი მ. წერეთელი

რეცენზენტები: 1.

2.

დაცვა შედგება 2012 წლის " ---- " ----- , ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

სამთო – გეოლოგიური ფაკულტეტის, სადისერტაციო საბჭოს

კოლეგიის სხდომაზე

კორპუსი III , აუდიტორია

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ – ს

ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის

სტუ – ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

ასოც. პროფესორი

/დ. თევზაძე/

შესავალი

კიდული ბაგირგზები, ტრანსპორტის ერთ-ერთ გავრცელებულ სახეობას წარმოადგენს. როგორც სამგზავრო, ისე სატვირთო ბაგირგზების ექსპლუატაციის პრაქტიკამ გვიჩვენა მათი დიდი ეფექტურობა და საიმედოობა. სწორად დაპროექტებული და თანამედროვე ტექნოლოგიური მიღწევებით აღჭურვილი ბაგირგზა, ტრანსპორტის ყველაზე უსაფრთხო სახეობად იქცა. ბაგირგზები ფართოდ გამოიყენება შახტებისა და მაღაროების ზედაპირზე ხალხისა და სხვადასხვა ტვირთის გადასადგილებლად. ჩვენი ქვეყნის მარგანეცის სამშობლოში, ქ. ჭიათურაში, დაახლოებით სამოცამდე სატვირთო და სამგზავრო კიდული ბაგირგზა არსებობდა. გასული საუკუნის ბოლო პერიოდის ცნობილმა მოვლენებმა და არასაკმარისმა ყურადღებამ მრავალი მოქმედი გზა გამოიყვანა მწყობრიდან.

კიდული ბაგირგზები ასევე ფართოდ გამოიყენება მრეწველობის სხვადასხვა დარგებსა და სოფლის მეურნეობაში.

ისეთი მთავორიანი ქვეყნისათვის, როგორც საქართველოა, ბაგირგზის განვითარებას, პირველ რიგში, სოციალური და სტრატეგიული დანიშნულება აქვს. მათ გარეშე წარმოუდგენელია მაღალმთიანი რეგიონების შენარჩუნება-ათვისება, ტურიზმისა და სამთო-სათხილამურო სპორტის განვითარება და სხვ. ამასთანავე, ყველა სხვა სატრანსპორტო საშუალებასთან შედარებით ის ეკოლოგიურად უფრო სუფთა, ეკონომიური და უსაფრთხოა.

ამ პრობლემის აქტუალობა იმითაც მტკიცდება, რომ ჩვენს ქვეყანაში, ბოლო წლების განმავლობაში, რამდენიმე ახალი ბაგირგზა აშენდა, ხოლო რამდენიმე კი, მწყობრიდან გამოსული, ახალი ტექნოლოგიებით აღიჭურვა და ექსპლუატაციაში გაეშვა.

კიდული ბაგირგზების ერთ-ერთ ყველაზე გავრცელებულ სახეს ქანქარისებრი ბაგირგზები წარმოადგენს. სადგურები ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან სარელსო ბაგირებით და მათზე ვაგონები უკუმოქცევა გადატანით (ქანქარისებრ) მოძრაობას ახორციელებენ საწვეი ბაგირების საშუალებით.

თემის აქტუალობა. ბაგირგზის მუშაობის შეფერხება და მათში გა-

ჩენილი უწესიერობანი ძირითადათ გამოწვეულია საწევ ბაგირში აღძრული დინამიკური ძალებით. ამ ძალების გათვალისწინება ბაგირგზის დაპროექტებისა და მუშაობის რეჟიმების კვლევისას მეტად რთულ ამოცანას წარმოადგენდა. მისი გადაწყვეტა ხდებოდა გამარტივებული მოდელების საშუალებით, რომელიც არ იძლეოდა ბაგირგზის ელემენტების რაციონალურად შერჩევისა და ოპტიმალური მართვის საშუალებას.

ამას კი თავის მხრივ შეექმლო გამოწვევა:

1. საწვეი ბაგირის, ამძრავისა და დამჭიმი შივის ელემენტების ვადაზე ადრე მწყობრიდან გამოსვლა;
2. საწვე ბაგირში, დინამიკური ძალებით გამოწვეული ბაგირის რხევის დასაშვებ სიდიდეზე გადაჭარბება და ავარიული შედეგი და სხვ. თანამედროვე კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენება იძლევა იმის საშუალებას, რომ თავიდან ავიცილოთ ის გამარტივებები და დაშვებები, რომლებიც მათ გამოყენებამდე ხდებოდა და შევქმნათ ისეთი მათემატიკური მოდელები, რომლებიც უფრო სრულყოფილად აღწერენ რეალურ სურათს. კომპიუტერული ტექნიკის მძლავრი მათემატიკური უზრუნველყოფა იძლევა იმის საშუალებას, რომ ამოიხსნას ნებისმიერი სირთულის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა, რომელიც აუცილებელია ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზის დინამიკური რეჟიმების კვლევისას.

სამუშაოს მიზანი. ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზის საწვე ბაგირში დინამიკური ძალებით აღძრული რხევების ჩაქრობა ელექტრული ამძრავის საშუალებით.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტია ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზა.

დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად თავიდან შეიქმნა კიდული ბაგირგზის საანგარიშო სქემა და ერთიანი მათემატიკური მოდელი. შემდგომ, ამ მოდელის საშუალებით, დაიწერა დინამიკური რეჟიმის აღმწერი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა (რელეის, ლაგრანჟესა და ლაპლასის მეთოდების გამოყენებით) და ამ სისტემის ამონახსნების საშუალებით (საპროგრამო ენა Matlab –ის გამოყენებით) ჩატარდა კვლევა ბაგირგზის ოპტიმალური პარამეტრების დასადგენად. ეს, საბოლოოდ, მო-

გვცემს საშუალებას შევირჩიოთ ელექტრული ამძრავის მართვის ოპტიმალური ალგორითმი.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე. აქამდე არსებულ ბაგირჯის მათემატიკურ მოდელებში, დინამიკური რეჟიმების აღწერისას, არ გაითვალისწინებოდა ბაგირჯის ვაგონის რხევა სავალი ურიკის მიმართ, რომლის საშუალებითაც მოძრაობს ვაგონი მზიდ ბაგირზე. ვაგონის მასა, სავალ ურიკასთან ერთად, დაიყვანებოდა ამძრავ ან დამჭიმ შკივებზე.

სადისერტაციო თემის სიახლეა ის, რომ ბაგირჯის მათემატიკურ მოდელებში გათვალისწინებულია ვაგონის რხევა სავალი ურიკის მიმართ საწვეი ბაგირის, ამძრავი და დამჭიმი შკივების რხევის დროს.

საკითხის ასეთი გადაწყვეტა, რა თქმა უნდა, გაართულებს ბაგირჯის მათემატიკურ მოდელებს და გაზრდის დინამიკური რეჟიმის აღმწერ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის რიგს, სამაგიეროდ მიღებული შედეგები, ჩვენი აზრით, საკმაო სიზუსტით დაუახლოვდება ბაგირჯაში არსებულ რეალურად მიმდინარე პროცესებს.

შედეგები და მათი გამოყენების სფერო. შერჩეული ალგორითმის მიხედვით, ასინქრონული მოკლედ ჩართული როტორიანი ძრავას საშუალებით, სისწორული გარდაქმნელის დახმარებით, მოხდა ამუშავების დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაცია (საწვე ბაგირში აღძრული რხევების ჩაქრობა). მიღებული შედეგების გამოყენების სფეროა ქანქარისებრი კიდული და რგოლური ბაგირჯები.

სამუშაოს აპრობაცია. სამუშაოს ძირითადი დებულებები მოხსენდა ორ სემინარზე და სტუდენტთა 79-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის სამთო ტექნოლოგიის სექციაზე. I ადგილი. 2011 წ. თემა ” მოქნილკავშირიანი ორმასიანი სისტემის დინამიკური რეჟიმის კვლევა ქანქარისებური კიდული ბაგირჯის მაგალითზე”.

პუბლიკაციები. დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნდა 7 დაბეჭდილი ნაშრომი, მათ შორის - 2 პატენტი.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შეიცავს შესავალს, ლიტერატურის მიმოხილვას, შედეგებსა და მათ განსჯას, ძირითად ნაწილს, საერთო დასკვნებს, გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხას (29 დასახელება) და დანართს. სადისერტაციო ნაშრომის საერთო მოცუ-

ლობა შეადგენს 120 გვერდს, მათ შორის 36 ნახაზს, 2 ცხრილს. დანართები წარმოდგენილია 16 გვერდზე.

სამუშაოს ძირითადი შინაარსი

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

კიდული ბაგირგზის დინამიკური რეჟიმების კვლევისათვის და შემდგომში ამ რეჟიმების ოპტიმიზაციისათვის, საჭიროა მისი მათემატიკური მოდელის შედგენა და შემდგომ ამ მოდელის საშუალებით მიღებული მოძრაობის ამსახველი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემების ამოხსნა და კვლევა.

ზოგადად, დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაციის ცნებაში იგულისხმება სისტემის შიგა მექანიკური რხევების ჩაქრობა გარდამავალი პერიოდის დროს.

რთული ელექტრომექანიკური, მათ შორის კიდული ბაგირგზის კვლევისას, დიდი დახმარება შეიძლება გასწიოს მეთოდმა, რომელიც **რელიეს** სახელს ატარებს. ასევე ცნობილია, რომ რელიეს მეთოდის გამოყენებისას სხვა, უფრო სრულყოფილ მეთოდებთან შედარებით, გაანგარიშების სიზუსტე მცირდება, მაგრამ განსხვავება 10%-ს არ აღემატება. ისეთ მექანიზმებში, სადაც დინამიკური ზემოქმედების დროს ბაგირის სიგრძე უმნიშვნელოდ იცვლება, ამ მეთოდის გამოყენება, თავისი სიმარტივის გამო, დიდ პრაქტიკულ მნიშვნელობას იძენს.

მოძრაობის აღმწერი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის შედგენისათვის გამოყენებულია **ლაგრანჟეს** მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია განზოგადებული კოორდინატისა და ძალის ცნებაზე.

ლიტერატურის მიმოხილვისას, აღწერილია რელიესა და ლაგრანჟეს მეთოდების ზოგადი აღწერა, პრაქტიკაში მათი გამოყენების მაგალითები. იმის მიზანშეწონილობა, რომ ჩვენს მიერ გამოსაკვლევი კიდული ბაგირგზის დინამიკური რეჟიმების კვლევისათვის, ყველაზე მისაღებია აღნიშნული მეთოდები.

პრაქტიკული მაგალითებისათვის, კერძოდ, მარტივი ამწევი მექანიზმისათვის, ამ მეთოდების გამოყენებით, შედგენილია ამუშავების პერიოდის აღმწერი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა. გამოყვანილია

ამ სისტემიდან აჩქარებისა და სინქარების გამოსათვლელი ფორმულები, როგორც დამხვევი ორგანოსათვის, ისე ამომავალი (ჩამავალი) ტვირთისათვის.

დაწვრილებითაა განხილული დინამიკური რეჟიმების კვლევისა და მათი ოპტიმიზაციის მეთოდები. ნაჩვენებია, რომ ოპტიმიზაცია შესაძლებელია განხორციელდეს, როგორც დამატებით ჩართული ელემენტების (ამორტიზატორი და ზამბარა) საშუალებით, ისე თვითონ ძრავას ოპტიმალურად მართვით.

კიდული ბაგირგზის ამუშავების დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაციისათვის ჩვენ ავირჩიეთ თეორიაში ერთ-ერთი ყველაზე მეტად გავრცელებული მეთოდი. კერძოდ, ამძრავ შკივზე მოდებულ დინამიკურ ძალას ვცვლით ვაგონის მაქსიმალური გადახრის მიხედვით. ეს მეთოდი საკმაოდ დიდი ხანია ცნობილია ელექტრული ამძრავის თეორიაში, მაგრამ მისი პრაქტიკული გამოყენება ვერ ხერხდებოდა ამძრავი ძრავას სრულყოფილი მართვის არ არსებობის გამო. ამ ბოლო დროს, ძრავას მართვის საშუალებების არნახული წარმატებების გამო, უკვე შესაძლებელია პრაქტიკაში ყველაზე საიმედო და იაფი მოკლედ ჩაკეტილ როტორიანი ძრავას საშუალებით განვახორციელოთ თითქმის ნებისმიერი სახის ამოცანა. ჩვენს შემთხვევაში, ძრავას სისწორული მართვის საშუალებით შესაძლებელია წარმატებით გადავჭრათ ჩვენი ამოცანა, კერძოდ კიდული ბაგირგზის ამუშავების დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაცია.

2. ქანქარისებური კიდული ბაგირგზის ამუშავების დინამიკური რეჟიმის კვლევა და ოპტიმიზაცია

2.1 კიდული ბაგირგზის მათემატიკური მოდელისა და შესაბამისი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის შედგენა

მოძრაობის ამსახველი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის შედგენისას (ლაგრანჟეს მეთოდი) მიღებულია გარკვეული სახის დაშვებები, რომელთაგან აღსანიშნავია:

1. ამძრავი შკივი, რედუქტორი, ძრავას ლილვი და საერთოდ, ამძრავის ყველა ელემენტი აბსოლუტურად ხისტია.

2. წინააღმდეგობების ძალები, რომლებიც წარმოიშევა სავალი ურიკის სარელსო ბაგირზე გადაადგილებისას, მუდმივია და სიმცირის გამო შესაძლოა მათი უგულებელყოფა.

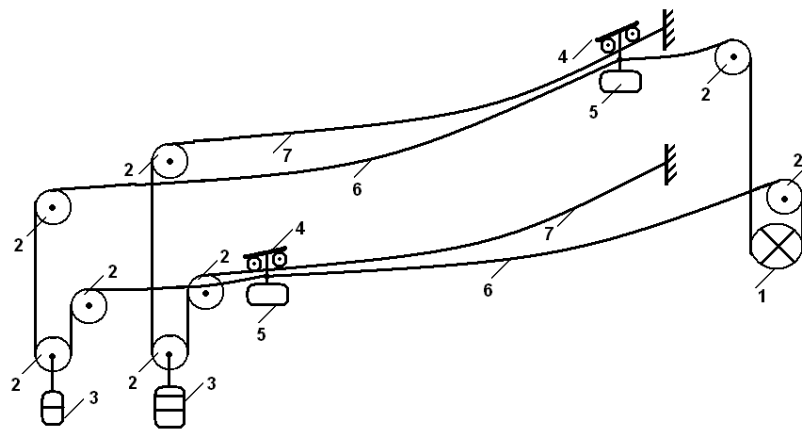
3. ბაგირგზის ვაგონი, სავალ ურიკასთან, ქანქარისებურადაა დაკავშირებული და მისი რხევის სიხშირის გამოთვლისას, ვანგარიშობთ ექვივალენტურ სიხისტის კოეფიციენტს როგორც ვაგონის წონის ფარდობას მის ჩამოკიდების სიგრძესთან.

4. მხედველობაში არ არის მიღებული ბაგირის შინაგანი ხახუნის ანუ დისიპატიური ძალები და პროცესს ვიხილავთ როგორც არაქრობადს.

5. გარდამავალი პროცესის განხილვისას მხედველობაში არ ვიღებთ საწვეი ბაგირის სიგრძის ცვალებადობას.

6. მხედველობაში არ მიიღება სარელსო ბაგირის რხევის გავლენა საწვევ ბაგირზე.

ორბაგირიან, ორვაგონიან, ქანქარისებურად მოძრავ კიდულ ბაგირგზას, ზოგადად, შესაძლებელია ასეთი სახე ჰქონდეს -



ნახ. 1. ორბაგირიანი, ორვაგონიანი ქანქარისებური კიდული ბაგირგზის კინემატიკური სქემა

სადაც - 1- ხახუნის ამძრავი შივივია;

2 - მიმმართველი შივივები;

3 - დამჭიმავი ტვირთები;

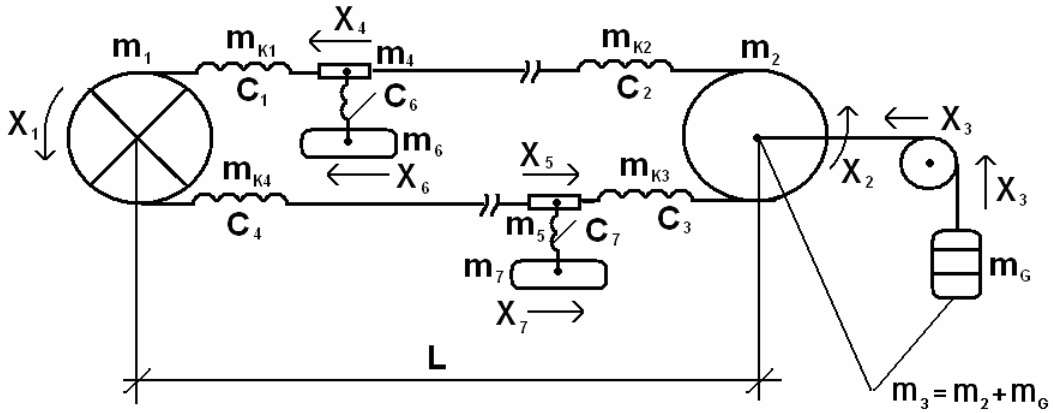
4 - სავალი ურიკები;

5 - ვაგონები;

6 - საწვევი ბაგირი;

7 – სარელსო ბაგირები.

აღნიშნულის გათვალისწინებით, შესაძლოა წარმოვიდგინოთ ბაგირის საანგარიშო სქემა:



ნახ. 2. ორბაგირიანი, ორვაგონიანი ქანქარისებური კიდული ბაგირის საანგარიშო სქემა

შევადგინოთ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა ამუშავების ისეთი რეჟიმისათვის, როცა ვაგონები მიმდებ სადგურებში არიან. ამუშავების ეს რეჟიმი, რა თქმა უნდა, კერძო შემთხვევაა ისეთი ამუშავების რეჟიმისა, როცა ვაგონები მაღლის ნებისმიერ ადგილას შეიძლება იყოს. ჩვენ არ განვიხილავთ ამ ზოგად შემთხვევას შემდეგი მოსაზრებებიდან გამომდინარე. ამძრავს ამუშავება მაღლის ნებისმიერ ადგილას, შესაძლოა მოუხდეს მხოლოდ ავარიული დამუხრუჭების შემდეგ ან ძაბვის უეცარი შეწყვეტისას, ან თვით ბაგირის რომელიმე ელემენტის დაზიანებისას. ასეთ შემთხვევაში ამძრავის ამუშავება ხდება ან სარეზერვო ძრავით, ან ძირითადი ამძრავით, მცირე აჩქარებებით. ასე, რომ ჩვენ განვიხილავთ ამძრავის ამუშავების ნორმალურ რეჟიმს, ანუ როცა ვაგონები მიმდებ სადგურებში დგანან. ასეთ შემთხვევაში საანგარიშო სქემას ექნება ასეთი სახე (იხ. ნახ. 3)

შევადგინოთ ამ შემთხვევისათვის ამუშავების აღმწერი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა.

სისტემის სრული კინეტიკური ენერჯია -

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_{r1} + T_{r2} + T_{w1} + T_{w2}. \quad (1)$$

შესაბამისად-

$$\begin{cases} T_1 = \frac{1}{2}m_1 \cdot \dot{X}_1^2; T_2 = \frac{1}{2}m_2 \cdot \dot{X}_2^2; T_3 = \frac{1}{2}m_3 \cdot \dot{X}_3^2; \\ T_{R1} = \frac{1}{2}m_{R1} \cdot \frac{\dot{X}_1^2 + \dot{X}_1 \cdot \dot{X}_2 + \dot{X}_2^2}{3}; T_{R2} = \frac{1}{2}m_{R2} \cdot \frac{\dot{X}_1^2 + \dot{X}_1 \cdot \dot{X}_2 + \dot{X}_2^2}{3}; \\ T_{w1} = \frac{1}{2}m_{w1} \cdot \dot{X}_4^2; T_{w2} = \frac{1}{2}m_{w2} \cdot \dot{X}_5^2 \end{cases} \quad (2)$$

შესაბამისი განზოგადებული ძალები -

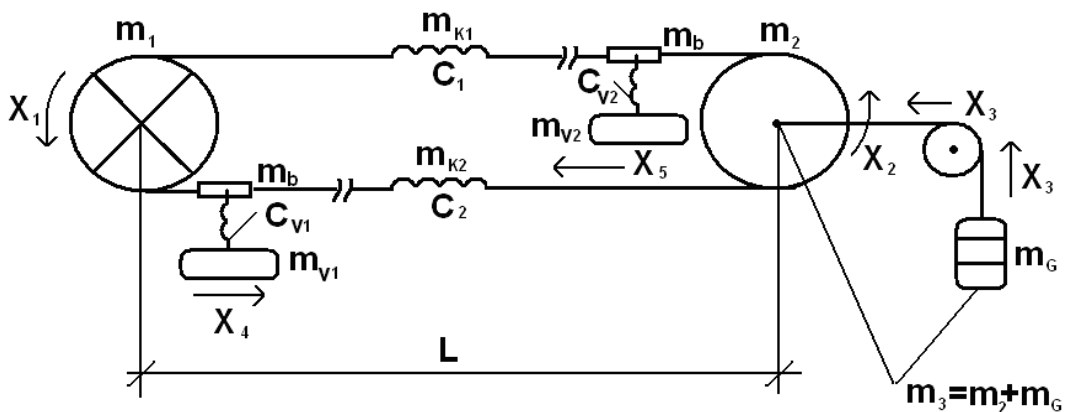
$$\begin{cases} Q_{x1} = F_{mot} - Q_{st} - C_1 \cdot (X_1 - X_2 - X_3) + C_2 \cdot (X_2 - X_1 - X_3); \\ Q_{x2} = C_1 \cdot (X_1 - X_2 - X_3) - C_2 \cdot (X_2 - X_1 - X_3); \\ Q_{x3} = C_1 \cdot (X_1 - X_2 - X_3) + C_2 \cdot (X_2 - X_1 - X_3); \\ Q_{x4} = C_{w1} \cdot (X_1 - X_4); \\ Q_{x5} = C_{w2} \cdot (X_2 - X_5). \end{cases} \quad (3)$$

m_{r1}, m_{r2} ბაგირების სიხისტეები (C_1, C_2) გამოითვლება ფორმულაში

$$C = \frac{ES}{L \left(1 + \frac{q^2 L^2 E \cos \gamma}{12 H^3} \right)}, \quad L \text{ სიგრძისა და ასვლის } \gamma \text{ კუთხის შესაბამისი}$$

მნიშვნელობების ჩასმით, ხოლო ვაგონის სავალ ურიკასთან ექვივალენტურ სიხისტის კოეფიციენტს გამოვითვლით გამოსახულებებით

$$C_{w1} = \frac{m_{w1}g}{h_w} \quad \text{და} \quad C_{w2} = \frac{m_{w2}g}{h_w}; \quad \text{სადაც } h_w \text{ - ვაგონის ჩამოკიდების სიგრძეა.}$$



ნახ. 3. ორბაგირიანი, ორვაგონიანი ქანქარისებური კიდული ბაგირგზის საანგარიშო სქემა, როდესაც ვაგონები მიმდებ სადგურებში დგანან

ლაგრანჟის განტოლების თანახმად, მოცემული დინამიკური პროცესის აღმწერ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას ექნება სახე:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{X}_1} - \frac{\partial T}{\partial X_1} = Q_{x1}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{X}_2} - \frac{\partial T}{\partial X_2} = Q_{x2}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{X}_3} - \frac{\partial T}{\partial X_3} = Q_{x3}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{X}_4} - \frac{\partial T}{\partial X_4} = Q_{x4}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{X}_5} - \frac{\partial T}{\partial X_5} = Q_{x5}. \end{cases} \quad (4)$$

დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემაში იმის გათვალისწინებით, რომ $c_1 = c_2 = c_R$ და $m_{R1} = m_{R2} = m_R$ იქნება –

$$\begin{cases} a_{11}\ddot{X}_1 + a_{12}\ddot{X}_2 + 0 + 0 + 0 = Q_1; \\ a_{21}\ddot{X}_1 + a_{22}\ddot{X}_2 + 0 + 0 + 0 = Q_2; \\ 0 + 0 + a_{33}\ddot{X}_3 + 0 + 0 = Q_3; \\ 0 + 0 + 0 + a_{44}\ddot{X}_4 + 0 = Q_4; \\ 0 + 0 + 0 + 0 + a_{55}\ddot{X}_5 = Q_5. \end{cases} \quad (5)$$

სადაც –

$$\begin{cases} a_{11} = m_1 + m_c + \frac{2}{3}m_R, & a_{12} = \frac{1}{3}m_R, & a_{21} = a_{12} = \frac{1}{3}m_R; \\ a_{22} = m_2 + m_c + \frac{2}{3}m_R, & a_{33} = m_3, & a_{44} = m_{w1}; & a_{55} = m_{w2}; \end{cases}$$

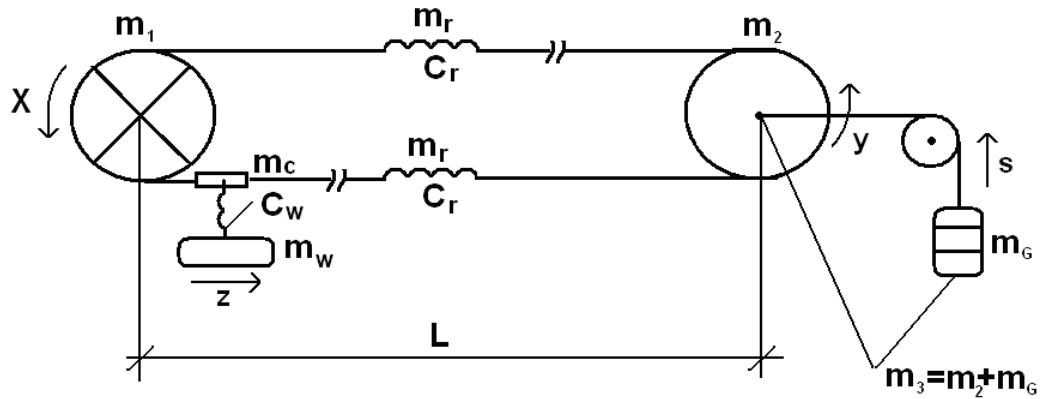
ხოლო –

$$\begin{cases} Q_1 = F_{\text{mot}} - Q_{\text{st}} - 2C_R(X_1 - X_2) - C_{w1}(X_1 - X_4), & Q_2 = 2C_R(X_1 - X_2); \\ Q_3 = -2C_R X_3, & Q_4 = C_{w1}(X_1 - X_4); & Q_5 = C_{w2}(X_2 - X_5), \\ F_0 = F_{\text{mot}} - Q_{\text{st}} = F_{\text{mot}} - \left([(m_{w2} + m_c)g \sin \gamma_2 - (m_{w1} + m_c)g \sin \gamma_1] \right). \end{cases}$$

F_0 -სისტემაზე მოდებული ძალის დინამიკური მდგენელი; V_1 - ვაგონის ასვლის კუთხე სარელსო ბაგირზე ზედა სადგურთან, ხოლო V_2 - ქვედა სადგურთან.

რადგანაც, ჩვენი საექსპერიმენტო გზა ერთვაგონიანია, საანგარიშო სქემა გამარტივდება და ექნება ასეთი სახე (იხ. ნახ. 4). ნაცვლად x გამოსახულების სხვადასხვა ინდექსებისა, შემოვიღოთ ახალი ცვლადე-

ბი - m_1 მასის გადაადგილებისა - x ; m_2 -ისა - y ; m_w ვაგონისა - z და m_3 დამჭიმი შკივისა - s .



ნახ. 4. ორბაგირიანი, ერთვაგონიანი ქანქარისებური კიდული ბაგირგზის საანგარიშო სქემა, როდესაც ვაგონი მიმდებ სადგურში დგას

(5) განტოლებათა სისტემაც უფრო გამარტივდება და მიიღებს სახეს-

$$\begin{cases} \left(m_1 + \frac{2}{3} m_R + m_c \right) \ddot{x} + \frac{1}{3} m_R \ddot{y} + 0 + 0 = F_0 - 2c_r (x - y) - c_w (x - z); \\ \frac{1}{3} m_R \ddot{x} + \left(m_2 + \frac{2}{3} m_R \right) \ddot{y} + 0 + 0 = 2c_r (x - y); \\ 0 + 0 + m_3 \ddot{s} + 0 = -2c_r s; \\ 0 + 0 + 0 + m_w \ddot{z} = c_w (x - z); \end{cases} \quad (6)$$

აქ $F_0 = F_{mot} - Q_{st} = F_{mot} - (m_w + m_c) g \sin \gamma_1$.

როგორც უკანასკნელი განტოლებათა სისტემის მესამე განტოლებიდან ჩანს, ეს უკანასკნელი წარმოადგენს ჩვეულებრივი ჰარმონიული რხევის განტოლებას. ამ განტოლების ამონახსნი ნულოვანი საწყისი პირობებისათვის ასევე ნულია. აქედან შეგვიძლია გავაკეთოთ მნიშვნელოვანი დასკვნა: როდესაც ბაგირგზის ორივე შტოს ბაგირების მასები და სიხისტეები შესაბამისად ტოლია, საწვეი ბაგირის დამჭიმი ტვირთი, ამ უშავების დასაწყისში, გარდამავალ პერიოდში მონაწილეობას არ ღებულობს.

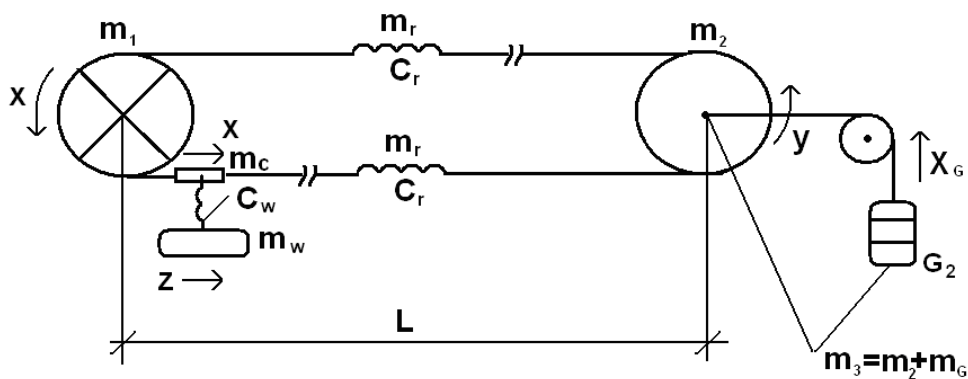
ასეთი დასკვნის შემდეგ, ამუშავების გარდამავალი პერიოდის ამსახველი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა კიდევ უფრო გამარტივდება და მიიღებს სახეს

$$\begin{cases} \left(m_1 + \frac{2}{3}m_R + m_C\right)\ddot{x} + \frac{1}{3}m_R\ddot{y} + 0 = F_0 - 2c_r(x-y) - c_w(x-z); \\ \frac{1}{3}m_R\ddot{x} + \left(m_2 + \frac{2}{3}m_R\right)\ddot{y} + 0 = 2c_r(x-y); \\ 0 + 0 + m_w\ddot{z} = c_w(x-z); \end{cases} \quad (7)$$

2.2 შერჩეული მათემატიკური მოდელით შედგენილი დიფერენციალური განტოლებათა სისტემის კვლევა

დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემების კვლევისას ვიხილავთ ორ შემთხვევას: პირველი, როდესაც ვაგონი ამძრავ შკივთანაა და მეორე, როცა ვაგონი დამჭიმ შკივთანაა. საანგარიშო სქემას და ამუშავების შესაბამის განტოლებათა სისტემას ექნება სახე:

პირველ შემთხვევაში

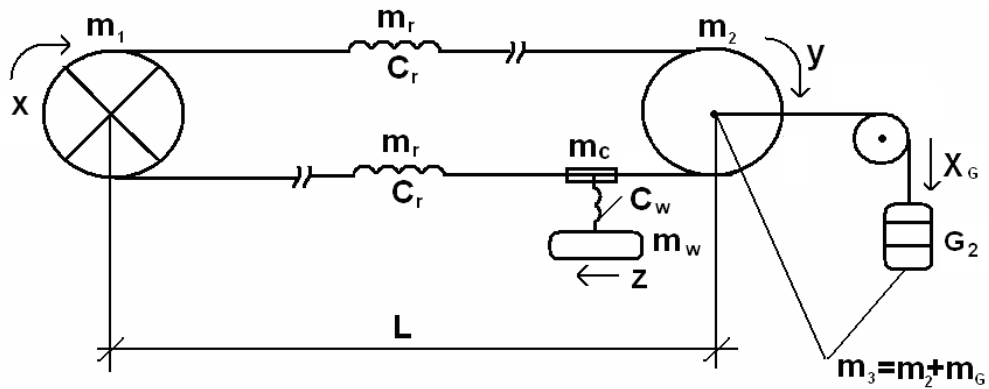


ნახ. 5. ვაგონი ამძრავ შკივთანაა

$$\begin{cases} \left(m_1 + \frac{2}{3}m_R + m_C\right)\ddot{x} + \frac{1}{3}m_R\ddot{y} = F_0 - 2C_R(x-y) - C_W(x-z); \\ \frac{1}{3}m_R\ddot{x} + \left(m_2 + \frac{2}{3}m_R\right)\ddot{y} = 2C_R(x-y); \\ m_w\ddot{z} = C_W(x-z). \end{cases} \quad (8)$$

შემთხვევაში-

ხოლო მეორე



ნახ. 6. ვაგონი დამჭიმ შკივთანაა

$$\begin{cases} \left(m_1 + \frac{2}{3}m_R\right)\ddot{x} + \frac{1}{3}m_r\ddot{y} = F_0 - 2C_R(x - y); \\ \frac{1}{3}m_R\ddot{x} + \left(m_2 + \frac{2}{3}m_R + m_C\right)\ddot{y} = 2C_R(x - y) - C_W(y - z); \\ m_W\ddot{z} = C_W(y - z). \end{cases} \quad (9)$$

როდესაც დავიწყეთ განტოლებათა სისტემების ამოხსნა, აღმოჩნდა, რომ როცა ამძრავი შკივი აჩქარდა, დამჭიმავე შკივი აჩქარდა საწინააღმდეგო მიმართულებით (გახდა უარყოფითი).

შეიქმნა პრობლემა და დავიწყეთ ამ მიმართულებით დამატებითი ლიტერატურის მოძიება. მოვიძიეთ რუსი მეცნიერის ა. დ. სტეპანოვის ნაშრომი "მანქანების დინამიკა", რომელშიც ავტორი ამწვევი მანქანის ამუშავების მაგალითის განხილვისას წააწყდა იგივე პრობლემას.

ამ პრობლემის გადასაჭრელად ავტორმა შემოგვთავაზა დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემაში, უგულებელყოთ ზოგიერთი წევრი.

ა. სტეპანოვის მიერ შემოთავაზებული მეთოდითა და ჩვენს მიერ გაკეთებული კორექტირებით (9) ამუშავების ამსახველი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემები მიიღებენ სახეს

-როცა ვაგონი ამძრავ შკივთანაა

$$\begin{cases} (m_1 + m_R + m_C)\ddot{x} = F_0 - 2C_R(x - y) - C_W(x - z); \\ (m_2 + m_R)\ddot{y} = 2C_R(x - y); \\ m_W\ddot{z} = C_W(x - z). \end{cases} \quad (10)$$

-როცა ვაგონი დამჭიმ შკივთანაა

$$\begin{cases} (m_1 + m_R)\ddot{x} = F_0 - 2C_R(x - y); \\ (m_2 + m_R + m_c)\ddot{y} = 2C_R(x - y) - C_w(y - z); \\ m_w\ddot{z} = C_w(y - z). \end{cases} \quad (11)$$

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც ვაგონის რხევას არ იღებდნენ მხედველობაში და სისტემის ოპტიმიზაციას (რხევის ჩაქრობას) ახდენდნენ მხოლოდ ბაგირის სიხისტის კოეფიციენტის გათვალისწინებით, ხოლო ვაგონის მასა ურიკით დაყავდათ ამძრავ ან დამჭიმ შკივზე.

ამ შემთხვევაში, ამუშავების აღმწერ განტოლებათა სისტემას ექნება სახე:

როცა ვაგონი ამძრავ შკივთანაა

$$\begin{cases} (m_1 + m_R + m_c + m_w)\ddot{x} = F_0 - 2C_R(x - y); \\ (m_2 + m_R)\ddot{y} = 2C_R(x - y). \end{cases} \quad (12)$$

მახასიათებელი განტოლება ოპერაციულ ფორმაში იქნება

$$D_0 = a_{110}a_{220}p^2(p^2 + \omega^2),$$

სადაც $a_{110} = m_1 + m_R + m_c + m_w$; $a_{220} = m_2 + m_R$,

ხოლო $\omega^2 = \frac{2C_R(a_{110} + a_{220})}{a_{110} \cdot a_{220}}$ - სისტემის რხევის კუთხური სიხშირეა.

ოპტიმიზაცია უნდა განხორციელდეს ამ სიხშირის მიმართ, ანუ ზემოთ მოყვანილი განმარტების თანახმად დინამიკური ძალა უნდა გავორმაგდეს $t_0 = \frac{\pi}{\omega}$ დროში.

საექსპერიმენტო ბაგირგზის პარამეტრების მიხედვით დაპროგრამების სისტემა MATLAB-ში ავაგოთ გარდამავალი რეჟიმის გრაფიკები ამ შემთხვევისათვის.

ნახ. 7-ზე ნაჩვენებია ამუშავების გარდამავალი რეჟიმის გრაფიკი, როდესაც ვაგონის მასა ურიკას ერთად დაყვანილია ამძრავ შკივზე. სი-

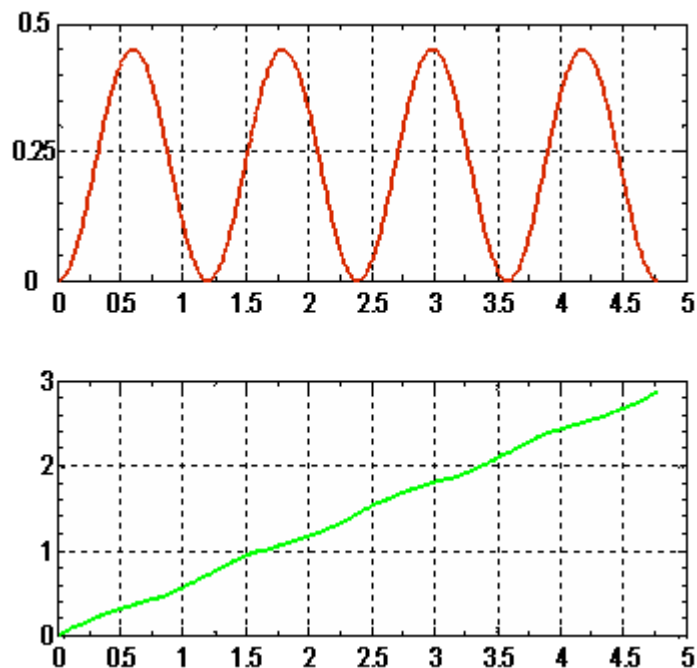
სტემა განიხილება როგორც ორმასიანი. ორმასიან სისტემას კი მხოლოდ ერთი აკუთხური სიხშირე გააჩნია და ბუნებრივია ამ სიხშირის მიხედვით უნდა მოხდეს გარდამავალი რეჟიმის ოპტიმიზაცია. ნახაზიდან ნათლად ჩანს, რომ ამუშავების რეჟიმი გახდა დინამიკურად ოპტიმალური.

ნახ. 8-ზე კი ნაჩვენებია ამუშავების გარდამავალი რეჟიმის გრაფიკი, როდესაც ამძრავ შიკვზე დაყვანილია მხოლოდ ურიკის მასა, ხოლო ვაგონი ურიკასთან მიერთებულია დრეკადი ელემენტით, რომელსაც ე.წ. $C_w = G_w / h_w \approx 7857$ ნ/მ “სიხისტის” კოეფიციენტი გააჩნია. დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაცია კი ხდება იგივე ω სიხშირის მიმართ. ნახაზიდან ჩანს, რომ ვერ განხორციელდა ამუშავების დინამიკური რეჟიმი ოპტიმიზაცია.

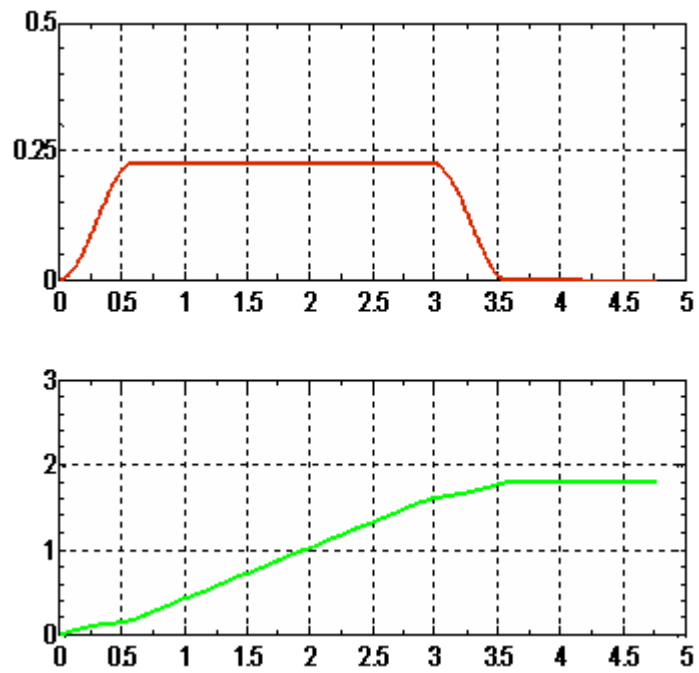
აქედან შეგვიძლია გავაკეთოთ მნიშვნელოვანი დასკვნა: ვაგონის რხევის უგულებელყოფა ამუშავების დინამიკური რეჟიმის განხილვისას, დაუშვებელია. სისტემა უნდა განვიხილოთ, როგორც მინიმუმ სამ მასიანი. სამ მასიან სისტემას კი ორი აკუთხური სიხშირე გააჩნია და ოპტიმიზაცია უნდა განხორციელდეს, როგორც თეორიიდანაა ცნობილი, დაბალი (მცირე) სიხშირის მიმართ.

ჩვენ ქვემოთ გაჩვენებთ ამ მეთოდის რეალიზაციას საექსპერიმენტო ბაგირგზის მაგალითზე.

$$F_0 = \text{const}$$

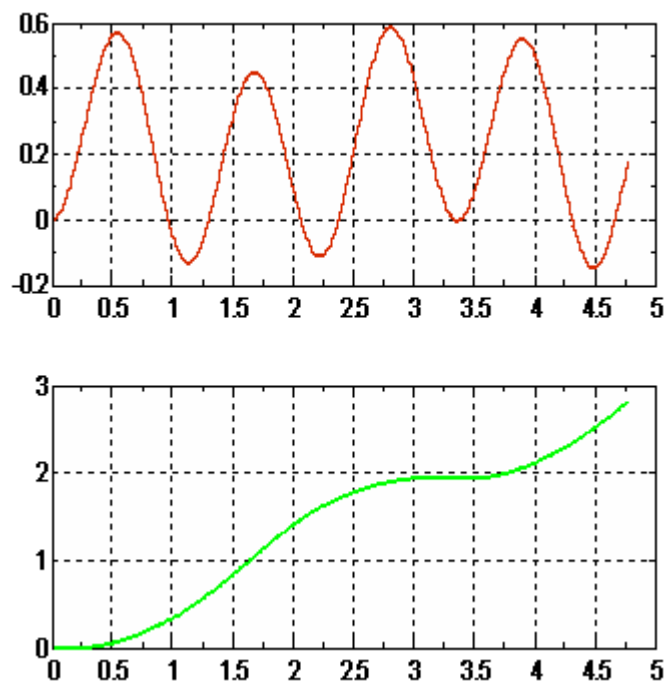


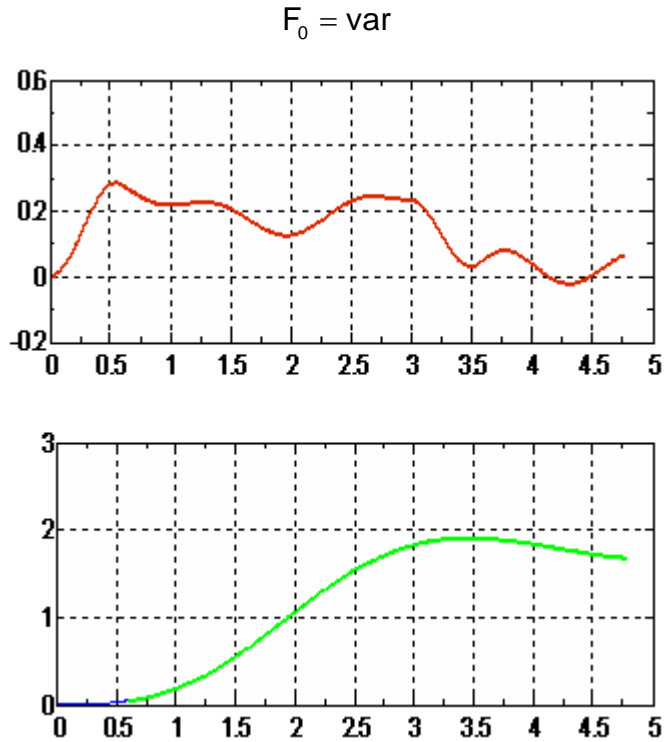
$$F_0 = \text{var}$$



ნახ. 7. ამუშავების გარდამავალი რეჟიმის გრაფიკი, როდესაც ვაგონის მასა ურიკას ერთად დაყვანილია ამძრავ შიკვზე.

$$F_0 = \text{const}$$





ნახ. 8. ამუშავების გარდამავალი რეჟიმის გრაფიკი, როდესაც მხოლოდ ურიკის მასაა დაყვანილი ამძრავ შიკვზე, ხოლო ვაგონი ურიკასთან მიერთებულია დრეკადი ელემენტით

დაპროგრამების სისტემა MatLAB-ის საშუალებით წარმოვადგინოთ ამუშავების გარდამავალი რეჟიმების აღმწერი მრუდები:

1. ამძრავ და დამჭიმ შიკვების გადაადგილებებს შორის სხვაობის გავლენა ჩალუნვის ისარზე დინამიკური და სტატიკური რეჟიმებისას –

$$\Delta_f = f_m - f_{0m},$$

სადაც

$$f_m = \sqrt{\frac{3L \cdot \cos \beta \cdot (S_0 + \Delta_{xy}) - 3L^2}{8 \cos^4 \beta}};$$

$\Delta_{xy} = X - Y$ - ამძრავი და დამჭიმი შიკვების გადაადგილებებია;

$$S_0 = \frac{L}{\cos \beta} + \frac{8 \cos^3 \beta}{3L} \cdot f_{0m}^2 - \text{საწვეი ბაგირის ერთი შტოს სიგრძე;}$$

$$f_{0m} = \frac{q_2 L^2}{8 H_2 \cos \beta} - \text{საწვეი ბაგირის მაქსიმალური ჩალუნვის ისრის მნიშვნე-}$$

ღობა სტატიკურ რეჟიმში; ჩვენს შემთხვევაში -

$$f_{0m} = \frac{q_2 L^2}{8H_2 \cos\beta} = \frac{0.013 \cdot 800^2}{8 \cdot 52.58 \cdot \cos 0.232} = 20.3 \text{ მ.}$$

2. ვაგონის გადახრა სავალი ურიკის მიმართ გრადუსებში დინამიკურ რეჟიმში -

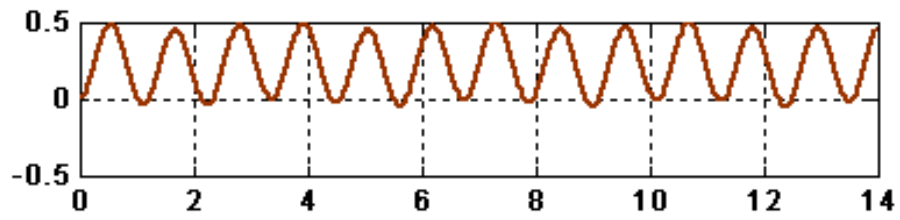
$$\Delta_{gr} = \frac{X - Y}{h_w} \cdot \frac{180}{\pi};$$

3. ვაგონის სიჩქარის ცვლილება დინამიკურ რეჟიმში - V_z .

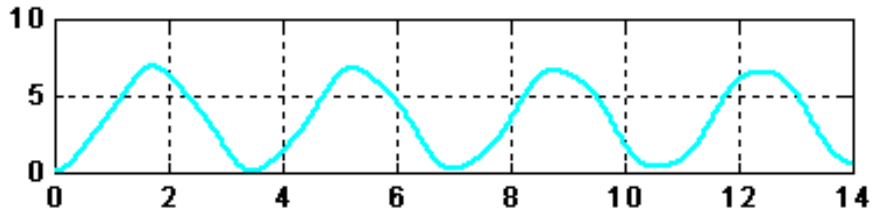
4. ამძრავი და დამჭიმი შკივებისა და ვაგონის აჩქარებები დინამიკურ რეჟიმში - a_x, a_y და a_z .

ეს ოთხივე გრაფიკი ავაგოთ ორი შემთხვევისათვის: პირველ შემთხვევაში, როდესაც დინამიკური ძალა მუდმივი სიდიდეა და მეორეში - როდესაც დინამიკური ძალა იცვლება ჩვენს მიერ შემოთავაზებული კანონით.

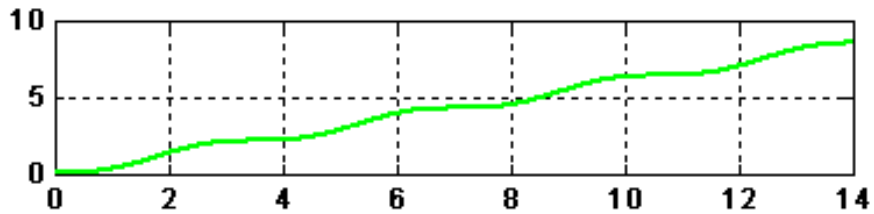
ასევე, ორივე შემთხვევა განვიხილოთ, როდესაც ვაგონი სავსეა, ანუ $N=25$ და როდესაც ცარიელია (მარტო გამყოლია) - $N=1$.



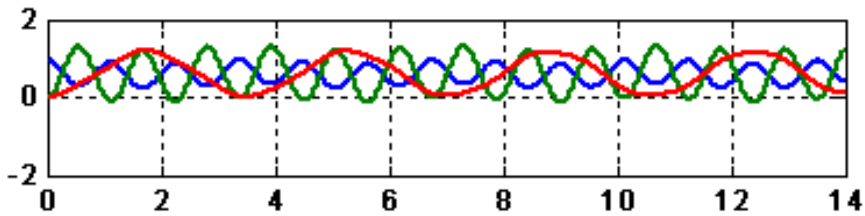
I



II



III



IV

დრო წამებში

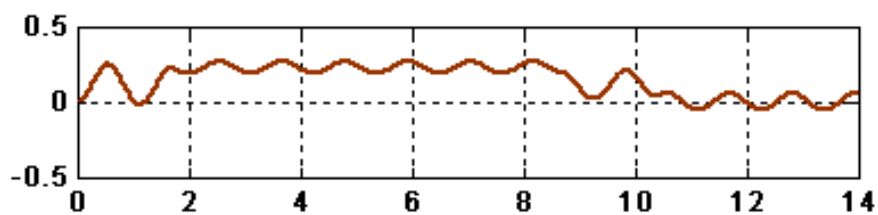
ნახ. 9. ვაგონი ამძრავ შეიგონაა; $N=1$; $F_0 = \text{const}$

I - გამწევი ბაგირის ჩალუნვის ისრის სიდიდის გადახრა ნომინალურიდან ($f_{\text{nom}} = 20.4$ მ)

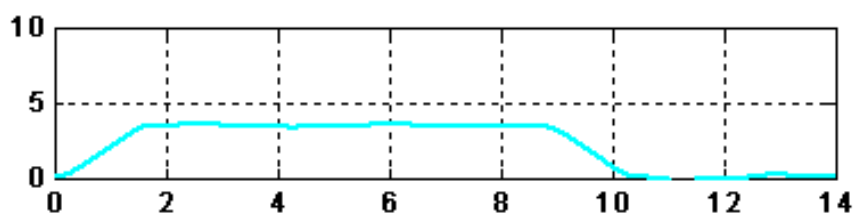
II - ვაგონის გადახრა სავალი ურიკის მიმართ, გრადუსებში

III - ვაგონის სიჩქარის ცვლილება

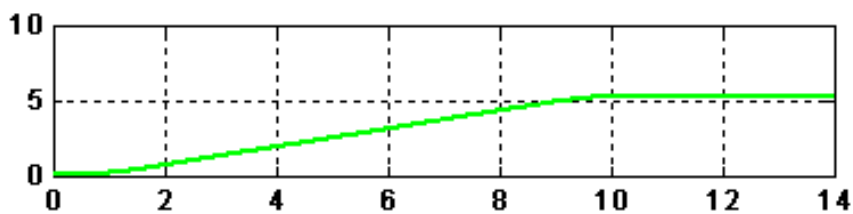
IV - სავალი ურიკის (წით), დამჭიმი ტვირთის (ლურჯ), და ვაგონის (მწ.) აჩქარებები



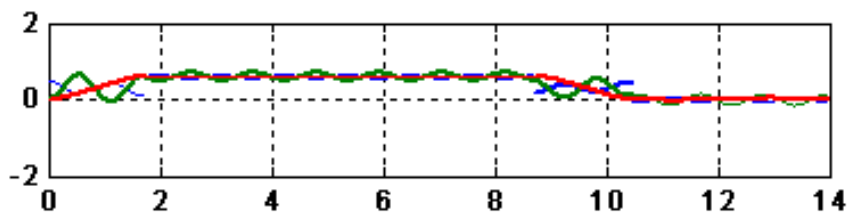
I



II



III

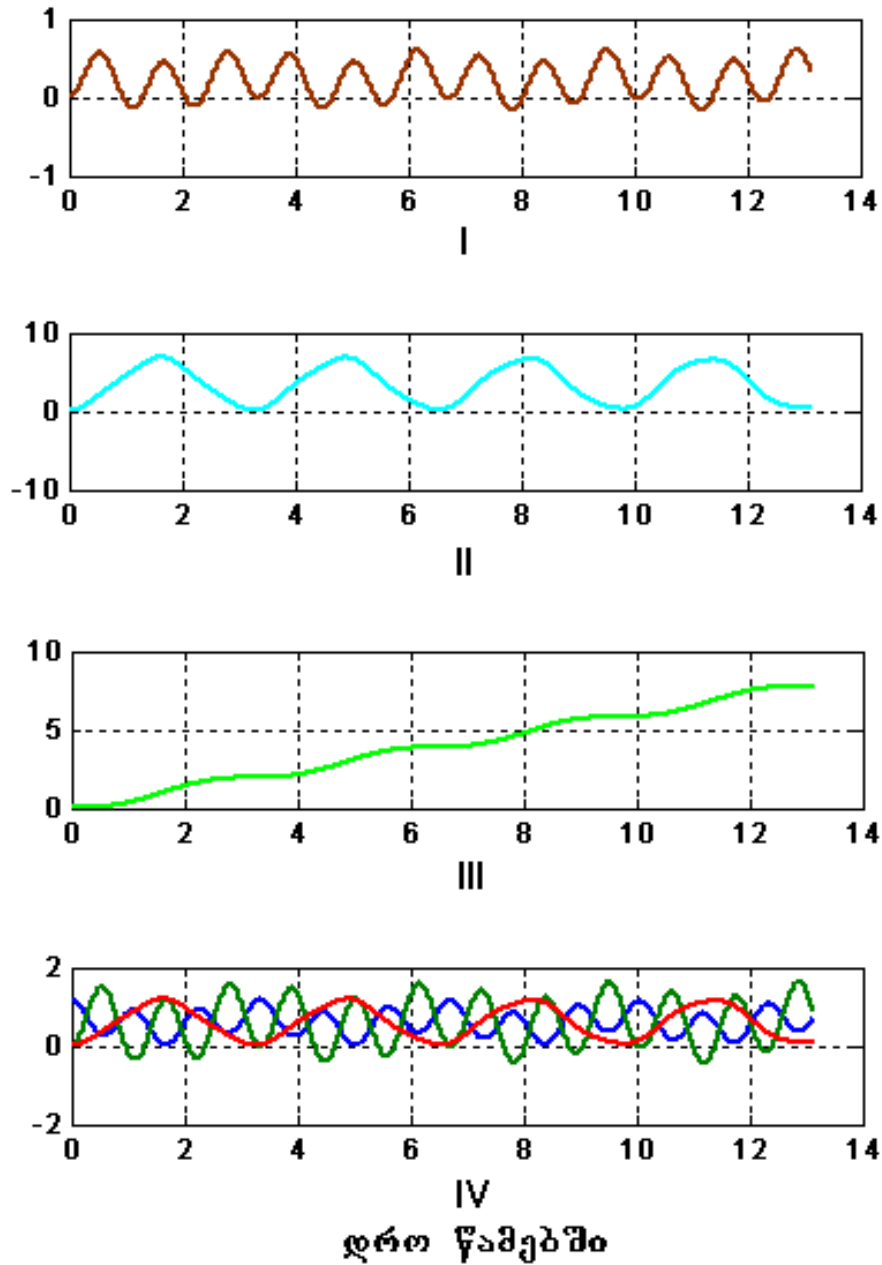


IV

დრო წამებში

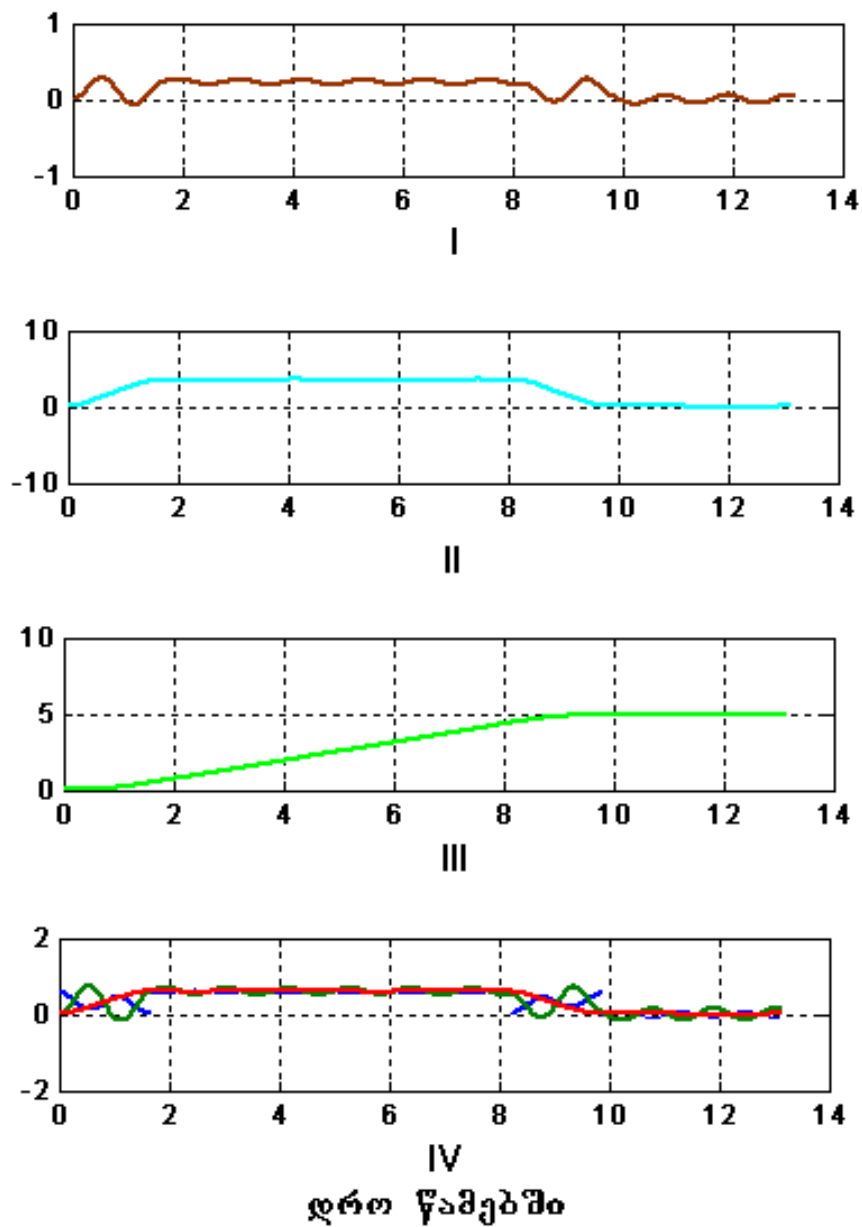
ნახ. 10. ვაგონი ამძრავ შიკეთანაა; $N=1$; $F_0 = var$

- I - გამწვევი ბაგირის ჩალუნვის ისრის სიდიდის გადახრა ნომინალურიდან ($f_{nom} = 20.4$ მ)
- II - ვაგონის გადახრა სავალი ურიკის მიმართ, გრადუსებში
- III - ვაგონის სიჩქარის ცვლილება
- IV - სავალი ურიკის (წით), დამჭიმი ტვირთის (ლურჯ), და ვაგონის (მწ.) აჩქარებები



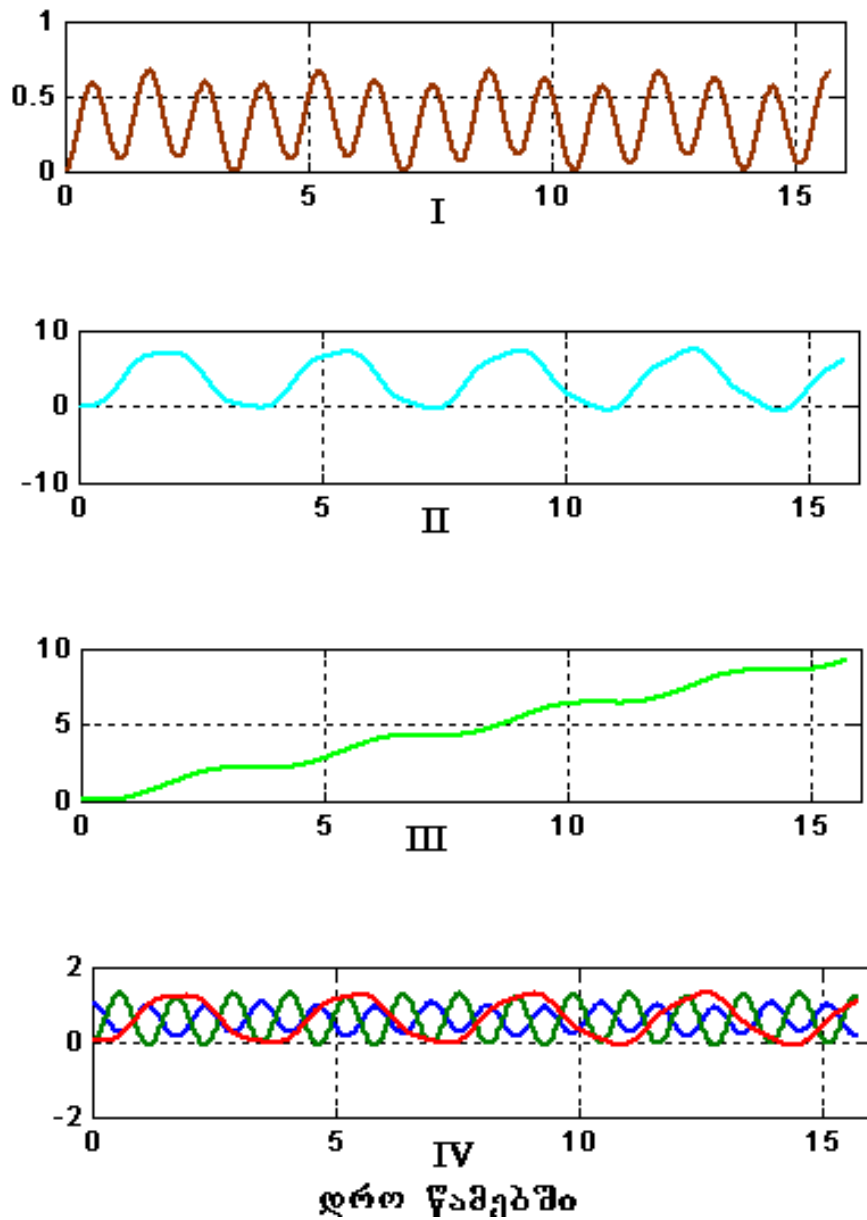
ნახ. 11. ვაგონი ამძრავ შკიეთანაა; $N=25$; $F_0 = \text{const}$

- I - გამწვევი ბაგირის ჩალუნვის ისრის სიდიდის გადახრა ნომინალურიდან ($f_{\text{nom}} = 20.4$ მ)
- II - ვაგონის გადახრა სავალი ურიკის მიმართ, გრადუსებში
- III - ვაგონის სიხქარის ცვლილება
- IV - სავალი ურიკის (წით), დამჭიმი ტვირთის (ლურჯ), და ვაგონის (მწ.) აჩქარებები



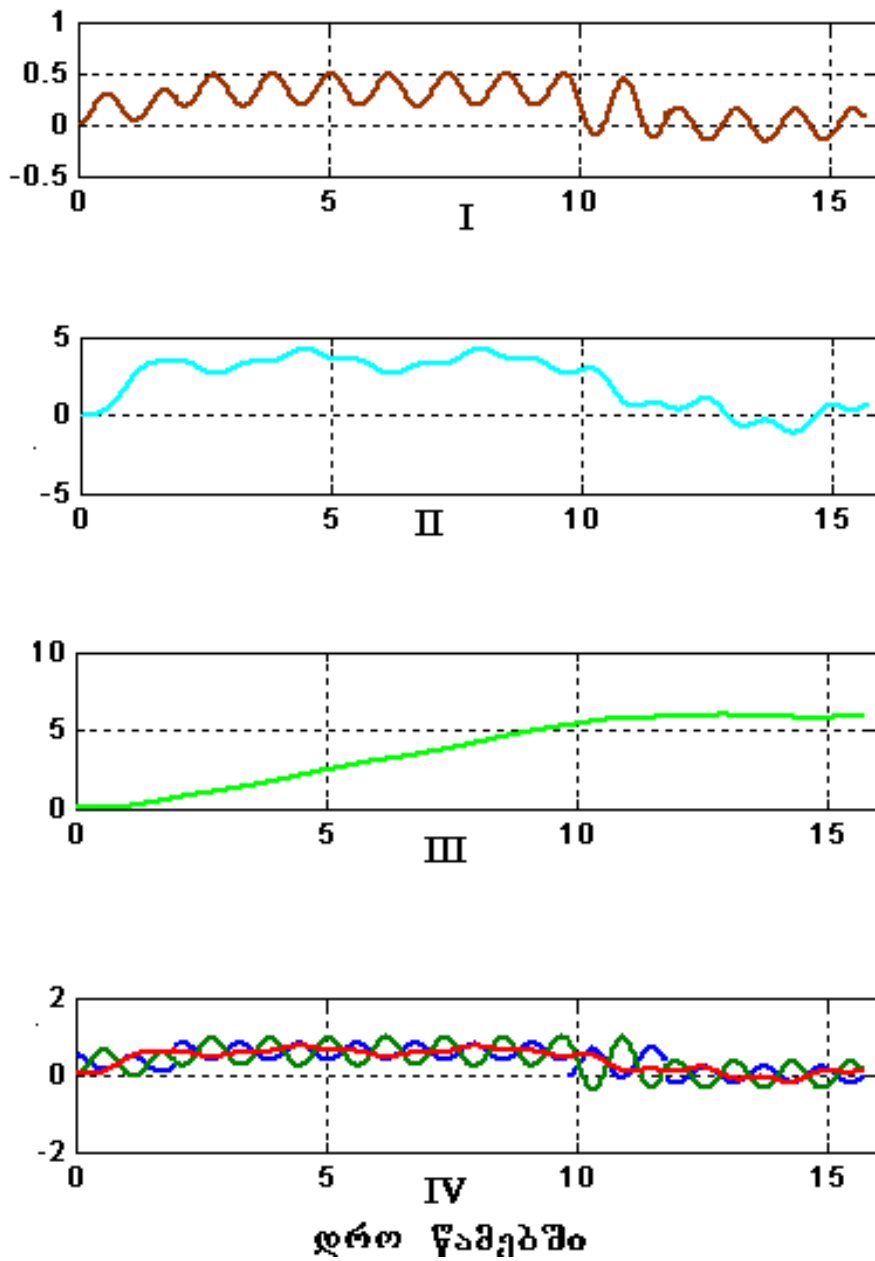
ნახ. 12. ვაგონი ამძრავ შკივთანაა; $N=25$; $F_0 = \text{var}$

- I - გამწვევი ბაგირის ჩაღუნვის ისრის სიდიდის გადახრა ნომინალურიდან ($f_{\text{nom}} = 20.4$ მ)
- II - ვაგონის გადახრა სავალი ურიკის მიმართ, გრადუსებში
- III - ვაგონის სიჩქარის ცვლილება
- IV - სავალი ურიკის (∇ ით), დამჭიმი ტვირთის (ღურჯ.), და ვაგონის (მწ.) აჩქარებები



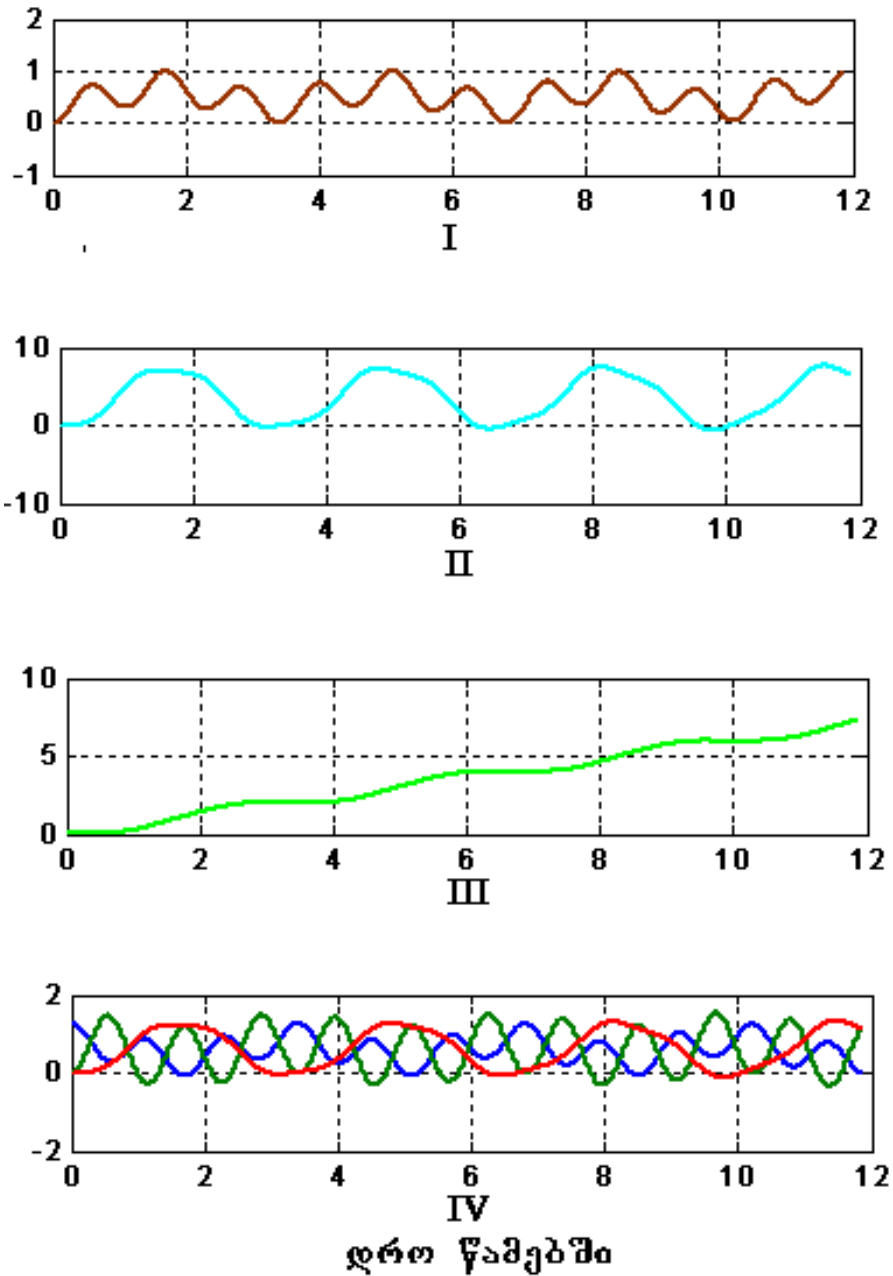
ნახ. 13. ვაგონი დამჭიმ შკიეთანაა; $N=1$; $F_0 = \text{const}$

- I - გამწვევი ბაგირის ჩალუნვის ისრის სიდიდის გადახრა ნომინალურიდან ($f_{\text{nom}} = 20.4$ მ)
- II - ვაგონის გადახრა სავალი ურიკის მიმართ, გრადუსებში
- III - ვაგონის სიჩქარის ცვლილება
- IV - სავალი ურიკის (მწ.), დამჭიმი ტვირთის (ღურჯ.), და ვაგონის (წით.) აჩქარებები



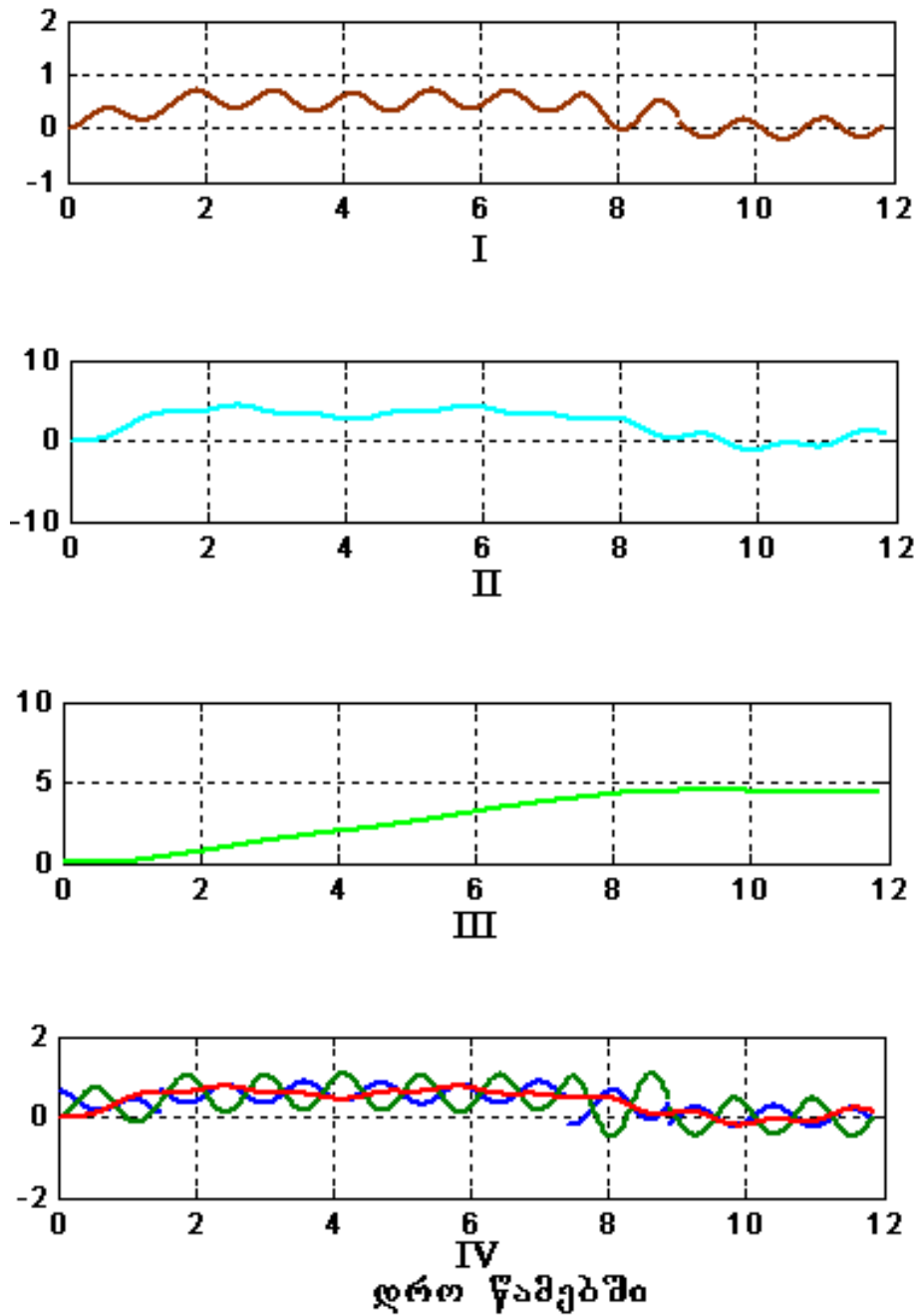
ნახ. 14. ვაგონი დამჭიმ შიეოთანაა; $N=1$; $F_0 = \text{var}$

- I - გამწევი ბაგირის ჩალუნვის ისრის სიდიდის გადახრა ნომინალურიდან ($f_{\text{nom}} = 20.4$ მ)
- II - ვაგონის გადახრა სავალი ურიკის მიმართ, გრადუსებში
- III - ვაგონის სიჩქარის ცვლილება
- IV - სავალი ურიკის (მწ.), დამჭიმი ტვირთის (ღურჯ.), და ვაგონის (წით.) აჩქარებები



ნახ. 15. ვაგონი დამჭიმ შკივთანაა; $N=25$; $F_0 = \text{const}$

- I - გამწვევი ბაგირის ჩაღუნვის ისრის სიდიდის გადახრა ნომინალურიდან ($f_{\text{nom}} = 20.4$ მ)
- II - ვაგონის გადახრა სავალი ურიკის მიმართ, გრადუსებში
- III - ვაგონის სიჩქარის ცვლილება
- IV - სავალი ურიკის (მწ.), დამჭიმი ტვირთის (ღურჯ.), და ვაგონის (წით.) აჩქარებები



ნახ. 16. ვაგონი დამჭიმ შკიეთანაა; $N=25$; $F_0 = \text{var}$

- I - გამწვევი ბაგირის ჩალუნვის ისრის სიდიდის გადახრა ნომინალურიდან ($f_{\text{nom}} = 20.4$ მ)
- II - ვაგონის გადახრა სავალი ურიკის მიმართ, გრადუსებში
- III - ვაგონის სიჩქარის ცვლილება
- IV - სავალი ურიკის (წით), დამჭიმი ტვირთის (ლურჯ), და ვაგონის (მწ.) აჩქარებები

დასკვნები

1. სიხშირული გარდამქმნელის გამოყენება კიდული ბაგირგზის ამძრავი ძრავას სამართავად, პრაქტიკულად ერთადერთი გადაწყვეტაა ამუშავების პერიოდის დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაციისათვის. სიხშირული გარდამქმნელები უდიდესი სიზუსტით ასრულებენ მიცემულ დავალებას. დავალების შესრულების სიზუსტის გადახრა პროგრამულიდან, სინქარის მიხედვით უკუკავშირის არსებობისას, 0.1 %-ია, ხოლო არ არსებობისას- 1.5 %. მათ შეუძლიათ აგრეთვე, აჩქარების (შენელების) პერიოდის განმავლობაში შეასრულონ მრავალსაფეხურიანი ტაქოგრამები აჩქარებისა და შენელების სხვადასხვა სიდიდეებით და სხვ.

2. ამუშავების დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაციისათვის გამოყენებულია მეთოდი, რომლის განხორციელება ასინქრონულ მოკლედ ჩართულ როტორიან ძრავას საშუალებით, სიხშირულ გარდამქმნელთან ერთად, ძალზედ მარტივად გადაწყდება წინასწარ მიცემული ალგორითმის მიხედვით.

3. ამუშავების აღმწერი დიფერენციალური განტოლებათა სისტემის შედგენისას აღმოჩნდა, რომ რელეისა და ლაგრანჟეს ცნობილ მეთოდებს, რომელთა მეშვეობითაც ხდებოდა განტოლებათა სისტემის მიღება, ფიზიკურად არარეალურ შედეგებამდე მიყვავდით. ამის გამო, ჩვენი მცირე კორექტირებით, გამოვიყენეთ პროფესორ ა. სტეპანოვის მიერ შემოთავაზებული მეთოდი, რომელიც მოყვანილი აქვს ნაშრომში “მანქანათა დინამიკა”.

4. ამუშავების აღმწერი დიფერენციალური განტოლებათა სისტემის კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაციისათვის შერჩეული მეთოდი პრაქტიკულად ერთადერთი სწორი გადაწყვეტაა.

5. დადგინდა, რომ სამგზავრო ვაგონის რხევის გაუთვალისწინებლობა სავალი ურიკის მიმართ, ამუშავების აღმწერი დიფერენციალური განტოლებათა სისტემის შედგენისას, დაუშვებელ შეცდომამდე მიყვავართ.

6. განტოლებათა სისტემის ამონახსნების გრაფიკული წარმოდგენის შედეგად დადგინდა, რომ დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაცია გაცილებით უკეთესია იმ შემთხვევაში, როდესაც ვაგონი ამძრავ შკივთანაა. გამ-

ოკლევამ გვიჩვენა, რომ ამის მიზეზი ამბრავი და დამჭიმი შკივების და-
ყვანილი მასების მნიშვნელობებს შორის დიდი განსხვავებაა.

სადისერტაციო ნაშრომის შედეგები გამოქვეყნებულია შრომებში:

1. მახარაშვილი ნ., წერეთელი მ., ქანქარისებურ კიდულ ბაგირგზაზე
ვაგონის მოძრაობის ტრაექტორიის განსაზღვრა. ურნალი “ენერჯია”,
№4(56)/2010 წ. 78-ე გვ.
2. წერეთელი მ., მახარაშვილი ნ. სამფაზა ასინქრონული ძრავას ამუშა-
ვების რეჟიმი. სტუ-ს შრომები, 2008, №1 (467), გვ. 38-40.
3. წერეთელი მ., მახარაშვილი ნ., ამწევი დანადგარების აწევის მაქსიმალ-
ური სიჩქარის განსაზღვრა. სტუ-ს შრომები, 2009, №1 (471), 7 გვ.
4. წერეთელი მ., მახარაშვილი ნ., ჯანელიძე ფ. ბაგირგზის გამწევი ბა-
გირის რხევის ჩაქრობის ხერხი. პატენტი № 2320, 03.10. 1998.
5. წერეთელი მ., მახარაშვილი ნ., გუჩუა ლ, მახარაშვილი ნ., ჯანელიძე
ფ. კიდული ბაგირგზის მზიდი ბაგირის რხევის ჩამქრობი მოწყობილ-
ლობა. პატენტი № 2435, 03.10.19988.
6. წერეთელი მ, მახარაშვილი ნ., წერეთელი ი. მოქნილკავშირიანი ორ-
მასიანი სისტემის დინამიკური რეჟიმის კვლევა ქანქარისებრი კიდუ-
ლი ბაგირგზის მაგალითზე, სამთო ურნალი, 2(27)/2011 წ.
7. წერეთელი მ., მახარაშვილი ნ., წერეთელი ი. მოქნილკავშირიანი ორ-
მასიანი სისტემის დინამიკური რეჟიმის კვლევა. ურნალი “ენერჯია”,
№1(61)/2012 წ.
8. მახარაშვილი ნ. მოქნილკავშირიანი ორმასიანი სისტემის დინამიკური
რეჟიმის კვლევა ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზის მაგალითზე.
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. სტუდენტთა 79-ე ღია საერ-
თაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თეზისების კრებული. გვ. 77

Abstract

The dissertation discusses the investigation and optimization of operation dynamic regime of a hanging floating lever type rope way as a complex mining electric-mechanical system.

Generally, the concept of dynamic regime optimization involves stilling of internal mechanical oscillation within the system during the transitive period.

The specification of the operation of the hanging floating lever type rope way does not give a possibility to those main (important) achievements directly, adopted in the general theory of machines operation.

One of the most spread methods of the hanging rope way is represented by the floating lever type rope way. In such rope ways the stations are interconnected with each other by means of rail ropes on which the carriages perform backward-transitive (floating lever type) movement with the help of lifting ropes.

Delay of the operation of the rope way and the disarrangements developed there are mainly caused by the dynamic forces provoked in the lifting rope. Considering these forces during the investigation and projection had been a difficult task and this task was solved by simplified models, which didn't give a possibility to select the rope way elements rationally and to manage it optimally.

By using the modern computer technologies it is possible to avoid those simplification and adoptions which have been applied before their usage and to develop a mathematical model that could completely describe a real picture. Mathematical feedback of the computer techniques gives a possibility to solve the system of differential equation, which is necessary to investigate the dynamical regimes of hanging rope way.

In the mathematical models of the rope way existed before, during description of the dynamic regimes, vibration of the rope way carriage haven't been considered against the mobile part, by which the carriage actually operates on the railway rope. The carriage mass, with the weight of the mobile part had been identified at driving or tensioning pulleys. The innovation of the given dissertation theme is the fact, that in the mathematical model of the rope way the carriage vibration was considered against the mobile part during the vibration of lifting rope, driving and tensioning pulley vibration.

Such an approach to the question of course complicated mathematical model of the rope way and increased the differential equation system describing dynamic regime and the received results were precise enough to reflect the real processes taking place in the rope way.

During development of the differential equation system describing dynamic regime there are certain adoptions taken, including:

1. Driving pulley, reduction gear, break shaft and generally every element of driving mechanism which are absolutely hard;
2. Resistance forces, which are developed upon movement of the mobile part on the rail rope, they are constant and it is possible to ignore them due to their shortage.
3. Rope way carriage has a floating lever type connection to the mobile part, and during calculation of the vibration frequency we calculate the hardness ratio as a relation of carriage volume to the length of its hanging.
4. Internal friction forces or dissipation forces have not been taken into consideration and we discuss the process as a non-stilling process.
5. During the discussion of a transitive process we do not take the fluctuation of the lifting rope length into consideration.
6. The influence of rail rope fluctuation on the lifting rope is not also taken into consideration.