

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მ. წერეთელი, ნ. მახარაშვილი,  
ი. წერეთელი

სამთო მანქანების  
ელექტრული ამძრავი

მეთოდური მითითებები პრაქტიკული სამუშაოებისა  
და საკურსო პროექტირების შესასრულებლად  
დაპროგრამების სისტემა **MATLAB**-ში



რეკომენდებულია საქართველოს  
ტექნიკური უნივერსიტეტის  
სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს  
მიერ. 06.06.2014, ოქმი №2

თბილისი

2014

წარმოდგენილი მეთოდური მითითებების დანიშნულებაა, დაეხმაროს სტუდენტს პრაქტიკული სამუშაოებისა და საკურსო დაპროექტების შესრულებლად სამთო მანქანების ელექტრულ ამძრავში, დაპროგრამების სისტემა MAT-LAB-ის გამოყენებით. განხილულია მუდმივი და ცვლადი დენის ძრავების მექანიკური მახასიათებლების აგება ძრავას ორივე სახის სამუშაო რეჟიმში. საკურსო დაპროექტება ითვალისწინებს სამთო მანქანების, კერძოდ საშახტო ჯალამბრისა და ქანქარასებრი კიდული ბაგირების ამუშავების პროცესის გაანგარიშებას საწვეი ბაგირის სიხისტის კოეფიციენტის გათვალისწინებით. მოკლედია წარმოდგენილი თეორიული მასალა, რომელიც აუცილებელია პრაქტიკული და საკურსო სამუშაოების შესასრულებლად.

განკუთვნილია სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის, სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტის ბაკალავრებისა და მაგისტრანტებისათვის.

რეცენზენტები: ასოცირებული პროფესორი, მ. ონიანი,

სსიპ გ. წულუკიძის სამთო ინსტიტუტის  
საკონსტრუქტურო კვლევების და  
პროექტირების სამეცნიერო ცენტრის  
უფროსი, აკადემიური დოქტორი  
გ. ჯავახიშვილი

© საბავშვო-მეცნიერო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი", 2014  
ISBN 978-9941-20-480-7  
[http:// www.gtu.ge/publishinghouse/](http://www.gtu.ge/publishinghouse/)

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის ნებისმიერი ნაწილის (ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) გამოყენება არც ერთი ფორმითა და საშუალებით (ელექტრონული თუ მექანიკური) არ შეიძლება გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე. საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

## პრაქტიკული და საკურსო სამუშაოები

სამთო მანქანების ელექტრული ამძრავის პრაქტიკულ მეცადინეობებზე შეისწავლება მუდმივი და ცვლადი დენის ძრავების მექანიკური მახასიათებლების აგების ხერხები. წარმოდგენილი მეთოდით სტუდენტი შეძლებს დამოუკიდებლად გაიანგარიშოს და ააგოს მუდმივი დენის დამოუკიდებელ-აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები როგორც ძრავულ, ისე სამუხრუჭო რეჟიმებში; ასევე, სამფაზა ცვლადი დენის ასინქრონული ფაზურ-როტორიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები ააგოს ამძრავის ამუშავების დროს.

წარმოდგენილი მეთოდით სტუდენტი აგრეთვე გაიანგარიშებს ორბოლოიანი საშახტო ჯალამბრის ამუშავების პერიოდს, საწვეი ბაგირის სიხისტის კოეფიციენტის გათვალისწინებით. მოცემული მწარმოებლურობის, გამონამუშევრის დახრის კუთხისა და სიგრძის მიხედვით შეირჩევა ჯალამბარი და ამძრავი ძრავა. გაიანგარიშება ამუშავების ამსახველ განტოლებათა სისტემაში შემავალი პარამეტრები, აიგება ჯალამბრის დოლის და ჭურჭლის აჩქარებისა და სინქარის გრაფიკები. მათი საშუალებით სტუდენტი გაანალიზებს ამუშავების პროცესზე რა გავლენას ახდენს ამწვეი ბაგირის სიხისტის კოეფიციენტი.

დაწვრილებითაა განხილული ქანქარასებრი, ორ- და ერთფაგონიანი კიდული ბაგირგზის ამუშავების დინამიკუ-

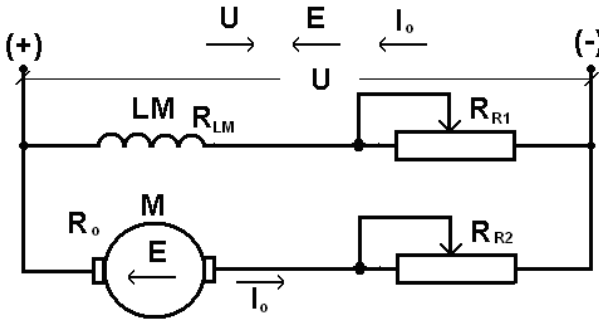
რი რეჟიმი. ბაგირგზის ძირითადი პარამეტრების გაანგარიშების შემდეგ, ამუშავების აღმწერი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ამოხსნით, გარდამავალი რეჟიმის აღმწერი მრუდები აიგება სხვადასხვა შემთხვევებისათვის; კერძოდ, როდესაც სამგზავრო ვაგონები ცარიელია, ორივე დატვირთულია და როდესაც ერთ-ერთი დატვირთულია.

პრაქტიკული უნარის გამომუშავებისათვის, მეთოდურ მითითებებში მოყვანილია საილუსტრაციო მაგალითები, რომელთა საშუალებით სტუდენტი ასრულებს ინდივიდუალურ დავალებას.

შრომატევადი მათემატიკური გამოთვლების თავიდან აცილების მიზნით, ყველა დავალება გაანგარიშებულია დაპროგრამების სისტემა MATLAB-ში.

# 1. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ-აგზნებიანი პრავას მქანნიკური მახასიათებლები

მუდმივი დენის დამოუკიდებელ (პარალელურ) აგზნებიანი პრავას ქსელთან მიერთების პრინციპული სქემა მოცემულია 1.1 ნახაზზე.



ნახ. 1.1. დამოუკიდებელ აგზნებიანი მუდმივი დენის პრავას  
ჩართვის სქემა

LM აგზნების გრავნილია  $R_{LM}$  აქტიური წინაღობით;

$R_{R1}$  - აგზნების გრავნილში დენის მარეგულირებელი რეოსტატი;

M - პრავას ღუზა,  $R_0$  აქტიური წინაღობით;

$R_{R2}$  - ღუზის წრედში დენის მარეგულირებელი რეოსტატი;

ძაბვის ბალანსის განტოლებას ღუზის წრედში აქვს სახე

$$U = IR_R + E . \quad (1.1)$$

სადაც  $U$  ძაბვაა ძრავას მომჭერებზე, ვ;

$I$  - ღუზის წრედის ნომინალური დენი, ა;

$R_R$ -ღუზის წრედის სრული წინაღობა (რეოსტატით), ომი;

$E$ - ღუზაში აღძრული ემ ძალაა, ვ.

ღუზის ემ ძალა განისაზღვრება ფორმულით

$$E = \frac{pN}{2\pi a} \Phi \omega = C\omega \quad , \quad \text{ვ}, \quad (1.2)$$

სადაც  $K = \frac{pN}{2\pi a}$  ძრავას კონსტრუქციულობის კოეფიციენტი

ა და მუდმივია, თუკი ძრავა კომპენსირებულია;

$p$  - მთავარი პოლუსების რიცხვი;

$N$  - გამტარების რიცხვი;

$a$  - ღუზის გრაგნილის პარალელური გამტარების რიცხვი;

$\Phi$  - ძრავას მაგნიტური ნაკადი, ვბ;  $\omega$  - ღუზის ბრუნვის

სიჩქარე, რად/წმ;  $C = K\Phi$  - ძრავას კოეფიციენტი.

თუ  $E$ -ს მნიშვნელობას ჩავსვამთ (1.2) -დან (1.1)-ში, მივიღებთ

$$U = IR_R + K\omega = IR_R + C\omega . \quad (1.3)$$

(1.3)- დან განვსაზღვროთ  $\omega$ -ს მნიშვნელობა, მივიღებთ ე ლ ე ქ ტ რ ო მ ე ქ ა ნ ი კ უ რ ი მ ა ხ ა ს ი ა თ ე ბ ლ ი ს ანალიზურ გამოსახულებას

$$\omega = \frac{U - IR_R}{K\Phi} = \frac{U - IR_R}{C} = \frac{U}{C} - \frac{R_R}{C} I. \quad (1.4)$$

მუდმივი დენის ძრავას ელექტრომაგნიტური მომენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$M = \frac{pN}{2\pi a} K\Phi I = CI, \quad \text{ნ.მ.} \quad (1.5)$$

ძრავას ლილვზე მომენტი სიდიდით განსხვავდება ელექტრომაგნიტური მომენტისაგან, თვით ძრავაში მექანიკური და ძრავას ფოლადში თბური დანაკარგების გამო. ძრავულ რეჟიმში მომენტი ლილვზე ყოველთვის ნაკლებია ელექტრომაგნიტურზე, ხოლო გენერატორულში - მეტი. რადგანაც ეს მომენტები მხოლოდ (2...5) % -ით განსხვავდებიან ნომინალურისაგან, მიახლოებით თვლიან, რომ მომენტი ძრავას ლილვზე ელექტრომაგნიტურის ტოლია.

ღუზის დენის მნიშვნელობის (1.5)- დან (1.4)- ში ჩასმით, მივიღებთ მექანიკური მახასიათებლის გამოხატულებას

$$\omega = \frac{U}{C\beta} - \frac{R_R}{C^2} M = \omega_0 - \frac{1}{\beta} M, \quad (1.6)$$

სადაც  $\beta = \frac{C^2}{R_R}$  მექანიკური მახასიათებლის სიხისტის კოეფიციენტი, რაზეცაა დამოკიდებული თვით მახასიათებლის დახრა.

ძაბვის, მაგნიტური ნაკადისა და ღუზის წრედის ნომ-

ინალური მნიშვნელობების დროს, ბრუნვის სიჩქარეც ნომინალური იქნება

$$\omega_n = \frac{U_n - I_n R_0}{K\Phi_n}. \quad (1.7)$$

როდესაც ძრავაზე სასარგებლო დატვირთა და ენერჯიის დანაკარგები არ არსებობს, სისტემაში ღუზის დენის მნიშვნელობა ნულის ტოლია და ღუზის ბრუნვის სიჩქარე, რომელსაც ასეთ შემთხვევაში იდეალურს უწოდებენ  $\omega_0$ , დამოკიდებულია მხოლოდ ძაბვისა და მაგნიტური ნაკადის ნომინალურ მნიშვნელობებზე

$$\omega_0 = \frac{U_n}{K\Phi_n} = \frac{U_n}{C}. \quad (1.8)$$

ასეთი ბრუნვის სიჩქარის დროს, ემ ძალა და ქსელის ძაბვა ერთმანეთის ტოლია.

(1.7) და (1.8) -ის გათვალისწინებით, ელექტრომექანიკური მახასიათებელი შესაძლოა წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით

$$\omega = \omega_0 - \frac{I_n R_0}{K\Phi} = \omega_0 - \frac{I_n R_0}{C}, \quad (1.9)$$

ხოლო მექანიკური მახასიათებელი

$$\omega = \omega_0 - \frac{R_0}{K\Phi^2} M = \omega_0 - \frac{R_0}{C^2} M. \quad (1.10)$$

იდეალურ უქმი სელის ბრუნვის სიჩქარესა და დატვირთვას



ერთვის შესაბამის ბრუნვის სიჩქარეს შორის სხვაობას  $(\omega_0 - \omega)$ , ეწოდება სტატიკური ბრუნვის სიჩქარის ვარდნა  $\Delta\omega$ .  $\Delta\omega = R_0 I_n / C$  ელექტრომექანიკური მახასიათებლისათვის, ხოლო  $\Delta\omega = R_0 M / C^2$  - მექანიკური მახასიათებლისათვის.

ამ უკანასკნელთა გათვალისწინებით, დამოუკიდებელაგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებელი ზოგადი სახით იქნება

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega. \quad (1.11)$$

რადგან ბრუნვის სიჩქარის ვარდნა ( $\Delta\omega$ ) მომენტისა და დენისა პირდაპირპროპორციულია, მექანიკური და ელექტრომექანიკური მახასიათებლები წარმოადგენს წრფეს.

იდეალური უქმი სვლის ბრუნვის სიჩქარე, შეიძლება განისაზღვროს (1.8) -ის შეფარდებით (1.7)-თან შემდეგი ფორმულით:

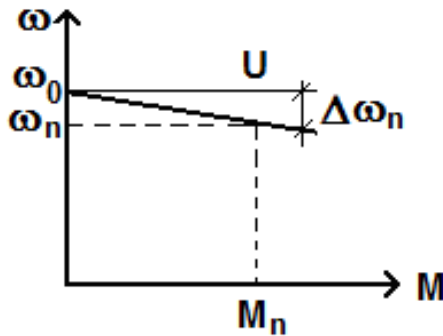
$$\omega_0 = \omega_n \frac{U_n}{U_n - I_n \cdot R_0}. \quad (1.12)$$

სადაც  $U_n$ ,  $\omega_n$  და  $I_n$  შესაბამისად, ძრავას ნომინალური საპასპორტო მონაცემებია.

თუკი ცნობილი იქნება  $\omega_0$ , ნომინალური მომენტი  $M_n$  და ასევე მისი შესაბამისი ბრუნვის სიჩქარე  $\omega_n$ , ე.ი. წრფის ორი წერტილი, შესაძლებელია აიგოს ბუნებრივი

მექანიკური მახასიათებელი (ნახ. 12).

მექანიკური მახასიათებლები სამუხრუჭო რეჟიმებში.  
 ნშირად, თანამედროვე ელექტროამძრავში აუცილებელია როგორც საწარმოო მექანიზმის სწრაფად და ზუსტად გაჩერება, ისე მისი რევერსი და ტვირთის ჩაშვება. ყველა შემთხვევაში, ძრავა აუცილებლად უნდა გადავიდეს გენერატორული დამუხრუჭების რომელიმე სახის რეჟიმში, ამძრავში დაგროვილი კინეტიკური ენერგია ან ტვირთის ჩაშვებისას პოტენციური ენერგიის ნაზრდი გარდაიქმნას ელექტრულ ენერგიად და ან უკან მიაწოდოს ქსელს, ან სითბოს სახით გამოჰყოს გარემოში.



ნახ. 12. დამოუკიდებელ-აგზნებიანი ძრავას ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი

ელექტრული დამუხრუჭება სამი სახისაა: ა) ენერგიის ქსელში გადაცემა (რეკუპერაციული); ბ) დინამიკური დამუხრუჭება; გ) უკუჩართვითი დამუხრუჭება.

ა) რეკუპერაციული დამუხრუჭება დამუხრუჭების ეს

ხერხი ხორციელდება მაშინ, როცა ძრავას ბრუნვის სიჩქარე  $\omega$  მეტი აღმოჩნდება იდეალური უქმი სფლის ბრუნვის სიჩქარე  $\omega_0$ -ზე და მისი ემ ძალა  $E$  გადააჭარბებს ქსელის  $U$  ძაბვას. ამ შემთხვევაში, ძრავა გენერატორულ რეჟიმში მუშაობს ქსელის პარალელურად და აწვდის ელექტრულ ენერგიას; დენიც იცვლის მიმართულებას, რომელიც აშკარაა შემდეგი ტოლობიდან

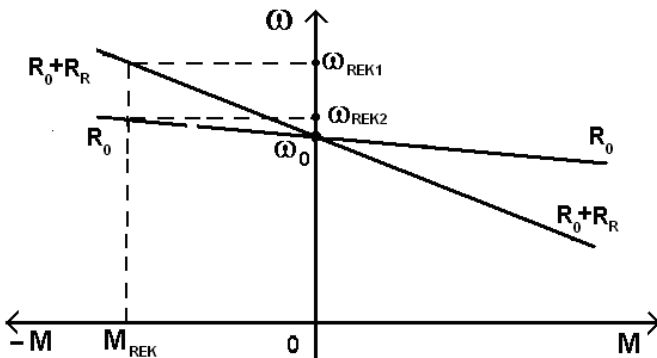
$$I = (U - E) / R = -(E - U) / R. \quad (1.13)$$

შესაბამისად, ნიშანს შეიცვლის ძრავას მომენტიც, ანუ იგი გახდება დამამუხრუჭებელი -  $M = -|K\Phi|$ . თუკი აღვნიშნავთ სამუხრუჭო მომენტს  $M_t = -M$ , მაშინ (1.10) განტოლება  $\omega = \omega_0$ -ის გათვალისწინებით, მიიღებს სახეს

$$\omega = \frac{U}{C} + \frac{R_0}{C^2} M_t. \quad (1.14)$$

განტოლების მარჯვენა მხარის პირველი წევრი გვიჩვენებს, რომ დამოუკიდებელ-აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებელი ამ სამუხრუჭო რეჟიმში  $M = 0$ -ის დროს გადის წერტილში, რომელიც, ისევე როგორც ძრავულ რეჟიმში, შეესაბამება იდეალური უქმი სფლის ბრუნვის სიჩქარეს. მექანიკური მახასიათებლის დახრა (სიხისტე) განისაზღვრება განტოლების მეორე წევრით  $R_0 / C^2$ , რომელიც ღუზის წრედის მოცემული წინააღობის დროს, მუდმივია. შესაბამისად, მექანიკური მახასიათებლის დახ-

რა ამ სამუხრუჭო რეჟიმში იგივეა, რაც იყო ძრავულ რეჟიმში. ამის გამო, რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმში, მექანიკური მახასიათებელი წარმოადგენს ძრავული რეჟიმის მექანიკური მახასიათებლის გაგრძელებას მეორე კვადრანტში. დამუხრუჭების ეს ხერხი შესაძლებელია, მაგალითად, სატრანსპორტო და ამწე მექანიზმების ამძრავებებში ტვირთის ჩაშვებისას ან სიჩქარის რეგულირების ისეთი ხერხის დროს, როცა  $\omega > \omega_0$ . ასეთი დამუხრუჭება მეტად ეკონომიურია, რადგანაც ხასიათდება ქსელში ენერჯის მიწოდებით, მაგრამ ყოველთვის არ არის შესაძლებელი  $\omega > \omega_0$  პირობის დაცვა.

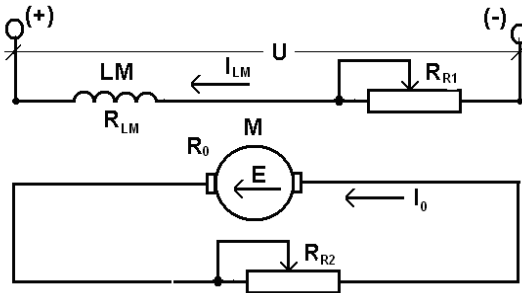


ნახ. 1.3. დამოუკიდებელ-აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები ძრავული და რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმში

აუცილებელია აღინიშნოს, რომ რაც მეტია ღუზის წრედის წინააღობა, მით მეტია ბრუნვის სიხშირე რეკუპ-

ერაციულ სამუხრუჭო რეჟიმში, ერთსა და იმავე სტატიკური მომენტის დროს (ნახ. 13).

ბ) დინამიკური დამუხრუჭება ხორციელდება ღუზის წრედის ქსელიდან ამორთვისას და გარე წინააღობაზე მიერთებისას; ამიტომ მას ხშირად, რელსტატულ დამუხრუჭებას უწოდებენ (ნახ. 14).



ნახ. 14. დამოუკიდებელ-აგზნებიანი ძრავას ჩართვის სქემა დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმში

ამ დროს, აგზნების გრაგნილი ქსელთან ჩართული უნდა დარჩეს. დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმშიც, მანქანა მუშაობს როგორც გენერატორი, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ამძრავში დაგროვილი კინეტიკური ან ჩამავალი ტვირთის პოტენციური ენერგია ელექტრულ ენერგიად გარდაიქმნება და რეკუპერაციული რეჟიმისგან განსხვავებით, გამოიყოფა სითბოს სახით ღუზის წრედში.

იმის გამო, რომ ემ ძალა დამუხრუჭების დროს ინარჩუნებს იმავე ნიშანს, რაც ჰქონდა ძრავულ რეჟიმში და ღუზას გარედან ძაბვა არ მიეწოდება, ღუზის დენი განი-

საზღვრება ფორმულით

$$I = (U - E) / R = (0 - E) / R = -E / R, \quad (1.15)$$

სადაც  $R = R_0 + R_{R2}$  ღუზის წრედის საერთო წინაღობაა.

სამუხრუჭე მომენტი შესაძლებელია წარმოვადგინოთ, როგორც

$$-M_t = \Phi I = -K\Phi \frac{E\omega}{R} = -K \Phi^2 \frac{\omega}{R}. \quad (1.16)$$

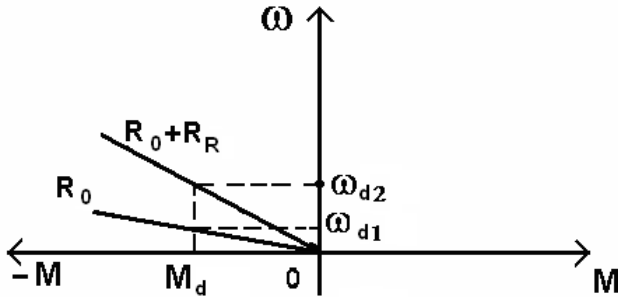
მუდმივი მაგნიტური ნაკადის დროს ( $\Phi = \text{const}$ )

$$\omega = \frac{R}{K\Phi^2} M_t = \frac{R}{C^2} M_t. \quad (1.17)$$

როგორც (1.17)-დან ჩანს, მექანიკური მახასიათებელი დინამიკური დამუხრუჭების დროს წარმოადგენს წრფეს, რომელიც კოორდინატთა სათავეზე გადის და მისი დახების კუთხე  $R$ -ის მიხედვით იცვლება. მინიმალური დახრა (მაქსიმალური სიხისტე) მიიღება ნულოვანი რეოსტატული წინაღობის დროს ანუ მაშინ, როდესაც ღუზის წრედში მხოლოდ ღუზის წინაღობაა ჩართული (იხ. ნახ. 1.5).

რადგანაც მახასიათებელი კოორდინატთა სათავეზე გადის, ბრუნვის სიჩქარის შემცირება იწვევს სამუხრუჭო მომენტის შემცირებას და გამოდის, რომ დინამიკური დამუხრუჭებით, მექანიკური მუხრუჭის გარეშე, ძრავას სრული გაჩერება შეუძლებელია. ესაა დინამიკური დამუხრუჭების ძირითადი ნაკლი. დინამიკური დამუხრუჭება ფართოდ გამოიყენება ამძრავის შესანელებლად, განსაკუთრებ-

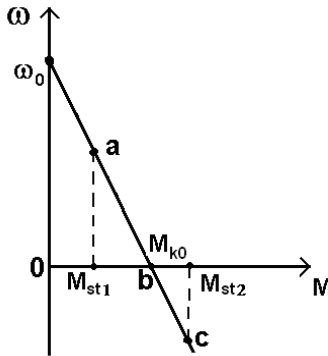
ით ამწვევ მექანიზმებში ტვირთის ჩაშვების დროს. იგი საკმაოდ ეკონომიურია, მაგრამ, ამ მხრივ ჩამორჩება რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმს.



ნახ. 1.5. დამოუკიდებელ-აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმში

გ) უკუხართვით დამუხრუჭება ხორციელდება იმ შემთხვევაში, როცა ძრავას გრაგნილები ჩართულია ერთი მიმართულებით სამოდრაოდ, მაგრამ მასზე ისეთი სიდიდის დატვირთვაა მოდებული, რომ ძრავა იძულებით ბრუნავს მეორე მიმართულებით. ეს ხორციელდება, მაგალითად, ამწვეს ამძრავში, როცა ძრავა ჩართულია ტვირთის აწევაზე, ხოლო ტვირთის წონით გამოწვეული მომენტი ისეთია, რომ ძრავას აიძულებს იბრუნოს ტვირთის ჩაშვების მიმართულებით. ასეთივე რეჟიმი მიიღება, თუკი ერთი მიმართულებით მბრუნავ ძრავას შევუცვლით ქსელის პოლარულობას და ამით შევქმნით მოძრაობის საწინააღმ-

დეგო მიმართულების მაბრუნ მომენტს. განვიხილოთ ეს რეჟიმი გრაფიკზე (ნახ. 1.6).



**ნახ. 1.6. დამოუკიდებელ-აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებელი უკუჩართვითი დამუხრუჭების რეჟიმში**

დავუშვათ, ძრავაზე მოდებულია  $M_{st1}$  დატვირთვა და იგი **a** წერტილში მუშაობს ძრავულ რეჟიმში. ახლა დავუშვათ, რომ რაღაც მიზეზით დაიწყო სტატიკურმა დატვირთვამ გაზრდა ძრავას ლილვზე. ამას მოჰყვება ბრუნვის სიჩქარის შემცირება და შესაბამისად, ემ ძალის შემცირებაც.

$$I = \frac{U - E}{R} = \frac{\psi_a C}{R} \quad \text{ძრავას ლუზაში გამავალი დენი}$$

დაიწყებს გაზრდას. როცა ბრუნვის სიჩქარე ნულს გაუტოლდება, ძრავაში გაივლის მოკლედ შერთვის (მ.შ.) დენი  $I_{k0} = U/R$  (**b** წერტილი) და იგი განავითარებს მ.შ.-ის მომენტს  $M_{k0}$ . დატვირთვის შემდგომი გაზრდა იწვევს ძრავ-



ას ბრუნვის მიმართულების შეცვლას და შესაბამისად, ძრავაში გამავალი დენის გაზრდას  $I = (U + \mathcal{E}) / R$ ; დენის გაზრდას კი მოჰყვება მომენტის გაზრდა და როცა ეს უკანასკნელი გაუტოლდება ჩამავალი ტვირთის წონით გამოწვეულ  $M_{st.2}$  მომენტს, დამყარდება თანაბარი მოძრაობა ( $\mathcal{C}$  წერტილი).

როგორც

$$I = \frac{U + \mathcal{E}}{R} \quad (1.18)$$

გამოსახულებიდან ჩანს, გარკვეულ პირობებში ძრავაში გამავალმა დენმა, შეიძლება დასაშვებს გადააჭარბოს. ამის გამო, უკუჩართვით დამუხრუჭების დროს, დუზის წრედში დამატებით წინაღობას ჩართავენ (ამას მახასიათებლის დახრაც გვიჩვენებს).

(1.18) ფორმულის ორივე მხარეს თუ გავამრავლებთ  $I R$ -ზე, მიიღება

$$I^2 R = UI + \mathcal{E}I = UI + EI \quad , \quad (1.19)$$

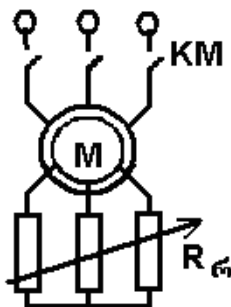
სადაც  $I^2 R$  დუზის წრედის გათბობაზე დახარჯული სიმძლავრეა;  $UI$ - ქსელიდან წამოდებული სიმძლავრე;  $EI$ - ძრავას ლილვზე ჩამავალი ტვირთის მექანიკური სიმძლავრის ეკვივალენტური ელექტრული სიმძლავრე.

ეკონომიურობის თვალსაზრისით, უკუჩართვით დამუხრუჭების რეჟიმი, განხილულ რეჟიმებთან შედარებით,

ყველაზე არაეკონომიურია - ჩამავალი ტვირთის ენერგია და ქსელიდან მიღებული ენერგია, ორივე ღუზის წრედში გამოიყოფა სითბოს სახით. დადებითი მხარეებია: ამ რეჟიმით შესაძლებელია ამძრავის როგორც შენელება, ისე სრულად გაჩერება და რევერსიც კი.

## 2. ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

ფაზურ-როტორიანი ასინქრონული ძრავას ჩართვის სქემა მოცემულია 2.1. ნახაზზე.



ნახ. 2.1. ასინქრონული ფაზურ-როტორიანი ძრავას ქსელთან ჩართვის სქემა

მუდმივი დენის ძრავებისაგან განსხვავებით, ასინქრონულ ძრავებში მექანიკურ მახასიათებლებს აგებენ არა ძრავას მიერ განვითარებულ მომენტსა და მის შესაბამის ბრუნვის სიხშირეს შორის, არამედ მომენტსა და ე.წ. სრიალს  $S$ -ს შორის. სრიალი ფიზიკურად წარმოადგენს სტატორის ელექტრომაგნიტური ველის ბრუნვის სიჩქარესა ( $\omega_0$ ) და როტორის მიმდინარე ბრუნვის სიჩქარესა ( $\omega$ ) შორის სხვაობას და გამოსახება, როგორც

$$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}. \quad (2.1)$$

თავის მხრივ, ელექტრომაგნიტური ველის ბრუნთა რიცხვი, რომელსაც სინქრონულ ბრუნთა რიცხვს უწოდებენ, ქსელის ძაბვის სიხშირისა და ძრავას წყვილ პოლუსთა რიცხვის ფუნქციაა და გამოითვლება

$$n_0 = \frac{60f}{p} \quad (2.2)$$

გამოსახულებით. რადგანაც ძრავას წყვილ პოლუსთა რიცხვი  $p$  ნატურალური რიცხვია, სამრეწველო ქსელის სტანდარტული სიხშირის დროს ( $f = 50$  კვ.) სწრაფმავალი ძრავების სინქრონული ბრუნთა რიცხვი ტოლია შემდეგი სიდიდეებისა:

<b>p</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>და ა.შ.</b>
<b>n<sub>0</sub></b>	<b>3000</b>	<b>1500</b>	<b>1000</b>	<b>750</b>	<b>600</b>	<b>500</b>	<b>და ა.შ.</b>

ხოლო შესაბამისი ბრუნვის სიხშირე გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებით

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30}. \quad (2.3)$$

სინქრონული ბრუნთა რიცხვი ადვილად შეიძლება განისაზღვროს ძრავას ნომინალური ბრუნთა რიცხვიდანაც, რადგანაც ეს უკანაკნელი (2...3)%-ით ნაკლებია სინქრონულზე  $n_0 = 3000 / \text{round}(3000 / n_n)$ .

საშუალო და დიდი სიმძლავრის ძრავებში (10-15 კვტ

და ზემოთ), სტატორის აქტიური წინაღობის სიდიდეს უგულვებელყოფენ მისი სიმცირის გამო და ამის გათვალისწინებით, ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის განტოლებას აქვს სახე

$$M = \frac{2M_m \cdot S_m}{S_m^2 + S^2} S. \quad (2.4)$$

აქ,  $M_m$ , ძრავას მიერ განვითარებული კრიტიკული ანუ მაქსიმალური მომენტია და განისაზღვრება ძრავას საპასპორტო მონაცემებიდან;  $S_m$  სრიალის მაქსიმალური მნიშვნელობაა და შეესაბამება ძრავას მიერ განვითარებულ მაქსიმალურ მომენტს.

(2.4) გამოსახულებიდან

$$S = S_m \left( b_n - \sqrt{b_n^2 - 1} \right). \quad (2.5)$$

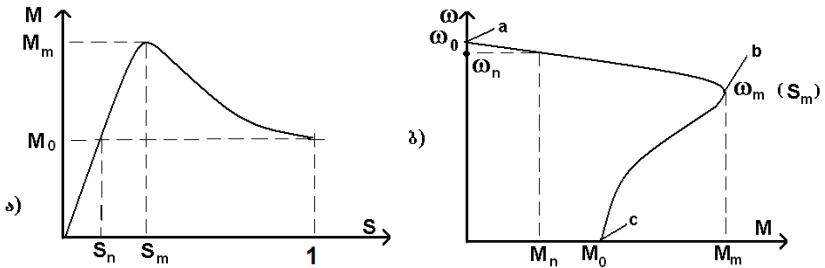
აქ  $b = \frac{M_m}{M}$  მაქსიმალური მომენტის ფარდობაა აღებული მომენტის მნიშვნელობასთან. თუ  $M = M_n$ , მაშინ სიდიდეს,  $b_n = \frac{M_m}{M_n}$ -ს უწოდებენ ძრავას გადატვირთვის უნარიანობას და (2.4) გამოსახულებიდან

$$S_m = S_n \left( b_n + \sqrt{b_n^2 - 1} \right). \quad (2.6)$$

რადიკალის წინ აიღება “+” ნიშანი, რადგანაც  $S_m$

ყოველთვის მეტია  $S_n$ -ზე.

2.2 ა)-ნახაზზე ასინქრონული ძრავას ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი წარმოდგენილია  $M=f(S)$  ფუნქციით, ხოლო 2.2 ბ) – ნახაზზე -  $M=f(\omega)$  ფუნქციით.



ნახ. 2.2. ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის მნიშვნელოვან წერტილებს წარმოადგენს:

- 1)  $S = 0; (\omega = \omega_0) \dots M = 0$  - უქმი სვლის რეჟიმი;
- 2)  $S = S_n; (\omega = \omega_n) \dots M = M_n$  - ნომინალური რეჟიმი;
- 3)  $S = S_m; (\omega = \omega_m) \dots M = M_m$  - ძრავას მაქსიმალური (კრიტიკული) მომენტი;
- 4)  $S = 1; (\omega = \omega_0) \dots M = M_0$  - ძრავას ამუშავების მომენტი.

ზემოთ განხილული მახასიათებლები ბუნებრივი მახასიათებლებია და ისინი აიგება თანმიმდევრობით. ძრავას საპასპორტო მონაცემებია: ნომინალური სიმძლავრე  $P_n$ ,

კვტ; ნომინალური ბრუნვათა რიცხვი  $n_n$ , ბრ/წთ; გადატვირთვის კოეფიციენტი  $b_n = M_m / M_n$ ; წყვილ პოლუსთა რიცხვი  $p$ :

განისაზღვრება:

1) ძრავას ნომინალური სრიალი  $S_n = 1 - \frac{\omega_n}{\omega_0}$ ;

2) ძრავას მაქსიმალური სრიალი  $S_m = S_n \left( b_n + \sqrt{b_n^2 - 1} \right)$ ;

3) ძრავას ნომინალური მომენტი  $M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}$ , ნმ

4) ძრავას მაქსიმალური მომენტი  $M_m = M_n b_n$ .

ამის შემდეგ, სრიალს მისცემენ სხვადასხვა მნიშვნელობებს 1-დან 0-მდე და (2.5) ფორმულის მიხედვით ააგებენ ასინქრონული ძრავას ბუნებრივ მექანიკურ მახასიათებელს  $M=f(s)$  კოორდინატებში.

როტორის წრედში აქტიური წინაღობის ჩართვით იზრდება

$$S_m = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{m0}^2}} \quad (2.7)$$

სრიალის მაქსიმალური მნიშვნელობა.

ნიშანი “+” აიღება ძრავულ რეჟიმში, ხოლო “-“ – გენერატორულ (სამუხრუჭე) რეჟიმში.

აქ,  $R_1, X_1$  სტატორის აქტიური და ინდუქციური წინაღობაა, ომი;

$R'_2, X'_2$  - სტატორზე დაყვანილი როტორის ფაზის აქტიური და ინდუქციური წინაღობა, ომი;

$X_{m0} = X_1 + X'_2$  - მოკლედ შერთვის ინდუქციური წინაღობა, ომი.

განვიხილოთ როტორის წრედში ჩართული რეოსტატის წინაღობის გავლენა მახასიათებლის ფორმაზე. თუ მხედველობაში არ მივიღებთ სტატორის აქტიურ წინაღობას, სრიალის მაქსიმალური მნიშვნელობა ბუნებრივ მახასიათებელზე იქნება

$$S_{m0} = \frac{R'_2}{X_{m0}}, \quad (2.8)$$

ხოლო ხელოვნურზე

$$S_{mx} = \frac{R'_2 + r'_0}{X_{m0}}. \quad (2.9)$$

(2.8) და (2.9) ფორმულების ერთმანეთზე გაყოფით, მიიღება:

$$\frac{S_{mx}}{S_{m0}} = \frac{R'_2 + r'_0}{R'_2} = \frac{R_2 + r_0}{R_2} = 1 + \frac{r_0}{R_2}, \quad (2.10)$$

სადაც  $R_2$  როტორის წრედში ჩართული რეოსტატის წინაღობაა



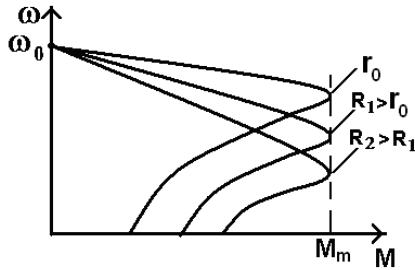
$$R_2 = r_0 \frac{S_{m0}}{S_{mx} - S_{m0}} . \quad (2.11)$$

ეს დამოკიდებულება მართებულია სრიალის ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის.

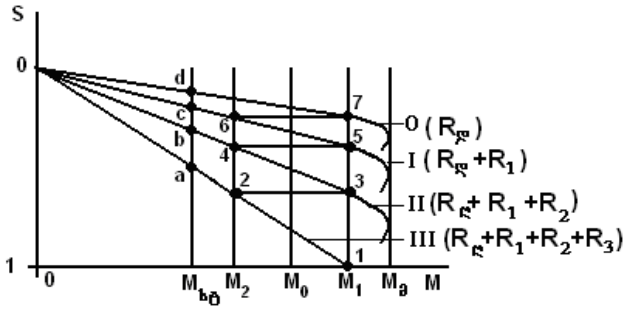
ამგვარად, შეიძლება აღინიშნოს, რომ ერთსა და იმავე მომენტის დროს სრიალის სიდიდე ხელოვნურ მახასიათებელზე იმდენჯერ მეტია ბუნებრივი მახასიათებლის შესაბამის სრიალზე, რამდენჯერაც მეტია როტორის სრული წინაღობა  $R_2 + r_0$ , როტორის გრაგნილის  $r_0$  წინაღობაზე.

მახასიათებლები რეოსტატის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს, მოყვანილია ნახ. 2.3 ნახაზზე.

ძრავას მიერ  $M_1$  მომენტის განავითარებისას (როდესაც როტორის წრედში მთლიანადაა ჩართული  $R_1$ ,  $R_2$  და  $R_3$  გამშვები წინაღობები), ამძრავი აჩქარდება III მექანიკურ მახასიათებელზე (ნახ. 2.4). სიჩქარის გაზრდასთან ერთად, გაიზრდება ძრავაში ემ ძალა და ამის გამო, შემცირდება როტორში გამავალი დენი; აგრეთვე შემცირდება ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი; როდესაც იგი გაუტოლდება ამძრავზე მოდებულ სტატიკურ მომენტს, აჩქარება შეწყდება და ძრავა იმუშავებს თანაბარი სიჩქარით (წერტილი  $a$ ).



ნახ. 2.3. მექანიკური მახასიათებლები როტორის წრედში სხვადასხვა აქტიური წინაღობის დროს



ნახ. 2.4. რესტატული ამუშავება მუდმივი დატვირთვით

ნომინალური სიჩქარის (წერტილი d) მიღწევისათვის საჭიროა ძრავა გადავიდეს ბუნებრივ მახასიათებელზე ამისათვის, როდესაც ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი III მახასიათებელზე გახდება  $M_2$ -ის ტოლი (წერტილი 2), საჭიროა ჩამოკლდეს (დაშუნტდეს) წინააღობის პირველი საფეხური  $R_3$ . ამის შედეგად ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი გაიზრდება  $M_1$  მნიშვნელობამდე და

გადავა II მახასიათებელზე (წერტილი 3). ამძრავი ისევე აჩქარდება, ამჟამად II მახასიათებელზე, და როცა მის მიერ განვითარებული მომენტი შემცირდება  $M_2$  მნიშვნელობამდე (წერტილი 4), ჩამოკლდება  $R_2$  წინაღობა და ამძრავი ისევე  $M_1$  მომენტით აჩქარდება I მახასიათებელზე (წერტილი 5-დან წერტილ 6-მდე). ამის შემდეგ, ჩამოკლდება ბოლო  $R_1$  წინააღობა და ძრავა გადავა ბუნებრივ, 0 მექანიკურ მახასიათებელზე. იგი დაიწყებს თანაბარი სიჩქარით მუშაობას წერტილ d-ში.

$M_1$  მომენტს უწოდებენ პიკურ მომენტს, ხოლო  $M_2$  - ს - გადართვის მომენტს. ასინქრონულ ძრავებში პიკური მომენტი აიღება მაქსიმალურის (80...90)%, ხოლო გადართვის მომენტი - სტატიკურზე (15...20)%-ით მეტი. ანუ  $M_1 \leq (0.8...0.9)M_m$  და  $M_2 \geq (1.15...1.2)M_{st}$ .

ასეთი მეთოდით ამუშავებისას, ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი  $M_1$ -დან  $M_2$  მნიშვნელობამდე იცვლება, ხოლო გარდამავალი პროცესის გაანგარიშებისას ამამუშავებელი მომენტი  $M_0$  შეიძლება ჩაითვალოს მუდმივად და მისი მნიშვნელობა  $M_0 = \sqrt{M_1 M_2}$  ფორმულით გამოითვლება.

თუ სტატკური დატვირთვა ამძრავზე ნომინალურის

$M_{st} = (0.1...0.5)M_n$ -ია, ამუშავების რეჟიმი “მსუბუქია”; თუ  
 $M_{st} = (0.5...0.9)M_n$ - ამუშავება “ნორმალურია” და თუკი  
 $M_{st} \geq M_n$ - “ძვირია” [1,2].

როდესაც მომენტი იცვლება  $M_1$ -დან  $M_2$ -მდე, ამუშავებას უწოდებენ **საფეხურებიანს**. ამ დროს, მექანიზმების ნაწილებში აღიძვრება ციკლური ხასიათის დამატებითი დინამიკური დატვირთვა, რომელიც ზრდის მანქანის ელემენტების ცვეთას. მომენტის ცვალებადობა საგრძნობლად შეიძლება შემცირდეს, ამამუშავებელი საფეხურების რიცხვის გაზრდით. თუ  $\frac{M_1}{M_2} \rightarrow 1$ , მაშინ ამუშავება უსაფეხურო ხდება და ძრავას შესაძლებლობები მაქსიმალურია.

სამთო მანქანებში (კიდული ბაგირგზები, საშახტო ჯალამბრები, ლენტური კონვეიერები და სხვ.) სავსებით მისაღებია  $z = (7-8)$ - ის აღება. ამ დროს ამამუშავებელ  $M_0$  და პიკურ  $M_1$  მომენტებს შორის განსხვავება მხოლოდ 12% -ია.

როგორც აღინიშნა,  $M_2$  გადართვის მომენტის მნიშვნელობა  $M_2 \geq (1.15...1.2)M_{st}$ .

შესაბამისი გადატვირთვის კოეფიციენტი იქნება

$$b_2 = \frac{M_m}{M_2} = \frac{M_m}{k_2 M_m} = \frac{1}{k_2}, \quad (2.12)$$

სოლო მისი  $a_2$  კოეფიციენტი

$$a_2 = b_2 - \sqrt{b_2^2 - 1}. \quad (2.13)$$

ამამუშავებელი მომენტის,  $M_0$ -ის მნიშვნელობად მივიღოთ

$$M_0 = 1.2M_n = 1.2 \frac{M_m}{b_n} \text{ ნმ}; \quad (2.14)$$

შესაბამისად,

$$b_0 = \frac{b_n}{1.2}; \quad (2.15)$$

მაშინ, პიკური მომენტის გადატვირთვის კოეფიციენტი იქნება

$$b_1 = \frac{b_0^2}{b_2}; \quad (2.16)$$

სოლო პიკური მომენტის კოეფიციენტი

$$a_1 = b_1 - \sqrt{b_1^2 - 1}; \quad (2.17)$$

ამამუშავებელი რეოსტატის საფეხურების რაოდენობა

$$z = \text{round} \left[ \frac{\lg \left( \frac{1}{a_1 S_{m0}} \right)}{\lg \left( \frac{a_1}{a_2} \right)} \right]. \quad (2.18)$$

ამ დამრგვალებული  $z$ -სათვის გამოითვლება  $a_1$ -ის ახალი მნიშვნელობა

$$a_1 = \left( \frac{a_2^z}{S_{m0}} \right)^{\frac{1}{z+1}} ; \quad (2.19)$$

**b** კოეფიციენტის მნიშვნელობა

$$b = \frac{a_1}{a_2} . \quad (2.20)$$

რადგანაც უკვე ცნობილია  $b = \frac{a_1}{a_2}$  სიდიდე, შესაძლებელია ამუშავების მექანიკური მახასიათებლების აგება.

ასევე ცნობილია, რომ ბუნებრივი მახასიათებლის მაქსიმალური სრიალის საშუალებით ადვილად აიგება ხელოვნური მახასიათებლებიც; კერძოდ, ხელოვნური მახასიათებლების მაქსიმალური სრიალი ერთმანეთისაგან განსხვავდება  $b$  სიდიდით და გამოითვლება  $S_{mz} = S_{m0}b^z$ -ის საშუალებით.

ამის შემდეგ, (2.4) ფორმულით აიგება ბუნებრივი და ხელოვნური მახასიათებლები

$$M = \frac{2M_m S_{m0} b^z}{(S_{m0} b^z)^2 + S^2} S . \quad (2.21)$$

როცა  $z = 0$ , აიგება ბუნებრივი მახასიათებელი, ხოლო როცა  $z = 1 \dots n$ - შესაბამისი ხელოვნური მახასიათებელი.

როტორის ერთი ფაზის ნომინალური წინაღობა გამოითვლება  $R_n = \frac{U_{2n}}{\sqrt{3}I_{2n}}$ , ხოლო საკუთრივ როტორის წინა-

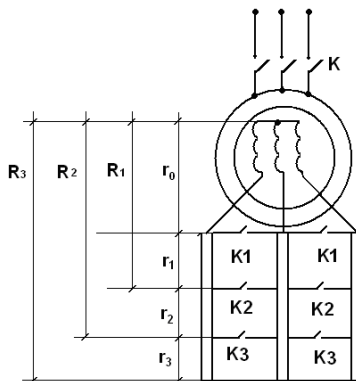
ღობა -  $r_0 = R_n S_{n0}$  ფორმულით.  $I_{2n}$  - არის როტორის ნომინალური დენი, ა;  $U_{2n}$  - როტორის ემ ძალა, ვ; მათი სიდიდეები ძრავებისათვის მოცემულია კატალოგში.

როტორის წრედში მიერთებული წინაღობები ყოველ საფეხურზე განისაზღვრება  $R_z = r_0 \cdot b^z$  გამოსახულებით, ხოლო თითოეული საფეხურის წინაღობა

$$r_z = R_z - R_{z-1} = r_0(b^z - b^{z-1}) = r_0(b - 1)b^{z-1};$$

2.5 ნახაზზე ნახვენები სქემისათვის  $R_1 = r_0 + r_1$ ;

$R_2 = r_0 + r_1 + r_2 = R_1 + r_2$  და  $R_3 = r_0 + r_1 + r_2 + r_3 = R_2 + r_3$ .



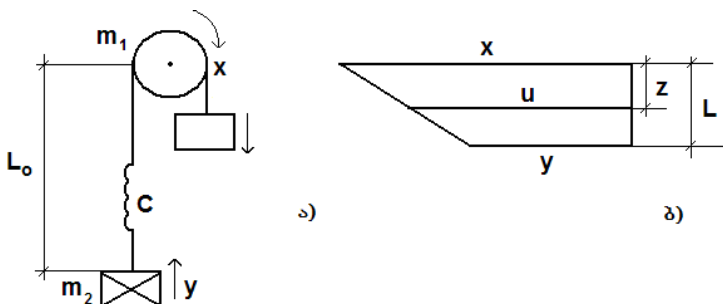
ნახ. 2.5. როტორის წრედის წინაღობების განსაზღვრა

### 3. ორბოლიანი საშახტო ჯალამბრის

#### ამუშაების თავისებურებანი

განვიხილოთ ორბოლიანი საშახტო ჯალამბრის ამუშაება. ამ ამოცანის თავისებურება ისაა, რომ ამუშაების დროს გარდამავალი პროცესის ხასიათზე მოქმედებს არა მხოლოდ ბაგირის (დრეკადი ტრანსმისიის) მასა, არამედ წონაც. დეფორმაციის დროს იცვლება ბაგირის სიმძიმის ცენტრის მდებარეობა, პოტენციური ენერგია და შესაბამისად, განზოგადებული ძალა.

რადგან ჩამავალი სკიპი ამუშაების პერიოდში ახლოსაა დამხვევ დოლთან, საშუალება გვეძლევა მისი მასა დაუშვათ დოლისას, ჩამავალი ბაგირის სიხისტის კოეფიციენტი მივიღოთ უსასრულობის ტოლად და საბოლოო ჯამში, სინამდვილეში სამმასიანი სისტემა წარმოვიდგინოთ როგორც ორმასიანი. ამ დაშვებით მიღებული საანგარიშო სქემა მოცემულია 3.1. ა) ნახაზზე.



ნახ. 3.1. საშახტო ჯალამბრის კინემატიკური სქემა



დაეუშვათ განზოგადებული კოორდინატებია  $m_2$  ჭურჭლის გადაადგილება  $y$  და ბაგირის ზედა ბოლოს გადაადგილება დოლის ზედაპირზე  $x$ , ხოლო  $m_1$  არის ძრავას, გადამცემი მექანიზმისა და დოლის დაყვანილი მასა დოლის ზედაპირზე;  $L_0$  - აწვეის სიგრძე;  $C$  - ბაგირის სისისტიის კოეფიციენტი.

ვთქვათ, ჯალამბარი დამუხრუჭებულია და ამწვეი ბაგირის სიგრძეა  $L$ . ძრავას ჩართვისა და განმუხრუჭის შემდეგ დოლი დაიწვებს ბრუნვას. ბაგირის დრეკადობის გამო, დროის გარკვეულ მცირე მონაკვეთში, დოლის  $x$  და ჭურჭლის  $y$  განვლილი მანძილები განსხვავებული იქნება. რასაკვირველია,  $x > y$ . ჭურჭელი ჯერ ჩამორჩება დოლს, ხოლო შემდეგ, ინერციის ძალების ხარჯზე დაიწვებს რხევას.

ბაგირის მასის გასათვალისწინებლად გამოვიყენოთ რელეის მეთოდი

$$u = x - \frac{x - y}{L} z, \quad (3.1)$$

სადაც  $u$  ბაგირის კვეთის გადაადგილებაა დეფორმაციის დროს. იგი, ბაგირის დოლზე ჩამაგრების ადგილიდან  $z$  მანძილითაა დაშორებული (ნახ. 3.1. ბ).

ბაგირის კინეტიკური ენერგია გამოითვლება ფორმულით

$$T_r = \frac{1}{2} m_{or} \int_0^L \dot{u}^2 dz = \frac{1}{2} m_{or} \int_0^L \left( \dot{x} - \frac{\dot{x} - \dot{y}}{L} z \right)^2 dz, \quad (3.2)$$

ხოლო ინტეგრალის ამოღების შემდეგ, იქნება

$$T_r = \frac{1}{2} m_r \frac{\dot{x}^2 + \dot{x}\dot{y} + \dot{y}^2}{3}, \quad (3.3)$$

სადაც  $m_{or}$  ერთი მეტრი ბაგირის მასაა,  $m_r$  - მთლიანი ბაგირის მასა.

სისტემის სრული კინეტიკური ენერგია

$$T = T_1 + T_2 + T_r = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{y}^2 + \frac{1}{2} m_r \frac{\dot{x}^2 + \dot{x}\dot{y} + \dot{y}^2}{3}. \quad (3.3)$$

ბაგირის კვეთის გადაადგილებით გამოწვეული პოტენციური ენერგიის ცვალებადობაა

$$\Pi_1 = m_r g \int_0^L u dz = m_r g \int_0^L \left( x - \frac{x - y}{L} z \right) dz = m_r g \frac{x + y}{2}. \quad (3.5)$$

ბაგირის დეფორმაციით გამოწვეული პოტენციური ენერგიის ცვალებადობა

$$\Pi_2 = \frac{1}{2} c(x - y + f_0)^2, \quad (3.6)$$

სადაც  $f_0$  ამავე ბაგირის წინასწარი სტატიკური დაჭიმულობაა. მიღებულია, რომ წინასწარ დაჭიმულობას ჭურჭლის  $m_2 g$  წონასთან ერთად, ქმნის ბაგირის წონის ნახევარი. ასე რომ

$$f_0 = \frac{1}{c} \left( \frac{1}{2} m_r + m_2 \right) g. \quad (3.7)$$

სისტემის სრული პოტენციური ენერგია, ჭურჭლის წონის გათვალისწინებით იქნება

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 + m_2 g y. \quad (3.8)$$

სისტემას აქვს თავისუფლების ორი ხარისხი და საჭიროა ლაგრანჟეს ორი განტოლების შედგენა.

განვსაზღვროთ განტოლებებში შემავალი წევრები

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} = \left( m_1 + \frac{1}{3} m_r \right) \ddot{x} + \frac{1}{6} m_r \ddot{y}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} = \left( m_2 + \frac{1}{3} m_r \right) \ddot{y} + \frac{1}{6} m_r \ddot{x}; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial x} = \frac{1}{2} m_r g + c(x-y) + \frac{1}{2} m_r g + m_2 g = (m_r + m_2) g + c(x-y); \\ \frac{\partial \Pi}{\partial y} = \frac{1}{2} m_r g - c(x-y) - \frac{1}{2} m_r g - m_2 g + m_2 g = -c(x-y); \end{array} \right. \quad (3.9)$$

$$Q'_x = F_{\text{mot}} \quad \text{და} \quad Q'_y = 0.$$

$F_{\text{mot}}$  ძრავას მიერ ჯალამბრის დოღზე განვითარებული ძალაა.

უკანასკნელი სისტემიდან შეიძლება მივიღოთ ჯალამბრის ამუშავების აღმწერი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა

$$\begin{cases} a_{11}\ddot{x} + a_{12}\ddot{y} = F_{\text{mot}} - Q - c(x - y); \\ a_{21}\ddot{x} + a_{22}\ddot{y} = c(x - y), \end{cases} \quad (3.10)$$

სადაც  $a_{11} = m_1 + \frac{1}{3}m_r$ ;  $a_{12} = \frac{1}{6}m_r$ ;  $a_{22} = m_2 + \frac{1}{3}m_r$ ;

$a_{21} = a_{12}$ ;  $Q = (m_r + m_2)g$ .

[3]- ის გათვალისწინებით, (3.9) განტოლებათა სისტემა გადაიწერება შემდეგი სახით (ამ შემთხვევაში

$a_{11} = m_1 + \frac{1}{2}m_r$ ;  $a_{12} = a_{21} = 0$  და  $a_{22} = m_2 + \frac{1}{2}m_r$ )

$$\begin{cases} a_{11}\ddot{x} = F_{\text{mot}} - Q - c(x - y); \\ a_{21}\ddot{x} = c(x - y). \end{cases} \quad (3.11)$$

(3.10) სისტემა ჩავწერთ ოპერაციული ფორმით და ცვლადები განვსაზღვროთ ნულოვანი საწყისი პირობებისათვის

$$\begin{cases} \bar{x} = \frac{F_{\text{mot}} - Q}{a_{11}a_{22}} \frac{a_{22}p^2 + c}{R^3(p^2 + \frac{c}{a_{22}})}; \\ \bar{y} = \frac{F_{\text{mot}} - Q}{a_{11}a_{22}} \frac{c}{R^3(p^2 + \frac{c}{a_{22}})}. \end{cases} \quad (3.12)$$

ჩვენთვის უფრო საინტერესოა აჩქარებისა და სიჩქარის განსაზღვრა. ამისათვის, (3.11) სისტემის ორივე განტოლების ორივე მხარე გავამრავლოთ  $p^2$ -ზე და განვსაზღვროთ აჩქარება, ხოლო შემდეგ მათი ინტეგრირებით— სიჩქარე. შედეგად, მივიღებთ:

აჩქარებები -

$$\begin{cases} a_x = a_0 \left( 1 - \frac{a_{22} \omega^2 c}{c} \cos \right), \\ a_y = a_0 \left( \frac{a_{22} \omega^2 c}{c} \sin \right), \end{cases} \quad (3.13)$$

სიხქარეები -

$$\begin{cases} v_x = a_0 \left( \frac{a_{22} \omega^2 c}{c \omega} \sin \right) \\ v_y = a_0 \left( \frac{1}{\omega} \sin \right), \end{cases} \quad (3.14)$$

სადაც  $\omega^2 = \frac{a_{11} + a_{22}}{a_{11} a_{22}} c$ ,  $1/\sqrt{m}$  სისტემის რხევის კუთხური

სიხშირეა, ხოლო  $a_0 = \frac{F_{\text{mot}} - Q}{a_{11} + a_{22}} = \frac{F_{\text{mot}} - Q}{m_1 + m_2 + m_r}$  -

სისტემის საშუალო აჩქარების სიდიდე.

## პრაქტიკული სამუშაოები

### ამოცანა №1

გამოვთვალოთ მუდმივი დენის დამოუკიდებელ-აგზნებრიანი ძრავას ხელოვნური მექანიკური მახასიათებლები, რომლებიც შეესაბამება:

- ა) ძრავას აგზნების ნაკადის ცვლილებას -  $c_f = 0.75 \cdot c$ ;
- ბ) ძრავაზე მოდებულ ძაბვის ცვლილებას -  $U_v = 0.25 \cdot U_n$ ;
- გ) ღუზის წრედის წინააღობის ცვლილებას -  $R_r = 0.8 \cdot R_n$ ;

**მიღებულია, რომ ძრავას დატვირთვა ყველა რეჟიმში ნომინალურია.**

გამოთვლებისათვის საჭირო მონაცემებია:

$$P_n = 5.4 \text{ კვტ}; U_n = 220 \text{ ვ}; n_n = 1000 \text{ ბრ/წთ}; I_n = 27 \text{ ა.}$$

**ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი:**

ძრავას ბრუნვის სიხშირე

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 1000}{30} \approx 105 \text{ 1/წმ};$$

მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ)

$$\eta_n = \frac{P_n 10^3}{U_n I_n} = \frac{5.4 \cdot 10^3}{220 \cdot 27} \approx 0.91;$$

ნომინალური წინააღობა

$$R_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{220}{27} = 8.15 \text{ ომი};$$

ღუზის წინაღობა

$$R_0 = 0.5(1 - \eta_n)R_n = 0.5(1 - 0.91) \cdot 8.15 = 0.37 \text{ ომი};$$

ემ ძალის კოეფიციენტი

$$C = \frac{U_n - I_n R_0}{\omega_n} = \frac{220 - 27 \cdot 0.37}{105} = 2 \text{ ვწმ};$$

ძრავას უქმი სვლის ბრუნვის სიხშირე

$$\omega_0 = \frac{U_n}{C} = \frac{220}{2} = 110 \text{ 1/წმ};$$

ძრავას ნომინალური მომენტი

$$M_n = C I_n = 2 \cdot 27 = 54 \text{ ნმ};$$

ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებლის სიხისტის მოდული

$$\beta_s = \frac{C^2}{R_0} = \frac{2^2}{0.37} = 10.8 \text{ ნმწმ}.$$

ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებლის განტოლება  
 $\omega = f(M)$  კოორდინატებში

$$\omega_s = \omega_0 - \frac{M}{\beta_s} = 110 - \frac{M}{10.8}.$$

M-ის ცვლილებით (მაგ.,  $M = 0 \dots 1.1 \cdot M_n$ ) აიგება ძრავას ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი.

ა) ხელოვნური მექანიკური მახასიათებელი ძრავას აგზნების ნაკადის ცვლილებისას ( $C_r \neq C$ )

ემ ძალის კოეფიციენტი აგზნების ნაკადის შემცირებისას,  $C_f = 0.75 \cdot C$  ვწმ;

იდეალური უქმი სვლის ბრუნთა რიცხვი აგზნების ნაკადის შემცირებისას

$$\omega_{of} = \frac{\omega_0}{0.75} = \frac{110}{0.75} = 146.7 \text{ 1/წმ};$$

მექანიკური მახასიათებლის სიხისტის მოდული აგზნების ნაკადის შემცირებისას

$$\beta_f = 0.75^2 \cdot \beta_s = 0.75^2 \cdot 10.8 \approx 6 \text{ ნმწმ};$$

მექანიკური მახასიათებლის განტოლება  $\omega = f(M)$  კოორდინატებში

$$\omega_f = \omega_{of} \cdot \frac{M}{\beta_f} = 146.7 \cdot \frac{M}{6}.$$

**ბ) ხელოვნური მახასიათებელი (რეოსტატული,  $R_r \neq R_0$ )**

რეოსტატული მექანიკური მახასიათებლის სიხისტის მოდული, როდესაც ღუზის წრედის ჯამური წინაღობა

$$R_r = 0.25 \cdot R_n$$

$$\beta_r = \frac{C^2}{R_r} = \frac{C^2}{0.25R_n} = \frac{2^2}{0.25 \cdot 8.15} = 1.96 \text{ ნმწმ};$$

რეოსტატული მექანიკური მახასიათებლის განტოლება  $\omega = f(M)$  კოორდინატებში



$$\omega_r = \omega_0 - \frac{M}{\beta_r} = 110 - \frac{M}{1.96}.$$

გ) ხელოვნური მახასიათებელი ( $U_v \neq U_n$ )

იდეალური უქმი სვლის ბრუნვის სიხშირე, როდესაც დრავაზე მოდებულია  $U_v = 0.8 \cdot U_n$  ვ. ძაბვა

$$\omega_{0v} = 0.8 \cdot \omega_0 = 0.8 \cdot 110 = 88 \quad 1/\text{წმ}.$$

ხელოვნური მექანიკური მახასიათებლის განტოლება  $\omega = f(M)$  კოორდინატებში

$$\omega_v = \omega_{0v} - \frac{M}{\beta_s} = 88 - \frac{M}{10.8}.$$

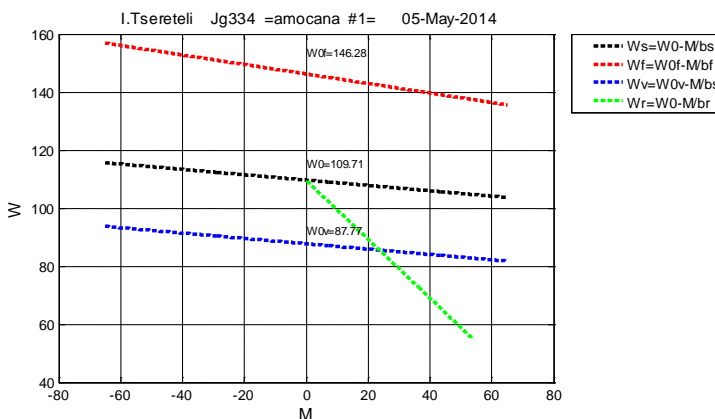
გამოთვლებისა და გრაფიკული აგების გამარტივების მიზნით, გამოვიყენოთ დაპროგრამების სისტემა MATLAB-ი.

```
>> Gv=input('Input name ','s'); sname=' Jg';
Jg=input('Input # group','s');
Pn=input('Pn='); Un=input('Un='); In=input('In=');
Nn=input('Nn='); Pn=5.4; Un=220; In=27; Nn=1000; Wn=pi*Nn/30;
eta=Pn*10^3/Un/In; Rn=Un/In; R0=(1-eta)*Rn/2; c=(Un-In*R0)/Wn;
Mn=c*In; W0=Un/c; bs=c^2/R0; cf=.75*c; Rr=.5*Rn; W0f=W0/.75;
bf=.75^2*bs; br=c^2/Rr; W0v=.8*W0; M=-1.2*Mn:0.001:1.2*Mn;
Wss=W0-M/bs; Wff=W0f-M/bf; Wvv=W0v-M/bs;
plot(M,Wss,'k--',M,Wff,'r--',M,Wvv,'b--','LineWidth',2.5); hold on,
M=0:0.001:1.0*Mn;Wrr=W0-M/br;
plot(M,Wrr,'g--','LineWidth',2.5);grid; hold on,
legend('Ws=W0-M/bs','Wf=W0f-M/bf','Wv=W0v-M/bs', 'Wr=W0-M/br',-1);
```

```

text(.025*Mn,.03*W0,'0','FontSize',12);
text(.01,1.05*W0,['W0=',num2str(W0,'%9.2f')],'FontSize',8);
text(.01,1.05*W0f,['W0f=',num2str(W0f,'%9.2f')],'FontSize',8);
text(.01,1.05*W0v,['W0v=',num2str(W0v,'%9.2f')],'FontSize',8);
ylabel('W','FontSize',12); xlabel('M','FontSize',12);
title([Gv, sname, Jg, ' =amocana #1= ', date],'FontSize',11);

```



ამოცანა №1

## ამოცანა №2

გამოვთვალთ მუდმივი დენის დამოუკიდებელ-აგზნებიანი ძრავას ბუნებრივი და ხელოვნური მექანიკური მახასიათებლები:

1. ძრავულ რეჟიმში

ა) ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი – ძრავას კატალოგური მონაცემებით;

2. გენერატორულ რეჟიმში

ა) რეკუპერაციული დამუხრუჭება -  $R_{rek} = R_0$ ;

ბ) დინამიკური დამუხრუჭება -  $R_{din} = 0.75 \cdot R_n$ ;

გ) უკუჩართვით დამუხრუჭება -  $R_u = 2 \cdot R_n$ .

**მიღებულია, რომ ძრავას დატვირთვა ყველა რეჟიმში ნომინალურია.**

გამოთვლებისათვის საჭირო მონაცემებია:

$P_n = 5.4$  კვტ;  $U_n = 220$  ვ;  $n_n = 1000$  ბრ/წმ;  $I_n = 27$  ა.

1. ძრავული რეჟიმი

ა) ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი

ძრავას ბრუნვის სიხშირე

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 1000}{30} \approx 105 \text{ 1/წმ};$$

მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ)

$$\eta_n = \frac{P_n 10^3}{U_n I_n} = \frac{5.4 \cdot 10^3}{220 \cdot 27} \approx 0.91;$$

ნომინალური წინაღობა

$$R_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{220}{27} = 8.15 \text{ ომი};$$

ღუზის წინაღობა

$$R_0 = 0.5(1 - \eta_n)R_n = 0.5(1 - 0.91) \cdot 8.15 = 0.37 \text{ ომი}.$$

ემ ძალის კოეფიციენტი

$$C = \frac{U_n - I_n R_0}{\omega_n} = \frac{220 - 27 \cdot 0.37}{105} = 2 \text{ ვწმ};$$

ძრავას უქმი სვლის ბრუნვის სიხშირე

$$\omega_0 = \frac{U_n}{C} = \frac{220}{2} = 110 \text{ 1/წმ};$$

ძრავას ნომინალური მომენტი

$$M_n = cI_n = 2 \cdot 27 = 54 \text{ ნმ};$$

ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებლის სიხისტის მოდული

$$\beta_s = \frac{C^2}{R_0} = \frac{2^2}{0.37} = 10.8 \text{ ნმწმ};$$

ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებლის განტოლება

$\omega = f(M)$  კორდინატებში

$$\omega_s = \omega_0 - \frac{M}{\beta_s} = 110 - \frac{M}{10.8}.$$

M-ის ცვლილებით (მაგ.,  $M = 0 \dots 1.1 \cdot M_n$ ) აიგება ძრავას ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი.

## 2. გენერატორული რეჟიმი

### ა) რეკუპერაციული დამუხრუჭება

რეკუპერაციული დამუხრუჭების მექანიკური მახასიათებლის სიხისტის მოდული, როდესაც ღუზის წრედის ჯამური წინაღობაა  $R_{rek} = R_0$

$$\beta_{rek} = \frac{C^2}{R_{rek}} = \frac{C^2}{R_0} = \frac{2^2}{0.37} = 10.8 \text{ ნმწმ};$$

რეკუპერაციული დამუხრუჭების მექანიკური მახასიათებლის განტოლება  $\omega = f(M)$  კოორდინატებში

$$\omega_{rek} = \omega_0 - \frac{M}{\beta_{rek}} = 108 - \left( -\frac{M}{10.8} \right).$$

### ბ) უკუხართვით დამუხრუჭება

უკუხართვით დამუხრუჭების მექანიკური მახასიათებლის სიხისტის მოდული, როდესაც ღუზის წრედის ჯამური წინაღობაა  $R_u = 2 \cdot R_n$

$$\beta_u = \frac{C^2}{R_u} = \frac{C^2}{2 \cdot R_n} = \frac{2^2}{2 \cdot 8.15} = 0.245 \text{ ნმწმ};$$

უკუხართვით დამუხრუჭების მექანიკური მახასიათებლის განტოლება  $\omega = f(M)$  კოორდინატებში

$$\omega_u = \omega_0 - \frac{M}{\beta_u} = -\frac{M}{0.245}.$$

### გ) დინამიკური დამუხრუჭება

დინამიკური დამუხრუჭების მექანიკური მახასიათებლის სიხისტის მოდული, როდესაც ღუზის წრედის ჯამური წინაღობაა  $R_d = 0.75 \cdot R_n$

$$\beta_d = \frac{C^2}{R_d} = \frac{2^2}{0.75 \cdot 8.15} = 10.8 \text{ ნმწმ};$$

დინამიკური დამუხრუჭების მექანიკური მახასიათებლის განტოლება  $\omega = f(M)$  კოორდინატებში

$$\underline{\omega_d = -\frac{M}{\beta_d} = -\frac{M}{10.8} .}$$

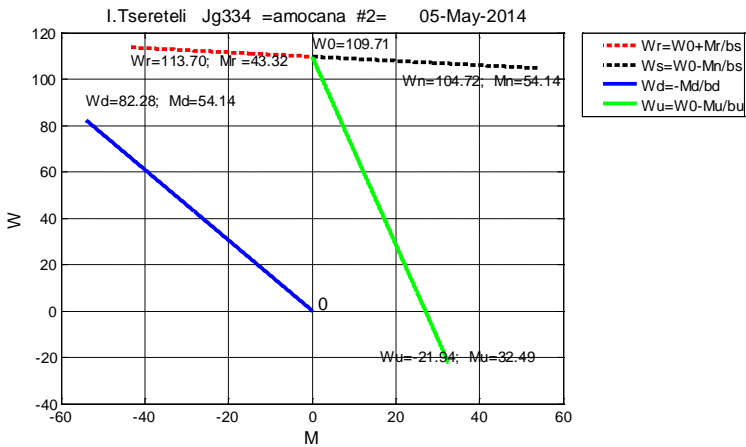
გამოთვლებისა და გრაფიკული აგების გამარტივების მიზნით გამოვიყენოთ დაპროგრამების სისტემა MATLAB-ი

```
>> Gv=input('Input name ','s');sname=' Jg';
Jg=input('Input # group','s'); Pn=input('Pn='); Un=input('Un=');
In=input('In='); Nn=input('Nn='); % Pn=5.4; Un=220; In=27;
Nn=1000; Wn=pi*Nn/30; Id=In; lu=.6*In; lr=.8*In; Rn=Un/In;
En=Pn*1000/Un/In; R0=.5*(1-En)*Rn; W0=2*Wn/(1+En);
C=Un/W0; Mn=C*In; Md=C*Id; Mu=C*lu; Mr=C*lr; bs=C^2/R0;
br=bs; Ru=2*Rn; bu=C^2/Ru; Rd=.75*Rn; bd=C^2/Rd;
Wr=W0+Mr/br; Wd=Md/bd; Wu=W0-Mu/bu; M=-Mr:.01:0;
Wrr=W0-M/bs; plot(M,Wrr,'r--','LineWidth',2.5); hold on,
M=0:.01:Mn; Wss=W0-M/bs;
plot(M,Wss,'k--','LineWidth',2.5); hold on, M=0:-.01:-Md;
Wdd=-M/bd;
plot(M,Wdd,'b','LineWidth',2.5); hold on, M=0:.01:Mu; Wuu=W0-
M/bu; plot(M,Wuu,'g','LineWidth',2.5); grid;
```

```

legend('Wr=W0+Mr/bs','Ws=W0-Mn/bs','Wd=-Md/bd','Wu=W0-
Mu/bu',-1);
text(.025*Mn,.03*W0,'0','FontSize',12);
text(.01,1.05*W0,['W0=',num2str(W0,'%9.2f')],'FontSize',10);
text(.4*Mn,.95*Wn,['Wn=',num2str(Wn,'%9.2f')'],'FontSize',10);
Mn=',num2str(Mn,'%9.2f')','FontSize',10);
text(-Mr,.95*Wr,['Wr=',num2str(Wr,'%9.2f')'],'FontSize',10);
Mr=',num2str(Mr,'%9.2f')','FontSize',10);
text(-Md,1.1*Wd,['Wd=',num2str(Wd,'%9.2f')'],'FontSize',10);
Md=',num2str(Md,'%9.2f')','FontSize',10);
text(Mu/2,.9*Wu,['Wu=',num2str(Wu,'%9.2f')'],'FontSize',10);
Mu=',num2str(Mu,'%9.2f')','FontSize',10);
ylabel('W','FontSize',12); xlabel('M','FontSize',12);
title([Gv, sname, Jg, '=amocana #2= ', date],'FontSize',12);

```



ამოცანა №2

### ამოცანა №3

გამოვთვალოთ ცვლადი დენის ფაზურ-როტორიანი ძრავას ბუნებრივი და ხელოვნური მექანიკური მახასიათებლები, რომლებიც შეესაბამება:

ა) როტორის წრედის ჯამურ წინაღობას -  $R_R = 0.025 \cdot R_{2n}$  ;

ბ) ძრავაზე მოდებულ ძაბვას -  $U_1 = 0,85 \cdot U_{1n}$  .

გამოთვლებისათვის საჭირო მონაცემებია:

ძრავას ნომინალური სიმძლავრე -  $P_n = 30$  კვტ;

ნომინალური ბრუნთა რიცხვი -  $n_n = 970$  ბრ/წთ;

ნომინალური გადატვირთვის კოეფიციენტი -  $b_n = 2.6$  ;

ქსელის საზური ძაბვა -  $U_{1n} = 380$  ვ;

სტატორის ნომინალური დენი -  $I_{1n} = 67$  ა;

როტორის ნომინალური ძაბვა -  $U_{2n} = 225$  ვ;

როტორის ნომინალური დენი -  $I_{2n} = 72$  ა.

ნომინალური მომენტის სიდიდე

$$M_n = 1.05 \frac{9555 \cdot P_n}{n_n} = 1.05 \frac{9555 \cdot 30}{970} = 310 \text{ ნმ},$$

სადაც 1.05 ითვალისწინებს ძრავაში მომენტების დანაკარგებს.

მაქსიმალური მომენტის მნიშვნელობა

$$M_m = b_n M_n = 2.6 \cdot 310 = 806 \text{ ნმ};$$

ნომინალური სრიალის შესაბამისი მნიშვნელობა



$$S_n = 1 - \frac{n_n}{n_0} = 1 - \frac{970}{1000} = 0.03,$$

სადაც

$$n_0 = 3000 / \text{round}(3000 / n_n) = 3000 / \text{round}(3000 / 970) = 1000$$

მაქსიმალური სრიალის სიდიდე ბუნებრივ მახასიათებელზე

$$S_{m0} = S_n \left( b_n + \sqrt{b_n^2 - 1} \right) = 0.03 \left( 2.6 + \sqrt{2.6^2 - 1} \right) = 0.15.$$

ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებლის ასაგებ ფორმულას, აქვს ასეთი სახე:

$$M = \frac{2M_m S_m}{S_m^2 + S^2} S = \frac{2 \cdot 806 \cdot 0.15}{0.15^2 + S^2} S.$$

ამამუშავებელი მომენტის მნიშვნელობა ბუნებრივ მახასიათებელზე ( $S = 1$ ),

$$M_0 = \frac{2M_m S_m}{S_m^2 + 1^2} \cdot 1 = \frac{2 \cdot 806 \cdot 0.15}{0.15^2 + 1^2} \cdot 1 = 236.2 \text{ ნმ}.$$

როტორის ნომინალური წინაღობა

$$R_n = \frac{U_{2n}}{\sqrt{3} I_{2n}} = \frac{225}{\sqrt{3} \cdot 72} = 1.8 \text{ ომი};$$

როტორის გრაგნილის წინაღობა

$$r_0 = R_n S_n = 1.8 \cdot 0.03 = 0.054 \text{ ომი};$$

როტორის წრედში მიერთებული რეოსტატის წინააღმდეგობა

$$R_R = 0.025 \cdot R_{2n} = 0.025 \cdot 1.8 = 0.045 \text{ ომი};$$

მაქსიმალური სრიალის მნიშვნელობა ხელოვნურ მახასიათებელზე, რომელიც შეესაბამება როტორის წრედში მიერთებულ  $R_R$  წინაღობას

$$S_{mR} = S_{m0} \left( 1 + \frac{R_R}{R_{20}} \right) = S_{m0} \left( 1 + \frac{k_R}{S_n} \right) = 0.15 \left( 1 + \frac{0.025}{0.03} \right) = 0.275.$$

რეოსტატული მექანიკური მახასიათებლის ასაგები ფორმულა

$$M_R = \frac{2M_m S_{mR}}{S_{mR}^2 + S^2} S = \frac{2 \cdot 806 \cdot 0.275}{0.275^2 + S^2} S,$$

ამამუშავებელი მომენტის მნიშვნელობა ამ მახასიათებელზე ( $S = 1$ ),

$$M_{R0} = \frac{2 \cdot 768 \cdot 0.275}{0.275^2 + 1} \cdot 1 \approx 412 \text{ ნმ}.$$

ხელოვნური მექანიკური მახასიათებლის ასაგებად, როდესაც ხაზური ძაბვის მნიშვნელობა შემცირდება

$\frac{U_1}{U_{1n}} = 0.85$  -ჯერ და მაქსიმალური მომენტის მნიშვნელობა-

$0.85^2$  -ჯერ, ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს ( $k_u = 0.85$ )

$$M_U = 0.85^2 \cdot M = 0.85^2 \cdot \frac{2M_m S_m}{S_m^2 + S^2} S \text{ ნმ}.$$

ამამუშავებელი მომენტის მნიშვნელობა ( $S = 1$ ),

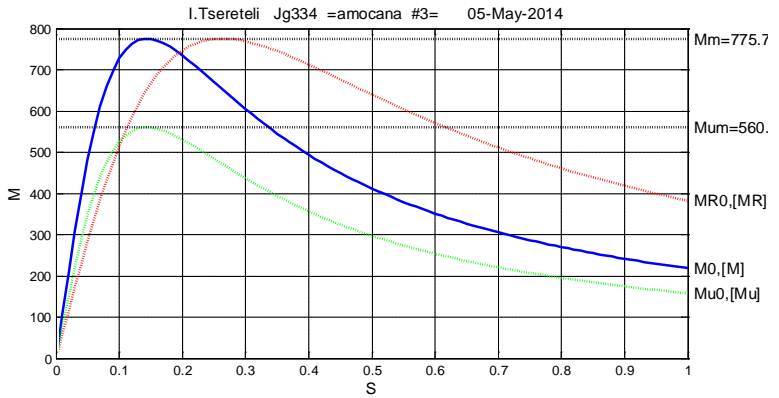
$$M_{U_0} = 0.85^2 \cdot M_0 = 0.85^2 \cdot 236.2 = 170.7 \text{ მძ.}$$


---

მექანიკური მახასიათებლების ასაგებად, სამივე შემთხვევაში გამოვიყენოთ დაპროგრამების სისტემა

MATLAB-ი.

```
>> Gv=input('Input name ','s');sname=' Jg';
Jg=input('Input # group','s');
Pn=input('Pn='); nn=input('nn='); bn=input('bn=');
U2n=input('U2n='); I2=input('I2=');
% Pn=30; nn=970; I1n=67;U2n=225; I2n=72; bn=2.5;
Mn=1.05*9555*Pn/nn; Mm=bn*Mn; n0=3000/round(3000/nn);
Sn=1-nn/n0; Sm0=Sn*(bn+(bn^2-1)^0.5); R2n=U2n/1.73/I2n;
R2=Sn*R2n; RR=.025*R2n; SmR=Sm0*(1+.025/Sn); S=0:.01:1;
Ms=0.0001; M=2*Mm*Sm0*S./(Sm0.^2+S.^2); Mu=.85^2*M;
M0=2*Mm*Sm0*1/(Sm0.^2+1); Mum=.85^2*Mm; Mu0=.85^2*M0;
MR=2*Mm*SmR*S./(SmR.^2+S.^2); Mm0=Mm+Ms*sin(S);
MR0=2*Mm*SmR*1/(SmR.^2+1); M00=M0+Ms*sin(S);
Mum0=Mum+Ms*sin(S); Mu00=Mu0+Ms*sin(S);
MR00=MR0+Ms*sin(S);
plot(S,M,'b-
',S,MR,'r:',S,Mu,'g:',S,Mm0,'k:',S,Mum0,'k:', 'LineWidth',2); grid;
h=text(1.01,Mm,['Mm=',num2str(Mm,'%9.2f')], 'FontSize',12);
h=text(1.01,Mum,['Mum=',num2str(Mum,'%9.2f')], 'FontSize',12);
h=text(1.01,M0,'M0,[M]', 'FontSize',12);
h=text(1.01,Mu0,'Mu0,[Mu]', 'FontSize',12);
h=text(1.01,MR0,'MR0,[MR]', 'FontSize',12);
ylabel('M','FontSize',12); xlabel('S','FontSize',12);
title([Gv, sname, Jg, ' =amocana #3= ', date], 'FontSize',12);
```



ამოცანა №3

#### ამოცანა №4

სამუშაო ცვლადი დენის ფაზურ-როტორიანი ასინქრონული ძრავასათვის, რომლის კატალოგური მონაცემებია:

ნომინალური სიმძლავრე  $-P_n = 30$  კვტ;

ნომინალური ძაბვა  $-U_{1n} = 380$  ვ;

როტორის ნომინალური ძაბვა  $-U_{2n} = 255$  ვ;

როტორის ნომინალური დენი  $-I_{2n} = 72$  ა;

ნომინალური გადატვირთვის კოეფიციენტი  $-b_n = \frac{M_m}{M_n} = 2.5$ ;

ნომინალური ბრუნთა რიცხვი  $-n_n = 970$  ბრ/წთ.

სტატიკური დატვირთვა ძრავას ლილვზე  $-M_{st} = 0.75 \cdot M_n$ .

გამოვითვალთ ძრავას ამამუშავებელი წინაღობის სიდიდეებს.

ნომინალური ბრუნთა რიცხვის შესაბამისი სტანდარტული ასინქრონული ბრუნთა რიცხვი

$$n_0 = 3000 / \text{round}(3000 / n_n) = 3000 / \text{round}(3000 / 970) = 1000$$

სრიალის ნომინალური მნიშვნელობა

$$S_n = 1 - \frac{n_n}{n_0} = 1 - \frac{970}{1000} = 0.03;$$

სრიალის მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$S_{m0} = S_n \left( b_n + \sqrt{b_n^2 - 1} \right) = 0.03 \left( 2.5 + \sqrt{2.5^2 - 1} \right) = 0.1437 ;$$

მომენტის ნომინალური სიდიდე

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n} = 9550 \frac{30}{970} \approx 296 \text{ ნმ};$$

მომენტის მაქსიმალური სიდიდე

$$M_m = b_n M_n = 2.5 \cdot 296 = 740 \text{ ნმ};$$

მივიღოთ, რომ სტატიკური მომენტის სიდიდე

$$M_{st} = 0.75 \cdot M_n = 0.75 \cdot 296 = 222 \text{ ნმ};$$

$M_2$  გადართვის მომენტის მნიშვნელობა აიღება სტატიკურზე (15...20)%- ით მეტი

$$M_2 = 1.15 \cdot M_{st} = 1.15 \cdot 222 \approx 255 \text{ ნმ};$$

შესაბამისი გადატვირთვის კოეფიციენტი

$$b_2 = \frac{M_m}{M_2} = \frac{740}{255} = 2.9 \text{ ნმ};$$

მისი კოეფიციენტი

$$a_2 = b_2 - \sqrt{b_2^2 - 1} = 2.9 - \sqrt{2.9^2 - 1} = 0.178 .$$

ამამუშავებელი მომენტის ( $M_0$ ) მნიშვნელობად მივიღოთ

$$M_0 = 1.2 M_n = 1.2 \cdot 296 \approx 355 \text{ ნმ};$$

შესაბამისად,

$$b_0 = \frac{M_m}{M_0} = \frac{740}{355} = 2.085.$$

მაშინ, ამამუშავებელი მომენტის გადატვირთვის კოეფიციენტი

$$b_1 = \frac{b_0^2}{b_2} = \frac{2.085^2}{2.9} = 1.5;$$

მისი კოეფიციენტი

$$a_1 = b_1 - \sqrt{b_1^2 - 1} = 1.5 - \sqrt{1.5^2 - 1} = 0.382.$$

ამამუშავებელი საფესურების რაოდენობა

$$z = \text{round} \left[ \frac{\lg \left( \frac{1}{a_1 S_{m0}} \right)}{\lg \left( \frac{a_1}{a_2} \right)} \right] = \text{round} \left[ \frac{\lg \left( \frac{1}{0.382 \cdot 0.1437} \right)}{\lg \left( \frac{0.382}{0.178} \right)} \right] = 4;$$

z-ის ამ მნიშვნელობისათვის  $a_1$  იანგარიშება

$$a_1 = \left( \frac{a_2^z}{S_{m0}} \right)^{\frac{1}{z+1}} = \left( \frac{0.178^4}{0.1437} \right)^{\frac{1}{4+1}} = 0.371.$$

b კოეფიციენტის მნიშვნელობა

$$b = \frac{a_1}{a_2} = \frac{0.371}{0.178} = 2.0843.$$

ბუნებრივი და ხელოვნური მახასიათებლები აიგება ფორმულით

$$M = \frac{2M_m (S_{m0} b^z)}{(S_{m0} b^z)^2 + S^2} S = \frac{2 \cdot 740 \cdot (0.1437 \cdot 1.2082^z)}{(0.1437 \cdot 1.2082^z)^2 + S^2} S.$$

როცა  $z = 0$ , აიგება ბუნებრივი მახასიათებელი, ხოლო როცა  $z = 1 \dots 4$  - შესაბამისი ხელოვნური მახასიათებელი.

როტორის ნომინალური წინაღობა

$$R_n = \frac{U_{2n}}{\sqrt{3} I_{2n}} = \frac{255}{\sqrt{3} \cdot 72} = 2.047 \text{ ომი},$$

როტორის ფაზის წინაღობა

$$r_0 = R_n S_n = 2.047 \cdot 0.03 = 0.0614 \text{ ომი},$$

როტორის წრედში ყოველ საფეხურზე მიერთებული წინაღობა

$$R_z = r_0 \cdot b^z = 0.0614 \cdot 1.2082^z,$$

თითოეული საფეხურის წინაღობა

$$\begin{aligned} r_z &= R_z - R_{z-1} = r_0 (b - 1) b^{z-1} = \\ &= 0.0614 \cdot (1.2082 - 1) \cdot 1.2082^{z-1} = 0.01278 \cdot 1.2082^{z-1} \end{aligned}$$

მექანიკური მახასიათებლების ასაგებად და წინაღობათა გასაანგარიშებლად გამოვიყენოთ დაპროგრამების სისტემა MATLAB-ი

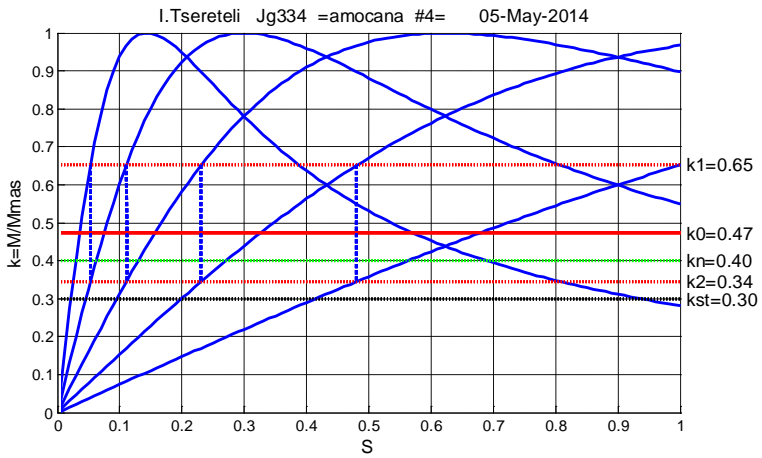
```
>> Gv=input('Input name ','s');sname=' Jg'; Jg=input('Input # group','s');
```



```

Pn=input('Pn=');U2=input('U2='); l2=input('l2='); bn=input('bn =');
nn=input('nn=');
% Pn=30; U2=255; l2=72; bn =2.5; nn=970;
n0=3000/round((3000/nn)); Sn=1-nn/n0; Sm0=Sn*(bn+(bn^2-
1)^0.5); Wn=pi*nn/30;
W0=pi*n0/30; Mn=Pn*1000/Wn; Mst=0.75*Mn; Mm=bn*Mn;
M2=1.15*Mst; b2=Mm/M2;
a2=b2-(b2^2-1)^0.5; M0=1.2*Mn; b0=Mm/M0; b1=b0^2/b2; a1=b1-
(b1^2-1)^0.5;
Z0=log(1/a1/Sm0)/log(a1/a2); Z= ceil(Z0);
a1=(a2^Z/Sm0)^(1/(Z+1)); b1=(a1^2+1)/2/a1;
M1=Mm/b1; M0=(M1*M2)^0.5; Rr0=U2*Sn/(3)^.5/l2; b=a1/a2;
disp(sprintf('Z=%g',Z));
for n=0:Z; Rr=Rr0*b^n; disp(sprintf('R%g=%g',n,Rr)); end,
kst=Mst/Mm; kn=Mn/Mm;
k2=M2/Mm; k0=M0/Mm; k1=M1/Mm; disp([sprintf('
Z=%g',Z),sprintf(' Mm=%g',Mm)]);
for n=0:Z; S=0:.01:1; kst0=kst+0.0001*sin(S);
k20=k2+0.0001*sin(S);
k10 = k1+0.0001*sin(S); k00=k0+0.0001*sin(S);
kn0=kn+0.0001*sin(S);
Sm0ax=Sm0*b^n; k=2*Sm0ax*S./(Sm0ax.^2+S.^2); hold on,
plot(S,k,'b-',S,kst0,'k:',S,k20,'r:',S,k10,'r:', S,k00,'r-', S,kn0, 'g:',
'LineWidth', 2); grid;
ylabel('k=M/Mmas','FontSize',12); xlabel('S','FontSize',12);
for n=0:Z-1;S10=Sm0*(b1-(b1^2-1)^.5); S1x=S10*b^n;
x=0:.0001:.0002;
y00=k1+(k2-k1)/0.0002*x; hold on, plot(S1x+x,y00,'b-
','LineWidth',2); end;end;
text(1.01,k1,['k1=',num2str(k1,'%9.2f')],'FontSize',12);
text(1.01,k0,['k0=',num2str(k0,'%9.2f')], 'FontSize',12);
text(1.01,k2,['k2=',num2str(k2,'%9.2f')], 'FontSize',12);
text(1.01,kn,['kn=',num2str(kn,'%9.2f')], 'FontSize',12);
text(1.01,kst,['kst=',num2str(kst,'%9.2f')], 'FontSize',12);
title([Gv, sname, Jg, ' =amocana #4= ', date],'FontSize',12);

```



ამოცანა №4

## საკურსო სამუშაო I

ორბოლოიანი საშახტო ჯალამბრის ამუშავების რეჟიმის გაანგარიშება.

მოძრაობის ამსახველ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემაში

$$\begin{cases} a_{11}\ddot{x} = F_0 - c(x - y); \\ a_{22}\ddot{y} = c(x - y). \end{cases}$$

შემავალი პარამეტრების განსაზღვრისათვის, ჩავატაროთ გაანგარიშება.

წინასწარი საჭირო მონაცემებია:

1. დახრილი გამონამუშევრის სიგრძე -  $L_0 = 420$  მ;
2. გამონამუშევრის დახრის კუთხე -  $\alpha = 25^\circ$  ;
3. საათობრივი მწარმოებლობა -  $A_h = 200$  ტ/სთ.

1. სკიპის ტონაჟის შერჩევა

ორსკიპიანი აწევის დროს, სკიპის ტვირთის უხელსაყრელესი მასა გამოითვლება ფორმულით

$$m_0 = \frac{4\sqrt{L\theta} +}{3.6} A_h = \frac{4\sqrt{420 + 12}}{3.6} 200 \approx 5221 \text{ კგ,}$$

სადაც  $\theta = 10 \dots 12$  წმ პაუზის ხანგრძლივობაა და აიღება სკიპის ტონაჟის მიხედვით:

გამონამუშევრის დახრის კუთხისა და გაანგარიშებული მასის მიხედვით I დანართიდან შევარჩიოთ სკიპი, რომლის ტვირთამწეობაა  $m_0 = 6000$  კგ, ხოლო საკუთარი

მასა -  $m_{sk} = 4322$  კგ.

შენიშვნა: დიდი მწარმოებლობის დროს შესაძლოა დაგვეჭირდეს რამდენიმე სკიპის არჩევა

2. ამწევი ბაგირის შერჩევა

ერთი მეტრი ბაგირის მასა გამოითვლება შემდეგნაირად

$$m_{or} = \frac{(m_0 + m_{sk}) \sin \alpha}{L' - L_r (\sin \alpha + \cos \alpha)} = \frac{(6000 + 4322) \sin 25}{2487 - 440(\sin 25 + 0.3 \cos 25)} \approx 2 \text{ კგ/მ},$$

სადაც  $w_r \approx 0.3$  ბაგირის მიმართველ გორგოლაჭებზე მოძრაობის წინააღობის კოეფიციენტი;  $L' = 2487$  მ – ბაგირის მტკიცე სიგრძე;  $L_r = L_0 + 20 = 420 + 20 = 440$  მ – ბაგირის სრული სიგრძე.

II დანართიდან ბაგირი შევირჩიოთ შემდეგი მონაცემების მიხედვით:

ბაგირის ერთი მეტრი მასა  $m_{or} = 2.13$  კგ/მ;

ბაგირის დიამეტრი  $d_r = 23.5$  მმ;

ბაგირის კვეთის ფართობი  $s_r = 216$  მმ<sup>2</sup>;

ბაგირის გამგლეჯი ძალა  $T_r = 277000 \text{ ნ} = 277$  კნ;

ბაგირის მთლიანი მასა  $m_r = m_{or} L_r = 2.13 \cdot 440 \approx 937$  კგ.

3. ბაგირის სიხისტის კოეფიციენტი

გორგოლაჭებს შორის მაქსიმალური დაშორება იმი-

სათვის, რომ ბაგირი არ შეეხოს ზედაპირს, იანგარიშება შემდეგი სახით:

$$l_0 = \sqrt{\frac{2.4(m_{sk} + 0.5 \cdot m_r)}{m_{0r}} \operatorname{tg} 25^\circ}$$

$$= \sqrt{\frac{2.4(4322 + 0.5 \cdot 937)}{2.13}} \operatorname{tg} 25^\circ = 50.17 \text{ მ};$$

გორგოლაჭების რაოდენობა

$$n = \operatorname{round}\left(\frac{L_0}{l_0}\right) = \operatorname{round}\left(\frac{420}{50.17}\right) = 8;$$

გორგოლაჭებს შორის ბაგირის სიხისტის კოეფიციენტის ვერტიკალური შემდეგნი გამოითვლება

$$C_V = \frac{E_r s_r}{l_0} = \frac{2.1 \cdot 10^5 \cdot 216}{50.17} = 904126 \text{ ნ/მ};$$

ხოლო ჰორიზონტალური

$$C_H = \frac{12H_r^3}{l_0(m_{0r}g l_0)^2 \cos \alpha} =$$

$$= \frac{12 \cdot 46631^3}{50.17 \cdot (2.13 \cdot 9.81 \cdot 50.17)^2 \cdot \cos 25^\circ} = 24350069 \text{ ნ/მ}.$$

აქ,

$$H_r = (m_0 + m_{sk} + m_r) g \sin 25^\circ$$

$$= (6000 + 4322 + 937) \cdot 9.8 \cdot \sin 25^\circ = 46631 \text{ ნ};$$

$$E_r = 2.1 \cdot 10^5 \text{ - ბაგირის დრეკადობის მოდული, ნ/მმ}^2;$$

გორგოლაჭებს შორის ბაგირის სრული სიხისტის კოეფი-

ციენტო

$$C_0 = \frac{C_V C_H}{C_V + C_H} = \frac{904126 \cdot 24350069}{904126 + 24350069} \approx 871757 \text{ ნ/მ},$$

ბაგირის მთლიანი სიხისტის კოეფიციენტი

$$C = \frac{C_0}{n} = \frac{871757}{8} = 108970 \text{ ნ/მ}.$$

4. სტატიკური დაჭიმულობა ამძრავ დოლზე. ჯალამბრისა და ძრავას შერჩევა.

$$Q = [(m_0 + m_r) \sin \alpha + 937 \cdot 0.3 \cdot \cos 25^\circ] g = \\ = [(6000 + 937) \sin 25^\circ + 937 \cdot 0.3 \cdot \cos 25^\circ] 9.81 \approx 31.26 \text{ კნ}$$

III დანართიდან, აწევის სიმაღლის, ბაგირის დიამეტრისა და სტატიკური დაჭიმულობის მიხედვით შევარჩიოთ ჯალამბარი

ტიპი 2ЛТ;

დოლების რაოდენობა - 2;

დოლის დიამეტრი -  $D_j = 1.2 \text{ მ}$ ;

დოლის სიგანე -  $B = 1.0 \text{ მ}$ ;

უდიდესი სტატიკური დაჭიმულობა -  $F_{st} = 35 \text{ კნ}$ ;

ბაგირის აწევის სიგრძე -  $L_0 = 475 \text{ მ}$ ;

დოლზე ბაგირის მაქსიმალური სიჩქარე -  $V_m = 2 \text{ მ/წმ}$ ;

ჯალამბრის დაყვანილი მასა -  $m_j = 9600 \text{ კგ}$ .

ამძრავი ძრავას სიმძლავრე -  $P_n = 80 \text{ კვტ}$ ;

ამძრავი ძრავას ბრუნთა რიცხვი -  $n_n = 960$  ბრ/წ.

5. ამუშავების პროცესი

განტოლებაში შემავალი პარამეტრები:

$$m_1 = m_j + m_{sk} = 9600 + 4322 = 13922 \text{ კგ};$$

$$m_2 = m_0 + m_{sk} = 6000 + 4322 = 10322 \text{ კგ};$$

$$a_{11} = m_1 + \frac{1}{2}m_R = 13922 + \frac{1}{2}937 \approx 14390 \text{ კგ};$$

---

$$a_{22} = m_2 + \frac{1}{2}m_R = 10322 + \frac{1}{2}937 \approx 10790 \text{ კგ};$$

---

სისტემის საშუალო აჩქარების მნიშვნელობად მივიღოთ  $a_0 = 0.75$  მ/წმ<sup>2</sup>, მაშინ  $F_{mot}$  ძალის მნიშვნელობა იქნება

$$F_{mot} = a_0 (a_{11} + a_{22}) + Q = \\ = 0.75(14390 + 10790) + 31260 = 50145 \text{ ნ.}$$

საბოლოოდ, 
$$\begin{cases} a_{11}\ddot{x} = F_0 - c(x - y); \\ a_{22}\ddot{y} = c(x - y). \end{cases}$$

განტოლებათა სისტემა ასე გადაიწერება:-

$$\begin{cases} 14390 \cdot \ddot{x} = 18885 - 108970(x - y); \\ 10790 \cdot \ddot{y} = 108970(x - y), \end{cases}$$

სადაც  $F_0 = F_{mot} - Q = 50145 - 31260 = 18885$  ნ, სისტემაზე მოდებული ძალის დინამიკური შემდგენია.

მათემატიკური გამოთვლებისა და გრაფიკული აგებ-  
ბის გამარტივების მიზნით, გამოვიყენოთ დაპროგრამების  
სისტემა MATLAB-ი.

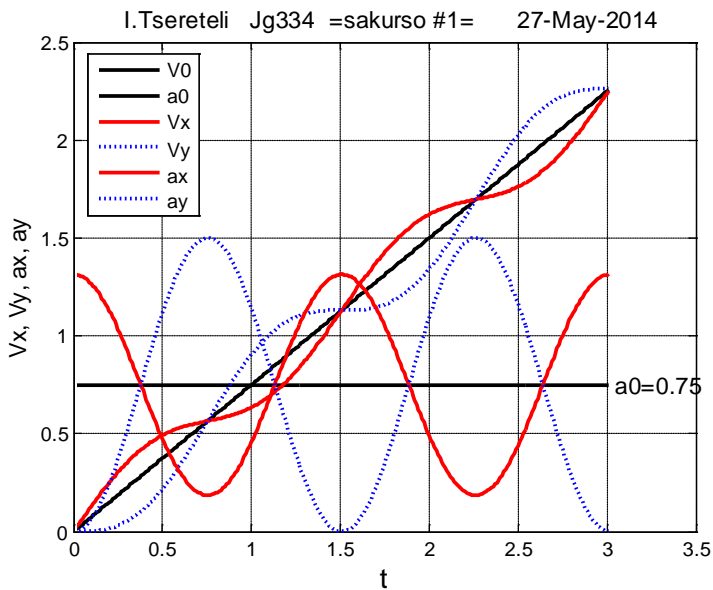
```
>> Gv=input('Input name ','s');sname=' Jg'; Jg=input('Input #
group','s');
L0=input( 'L0 ='); alfagr=input( 'alfagr ='); A0=input( 'A0 =');
% L0=420; alfagr=25; A0=200;
alfa=pi/180*alfagr; g=9.81; m0=(4*(L0)^.5+12)*A0/3.6; Lr=L0+20;
Er=2.1*10^5; j=.75;
m01=[2000, 3000, 4000, 6000]; n=min(find(m01>=m0));
m0=m01(n);
msk1=[2553, 3011, 3086, 4422]; msk=msk1(n);
Vm=0.32*(j*L0)^.5;
m0r=(m0+msk)*sin(alfa)/(2487-Lr*(sin(alfa)+0.3*cos(alfa)));
mr=[.3835,0.513,.6965,.812,1.045,1.245,1.52,1.83,2.13,2.495,2.8,3.
215,3.655,4.155,4.55];
n=min(find(mr>=m0r)); m0r=mr(n);
d0r=[9.7,11.5,13.5,15,16.5,18,20,22,23.5,25.5,27,29,31,33,34.5];
dr=d0r(n);
s0r=[38.82,51.96,70.55,82.16,105.73,125.78,154,185,216,252.5,284
,325.4,370,421,461];
sr=s0r(n); mr=m0r*Lr; l0=(2.4*(msk+0.5*mr)*tan(alfa)/m0r)^0.5;
Hr=(m0+msk+mr)*g*sin(alfa); Cv=Er*sr/l0;
Ch=12*Hr^3/((m0r*g*l0)^2*l0*cos(alfa));
nnn=round(L0/l0); C0=Cv*Ch/(Cv+Ch); C=C0/nnn;Ms=.001;
Q00=g*((m0+mr)*sin(alfa)+0.3*mr*cos(alfa))/1000; Q0=[25,35,40];
n=min(find(Q0>=Q00)); Q=Q0(n); mj0=[9200,9600,10450];
mj=mj0(n);
m1=mj+msk; m2=m0+msk; a11=m1+mr/2; a22=m2+mr/2;
Smm=m1+m2+mr; a0=.75;
Fm0t=a0*Smm+Q00; w=((a11+a22)*C/(a11*a22))^0.5; T0=2*pi/w;
uu=2; t=0:0.01:uu*T0;
a00=a0+Ms*sin(t); V0=a0*t; ax=a0*(1+(a22*w^2-C)/C*cos(w*t));
ay=a0*(1-cos(w*t));
Vx=a0*(t+(a22*w^2-C)/C/w*sin(w*t)); Vy=a0*(t-1/w*sin(w*t));
plot(t,V0,'k-',t,a00,'k-',t,Vx,'r-',t,Vy,'b-',t,ax,'r-
',t,ay,'b-','LineWidth',2); grid;
xlabel('t','FontSize',14); ylabel('Vx, Vy, ax, ay','FontSize',12);
```



```

legend('V0','a0','Vx','Vy','ax','ay',2);
h=text(1.01*uu*T0,a0,['a0=',num2str(a0,'%9.2f')], 'FontSize',12);
title([Gv, sname, Jg, ' =sakurso #1= ', date],'FontSize',12);

```



## საკურსო სამუშაო II

ერთმალიანი, ორვაგონიანი ქანქარასებრი კიდული სამგზავრო ბაგირგზის ამუშავების რეჟიმის გაანგარიშება

ბაგირგზის მუდმივ სიდიდეებად მიღებული ძირითადი პარამეტრები და მათი განზომილების ერთეულები

$f_0 = 0.06$  - ვაგონის სარელსო ბაგირზე მოძრაობის წინაღობის კოეფიციენტი;

$t_0 = 200$  -საწვევი ბაგირის ერთი შტოს მოძრაობის წინაღობის მნიშვნელობა, ნ;

$E_r = (1.6...2.1) \cdot 10^5$  - ფოლადის მავთულის დრეკადობის მოდული, ნ/მმ<sup>2</sup>;

$m_E$  - ცარიელი ვაგონის მასაა კგ;

$m_C \approx \frac{2}{3} m_E$  - სავალი ურიკის (კარეტის) მასა, კგ;

$m_{EC} = m_E + m_C$  - ცარიელი ვაგონის მასა ურიკით (კარეტით), კგ;

$N$  - მგზავრთა რაოდენობა ვაგონში;

$m_q \approx 80$  - ერთი მგზავრის სავარაუდო მასა ვაგონში, კგ;

$m_{FC} = m_{EC} + N \cdot m_q$  - სავსე ვაგონის მასა ურიკით, კგ;

$k = 12$  - ე.წ. “გრძელვადიანობის” კოეფიციენტი;

$q_1, q_2$  - ერთი მეტრი სარელსო და საწვევი ბაგირების წონა, ნ/მ;

$n_1 = 3.3, n_2 = 4.5$  - სარელსო და საწვევი ბაგირების მარაგის კოეფიციენტები;

$\alpha_{1,2} = 0.82 \dots 0.9$  - ბაგირის მავთულების დატვირთვის უთანაბრობის კოეფიციენტი;

$S_1 = 1200 \dots 1900, S_2 = 1400 \dots 2200$  - სარელსო და საწვევი ბაგირების სიმტკიცის ზღვარი გაგლეჯაზე, ნ/მ<sup>2</sup>;

$s_1, s_2$  - სარელსო და საწვევი ბაგირების ლითონის კვეთი, მმ<sup>2</sup>;

$g_1 = \frac{q_1}{s_1} \approx 0.085, g_2 = \frac{q_2}{s_2} \approx 0.095$  - სარელსო და საწვევი ბაგირების ფიქტობრივი მოცულობითი წონა, ნ/მ<sup>3</sup>;

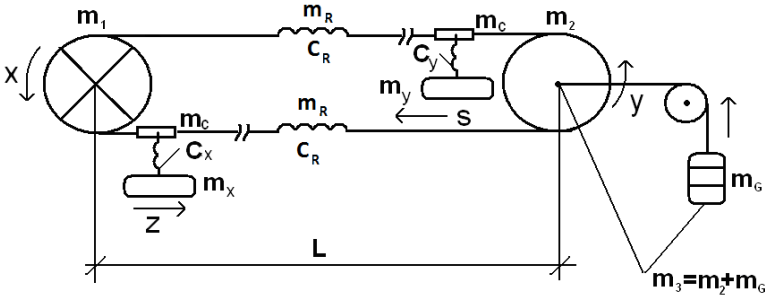
$T_1 = 0.85 \cdot S_1 \cdot s_1, T_2 = 0.9 \cdot S_2 \cdot s_2$  სარელსო და საწვევი ბაგირების გამგლეჯი ძალა, ნ;

$$T_{1\max} = \frac{T_1}{n_1} = \frac{0.85 \cdot S_1 \cdot q_1}{g_1 \cdot n_1} = b_1 q_1, T_{2\max} = \frac{T_2}{n_2} = \frac{0.9 \cdot S_2 \cdot q_2}{g_2 n_2} = b_2 q_2 -$$

სარელსო და საწვევი ბაგირების დაჭიმულობის დასაშვები მაქსიმალური მნიშვნელობა, ნ;

$b_1 = \frac{0.85 \cdot S_1}{g_1 n_1}, b_2 = \frac{0.9 \cdot S_2}{g_2 n_2}$  - მაქსიმალურ ძალთა კოეფიციენტები, მ;

საანგარიშო სამგზავრო ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზა ერთმალიანია, ორვაგონიანი. საანგარიშო კინემატიკურ სქემას შესაძლოა ასეთი შემდეგი სახე ჰქონდეს:



სადაც  $m_1$  არის ამძრავი ძრავას, რედუქტორისა და მიმართველი შიკვების მასა, დაყვანილი ამძრავ შიკვზე;  $m_2$  - დამჭიმი და მიმართველი შიკვების მასათა ჯამი;  $m_G$  - საწვეი ბაგირის დამჭიმი ტვირთი;  $m_3 = m_2 + m_G$  - დამჭიმი შიკვისა და ტვირთის ჯამი;  $m_R$  - საწვეი ბაგირის ერთი შტოს მასა;  $m_x$  და  $m_y$  ბაგირგზის სამგზავრო ვაგონების მასები;  $m_C$  - სამგზავრო ვაგონის ურიკის (კარეტის) მასა;  $m_R$  და  $C_R$  - საწვეი ბაგირის ერთი შტოს მასა და სიხისტის კოეფიციენტი;  $x$ ,  $y$ ,  $z$  და  $s$  შესაბამისად  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_x$  და  $m_y$ -მასების გადაადგილება.

როგორც ლიტერატურიდანაა ცნობილი, საწვეი ბაგირის დამჭიმი ტვირთი  $m_3$  ამუშავების პროცესში მონაწი-

ღეობას არ ღებულობს და ბაგირგზის ამუშავების დიფ-განტოლღებათა სისტემას ასეთი სახე აქვს [3]:

$$\begin{cases} a_{11}\ddot{x} = F_0 - 2C_R(x-y) - C_x(x-z); \\ a_{22}\ddot{y} = 2C_R(x-y) - C_y(y-s); \\ m_x\ddot{z} = C_x(x-z); \\ m_y\ddot{s} = C_y(y-s). \end{cases}$$

სადაც  $C_x = \frac{m_x g}{h_w} = m_x w_w^2$  და  $C_y = \frac{m_y g}{h_w} = m_y w_w^2$  ე.წ. ვაგონის “სიხისტის” კოეფიციენტი;  $h_w$  - ვაგონის ჩამოკიდების სიგრძე, ანუ მანძილი ვაგონისა და ურიკის სიმძიმის ცენტრებს შორის;  $w_w = \sqrt{\frac{g}{h_w}}$  - ვაგონის რხევის სიხშირე;

$F_0 = j_1(a_{11} + a_{22} + m_x + m_y)$  - სისტემაზე მოღებული ძალის დინამიკური შემღგენი;

$a_{11} = m_1 + m_R + m_C$  კბ და  $a_{22} = m_2 + m_R + m_C$  კბ -

მასების კოეფიციენტები.

ყოველივე ამის გათვალისწინებით, განტოლღებათა სისტემა მიიღებს სახეს:

$$\begin{cases} a_{11}\ddot{x} = F_0 - 2C_R(x-y) - m_x w_w^2(x-z); \\ a_{22}\ddot{y} = 2C_R(x-y) - m_y w_w^2(y-s); \\ \ddot{z} = w_w^2(x-z); \\ \ddot{s} = w_w^2(y-s). \end{cases}$$

განტოლებათა სისტემაში შემავალი კოეფიციენტების გამოსათვლელად გავიანგარიშოთ ბაგირგზის პარამეტრები.

წინასწარი მონაცემებია:

$L = 960$  - გზის ჰორიზონტალური სიგრძე, მ;

$h = 80$  - სადგურებს შორის დონეთა სხვაობა, მ;

$b = \arctg\left(\frac{h}{L}\right) = \arctg\left(\frac{80}{960}\right) = 0.083$  - ბაგირგზის ე.წ. სავი-

ზირო კუთხე;

$m_E = 600$  - ცარიელი ვაგონის მასა, კგ;

$N = 25$  - მგზავრების რაოდენობა ვაგონში;

$m_C \approx \frac{2}{3}m_E = \frac{2}{3}600 = 400$  - ვაგონის ურიკის მასა, კგ;

$h_w = 2.5$  - ვაგონის ჩამოკიდების სიგრძე, მ;

$w_w = \sqrt{\frac{g}{h_w}} \approx \sqrt{\frac{10}{2.5}} = 2$  - ვაგონის რხევის სიხშირე, 1/წმ;

$m_q \approx 80$  - ერთი მგზავრის მასა, კგ;

$m_{EC} = m_E + m_C = 600 + 400 = 1000$  - ცარიელი ვაგონის მასა ურიკით, კგ;

$m_{FC} = N \cdot m_q + m_{EC} = 25 \cdot 80 + 1000 = 3000$  - სავსე ვაგონის მასა ურიკით, კგ.

$Q_{EC} = g \cdot m_{EC} \approx 10 \cdot 1000 = 10000$  - ცარიელი ვაგონის წონა ურიკით, ნ;

$Q_{FC} = g \cdot m_{FC} \approx 10 \cdot 3000 = 30000$  - სავსე ვაგონის წონა ურიკით, ნ.

ანქარებისა და შენელების სიდიდედ მივიღოთ  $j_1 = j_3 = 0.6$  მ/წმ<sup>2</sup>, მაშინ მაქსიმალური სიხქარის საორიენტაციო მნიშვნელობა იქნება

$$V_m = 0.32 \sqrt{2 \frac{j_1 j_3}{j_1 + j_3} L} \approx 0.32 \sqrt{0.6 \cdot 960} \approx 7.68 \text{ მ/წმ.}$$

იანგარიშება ერთი მეტრი სარეღსო ბაგირის წონა [3]; მუდმივი სიდიდეების მნიშვნელობად მიღებულია, რომ

$$k = 12; \quad S_1 = 1400 \text{ ნ/მ}^2; \quad g_1 = \frac{q_1}{S_1} \approx 0.085 \text{ ნ/მ}^3; \quad n_1 = 3.3;$$

$$b_1 = \frac{0.85 \cdot S_1}{g_1 n_1} = \frac{0.85 \cdot 1400}{0.085 \cdot 3.3} \approx 4242 \text{ მ, მაშინ}$$

$$h_0 = 0.00017202 \cdot L^2 - 0.0059186 \cdot L + 21.235 = \\ = 0.00017202 \cdot 960^2 - 0.0059186 \cdot 960 + 21.235 = 174.1 \text{ მ.}$$

ერთი მეტრი სარეღსო ბაგირის წონა

$$q_1 = \frac{k Q_{FC}}{b_1 - \frac{L}{4k} - h} = \frac{12 \cdot 30000}{4242 - \frac{960}{4 \cdot 12} - 80} = 86.92 \text{ ნ/მ;}$$

შენიშვნა: თუკი მოცემული  $h$ -ის მნიშვნელობა  $h \geq h_0$ , მაშინ  $q_1$ -ის ფორმულაში ნაცვლად  $h$ -ისა, ჩაისმება  $h_0$ .

VI დანართიდან შეირჩევა სტანდარტული ბაგირი: გრძივი მეტრის წონა -  $q_1 = 96$  ნ/მ;

ბაგირის დიამეტრი -  $d_1 = 40.5$  მმ;

ბაგირის ლითონის კვეთი -  $s_1 = 1135$  მმ<sup>2</sup>;

ჯამური გამგლეჯი ძალა -  $T_1 = 1589$  კნ;

$b_1$ -ის რეალური მნიშვნელობა

$$b_1 = \frac{T_1}{n_1 q_1} = \frac{1589000}{3.3 \cdot 96} \approx 5016 \text{ მ};$$

სარელსო ბაგირის დამჭიმო ტვირთის წონა

$$G_1 = q_1 (b_1 - h) = 96(5016 - 80) = 473856 \text{ ნ};$$

ბაგირის დაჭიმულობის კორიზონტალური შემდგენი

$$H_1 = q_1 \left( b_1 - \frac{h}{2} \right) \cos b = 96 \left( 5016 - \frac{80}{2} \right) \cos 0.083 \approx 476052 \text{ ნ};$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა

$$k_1 = \frac{1}{2H_1} \left( \frac{q_1}{\cos b} + 2 \frac{Q_{FC}}{L} \right) = \\ = \frac{1}{2 \cdot 476052} \left( \frac{96}{\cos 0.083} + 2 \frac{30000}{960} \right) = 1.6682e-4 \text{ 1/მ}.$$

სარელსო ბაგირის ჩაკიდულობის მრუდის განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს

$$y = x \operatorname{tg} b + x(L - x)k_1 = x \cdot 0.083 + x(960 - x) \cdot 1.6682e-4 ; \\ \text{ამ განტოლებით აიგება შესამისი გრაფიკი.}$$

სარელსო ბაგირზე ვაგონის ასვლის კუთხეებისა და ამპრაჟ შიგვზე ეფექტური სიმბლავრეების განსაზღვრა



ორვაგონიან ქანქარასებრ ბაგირგზაზე, ვაგონის წონის შემდგენისა და მოძრაობის წინააღმდეგობის ძალის გამოთვლისათვის, რაც საბოლოოდ ამძრავ შიკვზე მოდებული დატვირთვებისა და მათი საშუალებით ამძრავი ძრავას სიმძლავრის გასაანგარიშებლად საჭირო, განიხილავენ ორ შემთხვევას.

ბაგირგზის ამძრავი ზედა **A** სადგურშია მოთავსებული ( $k_k = 1$ ) ან ქვედა **B** სადგურში ( $k_k = 0$ ). მეორე მხრივ, განიხილავენ დატვირთული ვაგონის ასვლის კუთხეს  $a_{FB}$  ქვედა **B** სადგურთან. თუ აღმოჩნდა, რომ  $a_{FB} < 0$ , გამოითვლება მხოლოდ დატვირთული ვაგონების მოძრაობა, ანუ როდესაც დატვირთული ვაგონი მოძრაობს ზემოთკენ და დატვირთული – ქვემოთკენ. თუკი აღმოჩნდება, რომ  $a_{FB} \geq 0$ , მაშინ გამოითვლება მოძრაობის ის რეჟიმი, როდესაც დატვირთული ვაგონი მოძრაობს ზემოთკენ და ცარიელი ქვემოთკენ.

დატვირთული ვაგონის ასვლის კუთხე

$$a_F = \arctan\left[\frac{g}{L - 2 \cdot x} k_{2F}\right],$$

სადაც

$$k_{2F} = \frac{1}{2H_1} \left( \frac{q_1}{\cos b} + \frac{Q_{FC}}{L} \right) = \frac{1}{2 \cdot 476052} \left( \frac{96}{\cos 0.083} + \frac{30000}{960} \right) = 1.34e-4 \text{ 1/მ};$$

სოლო ცარიელისა -  $a_E = \text{arc}[\text{tgb} + (L - 2 \cdot x)k_{2E}]$ ,

სადაც

$$k_{2E} = \frac{1}{2H_1} \left( \frac{q_1}{\cos b} + \frac{Q_{EC}}{L} \right) = \\ = \frac{1}{2 \cdot 476052} \left( \frac{96}{\cos 0.083} + \frac{10000}{960} \right) = 1.1212e-4 \text{ 1/მ};$$

მიღებულია, რომ ვაგონის მოძრაობის დასაწყისში ზედა, **A** სადგურთან  $x=10$  მ და მოძრაობის დასასრულს, ქვედა **B** სადგურთან  $x=L-10$ ; შესაბამისად, დატვირთული ვაგონის ასვლის კუთხე **A** სადგურთან ( $x=10$  მ)  $a_{FA} = \text{arc}[\text{tgb} + (L - 2 \cdot 10)k_{2F}]$ ;

სოლო დატვირთული ვაგონის ასვლის კუთხე **B** სადგურთან ( $x=L-10$  მ)

$$a_{FB} = \text{arc}[\text{tgb} - (L - 2 \cdot 10)k_{2F}]$$

ცარიელი ვაგონის ასვლის კუთხე ზედა **A** სადგურთან ( $x=10$  მ)

$$a_{EA} = \text{arc}[\text{tgb} + (L - 2 \cdot 10)k_{2E}]$$

სოლო ცარიელი ვაგონის ასვლის კუთხე **B** სადგურთან ( $x=L-10$  მ)

$$a_{EB} = \text{arc}[\text{tgb} - (L - 2 \cdot 10)k_{2E}]$$

I. თუ  $a_{FB} < 0$  გაანგარიშება ჩატარდება დატვირთული ვაგონებისათვის:

ვაგონის წონის შემდგენისა და მოძრაობის წინააღობის ძალის ჯამი, როდესაც ვაგონი მოძრაობს **A**-დან **B**-საკენ

მოძრაობის დასაწყისში

$$t_{FAD} = Q_{FC} (\sin a_{FA} - f_0 \cos a_{FA}), \text{ ნ;}$$

მოძრაობის დასასრულს

$$t_{FBD} = Q_{FC} (\sin a_{FB} - f_0 \cos a_{FB}), \text{ ნ.}$$

როდესაც ვაგონი მოძრაობს **B**-დან **A**-საკენ

მოძრაობის დასაწყისში

$$t_{FBU} = Q_{FC} (\sin a_{FB} + f_0 \cos a_{FB}), \text{ ნ;}$$

მოძრაობის დასასრულს

$$t_{FAU} = Q_{FC} (\sin a_{FA} + f_0 \cos a_{FA}), \text{ ნ;}$$

წვევის ძალა ამძრავ შკივზე (როცა ამძრავი ქვედა **B** სადგურშია  $\mathbf{kk} = 0$ , ხოლო როდესაც ზედა **A** სადგურშია  $\mathbf{kk} = 1$ )

მოძრაობის დასაწყისში

$$F_{F1} = (-1)^{kk} \cdot (t_{FAD} - t_{FBU}) + 2t_0, \text{ ნ;}$$

მოძრაობის დასასრულს

$$F_{F2} = (-1)^{kk} \cdot (t_{FBD} - t_{FAU}) + 2t_0, \text{ ნ;}$$

ძალის ეფექტური მნიშვნელობა ამძრავ შკივზე

$$F_{\text{eIF}} = \sqrt{\frac{1}{3} (F_{F1}^2 + F_{F1}F_{F2} + F_{F2}^2)}, \text{ ნ;}$$

ამძრავი ძრავას ეფექტური სიმძლავრე

$$P_{ef} = \varphi \frac{F_{ef} V_{mr}}{\eta} 10^{-3} \text{ კვტ,}$$

სადაც  $\varphi = 1.05 \dots 1.5$  სისტემის დინამიკურობის კოეფიციენტი; დიდი მნიშვნელობა შეესაბამება მოკლე ტრასებსა და მაღალ სიჩქარეს.  $\eta = 0.9 \dots 0.92$ , მქ კოეფიციენტი ძრავასა და ამძრავ შივის შორის.

II. თუ  $a_{FB} \geq 0$ , გაანგარიშება ჩატარდება დატვირთული და ცარიელი ვაგონებისათვის:

როდესაც ცარიელი ვაგონი მოძრაობს A-დან B-საკენ

მოძრაობის დასაწყისში

$$t_{EAD} = Q_{EC} (\sin a_{EA} - f_0 \cos a_{EA}), \text{ ნ;}$$

მოძრაობის დასასრულს

$$t_{EBD} = Q_{EC} (\sin a_{EB} - f_0 \cos a_{EB}), \text{ ნ.}$$

როდესაც დატვირთული ვაგონი მოძრაობს B-დან A-საკენ

მოძრაობის დასაწყისში

$$t_{FBU} = Q_{FC} (\sin a_{FB} + f_0 \cos a_{FB}), \text{ ნ;}$$

მოძრაობის დასასრულს

$$t_{FAU} = Q_{FC} (\sin a_{FA} + f_0 \cos a_{FA}), \text{ ნ.}$$

წვევის ძალა ამძრავ შივზე

მოძრაობის დასაწყისში

$$F_{E1} = (-1)^{kk} \cdot (t_{EAD} - t_{FBU}) + 2t_0, \text{ ნ};$$

მოძრაობის დასასრულს

$$F_{E2} = (-1)^{kk} \cdot (t_{EBD} - t_{FAU}) + 2t_0, \text{ ნ};$$

ძალის ეფექტური მნიშვნელობა ამძრავ შკივზე:

$$F_{efE} = \sqrt{\frac{1}{3}(F_{E1}^2 + F_{E1}F_{E2} + F_{E2}^2)}, \text{ ნ};$$

ამძრავი ძრავას ეფექტური სიმძლავრე

$$P_{ef} = \varphi \frac{F_{efE} V_{mr}}{\eta} 10^{-3} \text{ კვტ};$$

თავიდან განვსაზღვროთ დატვირთული ვაგონის ასვლის კუთხე ქვედა, **B** სადგურთან

$$\begin{aligned} a_{FB} &= \text{arc}[\text{tg}b - (L - 2 \cdot 10)k_{2F}] = \\ &= \text{arc}[\text{tg}0.083 - (960 - 2 \cdot 10)1.34 \cdot 10^{-4}] = -0.043, \end{aligned}$$

რადგანაც  $a_{FB} < 0$  გაანგარიშება ჩატარდება I შემთხვევისათვის.

დატვირთული ვაგონის ასვლის კუთხე **A** საყრდენთან ( $x=10$  მ)

$$\begin{aligned} a_{FA} &= \text{arc}[\text{tg}b + (L - 2 \cdot 10)k_{2F}] = \\ &= \text{arc}[\text{tg}0.083 + (960 - 2 \cdot 10)1.34 \cdot 10^{-4}] = 0.209; \end{aligned}$$

ვაგონის წონის შემდგენისა და მოძრაობის წინაღობის ძალის ჯამი, როდესაც ვაგონი მოძრაობს **A** დან **B**-საკენ

მოძრაობის დასაწყისში

$$t_{FAD} = Q_{FC} (\sin a_{FA} - f_0 \cos a_{FA}) = \\ = 30000 (\sin 0.209 - 0.06 \cos 0.209) = 4463.62 \text{ ნ};$$

მოძრაობის დასასრულს

$$t_{FBD} = Q_{FC} (\sin a_{FB} - f_0 \cos a_{FB}) = \\ = 30000 (-\sin 0.043 - 0.06 \cos 0.043) = -3087.946;$$

როდესაც ვაგონი მოძრაობს **B**-დან **A**-საკენ

მოძრაობის დასაწყისში

$$t_{FBU} = Q_{FC} (\sin a_{FB} + f_0 \cos a_{FB}) = \\ = 30000 (-\sin 0.043 + 0.06 \cos 0.043) = 508.736;$$

მოძრაობის დასასრულს

$$t_{FAU} = Q_{FC} (\sin a_{FA} + f_0 \cos a_{FA}) = \\ = 30000 (\sin 0.209 + 0.06 \cos 0.209) = 7985.28 \text{ ნ};$$

წვევის ძალა ამძრავ შკივზე.

ჩვენს მაგალითში, ამძრავი ზედა, **A** სადგურშია -

$kk = 1$ , მაშინ

$$F_{F1} = (-1)^{kk} \cdot (t_{FAD} - t_{FBU}) + 2t_0 = \\ = (-1) \cdot (4463.62 - 508.73) + 2 \cdot 200 = -3554.89 \text{ ნ};$$

$$F_{F_2} = (-1)^{kk} \cdot (t_{FBD} - t_{FAU}) + 2t_0 =$$

$$= (-1) \cdot (-3087.94 - 7985.28) + 2 \cdot 200 = 11473.22 \text{ ნ},$$

$$F_{efF} = \sqrt{\frac{1}{3}(F_{F_1}^2 + F_{F_1}F_{F_2} + F_{F_2}^2)} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{3}(3554.89^2 - 3554.89 \cdot 11473.22 + 11473.22^2)} =$$

$$= 5873.27 \text{ ნ},$$

$$P_{ef} = \varphi \frac{F_{efF} V_{mr}}{\eta} 10^{-3} = 1.1 \frac{5873.27 \cdot 7.68}{0.92} 10^{-3} = 53.93 \text{ კვტ.}$$

**საწვევი ბაგირის, ამძრავი ძრავასა და რელუქტორის შერჩევა**

საწვევი ბაგირის შერჩევისათვის წინასწარ ანგარიშობენ მუდმივ სიდიდეებს -

$$b_2 = \frac{0.9 \cdot S_2}{g_2 n_2} = \frac{0.9 \cdot 1900}{0.095 \cdot 4.5} = 4000, \quad D = \frac{k_{st}}{e^{\mu\alpha} - 1} = \frac{1.75}{e^{0.2\pi} - 1} \approx 2.$$

სადაც  $k_{st} = 1.75$ , ხახუნის ამძრავ შკივზე საწვევი ბაგირის ასრიაღების საწინააღმდეგო კოეფიციენტი;  $\mu = 0.2$  და  $\alpha = \pi$  - შესაბამისად, საწვევი ბაგირის ხახუნის ამძრავ შკივზე ხახუნის კოეფიციენტი და შემოხვევის კუთხე;

განისაზღვრება ერთი მეტრი საწვევი ბაგირის წონა - როდესაც ამძრავი ზედა, **A** სადგურშია  $kk = 1$  და როდესაც ქვედა, **B** სადგურშია  $kk = 0$ )

(თუ  $kk = 1$  ჯდ  $a_{FB} \geq 0$  ან  $a_{FB} < 0$  მდმონ  $q_{21E}$  ან  $q_{21F}$ ;

თუ  $kk = 0$  ჯდ  $a_{FB} \geq 0$  ან  $a_{FB} < 0$  მდმონ  $q_{20F}$  ან  $q_{21F}$ )

I.  $kk = 1, a_{FB} \geq 0$

$$q_{21E} = \frac{D(t_{FA} - t_{EB} + 2t_0) + t_{FA} + t_0}{b_2 - h}$$

ჯდ  $a_{FB} < 0$

$$q_{21F} = \frac{2(t_{FA} - t_{FB} + 2t_0) + t_{FA} - t_{FB} + t_0}{b_2}$$

II.  $kk = 0, a_{FB} \geq 0$ -

$$q_{20E} = \frac{D(t_{FA} - t_{EB} + 2t_0) + t_{FA} - t_{EB} + t_0}{b_2}$$

ჯდ  $a_{FB} < 0$ -

$$q_{20F} = q_{21F} = \frac{2(t_{FA} - t_{FB} + 2t_0) + t_{FA} - t_{FB} + t_0}{b_2},$$

სდჯდჯ

$$\begin{aligned} t_{FA} &= Q_{FC} (\sin a_{FA} + f_0 \cos a_{FA}) = \\ &= 30000 (\sin 0.209 + 0.06 \cos 0.209) = 7985.286 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{FB} &= Q_{FC} (\sin a_{FB} - f_0 \cos a_{FB}) = \\ &= 30000 (-\sin 0.043 - 0.06 \cos 0.043) = -3087.946; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{EB} &= Q_{EC} (\sin a_{EB} - f_0 \cos a_{EB}) = \\ &= 10000 (-\sin 0.0224 - 0.06 \cdot \cos 0.0224) = -823.856. \end{aligned}$$



როდესაც  $a_{FB} < 0$ , ორივე შემთხვევაში ერთი ფორმულა გამოიყენება და ამიტომ

$$\begin{aligned}
 q_{21F} &= \frac{2(t_{FA} - t_{FB} + 2t_0) + t_{FA} - t_{FB} + t_0}{b_2} = \\
 &= \frac{2(7985.28 - (-3087.94) + 2 \cdot 200) + \rightarrow}{4000} = \\
 &= \frac{\rightarrow 7985.28 - (-3087.94) + 200}{4000} = 8.566.
 \end{aligned}$$

VII დანართიდან შეირჩევა სტანდარტული ბაგირი:

გრძივი მეტრის წონა  $-q_2 = 9.2$  ნ/მ;

ბაგირის დიამეტრი -  $d_2 = 16$  მმ;

ბაგირის ლითონის კვეთი -  $s_2 = 95$  მმ<sup>2</sup>;

ჯამური გამგლეჯი ძალა -  $T_2 = 161$  კნ;

$$b_2\text{-ის რეალური მნიშვნელობა } b_2 = \frac{T_2}{n_2 q_2} = \frac{161000}{4.5 \cdot 9.2} \approx 3889 \text{ მ;}$$

საწვეი ბაგირის დამჭიმი ტვირთის წონა

$$G_2 = 2 \cdot q_2 (b_2 - h) = 2 \cdot 9.2 (3889 - 80) \approx 70086, \text{ ნ;}$$

საწვეი ბაგირის დაჭიმულობის ჰორიზონტალური შემდგენი -

$$H_2 = q_2 b_2 \cos b = 9.2 \cdot 3889 \cdot \cos 0.083 \approx 35656 \text{ ნ;}$$

საწვეი ბაგირის ჩაკიდულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$f_{2,\max} = \frac{q_2 L^2}{8H_2 \cos b} = \frac{9.2 \cdot 960^2}{8 \cdot 35656 \cdot \cos 0.083} = 31 \text{ მ};$$

ჩაკიდული საწვევი ბაგირის მრუდის სიგრძე

$$l_r = \frac{L}{\cos b} + \frac{8f_{2,\max}^2}{3L} \cos^3 b = \frac{960}{\cos 0.083} + \frac{8 \cdot 31^2}{3 \cdot 960} \cos^3 0.083 \approx 963 \text{ მ};$$

საწვევი ბაგირის სიხისტის ვერტიკალური შემდგენი

(ფოლადის მავთულის,  $E = (1.6 \dots 2.1) \cdot 10^5 \text{ ნ/მმ}^2$  დრეკადობის მოდულის დროს)

$$C_V = \frac{Es_2}{l_R} = \frac{2.1 \cdot 10^5 \cdot 95}{963} \approx 20717, \text{ ნ/მ};$$

საწვევი ბაგირის სიხისტის ჰორიზონტალური შემდგენი

$$C_H = \frac{12H_2^3}{q_2^2 l_R^3 \cdot \cos b} = \frac{12 \cdot 35656^3}{9.2^2 \cdot 963^3 \cdot \cos 0.083} \approx 7197 \text{ ნ/მ};$$

საწვევი ბაგირის სიხისტის კოეფიციენტი

$$C_R = \frac{C_V C_H}{C_V + C_H} = \frac{20717 \cdot 7197}{20717 + 7197} \approx 5341 \text{ ნ/მ}.$$

ხახუნის შკივის დიამეტრი

$$D_0 = 80d_2 = 80 \cdot 0.016 = 1.28, \text{ მ};$$

სტანდარტული დიამეტრებიდან  $D_0 = [1.0; 1.25; 1.6; 2.0; 2.25]$

შეირჩევა შკივის დიამეტრი  $D_0 = 1.6 \text{ მ}$ ; ამძრავი შკივის საორენტაციო ბრუნთა რიცხვი იქნება

$$n_m = \frac{60V_m}{\pi D_0} = \frac{60 \cdot 7.68}{\pi \cdot 1.6} = 91.67 \text{ ბრ/წთ};$$

თუკი ამ რიცხვს გავამრავლებთ PM რედუქტორის სტანდარტული გადაცემის რიცხვებზე

$$i = [8; 10; 12.5; 16; 20; 22.4; 31.5; 40; 50],$$

მივიღებთ ძრავას შესარჩევ სტანდარტულ ბრუნთა რიცხვებს. შეირჩევა ის ბრუნთა რიცხვი, რომელიც ყველაზე ახლოს აღმოჩნდება ძრავას სტანდარტულ ბრუნთა რიცხვებთან  $n_0 = [750; 1000; 1500]$ ; ჩვენს შემთხვევაში, აიღება  $n_0 = 1500$  ბრ/წთ; რადგანაც

$$n_0 = n_m \cdot i = 91.67 \cdot 16 = 1466.72 \text{ ბრ/წთ.}$$

VII დანართში შეირჩევა სტანდარტული ძრავა:

ნომინალური სიმძლავრე  $P_n = 55$  კვტ;

ნომინალური ბრუნთა რიცხვი  $n_n = 1475$  ბრ/წთ;

ნომინალური გადატვირთვის კოეფიციენტი  $b_n = \frac{M_m}{M_n} = 2.2$ ;

ინერციის მომენტი  $J_{mot} = 0.5$  კგმ<sup>2</sup>.

რედუქტორის მომენტი ნელმაგალ ლილვზე

$$M_r \approx \left( 8 \cdot \frac{P_n}{n_n} \cdot 0.936 - 0.003 \cdot \frac{J_{mot} \cdot i}{D_0} \right) \cdot i$$

$$= \left( 8 \cdot 2.2 \cdot \frac{55}{1475} \cdot 0.936 - 0.003 \cdot \frac{0.5 \cdot 16}{1.6} \cdot 0.6 \right) \cdot 16 = 9.68 \text{ კნმ.}$$

IX დანართში შეირჩევა სტანდარტული რედუქტორი ტიპი - PM-650

ნომინალური მომენტი ნელმაგალ ლილვზე  $M_{red.n} = 10$  კნმ;

გადაცემის რიცხვი  $i = 16$ ;

შემავალი ბრუნთა რიცხვი  $n = 750 \dots 1500$  ბრ/წთ;

ძირითადი პარამეტრების გამოთვლის შემდეგ, განვსაზღვროთ დიფგანტოლებათა სისტემაში შემავალი კოეფიციენტები :

ვაგონის საკიდის სიგრძე -  $h_w = 2.5$  მ;

საწვევი ბაგირის ერთი შტოს მასა

$$m_r = \frac{q_2}{g} l_r = \frac{9.2}{9.81} 963 \approx 903 \text{ კგ};$$

ამძრავი შკივის მასა

$$m_{1x} \approx 200 \cdot D_0^2 = 200 \cdot 1.6^2 = 512 \text{ კგ};$$

როტორის დაყვანილი მასა ამძრავ შკივზე

$$m_{\text{mot.x}} = 4 \frac{J_{\text{mot}}}{D_0^2} i^2 = 4 \frac{0.5}{1.6^2} 16^2 = 200 \text{ კგ};$$

რედუქტორის დაყვანილი მასა ამძრავ შკივზე

$$m_{\text{red.x}} \approx 0.5 \cdot m_{\text{mot.x}} = 0.5 \cdot 200 = 100 \text{ კგ};$$

მიმმართველი შკივის მასა

$$m_{2x} \approx 115 \cdot D_2^2 = 115 \cdot D_0^2 = 115 \cdot 1.6^2 \approx 294 \text{ კგ};$$

$$\begin{aligned} m_1 &= m_{1x} + m_{\text{mot.x}} + m_{\text{red.x}} + 2 \cdot m_{2x} \\ &= 512 + 200 + 100 + 2 \cdot 294 = 1400 \text{ კგ}; \end{aligned}$$

$$m_2 = 3 \cdot m_{2x} = 3 \cdot 294 = 882 \text{ კგ};$$

$$a_{11} = m_1 + m_r + m_c = 1400 + 903 + 400 = 2703 \text{ კგ};$$

$$a_{22} = m_2 + m_r + m_c = 882 + 903 + 400 = 2185 \text{ კგ.}$$

სისტემაზე მოდებული ძალის დინამიკური შემდგენი

$$F_0 = j_1(a_{11} + a_{22} + m_x + m_y) = j_1[a_{11} + a_{22} + 2m_E + 80(N_x + N_y)], \text{ ნ;}$$

განვიხილოთ სხვადასხვა შემთხვევა

1. როდესაც ორივე ვაგონი ცარიელია ( $N_x = 0$ ;  $N_y = 0$ )

$$m_x = m_E + N_x m_q = m_E + 0 \cdot m_q = m_E;$$

$$m_y = m_E + N_y m_q = m_E + 0 \cdot m_q = m_E;$$

2. ორივე ვაგონი დატვირთულია ( $N_x \neq 0$ ;  $N_y \neq 0$ )

$$m_x = m_E + N_x m_q; \quad m_y = m_E + N_y m_q;$$

3. ამძრავ შკივთან ვაგონი დატვირთულია, ხოლო დამჭიმთან – ცარიელი ( $N_x \neq 0$ ;  $N_y = 0$ ) -

$$m_x = m_E + N_x m_q; \quad m_y = m_E + N_y m_q = m_E + 0 \cdot m_q = m_E;$$

4. ამძრავ შკივთან ვაგონი ცარიელია, ხოლო დამჭიმთან – დატვირთული ( $N_x = 0$ ;  $N_y \neq 0$ )

$$m_x = m_E + N_x m_q = m_E + 0 \cdot m_q = m_E; \quad m_y = m_E + N_y m_q.$$

გამოვიტანოთ გრაფიკულად ოთხივე შემთხვევისათვის:

1.  $X-Y$ ,  $X-Z$  და  $Y-S$ -ამძრავი და დამჭიმი შკივების, ამძრავი შკივისა და  $m_x$  ვაგონის, დამჭიმი შკივისა და  $m_y$  ვაგონის გადაადგილებათა სხვაობა;

2.  $V_x - V_y$ ,  $V_x - V_z$  და  $V_y - V_s$  - ამძრავი და დამჭიმი შკიეების, ამძრავი შკიეისა და  $m_x$  ვაგონის, დამჭიმი შკიეისა და  $m_y$  ვაგონის სიჩქარეთა სხვაობა;

3.  $a_x - a_y$ ,  $a_x - a_z$  და  $a_y - a_s$  - ამძრავი და დამჭიმი შკიეების, ამძრავი შკიეისა და  $m_x$  ვაგონის, დამჭიმი შკიეისა და  $m_y$  ვაგონის აჩქარებათა სხვაობა;

ორვაგონიანი ბაგირგზის პარამეტრების გამოთვლა და დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ამოხსნა დაპროგრამების სისტემა **MATLAB**-ში.

```
>> h=input('doneta sxvaoba,<m>-h='); L=input('horizontaluri sigrze,<m>-L=');
N=input('mgzavrt raodenoba vagonshi-N='); mE=input('carieli vagonis masa,<kg>-mE=');
kk=input('amzravi zevit - kk=1, amzravi kvevit - kk=0; kk=');
disp('To kargia - < return >, to ara - shecvale da shemdeg < return >'); keyboard;
b=atan(h/L); mC=2/3*mE; mEC=mE+mC; mFC=mEC+80*N;
QEC=10*mEC; QFC=10*mFC;
E=2.1*10^5; D=2; k=12; n1=3.3; n2=4.5; g1=.085; g2=.095;
S1=1400;
S2=1900; f0=0.06; t0=200; b1=.85*S1/n1/g1; b2=.9*S2/n2/g2; j1=.6;
Fi=1.1; etar=920;
h0=0.00015085*L^2+0.024566*L+15.976; if h>=h0 q1=k*QFC/(b1-L/4/k-h0); else
q1=k*QFC/(b1-L/4/k-h); end;
```

```

q11=[50,56,63,70,86,96,103,115,125,145,164,173,177,198,237,272];
n=min(find(q11>=q1)); q1=q11(n);
d11=[30.5, 32, 34 ,35.5, 38.5, 40.5, 42.5, 45, 47, 51, 52, 54, 55, 60,
65, 70]; d1=d11(n);
s11=[596,660,730,796,1000,1135,1210,1356,1460,1725,1960,2064,
2075,2390,2850,3292];
s1=s11(n); T1=S1*s1; T1max=T1/n1; b1=T1max/q1; G1=q1*(b1-h);
H1=(G1+q1*h/2)*cos(b); k2F=1/2/H1*(q1/cos(b)+QFC/L);
x0=L/2+tan(b)/2/k2F;
k2E=1/2/H1*(q1/cos(b)+QEC/L); k1F=1/2/H1*(q1/cos(b)+2*QFC/L);
for zz=0:.00001:10; k1FF=1/2/H1*(q1*(1+zz^2)^.5+2*QFC/L);
y=zz/k1FF;
if y>=L h00=zz*L; break; end; end; tt1=8*QFC*H1/((q1*L)^2-4*H1^2);
tt2=((q1*L)^2-4*QFC^2)/((q1*L)^2-4*H1^2); ttg=[1,tt1,tt2];
tgb0=roots(ttg);
x=0:L/100:L; y1=x*tan(b); y2=y1+x.*(L-x)*k1F;
plot(x, y1, 'b', x, y2, 'r', 'LineWidth',2), axis('ij'); grid;
xlabel('L','FontSize',12); ylabel('y','FontSize',12); legend('x*tg(b)',
'x*tg(b)+x*(L-x)*k1F',1);
title(['h=',num2str(h),' m; L=', num2str(L), ' m'], 'FontSize',12 ),
aFA=atan(tan(b)+(L-20)*k2F); aFB=atan(tan(b)-(L-20)*k2F);
aEA=atan(tan(b)+(L-20)*k2E); aEB=atan(tan(b)-(L-20)*k2E);
tFBU=QFC*(sin(aFB)+f0*cos(aFB));
tFAU=QFC*(sin(aFA)+f0*cos(aFA));
tFAD=QFC*(sin(aFA)-f0*cos(aFA)); tFBD=QFC*(sin(aFB)-
f0*cos(aFB));
FF1=(-1)^kk*(tFAD-tFBU)+2*t0; FF2=(-1)^kk*(tFBD-tFAU)+2*t0;
FefF=(1/3*(FF1^2+FF1*FF2+FF2^2))^0.5;
tEAD=QEC*(sin(aEA)-f0*cos(aEA)); tEBD=QEC*(sin(aEB)-
f0*cos(aEB));
tFBU=QFC*(sin(aFB)+f0*cos(aFB));
tFAU=QFC*(sin(aFA)+f0*cos(aFA));
FE1=(-1)^kk*(tEAD-tFBU)+2*t0; FE2=(-1)^kk*(tEBD-tFAU)+2*t0;
FefE=(1/3*(FE1^2+FE1*FE2+FE2^2))^0.5;
tFA=QFC*(sin(aFA)+f0*cos(aFA)); tFB=QFC*(sin(aFB)-f0*cos(aFB));
tEB=QEC*(sin(aEB)-f0*cos(aEB));
if kk==1 if aFB>=0 q21E=(2*(tFA-tEB+2*t0)+tFA+t0)/(b2-h); else
q21F=(2*(tFA-tFB+2*t0)+tFA-tFB+t0)/b2; end; end;
if kk==0 if aFB>=0 q20E=(2*(tFA-tEB+2*t0)+tFA-tEB+t0)/b2; else
q20F=q21F; end;end;

```

```

if kk==1 if aFB>=0 q2=q21E; else q2=q21F; end; end;
if kk==0 if aFB>=0 q2=q20E; else q2=q20F; end; end;
q21=[6.2,7.1,8.1,9.2,9.7,11,13,16,17,21,22,27,33,36];
n=min(find(q21>=q2)); q2=q21(n);
d21=[13.5,14.5,15,16,16.5,17.5,19.5,21,22,24,25,27.5,30.5,32];
d2=d21(n);
s21=[65,74,84,95,105,114,144,175,185,220,239,286,350,386];
s2=s21(n);
T21=[109,124.5,142,161,168.5,184.8,231.5,282.25,297.5,356,385.5,
462.5,564,623];
T2=T21(n); T2max=T2*10^3/n2; b2=T2max/q2; G2=2*q2*(b2-h);
H2=q2*b2*cos(b);
bn=2; Vm=0.32*(j1*L)^.5; D0=.08*d2; D0r=[1,1.25,1.6, 2, 2.5];
n=min(find(D0r>=D0)); D0=D0r(n); nm=60*Vm/pi/D0;
n0=[750,1000,1500];
ired=[8,10,12.5,16,20,22.4,31.5,40,50]; nm1=nm*ired;
[M1,n]=min(nm1/750);
[M2,n]=min(nm1/1000); [M3,n]=min(nm1/1500);
[MM,n]=min([M1,M2,M3]);
nmot=n0(n); dd=nmot/nm; [z,n]=min((abs(ired-dd))); i=ired(n);
Vmr=pi*D0*nmot/60/i;
PefF=Fi*FefF*Vmr/etar; PefE=Fi*FefE*Vmr/etar; if aFB<0 Pef=PefF;
else Pef=PefE; end;
if nmot==750 P750=[7.5,11,15,18.5,22,30,37,45,55,75,90];
n=min(find(P750>=Pef));
Pnom=P750(n); J750=[.11,.15,.27,.41,.46,.7,1.2,1.4,3.29,4,5.21];
Jmot=J750(n); end;
if nmot==1000 P1000=[7.5,11,15,18.5,22,30,37,45,55,75,90];
n=min(find(P1000>=Pef));
Pnom=P1000(n);
J1000=[.067,.11,.15,.27,.41,.46,.65,1.2,1.3,3.04,3.25];
Jmot=J1000(n); end;
if nmot==1500 P1500=[7.5,11,15,18.5,22,30,37,45,55,75,90];
n=min(find(P1500>=Pef));
Pnom=P1500(n); J1500=[.032,.045,.075,.087,.16,.2,.27,.32,.5,1,1.2];
Jmot=J1500(n); end;
Mred=(8*bn*Pnom*.9/nmot-.003*Jmot*j1/D0*i)*j;
disp(sprintf('sarelso bagiris erti metris cona, N/m-q1=%g',q1));
disp(sprintf('sarelso bagiris damchimi tvirti, N-G1=%g',G1));
disp(sprintf('sacevi bagiris erti metris cona, N/m-q2=%g',q2));

```



```

disp(sprintf('sacevi bagiris damchimi tvirti, N-G2=%g',G2));
disp(sprintf('amzravi shkivis diametri, m- D0=%g',D0));
disp(sprintf('zravas brunvata ricxvi, r/min - nmot=%g',nmot));
disp(sprintf('reductoris gadacemis ricxvi, - i=%g',i));
disp(sprintf('reduqtoris momenti, Nm- Mred=%g', Mred));
disp(sprintf('bagirgzis sichqare, m/s- Vmr=%g',Vmr));
disp(sprintf('bagirgzis amzravi zravas simzlavre, kWt- Pnom=%g',Pnom));
disp('=====');
f2m=q2*L^2/8/H2/cos(b); IR=L/cos(b)+8*f2m^2*(cos(b))^3/3/L;
CV=E*s2/IR; CH=12*H2^3/q2^2/IR^3/cos(b); CR=CV*CH/(CV+CH);
mR=q2*IR/10; hw=2.5; mmot=4*Jmot*(i/D0)^2; mred=.5*mmot; m1x=200*D0^2;
m2x=115*D0^2; ww=(10/hw)^.5; m1=mmot+mred+m1x+2*m2x; m2=3*m2x; a11=m1+mR+mC;
a22=m2+mR+mC;
disp([sprintf(' a11=%g',a11), sprintf(' a22=%g',a22), sprintf('
CR=%g',CR),]);
for zz=0:3; if zz==0 Nx=0;Ny=0; end; if zz==1 Nx=25;Ny=25; end;
if zz==2 Nx=25;Ny=0; end; if zz==3 Nx=0;Ny=25; end;
mx=mE+80*Nx; my=mE+80*Ny; Cx=mx*ww^2; Cy=my*ww^2;
F0=.6*(a11+a22+mx+my);
disp([sprintf(' Cx=%g',Cx),sprintf(' Cy=%g',Cy), sprintf('
F0=%g',F0)]);
disp([sprintf(' mx=%g',mx), sprintf(' my=%g',my)]);
syms p t; b1=F0/p; b2=0; b3=0; b4=0;
p11=a11*p^2+2*CR+ww^2*mx; p12=-2*CR; p13=-ww^2*mx; p14=0;
p21=-2*CR; p22=a22*p^2+2*CR+ww^2*my; p23=0; p24=- ww^2*my;

p31=-ww^2; p32=0; p33=p^2+ww^2; p34=0; p41=0; p42=-ww^2;
p43=0; p44=p^2+ww^2; D=det([p11,p12,p13,p14;
p21,p22,p23,p24;p31,p32,p33,p34;p41,p42,p43,p44]);
D=vpa(collect(D),4); D0=simplify(vpa(D,4)); D0=sym2poly(D0);
W0=sort(abs(roots(D0))); W1=W0(3); T0=2*pi/W1;
p11=b1; p12=-2*CR; p13=- ww^2*mx; p14=0;
p21=b2; p22=a22*p^2+2*CR+ ww^2*my; p23=0; p24=- ww^2*my;
p31=b3; p32=0; p33=p^2+ww^2; p34=0; p41=b4; p42=-ww^2;
p43=0; p44=p^2+ww^2;

```

```

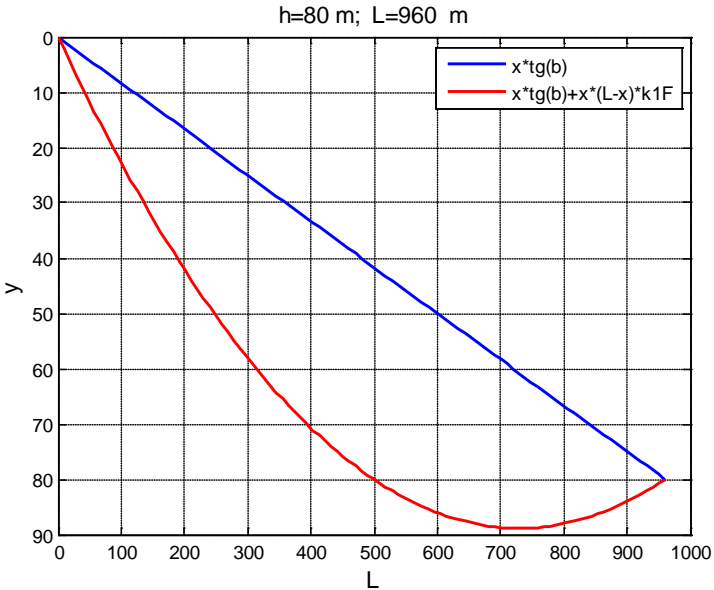
Dx=det([p11,p12,p13,p14;
p21,p22,p23,p24;p31,p32,p33,p34;p41,p42,p43,p44]);
Dx=vpa(collect(Dx),4); X=vpa(ilaplace(Dx/D,p,t),4); Vx=vpa(diff(X),4);
ax=vpa(diff(Vx),4);
p11=a11*p^2+2*CR+ww^2*mx; p12=b1; p13=-ww^2*mx; p14=0;
p21=-2*CR; p22=b2; p23=0; p24=-ww^2*my;
p31=-ww^2; p32=b3; p33=p^2+ww^2; p34=0; p41=0; p42=b4;
p43=0; p44=p^2+ww^2;
Dy=det([p11,p12,p13,p14;
p21,p22,p23,p24;p31,p32,p33,p34;p41,p42,p43,p44]);
Dy=vpa(collect(Dy),4); Y=vpa(ilaplace(Dy/D,p,t),4); Vy=vpa(diff(Y),4);
ay=vpa(diff(Vy),4);
p11=a11*p^2+2*CR+ ww^2*mx ; p12=-2*CR; p13=b1; p14=0;
p21=-2*CR; p22=a22*p^2+2*CR+ ww^2*my; p23=b2; p24=-
ww^2*my;
p31=-ww^2; p32=0; p33=b3; p34=0; p41=0; p42=-ww^2; p43=b4;
p44=p^2+ww^2;
Dz=det([p11,p12,p13,p14;
p21,p22,p23,p24;p31,p32,p33,p34;p41,p42,p43,p44]);
Dz=vpa(collect(Dz),4); Z=vpa(ilaplace(Dz/D,p,t),4); Vz=vpa(diff(Z),4);
az=vpa(diff(Vz),4);
p11=a11*p^2+2*CR+ww^2*mx; p12=-2*CR; p13=- ww^2*mx;
p14=b1;
p21=-2*CR; p22=a22*p^2+2*CR+ ww^2*my; p23=0; p24=b2;
p31=-ww^2; p32=0; p33=p^2+ww^2; p34=b3; p41=0; p42=-ww^2;
p43=0; p44=b4;
Ds=det([p11,p12,p13,p14;
p21,p22,p23,p24;p31,p32,p33,p34;p41,p42,p43,p44]);
Ds=vpa(collect(Ds),4); S=vpa(ilaplace(Ds/D,p,t),4); Vs=vpa(diff(S),4);
as=vpa(diff(Vs),4);
X=vpa(simple(X),4); Y=vpa(simple(Y),4); Z=vpa(simple(Z),4);
S=vpa(simple(S),4);
Vx=vpa(simple(Vx),4);Vy=vpa(simple(Vy),4);Vz=vpa(simple(Vz),4);V
s=vpa(simple(Vs),4);
ax=vpa(simple(ax),4); ay=vpa(simple(ay),4); az=vpa(simple(az),4);
as=vpa(simple(as),4);
t=0.:1:10; X=subs(X); Y=subs(Y); Z=subs(Z); S=subs(S);
Vx=subs(Vx); Vy=subs(Vy);

```

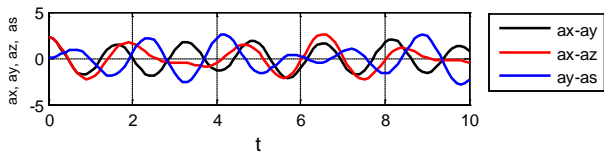
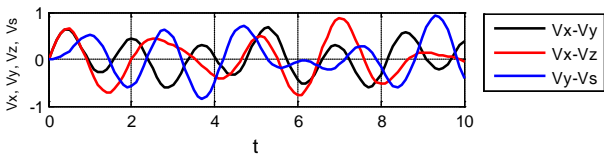
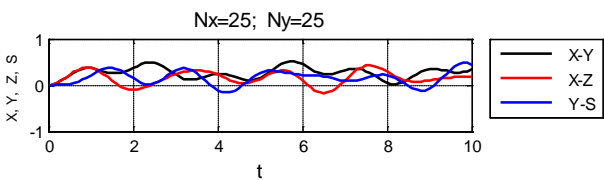
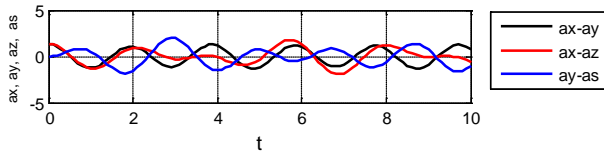
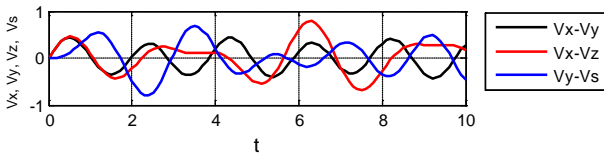
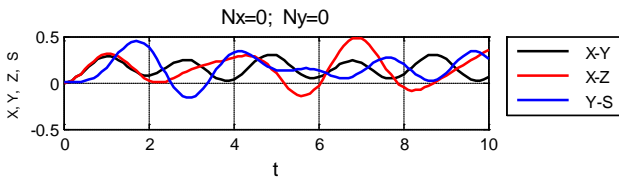
```

Vz=subs(Vz); Vs=subs(Vs); ax=subs(ax); ay=subs(ay); az=subs(az);
as=subs(as);
figure; subplot(3,1,1); plot(t,X-Y,'k',t,X-Z,'r',t,Y-S,'b', 'LineWidth',2),
grid;
xlabel('t','FontSize',12); ylabel('X, Y, Z, S','FontSize',8);
title(['Nx=',int2str(Nx), '; Ny=',int2str(Ny)], 'FontSize',12 ); legend(' X-
Y',' X-Z',' Y-S',-1);
subplot(3,1,2); plot(t,Vx-Vy,'k',t,Vx-Vz,'r',t,Vy-Vs,'b',
'LineWidth',2),grid,
xlabel('t','FontSize',12); ylabel('Vx, Vy, Vz, Vs','FontSize',8);
legend('Vx-Vy','Vx-Vz','Vy-Vs',-1);
subplot(3,1,3); plot(t,ax-ay,'k',t,ax-az,'r',t,ay-as,'b', 'LineWidth',2),grid,
xlabel('t','FontSize',12); ylabel('ax, ay, az, as','FontSize',8);
legend('ax-ay','ax-az','ay-as',-1); end;

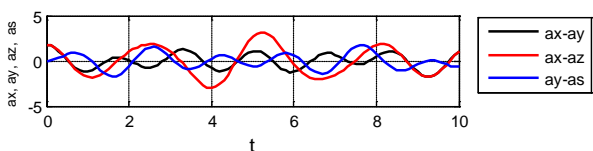
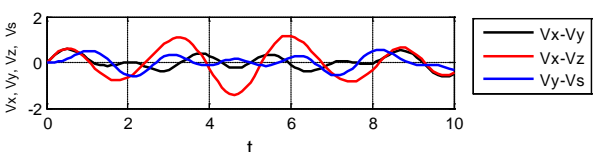
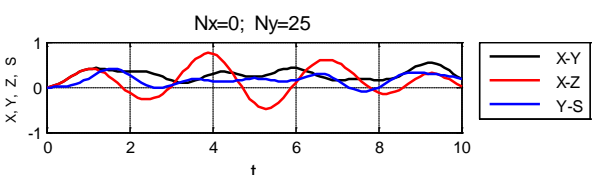
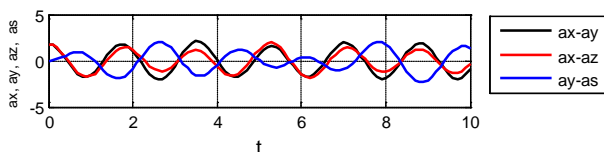
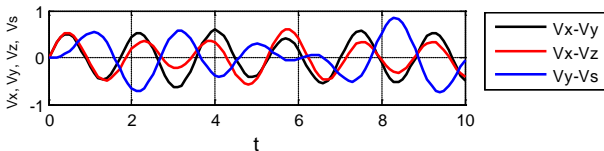
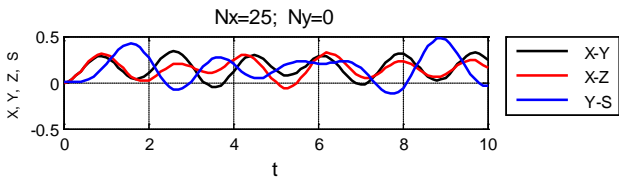
```



**ერთმალიანი ბაგიტრების სარკელსო ბაგიტრის  
ჩაკიდულობის მრუდი**



**ორგანონიანი ბაგირგზის ამუშავების გარდამავალი რეჟიმის მრუდები**

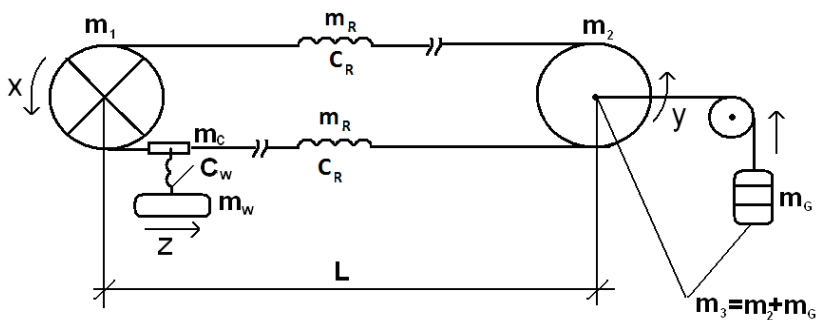


**ორგანონი ბაგირჯის ამუშავების გარდამავალი რეჟიმის მრუდები**

### საკურსო სამუშაო III

ერთმალიანი, ერთვაგონიანი ქანქარასებრი კიდული სამგზავრო ბაგირგზის ამუშავების რეჟიმის გაანგარიშება

საანგარიშო სამგზავრო ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის კინემატიკურ სქემას შემდეგი სახე აქვს



აქ,  $m_1$  არის ამძრავი ძრავას, რელუქტორისა და მიმმართველი შკივების მასა, დაყვანილი ამძრავ შკივზე;  $m_2$ - დამჭიმი და მიმმართველი შკივების მასათა ჯამი;  $m_G$ - საწვეი ბაგირის დამჭიმი ტვირთი;  $m_3 = m_2 + m_G$ - დამჭიმი შკივისა და ტვირთის ჯამი;  $m_R$ - საწვეი ბაგირის ერთი შტოს მასა;  $m_w$ -ბაგირგზის სამგზავრო ვაგონის მასა;  $m_c$ - სამგზავრო ვაგონის ურიკის (კარეტის) მასა;  $m_R$  და  $C_R$ - საწვეი ბაგირის ერთი შტოს მასა და სიხისტის კოეფიციენტი;  $x$ ,  $y$  და  $z$  შესაბამისად -  $m_1$ ,  $m_2$  და

$m_w$  მასების გადაადგილება.

როგორც ცნობილია, საწვეი ბაგირის დამჭიმი ტვირთი  $m_3$  ამუშავების პროცესში მონაწილეობას არ ღებულობს და ბაგირგზის ამუშავების დიფგანტოლებათა სისტემას, როდესაც ვაგონი ამძრავ შკივთანაა, შემდეგი სახე აქვს (გავითვალისწინოთ ასევე, რომ  $C_w = \frac{m_w g}{h_w} = m_w w_w^2$ ,

სადაც  $w_w$  ვაგონის რხევის სიხშირეა:  $A_x = m_1 + m_R + m_C$ ;  
 $B_x = m_2 + m_R$ ;  $A_y = A_x - m_C$ ;  $B_y = B_x + m_C$ ) [2] :

$$\begin{cases} A_x \cdot \ddot{x} = F_0 - 2C_R(x - y) - m_w w_w^2(x - z); \\ B_x \cdot \ddot{y} = 2C_R(x - y); \\ \ddot{z} = w_w^2(x - z). \end{cases} ;$$

ხოლო, როდესაც დამჭიმ შკივთანაა

$$\begin{cases} A_y \cdot \ddot{x} = F_0 - 2C_R(x - y); \\ B_y \cdot \ddot{y} = 2C_R(x - y) - m_w w_w^2(y - z); \\ \ddot{z} = w_w^2(y - z), \end{cases}$$

სადაც  $F_0 = j_1(A_x + B_x + m_w)$  სისტემაზე მოდებული ძალის დინამიკური შემდგენია, ნ;

განტოლებათა სისტემაში შემავალი კოეფიციენტების გამოსათვლელად გავიანგარიშოთ ბაგირგზის პარამეტრები.

წინასწარი მონაცემებია:

$L = 800$  - გზის ჰორიზონტალური სიგრძე, მ;

$h = 190$  - სადგურებს შორის დონეთა სხვაობა, მ;

$$b = \operatorname{arctg}\left(\frac{h}{L}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{190}{800}\right) = 0.242 - \text{ბაგირგზის ე.წ.}$$

საეიზირო კუთხე;

$$\operatorname{tg} b = \operatorname{tg}(0.242) = 0.247; \quad \operatorname{cos} b = \operatorname{cos}(0.242) = 0.971;$$

$$\operatorname{sin} b = \operatorname{sin}(0.242) = 0.24$$

$N = 25$  - მგზავრების რაოდენობა ვაგონში;

$m_E = 600$  - ცარიელი ვაგონის მასა, კგ;

$$m_C \approx \frac{2}{3} m_E = \frac{2}{3} 600 = 400 - \text{ვაგონის ურიკის მასა, კგ;}$$

$h_w = 2.5$  - ვაგონის ჩამოკიდების სიგრძე, მ;

$$w_w = \sqrt{\frac{g}{h_w}} \approx \sqrt{\frac{10}{2.5}} = 2 - \text{ვაგონის რხევის სიხშირე, 1/წმ;}$$

$m_q \approx 80$  - ერთი მგზავრის მასა, კგ;

$m_{EC} = m_E + m_C = 600 + 400 = 1000$  - ცარიელი ვაგონის მასა ურიკით, კგ;

$m_{FC} = N \cdot m_q + m_{EC} = 25 \cdot 80 + 1000 = 3000$  - სავსე ვაგონის მასა ურიკით, კგ.

$Q_{EC} = g \cdot m_{EC} \approx 10 \cdot 1000 = 10000$  - ცარიელი ვაგონის წონა ურიკით, ნ;



$Q_{FC} = g \cdot m_{FC} \approx 10 \cdot 3000 = 30000$  -სავსე ვაგონის წონა ურ-  
იკით, ნ.

ახქარებისა და შენელების მნიშვნელობებად მივიღოდ  
 $j_1 = j_3 = 0.6$  მ/წმ<sup>2</sup>, მაშინ მაქსიმალური სიჩქარის საო-  
რენტაციო მნიშვნელობა იქნება:

$$V_m = 0.32 \sqrt{2 \frac{j_1 j_3}{j_1 + j_3} L} \approx 0.32 \sqrt{0.6 \cdot 800} \approx 7 \text{ მ/წმ.}$$

გამოვიანგარიშოთ ერთი მეტრი სარელსო ბაგირის  
წონა; მუდმივი სიდიდეების მნიშვნელობად მიღებულია,  
რომ  $k = 12$ ;  $S_1 = 1400$  ნ/მმ<sup>2</sup>;  $g_1 \approx 0.085$  ნ/მ<sup>3</sup>;  $n_1 = 3.3$ ;

$b_1 \approx 4242$  მ, მაშინ

$$h_0 = 0.00017202 \cdot L^2 - 0.0059186 \cdot L + 21.235 = \\ = 0.00017202 \cdot 800^2 - 0.0059186 \cdot 800 + 21.235 = 126.6 \text{ მ.}^{\text{D}}$$

რთი მეტრი სარელსო ბაგირის წონა

$$q_1 = \frac{k Q_{FC}}{b_1 - \frac{L}{4k} - h_0} = \frac{12 \cdot 30000}{4242 - \frac{800}{4 \cdot 12} - 126.6} \approx 87.83 \text{ ნ/მ.}$$

შენიშვნა: თუკი მოცემული  $h$ -ის მნიშვნელობა  $h \geq h_0$ ,

მაშინ  $q_1$ -ის ფორმულაში  $h$ -ის ნაცვლად ჩაისმება  $h_0$ .

VI დანართიდან შეირჩევა სტანდარტული ბაგირი:

გრძივი მეტრის წონა  $q_1 = 96$  ნ/მ;

ბაგირის დიამეტრი  $d_1 = 40.5$  მმ;

ბაგირის ლითონის კვეთი  $s_1 = 1135$  მმ<sup>2</sup>;

ჯამური გამგლეჯი ძალა  $T_1 = 1589$  კნ;

$b_1$ -ის რეალური მნიშვნელობა  $b_1 = \frac{T_1}{n_1 q_1} = \frac{1589000}{3.3 \cdot 96} \approx 5016$ ;

სარელსო ბაგირის დამჭიში ტვირთის წონა

$$G_1 = q_1 (b_1 - h) = 96(5016 - 190) = 463296 \text{ ნ};$$

ბაგირის დაჭიმულობის კორიზონტალური შემდგენი

$$H_1 = q_1 \left( b_1 - \frac{h}{2} \right) \cos b = 96 \left( 5016 - \frac{190}{2} \right) \cos 0.242 \approx 458716 \text{ ნ}.$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{1}{2H_1} \left( \frac{q_1}{\cos b} + 2 \frac{Q_{FC}}{L} \right) = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 458716} \left( \frac{96}{\cos 0.242} + 2 \frac{30000}{800} \right) = 1.895 \cdot 10^{-4} \text{ 1/მ} \end{aligned}$$

და სარელსო ბაგირის ჩაკიდულობის მრუდის განტოლება მიიღებს სახეს

$$y = x \operatorname{tg} b + x(L - x)k_1 = x \cdot 0.247 + x(800 - x) \cdot 1.895 \cdot 10^{-4}.$$

ამ განტოლებით აიგება შესამისი გრაფიკი.

სარელსო ბაგირზე ვაგონის ასვლის კუთხეებისა და ამძრავ შიკვზე ეფექტური სიმძლავრეების განსაზღვრა

ერთვაგონიან ქანქარასებრ ბაგირგზაზე, ვაგონის წონის შემდგენისა და მოძრაობის წინააღობის ძალის გამოთლისათვის, რაც საბოლოოდ ამძრავ შიკვზე მოდებული

დატვირთვებისა და მათი საშუალებით ძრავას სიმძლავრის გამოსათვლელადაა საჭირო, განიხილავენ ორ შემთხვევას - ბაგირგზის ამძრავი ზედა, **A** სადგურშია მოთავსებული ( $kk = 1$ ) ან ქვედა, **B** სადგურშია - ( $kk = 0$ ). მეორე მხრივ, განიხილავენ დატვირთული ვაგონის მოძრაობას ქვედა **B** სადგურიდან ზედა, **A** სადგურისაკენ.

ასვლის კუთხეები იანგარიშება ორვაგონიანი ბაგირგზის ანალოგიურად.

$$k_{2F} = \frac{1}{2H_1} \left( \frac{q_1}{\cos b} + \frac{Q_{FC}}{L} \right) =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 458716} \left( \frac{96}{\cos 0.242} + \frac{30000}{800} \right) = 1.486 \cdot 10^{-4} \text{ 1/მ}$$

დატვირთული ვაგონის ასვლის კუთხე **A** საყრდენთან ( $x=10$  მ)

$$a_{FA} = \arctg[\operatorname{tg} b + (L - 2 \cdot 10)k_{2F}] =$$

$$= \arctg[0.247 + (800 - 2 \cdot 10)1.486 \cdot 10^{-4}] = 0.348;$$

დატვირთული ვაგონის ასვლის კუთხე ქვედა **B** სადგურთან ( $x=L-10$  მ)

$$a_{FB} = \arctg[\operatorname{tg} b - (L - 2 \cdot 10)k_{2F}] =$$

$$= \arctg[0.247 - (800 - 2 \cdot 10)1.486 \cdot 10^{-4}] = 0.1304,$$

ვაგონის წონის შემდგენისა და მოძრაობის წინააღობის ძალის ჯამი, როდესაც მოძრაობა მიმართულია **B**-დან **A**-საკენ:

მოდრაობის დასაწყისში

$$t_{FBU} = Q_{FC} (\sin a_{FB} + f_0 \cos a_{FB}) = \\ = 30000 (\sin 0.1304 + 0.06 \cos 0.1304) = 5685.64 \text{ ნ.}$$

მოდრაობის დასასრულს

$$t_{FAU} = Q_{FC} (\sin a_{FA} + f_0 \cos a_{FA}) = \\ = 30000 (\sin 0.348 + 0.06 \cos 0.348) = 11922.65 \text{ ნ.}$$

საწყევი ძალა ამძრავ უკივზე

1. ამძრავი ზედა A სადგურში  $kk = 1$ , მაშინ

$$F_{F1} = (-1)^{kk} \cdot (-t_{FBU}) + t_0 = t_{FBU} + t_0 \quad \text{და}$$

$$F_{F2} = (-1)^{kk} \cdot (-t_{FAU}) + t_0 = t_{FAU} + t_0;$$

2. ამძრავი ქვედა B სადგურში  $kk = 0$ , მაშინ

$$F_{F1} = (-1)^{kk} \cdot (-t_{FBU}) + t_0 = -t_{FBU} + t_0 \quad \text{და}$$

$$F_{F2} = (-1)^{kk} \cdot (-t_{FAU}) + t_0 = -t_{FAU} + t_0.$$

ჩვენს შემთხვევაში, ამძრავი ზედა A სადგურში  $kk = 1$ .

$$F_{F1} = t_{FBU} + t_0 = 5685.64 + 200 = 5885.64 \text{ ნ} \quad \text{და}$$

$$F_{F2} = t_{FAU} + t_0 = 11922.65 + 200 = 12122.65 \text{ ნ.}$$

ძალის ეფექტური მნიშვნელობა

$$F_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{3}(F_{F1}^2 + F_{F1}F_{F2} + F_{F2}^2)} = \\ = \sqrt{\frac{1}{3}(5885.64^2 + 5885.64 \cdot 12122.65 + 12122.65^2)} = 9182.4 \text{ ნ.}$$

ეფექტური სიმძლავრე

$$P_{\text{ef}} = \varphi \frac{F_{\text{ef}} V_{\text{mr}}}{\eta} 10^{-3} = 1.1 \frac{9182.4 \cdot 7.0}{0.92} 10^{-3} = 76.85 \text{ კვტ.}$$

**საწვეი ბაგირის, ამძრავი ძრავასა და  
რელუქტორის შერჩევა**

როგორც ორვაგონიან ბაგირგზაში საწვეი ბაგირის შერჩევისას, აქაც წინასწარ მიღებულია  $b_2 = 4000$  მ;  $D \approx 2$ .

განისაზღვრება ერთი მეტრი საწვეი ბაგირის წონა: ერთვაგონიანი ბაგირგზებისათვის პირველად გამოითვლება დატვირთული ვაგონის ასვლის კუთხე  $a_{\text{FB}}$  ქვედა B სადგურთან

თუ  $a_{\text{FB}} \geq 0$ , მაშინ  $q_{2E} = \frac{(D+1)(t_{\text{FAU}} + t_0)}{b_2 - h}$ ;

ხოლო, თუ  $a_{\text{FB}} < 0$ , მაშინ  $q_{21E} = \frac{(D+1)(t_{\text{FAU}} + t_0)}{b_2}$ .

რადგან ჩვენს მაგალითში  $a_{\text{FB}} = 0.1304 > 0$ , ამიტომ

$$q_{21E} = \frac{(D+1)(t_{\text{FAU}} + t_0)}{b_2 - h} = \frac{(2+1)(11922.6 + 200)}{4000 - 190} = 9.55 \text{ ნ/მ.}$$

VI დანართიდან შეირჩევა სტანდარტული ბაგირი: გრძივი მეტრის წონა  $q_2 = 9.7$  ნ/მ;

ბაგირის დიამეტრი  $d_2 = 16.5$  მმ;

ბაგირის ლითონის კვეთი  $s_2 = 105$  მმ<sup>2</sup>;

ჯამური საგლეჯი ძალა  $T_2 = 168.5$  კნ;

$$b_2\text{-ის რეალური მნიშვნელობა } b_2 = \frac{T_2}{n_2 q_2} = \frac{168500}{4.5 \cdot 9.7} \approx 3860 \text{ მ};$$

საწვეი ბაგირის დამჭიმი ტვირთის წონა

$$G_2 = 2 \cdot q_2 (b_2 - h) = 2 \cdot 9.7 (3860 - 190) = 71198 \text{ ნ};$$

საწვეი ბაგირის დაჭიმულობის ჰორიზონტალური შემდგენი

$$H_2 = q_2 b_2 \cos b = 9.7 \cdot 3860 \cdot \cos 0.242 \approx 36356 \text{ ნ};$$

საწვეი ბაგირის ჩაკიდულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$f_{2,\max} = \frac{q_2 L^2}{8 H_2 \cos b} = \frac{9.2 \cdot 800^2}{8 \cdot 36358 \cdot \cos 0.242} \approx 22 \text{ მ};$$

ჩაკიდული საწვეი ბაგირის მრუდის სიგრძე

$$l_r = \frac{L}{\cos b} + \frac{8 f_{2,\max}^2 \cos^3 b}{3L} = \frac{800}{\cos 0.242} + \frac{8 \cdot 22^2}{3 \cdot 800} \cos^3 0.242 = 825.56.$$

საწვეი ბაგირის სიხისტის ვერტიკალური შემდგენი

(ფოლადის მავთულის,  $E = (1.6 \dots 2.1) \cdot 10^5$  ნ/მმ<sup>2</sup> დრეკადობის მოდულის დროს)

$$C_V = \frac{E s_2}{l_R} = \frac{2.1 \cdot 10^5 \cdot 105}{825.24} = 26719.54 \text{ ნ/მ};$$

საწვეი ბაგირის სიხისტის ჰორიზონტალური შემდგენი

$$C_H = \frac{12 H_2^3}{q_2^2 l_R^3 \cos b} = \frac{12 \cdot 36358^3}{9.2^2 \cdot 825.24^3 \cdot \cos 0.242} = 12486.64 \text{ ნ/მ},$$

საწვევი ბაგირის სიხისტის კოეფიციენტი

$$C_R = \frac{C_V C_H}{C_V + C_H} = \frac{26719.54 \cdot 12486.64}{26719.54 + 12486.64} = 8509.8 \text{ ნ/მ.}$$

სახუნის შკივის საჭირო დიამეტრი –

$$D_0 = 80d_2 = 80 \cdot 0.0165 = 1.32 \text{ მ;}$$

სტანდარტული  $D_0 = [1.0; 1.25; 1.6; 2.0; 2.25]$  დიამეტრებიდან, შეირჩევა შკივის დიამეტრი  $D_0 = 1.6$ ; ამძრავი შკივის საორენტაციო ბრუნვათა რიცხვი იქნება

$$n_m = \frac{60V_m}{\pi D_0} = \frac{60 \cdot 7}{\pi \cdot 1.6} = 83.56 \text{ ბრ/წთ,}$$

თუკი ამ რიცხვს გავამრავლებთ PM რელუქტორის სტანდარტული გადაცემის რიცხვებზე

$i = [8; 10; 12.5; 16; 20; 22.4; 31.5; 40; 50]$ , მივიღებთ ძრავას

შესარჩევ სტანდარტულ ბრუნთა რიცხვებს. შეირჩევა ის ბრუნთა რიცხვი, რომელიც ყველაზე ახლოს აღმოჩნდება ძრავას სტანდარტულ ბრუნთა რიცხვებთან

$n_0 = [750; 1000; 1500]$ ; ჩვენს შემთხვევაში,

$$n_0 = n_m \cdot i = 83.56 \cdot 12.5 = 1336.96 \text{ ბრ/წთ და აიღება}$$

$$n_0 = 1500 \text{ ბრ/წთ.}$$

VII დანართიდან შეირჩევა სტანდარტული ძრავა:

ნომინალური სიმძლავრე  $P_n = 90$  კვტ;

ნომინალური ბრუნთა რიცხვი  $n_n = 1485$  ბრ/წთ;

ნომინალური გადატვირთვის კოეფიციენტი  $b_n = \frac{M_m}{M_n} = 2.3$ ;

ინერციის მომენტი  $J_{mot} = 1.2$  კგმ<sup>2</sup>.

რედუქტორის მომენტი ნელმავალ ლილვზე იქნება

$$\begin{aligned} M_r &\approx \left( 8b_n \frac{P_n}{n_n} \eta_i - 0.003 \frac{J_{mot} i}{D_0} j_1 \right) i = \\ &= \left( 8 \cdot 2.3 \frac{90}{1485} 0.936 - 0.003 \frac{1.2 \cdot 16}{1.6} 0.6 \right) 16 = 16.3 \text{ კმ}. \end{aligned}$$

VIII დანართიდან შეირჩევა სტანდარტული რედუქტორი

ტიპი - PM-750

ნომინალური მომენტი ნელმავალ ლილვზე  $M_{red.n} = 18$  კმ;

გადაცემის რიცხვი  $i = 16$ ;

შემავალი ბრუნვათა რიცხვი  $n_n = 750 \dots 1500$  ბრ/წთ.

ძირითადი პარამეტრების გამოთვლის შემდეგ, განვსაზღვროთ დიფგანტოლებათა სისტემაში შემავალი კოეფიციენტები

$$\text{ვაგონის საკიდის სიგრძე } h_w = 2.5 \text{ მ}; \quad w_w^2 = \frac{g}{h_w} \approx \frac{10}{2.5} = 4$$

1/წმ<sup>2</sup>; საწვევი ბაგირის ერთი შტოს მასა

$$m_R = \frac{q_2}{g} l_r = \frac{9.7}{10} 825.5 = 800.74 \approx 801 \text{ კგ};$$

ამძრავი შკივის მასა  $m_{1x} \approx 200 \cdot D_0^2 = 200 \cdot 1.6^2 = 512$  კგ;



როტორის დაყვანილი მასა ამძრავ შიკვზე

$$m_{\text{mot.x}} = 4 \frac{J_{\text{mot}}}{D_0^2} i^2 = 4 \frac{1.2}{1.6^2} 16^2 = 480 \text{ კგ};$$

რედუქტორის დაყვანილი მასა ამძრავ შიკვზე

$$m_{\text{red.x}} \approx 0.5 \cdot m_{\text{mot.x}} = 0.5 \cdot 480 = 240 \text{ კგ};$$

მიმმართველი შიკვის მასა

$$m_{2x} \approx 115 \cdot D_2^2 = 115 \cdot D_0^2 = 115 \cdot 1.6^2 \approx 295 \text{ კგ};$$

$$\begin{aligned} m_1 &= m_{1x} + m_{\text{mot.x}} + m_{\text{red.x}} + 2 \cdot m_{2x} = \\ &= 512 + 480 + 240 + 2 \cdot 295 = 1822 \text{ კგ} \end{aligned}$$

$$m_2 = 3 \cdot m_{2x} = 3 \cdot 295 = 885 \text{ კგ};$$

$$A_x = m_1 + m_r + m_c = 1822 + 801 + 400 = 3023 \text{ კგ};$$

$$B_x = m_2 + m_r = 885 + 801 = 1686 \text{ კგ};$$

$$A_y = m_1 + m_r = 1822 + 801 = 2623 \text{ კგ};$$

$$B_y = m_2 + m_r + m_c = 885 + 801 + 400 = 2086 \text{ კგ}.$$

სისტემაზე მოდებული ძალის დინამიკური შემდგენი

$$\begin{aligned} F_0 &= j_1 (A_x + B_x + m_w) = j_1 (A_x + B_x + m_E + 80 \cdot N) = \\ &= 0.6 (2723 + 1686 + 600 + 80 \cdot N) = 0.6 (5009 + 80 \cdot N) \end{aligned}$$

ამოვსნათ სხვადასხვა შემთხვევისათვის:

I. ა) როდესაც ვაგონი ამძრავ შიკვთანაა და ცარიელია ( $N = 0$ )

$$m_w = m_E + N m_q = 600 + 0 \cdot m_q = 600 \text{ კგ};$$

ბ) როდესაც ვაგონი ამძრავ შკივთანაა და დატვირთულია  
( $N = 25$ )

$$m_w = m_E + Nm_q = 600 + 25 \cdot 80 = 2600 \text{ კგ};$$

II. ა) როდესაც ვაგონი დამჭიმ შკივთანაა და ცარიელია  
( $N = 0$ )

$$m_w = m_E + Nm_q = 600 + 0 \cdot m_q = 600 \text{ კგ};$$

ბ) როდესაც ვაგონი დამჭიმ შკივთანაა და დატვირთულია  
( $N = 25$ )

$$m_w = m_E + Nm_q = 600 + 25 \cdot 80 = 2600 \text{ კგ}.$$

განვიხილოთ გრაფიკულად ორივე შემთხვევისათვის

1.  $X - Y$  და  $X - Z$  - ამძრავი და დამჭიმი შკივების გადაადგილებათა სხვაობა და ამძრავი შკივისა და ვაგონის გადაადგილებათა სხვაობა;
2.  $V_x - V_y$  და  $V_x - V_z$  - ამძრავი და დამჭიმი შკივების სინქარეთა სხვაობა და ამძრავი შკივისა და ვაგონის სინქარეთა სხვაობა;
3.  $a_x - a_y$  და  $a_x - a_z$  - ამძრავი და დამჭიმი შკივების აჩქარებათა სხვაობა და ამძრავი შკივისა და ვაგონის აჩქარებათა სხვაობა.

ერთვაგონიანი ბაგირგზის პარამეტრების გამოთვლა და დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ამოხსნა დაპროგრამების სისტემა **MATLAB**-ში

```

>> h=input('doneta sxvaoba,<m> - h='); L=input('horizontaluri
sigrze,<m> -L=');
N=input('mgzavrta raodenoba vagonshi - N='); mE=input('carieli
vagonis masa,<kg> - mE=');
kk=input('amzravi zevit - kk=1, amzravi kvevit - kk=0; kk=');
disp('To kargia - < return >, to ara - shecvale da shemdeg < return
>'); keyboard;
b=atan(h/L); mC=2/3*mE; mEC=mE+mC; mFC=mEC+80*N;
QEC=10*mEC; QFC=10*mFC;
E=2.1*10^5; D=2; k=12; n1=3.3; n2=4.5; g1=.085; g2=.095;
S1=1400;
S2=1900; f0=0.06; t0=200; b1=.85*S1/n1/g1; b2=.9*S2/n2/g2; j1=.6;
Fi=1.1; etar=920;
h0=0.00015085*L^2+0.024566*L+15.976; if h>=h0 q1=k*QFC/(b1-
L/4/k-h0); else
q1=k*QFC/(b1-L/4/k-h); end;
q11=[50,56,63,70,86,96,103,115,125,145,164,173,177,198,237,272];
n=min(find(q11>=q1)); q1=q11(n);
d11=[30.5, 32, 34 ,35.5, 38.5, 40.5, 42.5, 45, 47, 51, 52, 54, 55, 60,
65, 70]; d1=d11(n);
s11=[596,660,730,796,1000,1135,1210,1356,1460,1725,1960,2064,
2075,2390,2850,3292];
s1=s11(n); T1=S1*s1; T1max=T1/n1; b1=T1max/q1; G1=q1*(b1-h);
H1=(G1+q1*h/2)*cos(b); k2F=1/2/H1*(q1/cos(b)+QFC/L);
x0=L/2+tan(b)/2/k2F;
k2E=1/2/H1*(q1/cos(b)+QEC/L); k1F=1/2/H1*(q1/cos(b)+2*QFC/L);
for zz=0:.000001:10; k1FF=1/2/H1*(q1*(1+zz^2)^.5+2*QFC/L);
y=zz/k1FF;
if y>=L h00=zz*L; break; end; end; tt1=8*QFC*H1/((q1*L)^2-4*H1^2);
tt2=((q1*L)^2-4*QFC^2)/((q1*L)^2-4*H1^2); ttg=[1,tt1,tt2];
tgb0=roots(ttg);
x=0:L/100:L; y1=x*tan(b); y2=y1+x.*(L-x)*k1F;
plot(x, y1, 'b', x, y2, 'r', 'LineWidth',2), axis('ij'); grid;
xlabel('L','FontSize',12); ylabel('y','FontSize',12); legend('x*tg(b)',
'x*[tg(b)+(L-x)*k1F',1);
title(['h=',num2str(h),' m; L=', num2str(L), ' m'], 'FontSize',12 ),
aFA=atan(tan(b)+(L-20)*k2F); aFB=atan(tan(b)-(L-20)*k2F);
tFBU=QFC*(sin(aFB)+f0*cos(aFB));
tFAU=QFC*(sin(aFA)+f0*cos(aFA));

```

```

FF1=(-1)^kk*(-tFBU)+t0;          FF2=(-1)^kk*(-tFAU)+t0;
Fef=(1/3*(FF1^2+FF1*FF2+FF2^2))^.5;
if aFB>=0 q2=(2+1)*(tFAU+t0)/(b2-h); else q2=(2+1)*(tFAU+t0)/b2;
end;
q21=[6.2,7.1,8.1,9.2,9.7,11,13,16,17,21,22,27,33,36];
n=min(find(q21>=q2)); q2=q21(n);
d21=[13.5,14.5,15,16,16.5,17.5,19.5,21,22,24,25,27.5,30.5,32];
d2=d21(n);
s21=[65,74,84,95,105,114,144,175,185,220,239,286,350,386];
s2=s21(n);
T21=[109,124.5,142,161,168.5,184.8,231.5,282.25,297.5,356,385.5,
462.5,564,623];
T2=T21(n); T2max=T2*10^3/n2; b2=T2max/q2; G2=2*q2*(b2-h);
H2=q2*b2*cos(b);
bn=2; Vm=0.32*(j1*L)^.5; D0=.08*d2; D0r=[1,1.25,1.6, 2, 2.5];
n=min(find(D0r>=D0));          D0=D0r(n);          nm=60*Vm/pi/D0;
n0=[750,1000,1500];
ired=[8,10,12.5,16,20,22.4,31.5,40,50];          nm1=nm*ired;
[M1,n]=min(nm1/750);
[M2,n]=min(nm1/1000);          [M3,n]=min(nm1/1500);
[MM,n]=min([M1,M2,M3]);
nmot=n0(n); dd=nmot/nm; [z,n]=min((abs(ired-dd))); i=ired(n);
Vmr=pi*D0*nmot/60/i;
Pef=Fi*Fef*Vmr/etar;
if nmot==750 P750=[7.5,11,15,18.5,22,30,37,45,55,75,90];
n=min(find(P750>=Pef));
Pnom=P750(n); J750=[.11,.15,.27,.41,.46,.7,1.2,1.4,3.29,4,5.21];
Jmot=J750(n); end;
if nmot==1000 P1000=[7.5,11,15,18.5,22,30,37,45,55,75,90];
n=min(find(P1000>=Pef));
Pnom=P1000(n);
J1000=[.067,.11,.15,.27,.41,.46,.65,1.2,1.3,3.04,3.25];
Jmot=J1000(n); end;
if nmot==1500 P1500=[7.5,11,15,18.5,22,30,37,45,55,75,90];
n=min(find(P1500>=Pef));
Pnom=P1500(n); J1500=[.032,.045,.075,.087,.16,.2,.27,.32,.5,1,1.2];
Jmot=J1500(n); end;
Mred=(8*bn*Pnom*.9/nmot-.003*Jmot*j1/D0*i)*j;
disp(sprintf('sarelso bagiris erti metris cona, N/m-q1=%g',q1));
disp(sprintf('sarelso bagiris damchimi tvirti, N-G1=%g',G1));

```

```

disp(sprintf('sacevi bagiris erti metris cona, N/m-q2=%g',q2));
disp(sprintf('sacevi bagiris damchimi tvirti, N-G2=%g',G2));
disp(sprintf('amzravi shkivis diametri, m- D0=%g',D0));
disp(sprintf('zravas brunvata ricxvi, r/min - nmot=%g',nmot));
disp(sprintf('reductoris gadacemis ricxvi, - i=%g',i));
disp(sprintf('reduqtoris momenti, Nm- Mred=%g', Mred));
disp(sprintf('bagirgzis sichqare, m/s- Vmr=%g',Vmr));
disp(sprintf('bagirgzis amzravi zravas simzlavre, kWt- Pnom=%g',Pnom));
disp('=====');
f2m=q2*L^2/8/H2/cos(b); IR=L/cos(b)+8*f2m^2*(cos(b))^3/3/L;
CV=E*s2/IR;
CH=12*H2^3/q2^2/IR^3/cos(b); CR=CV*CH/(CV+CH);
mR=q2*IR/10; hw=2.5;
mmot=4*Jmot*(i/D0)^2; mred=.5*mmot; m1x=200*D0^2;
m2x=115*D0^2; ww=(10/hw)^.5;
m1=mmot+mred+m1x+2*m2x; m2=3*m2x; Ax=m1+mR+mC;
Bx=m2+mR; Ay=Ax-mC;
By=Bx+mC; disp([sprintf(' Ax=%g',Ax), sprintf(' Bx=%g',Bx)]);
disp([sprintf(' Ay=%g',Ay), sprintf(' By=%g',By), sprintf('
CR=%g',CR)]);
for N=0:25:25; mw=mE+80*N; Cw=mw*ww^2; F0=.6*(Ax+Bx+mw);
disp([sprintf(' N=%g',N), sprintf(' Cw=%g',Cw),sprintf(' F0=%g',F0),
sprintf(' mw=%g',mw)]);
syms p t; b1=F0/p; b2=0; b3=0;
p11=Ax*p^2+2*CR+mw*ww^2; p12=-2*CR; p13=-mw*ww^2;
p21=-2*CR; p22=Bx*p^2+2*CR; p23=0; p31=-ww^2; p32=0;
p33=p^2+ww^2;
D=det([p11,p12,p13; p21,p22,p23;p31,p32,p33]);
D=vpa(collect(D),4);
p11=b1; p12=-2*CR; p13=-mw*ww^2;
p21=b2; p22=Bx*p^2+2*CR; p23=0; p31=b3; p32=0;
p33=p^2+ww^2;
Dx=det([p11,p12,p13; p21,p22,p23;p31,p32,p33]);
Dx=vpa(collect(Dx),4); X=vpa(ilaplace(Dx/D,p,t),4); Vx=vpa(diff(X),4);
ax=vpa(diff(Vx),4);
p11=Ax*p^2+2*CR+mw*ww^2; p12=b1; p13=-mw*ww^2;
p21=-2*CR; p22=b2; p23=0; p31=-ww^2; p32=b3; p33=p^2+ww^2;

```

```

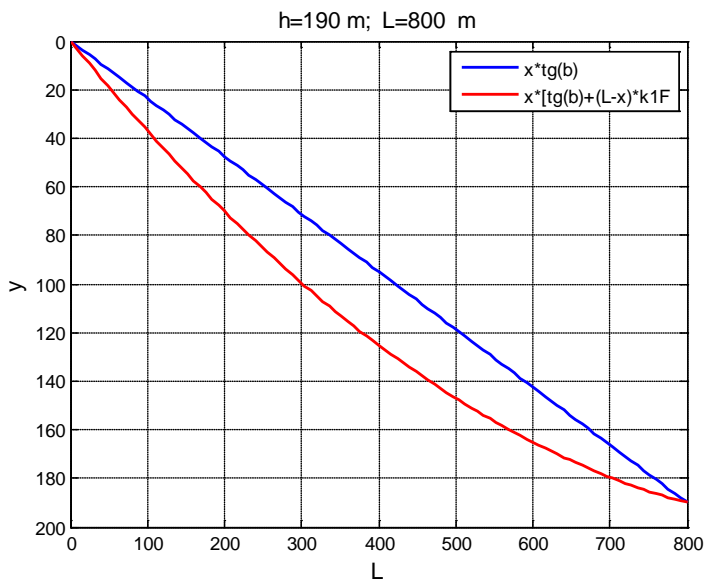
Dy=det([p11,p12,p13; p21,p22,p23;p31,p32,p33]);
Dy=vpa(collect(Dy),4); Y=vpa(ilaplace(Dy/D,p,t),4); Vy=vpa(diff(Y),4);
ay=vpa(diff(Vy),4);
p11=Ax*p^2+2*CR+mw*ww^2; p12=-2*CR; p13=b1;
p21=-2*CR; p22=Bx*p^2+2*CR; p23=b2; p31=-ww^2; p32=0;
p33=b3;
Dz=det([p11,p12,p13; p21,p22,p23;p31,p32,p33]);
Dz=vpa(collect(Dz),4); Z=vpa(ilaplace(Dz/D,p,t),4); Vz=vpa(diff(Z),4);
az=vpa(diff(Vz),4);
X=vpa(simple(X),4); Y=vpa(simple(Y),4); Z=vpa(simple(Z),4);
Vx=vpa(simple(Vx),4); Vy=vpa(simple(Vy),4); Vz=vpa(simple(Vz),4);
ax=vpa(simple(ax),4); ay=vpa(simple(ay),4); az=vpa(simple(az),4);
t=0:.1:10; X=subs(X); Y=subs(Y); Z=subs(Z); Vx=subs(Vx);
Vy=subs(Vy); Vz=subs(Vz); ax=subs(ax); ay=subs(ay); az=subs(az);
figure; subplot(3,1,1); plot(t,X-Y,'b',t,X-Z,'r','LineWidth',2), grid;
xlabel('t','FontSize',12); ylabel('X, Y, Z','FontSize',8);
title([' vagoni amzravtanaa',' ----- N=',int2str(N)], 'FontSize',12 );
legend(' X-Y',' X-Z',-1);
subplot(3,1,2); plot(t,Vx-Vy,'b',t,Vx-Vz,'r', 'LineWidth',2),grid,
xlabel('t','FontSize',12); ylabel('Vx, Vy, Vz','FontSize',8); legend('Vx-
Vy','Vx-Vz',-1);
subplot(3,1,3); plot(t,ax-ay,'b',t,ax-az,'r', 'LineWidth',2),grid,
xlabel('t','FontSize',12); ylabel('ax, ay, az','FontSize',8); legend('ax-
ay','ax-az',-1);
end; for N=0:25:25; mw=mE+80*N; Cw=mw*ww^2;
F0=.6*(Ay+By+mw);
syms p t; b1=F0/p; b2=0; b3=0;
p11=Ay*p^2+2*CR; p12=-2*CR; p13=0;
p21=-2*CR; p22=By*p^2+2*CR+mw*ww^2; p23=-mw*ww^2;
p31=0; p32=-ww^2; p33=p^2+ww^2;
D=det([p11,p12,p13; p21,p22,p23;p31,p32,p33]);
D=vpa(collect(D),4);
p11=b1; p12=-2*CR; p13=0; p21=b2; p22=By*p^2+2*CR+mw*ww^2;
p23=-mw*ww^2;
p31=b3; p32=-ww^2; p33=p^2+ww^2;
Dx=det([p11,p12,p13; p21,p22,p23;p31,p32,p33]);
Dx=vpa(collect(Dx),4); X=vpa(ilaplace(Dx/D,p,t),4); Vx=vpa(diff(X),4);
ax=vpa(diff(Vx),4);
p11=Ay*p^2+2*CR; p12=b1; p13=0; p21=-2*CR; p22=b2; p23=-
mw*ww^2;

```

```

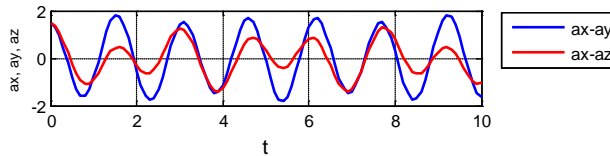
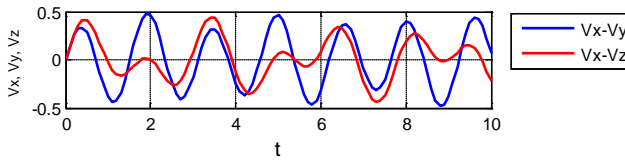
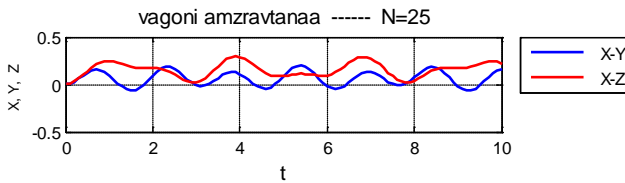
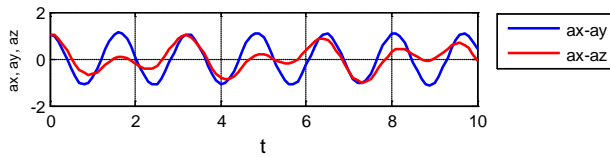
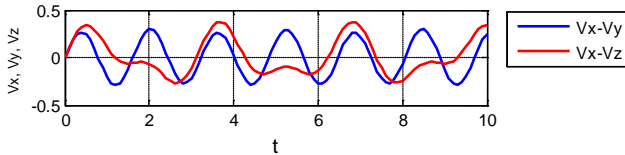
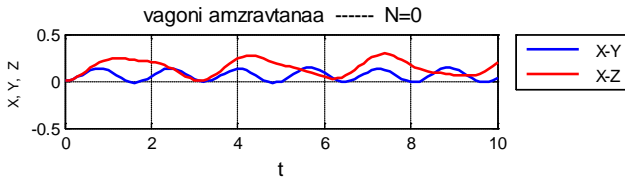
p31=0; p32=b3; p33=p^2+ww^2;
Dy=det([p11,p12,p13; p21,p22,p23;p31,p32,p33]);
Dy=vpa(collect(Dy),4); Y=vpa(ilaplace(Dy/D,p,t),4);
Vy=vpa(diff(Y),4); ay=vpa(diff(Vy),4);
p11=Ay*p^2+2*CR; p12=-2*CR; p13=b1;
p21=-2*CR; p22=By*p^2+2*CR+mw*ww^2; p23=b2; p31=0; p32=-
ww^2; p33=b3;
Dz=det([p11,p12,p13; p21,p22,p23;p31,p32,p33]);
Dz=vpa(collect(Dz),4); Z=vpa(ilaplace(Dz/D,p,t),4); Vz=vpa(diff(Z),4);
az=vpa(diff(Vz),4);
X=vpa(simple(X),4); Y=vpa(simple(Y),4); Z=vpa(simple(Z),4);
Vx=vpa(simple(Vx),4); Vy=vpa(simple(Vy),4); Vz=vpa(simple(Vz),4);
ax=vpa(simple(ax),4); ay=vpa(simple(ay),4); az=vpa(simple(az),4);
t=0:.1:10; X=subs(X); Y=subs(Y); Z=subs(Z); Vx=subs(Vx);
Vy=subs(Vy); Vz=subs(Vz); ax=subs(ax); ay=subs(ay); az=subs(az);
figure; subplot(3,1,1); plot(t, X-Y,'b',t,X-Z,'r','LineWidth',2), grid;
xlabel('t','FontSize',12); ylabel('X, Y, Z','FontSize',8);
title([' vagoni damchim shkivtanaa',' ----- N=',int2str(N)],
'FontSize',12); legend(' X-Y', ' X-Z',-1);
subplot(3,1,2); plot(t,Vx-Vy,'b',t,Vx-Vz,'r', 'LineWidth',2),grid,
xlabel('t','FontSize',12); ylabel('Vx, Vy, Vz','FontSize',8); legend('Vx-
Vy','Vx-Vz',-1);
subplot(3,1,3); plot(t,ax-ay,'b',t,ax-az,'r', 'LineWidth',2),grid,
xlabel('t','FontSize',12); ylabel('ax, ay, az','FontSize',8); legend('ax-
ay','ax-az',-1); end;

```

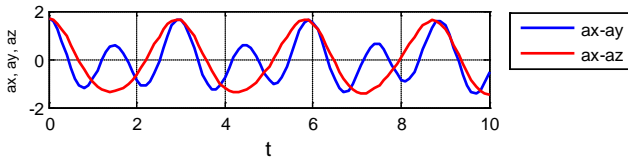
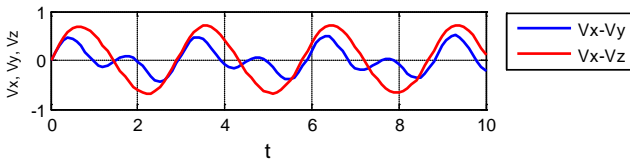
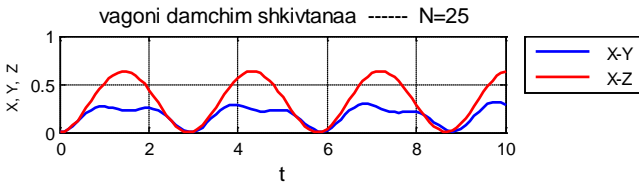
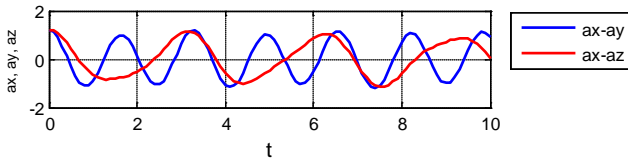
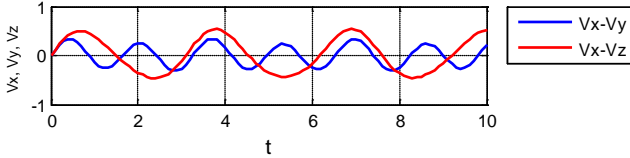
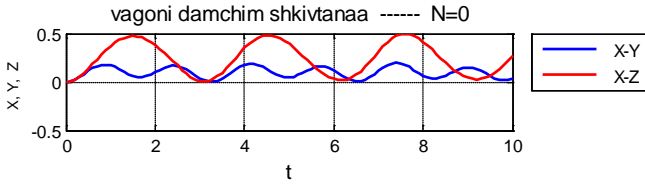


**ერთმალისანი ბაგირგზის სარკელსო ბაგირის  
ჩაკიდულობის მრუდი**





ერთვაგონიანი ბაგირგზის ამუშავების გარდამავალი რეჟიმის მრუდები



ერთგაგონიანი ბაგირგზის ამუშავების გარდამავალი რეჟიმის მრუდები

# I დანართი

## ჯალამბრის სკიპები

№ №	სკიპის ტვირთ- ამწეობა, $m_0$ , კგ	გაცლის წესი	სკიპის მასა, $m_{sk}$ , კგ
1	2000	ძირიდან	2500
2	3000	-“-	3000
3	4000	-“-	3000
4	6000	-“-	4500

**II დანართი**  
**ჯალამბრის ბაგირები**

<b>N</b>	<b>ბაგირის 1 მ-ის მასა, mr- კგ/მ</b>	<b>ბაგირის დიამეტრი dr- მმ</b>	<b>ბაგირის ლითონის კვეთი Sr- მმ<sup>2</sup></b>	<b>ბაგირის გამგლეჯი ძალა Tr- კნ</b>
<b>1</b>	<b>0.3835</b>	<b>9.7</b>	<b>38.82</b>	<b>49.85</b>
<b>2</b>	<b>0.513</b>	<b>11.5</b>	<b>51.96</b>	<b>66.75</b>
<b>3</b>	<b>0.6965</b>	<b>13.5</b>	<b>70.55</b>	<b>90.65</b>
<b>4</b>	<b>0.812</b>	<b>15</b>	<b>82.16</b>	<b>104.5</b>
<b>5</b>	<b>1.045</b>	<b>16.5</b>	<b>105.73</b>	<b>135.5</b>
<b>6</b>	<b>1.245</b>	<b>18</b>	<b>125.78</b>	<b>161.5</b>
<b>7</b>	<b>1.52</b>	<b>20</b>	<b>153.99</b>	<b>197.5</b>
<b>8</b>	<b>1.83</b>	<b>22</b>	<b>185.1</b>	<b>237.5</b>
<b>9</b>	<b>2.13</b>	<b>23.5</b>	<b>215.94</b>	<b>277</b>
<b>10</b>	<b>2.495</b>	<b>25.5</b>	<b>252.46</b>	<b>324</b>
<b>11</b>	<b>2.8</b>	<b>27</b>	<b>283.79</b>	<b>364.5</b>
<b>12</b>	<b>3.215</b>	<b>29</b>	<b>325.42</b>	<b>417.5</b>
<b>13</b>	<b>3.655</b>	<b>31</b>	<b>369.97</b>	<b>475</b>
<b>14</b>	<b>4.155</b>	<b>33</b>	<b>420.96</b>	<b>540.5</b>
<b>15</b>	<b>4.55</b>	<b>34.5</b>	<b>461.07</b>	<b>592</b>

### III დანართი ჯამბრები

დოლის ტიპი	დოლის დიამეტრი და სიგანე, მ	მაქსიმალ. სტრუქტურული დატვირთვა, კნ	დასახვევი ბაგირის დიამეტრი, მმ	დასახვევი ბაგირის სიგრძე, მ	მაქსიმალური სიჩქარე, მ/წმ	ძრავას ბრუნვათა რიცხვი, ბრ/წთ	ძრავას სიმძლავრე, კვტ	ჯამური ინერციის მომენტი, კგმ <sup>2</sup>
2БЛ	1.2/0.8	25	18	380	2	960	35	9200
2ЛТ	1.2/1.0	35	22	475	2	960	80	9600
1БЛ	1.6/1.2	40	25	605	3.4	960	150	10450

## IV დანართი

### ასინქრონული ფაზურ-როტორიანი ძრავები

$N_6$ $N_6$	სიმძლავრე, კვტ	ბრუნთა რიცხვი, ბ/წთ	გადატვირთვის კოეფიციენტი	როტორის ძაბვა, ვ	როტორის დენი, ა	ინერციის მომენტი, კგმ <sup>2</sup>
	$P_n$	$n_n$	$b_n$	$U_2$	$I_2$	$J_{mot}$
1	5.5	1420	2.5	211	15	0.07
2	7.5	1420	2.5	298	15	0.085
3	10	1420	2	160	40	0.14
4	17	1430	2	215	49.3	0.33
5	22	1430	2	275	50.1	0.4
6	4	950	2.5	112	21	0.103
7	5.5	950	2.5	153	21	0.135
8	7.5	960	1.8	140	35	0.24
9	10	960	1.8	180	36	0.29
10	13	960	1.8	195	42.6	0.62
11	10	715	1.7	150	47.8	0.62
12	13	715	1.7	185	50	0.55
13	22	725	1.7	95	150	1.13
14	30	725	1.7	130	150	1.43
15	40	720	1.7	120	225	1.6

**V დანართი**  
**მუდმივი ღენის ძრავები**

№ №	სიმბ- ლაგრე	ბრუნ- ვათა რიცხვი	ძაბვა	ღენი	მქ კოეფ.
	კმტ	ბრ/წთ	გ	გ	%
	<b>Pn</b>	<b>Nn</b>	<b>U</b>	<b>I</b>	<b>eta</b>
1	8.5	800	220	48.0	81
2	10	750	220	58.0	79
3	11	800	220	60.0	84
4	13	1120	220	70.0	85
5	14	1000	220	78.0	82
6	16	100	220	85.0	86
7	18.5	1500	220	97.0	87
8	22	1500	220	114.0	87.5
9	25	2120	220	128.0	89
10	30	1500	220	153.0	88.9
11	32	3150	440	80.0	90.5
12	36	2200	220	185.0	88.5
13	53	2360	440	133.0	90.5
14	60	3150	440	151.0	90.5
15	75	3150	440	186.0	91.5
16	85	1000	440	219.0	88.4
17	90	1060	220	463.0	88.4
18	110	1000	220	562.0	89
19	132	1500	220	662.0	90.6
20	160	1500	220	808.0	90

**VI დანართი**  
**ბაგირგზის სარელსო ბაგირები**

გრძივი მეტრის წონა, q <sub>1</sub> ნ/მ	ბაგირის დიამეტრი, d <sub>1</sub> მმ	ბაგირის ლითონის კვეთი, s <sub>1</sub> მმ <sup>2</sup>	ჯამური გამტარეულობა, T <sub>1</sub> , კნ		
			S <sub>1</sub> , 1200 ნ/მმ <sup>2</sup>	S <sub>1</sub> , 1300 ნ/მმ <sup>2</sup>	S <sub>1</sub> , 1400 ნ/მმ <sup>2</sup>
50	30.5	596	715	775	834
56	32	660	790	858	924
63	34	730	875	949	1022
70	35.5	796	955	1035	1114
86	38.5	1000	1200	1300	1400
96	40.5	1135	1360	1475	1589
103	42.5	1210	1450	1573	1694
115	45	1356	1620	1762	1898
125	47	1460	1750	1898	2044
145	51	1725	2070	2242	2415
164	52	1960	2352	2548	2744
173	54	2064	2480	2683	2890
177	55	2075	2490	2697	2905
198	60	2390	2870	3107	3346
237	65	2850	3420	3705	3990
272	70	3292	3950	4280	4609



## VII დანართი

### ბაგირგზის საწვევი ბაგირები

გრძობი მეტრის წონა, q <sub>2</sub> ნ/მ	ბაგირის დიამეტრი, d <sub>2</sub> მმ	ბაგირის ლითონის კვეთი, s <sub>2</sub> მმ <sup>2</sup>	ჯამური გამგლეჯი ძალა, T <sub>2</sub> კნ		
			S <sub>2</sub> , 1700 ნ/მმ <sup>2</sup>	S <sub>2</sub> , 1800 ნ/მმ <sup>2</sup>	S <sub>2</sub> , 1900 ნ/მმ <sup>2</sup>
6.2	13.5	65	97.4	103	109
7.1	14.5	74	111.5	118	124.5
8.1	15	84	127.5	134.5	142
9.2	16	95	144	152.5	161
9.7	16.5	105	150.5	159.5	168.5
11	17.5	114	165.35	175.1	184.8
13	19.5	144	207	219.5	231.5
16	21	175	252.5	267.4	282.25
17	22	185	266	282	297.5
21	24	220	318.5	337.25	356
22	25	239	345.5	365.5	385.5
27	27.5	286	413.5	438.5	462.5
33	30.5	350	504.5	534.5	564
36	32	386	557.5	590.25	623

## VIII დანართი

ბაგირგზის ამძრავი ასინქრონული ძრავები

ნომინ. სიმძლ.	ნომინ. ბრუნ.რიც.	ნომინ. ღენი	სიმძლ. კოეფ.	bn= Mm/Mn	მქნევარა მომენტი
Pn,kWt	nn,r/min	In	cosFi		Jmot
7.5	1450	15.4	0.85	2,8	0,032
11	1450	22.1	0.85	3,0	0,045
15	1450	29.6	0.86	2,6	0,075
18.5	1450	36.3	0.86	2,6	0,087
22	1465	44	0.84	2,6	0,16
30	1470	57.5	0.87	2,6	0,20
37	1470	72	0.85	2,5	0,27
45	1470	87	0.85	2,8	0,32
55	1475	105	0.86	2,2	0,50
75	1485	142	0.85	2,3	1,00
90	1485	164	0.88	2,3	1,20
7.5	960	16,7	0,8	2,8	0,067
11	970	23,4	0,82	2,5	0,11
15	970	31,0	0,83	2,7	0,15
18.5	980	37,5	0,84	2,7	0,27
22	975	44,5	0,83	2,2	0,41
30	975	60,0	0,84	2,2	0,46
37	980	73,0	0,84	2,5	0,65
45	985	87,5	0,84	2,0	1,20
55	985	108	0,84	2,0	1,30
75	990	142	0,85	2,0	3,04
90	990	171	0,85	2,2	3,25

ბაგირგზის ამბრაგი ასინქრონული ძრავები  
(VIII დანართის გაგრძელება)

7.5	725	18.4	0,72	2,2	0,11
11	725	26	0,74	2,2	0,15
15	730	33	0,78	2,2	0,27
18.5	735	41,0	0,76	2,7	0,41
22	735	48,5	0,77	2,6	0,46
30	735	64,5	0,78	2,2	0,70
37	740	84,0	0,73	2,6	1,20
45	740	98,0	0,75	2,6	1,40
55	740	108	0,83	2,0	3,29
75	740	148	0,82	2,1	4,00
90	740	170	0,85	2,1	5,21

IX დანართი

ბაგირგზის ამბრავის რელუქტორები

რელუქტივი	გადაცემის რიცხვი	ნომ. გამომ. მომენტი კნ.
PM-400	8; 10; 12.5; 16; 20; 22.4; 31.5; 40; 50;	2
PM-500	8; 10; 12.5; 16; 20; 22.4; 31.5; 40; 50;	2.3
PM-650	8; 10; 12.5; 16; 20; 22.4; 31.5; 40; 50;	10
PM-750	8; 10; 12.5; 16; 20; 22.4; 31.5; 40; 50;	18
PM-850	8; 10; 12.5; 16; 20; 22.4; 31.5; 40; 50;	27

## ლიტერატურა

1. წერეთელი მ. მეთოდური მითითებები პრაქტიკული სამუშაოებისა და საკურსო პროექტირების შესასრულებლად საგანში “სამთო მანქანების ელექტრული ამძრავი”. თბილისი, სტუ, 2007.
2. წერეთელი მ., მახარაშვილი ნ., წერეთელი ი. ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის პარამეტრების შერჩევა და ამუშავების დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაცია. თბილისი, სტუ, 2013.
3. წერეთელი მ., მახარაშვილი ნ., წერეთელი ი. ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის სარელსო ბაგირის შერჩევა. “სამთო ჟურნალი”, №1(28), თბილისი, 2012. გვ. 63-64.

## ს ა რ ჩ ე გ ი

I. პრაქტიკული და საკურსო სამუშაოები	3
1. მუდმივი დენის, დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავას მახასიათებლები	5
2.. ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები	19
3.. ორბოლოიანი საშახტო ჯალამბრის ამუშავების თავისებურებანი	32
II. პრაქტიკული სამუშაოები	38
ამოცანა №1	38
ამოცანა №2	43
ამოცანა №3	48
ამოცანა №4	53
III. საკურსო სამუშაო I – ორბოლოიანი საშახტო ჯალამბრის ამუშავების რეჟიმის გაანგარიშება	59
IV. საკურსო სამუშაო II – ერთმალიანი, ორვაგონიანი ქანქარასებრი კიდული სამგზავრო ბაგირგზის ამუშავების რეჟიმის გაანგარიშება	66
V. საკურსო სამუშაო III – ერთმალიანი, ერთვაგონიანი ქანქარასებრი კიდული სამგზავრო	

ბაგირგზის ამუშაების რეჟიმის გაანგარიშე-	
ბა - - - - -	95
I დანართი – ჯალამბრის სკიპები - - - - -	116
II დანართი – ჯალამბრის ბაგირები - - - - -	117
III დანართი – ჯალამბრები - - - - -	118
IV დანართი – ფაზურ-როტორიანი ძრავები- - - - -	119
V დანართი – მუდმივი დენის ძრავები - - - - -	120
VI დანართი – ბაგირგზის სარელსო ბაგირები - - - -	121
VII დანართი – ბაგირგზის საწვევი ბაგირები - - - -	122
VIII დანართი – ბაგირგზის ასინქრონული ძრავები- -	123
IX დანართი – ბაგირგზის ამძრავის რედუქტორები -	124
ლიტერატურა - - - - -	125