მიხეილ წერეთელი
ნანა მახარაშვილი
ირაკლი წერეთელი

ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის პარამეტრების შერჩევა და ამუშავების დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაცია

"ტექნიკური უნივერსიტეტი"

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მიხეილ წერეთელი
ნანა მახარაშვილი
ირაკლი წერეთელი

ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის პარამეტრების შერჩევა და ამუშავების დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაცია

დამტკიცებულია მონოგრაფიად
სტუ-ს სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ, **03.04.2013,** ოქმი №**2**

თბილისი

2013

განხილულია ერთმალიანი, ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის ძირითადი პარამეტრების - სარელსო და საწევი ბაგირების, ამძრავისა და რედუქტორის და სხვ. გაანგარიშება და შერჩევა, როგორც დამჭიმტვირთიან, ისე უძრავად ჩამაგრებულბოლოებიან სარელსო ბაგირების შემთხვევაში. დაპროგრამების სისტემა MATLAB-ში, მოცემულია პროგრამები, რომლებიც ბაგირგზის დონეთა სხვაობის, სიგრძისა და ვაგონის წონის მიხედვით შეირჩევს ბაგირგზის თითქმის ყველა პარამეტრს.

განხილულია აგრეთვე ბაგირგზის დინამიკური რეჟიმების დროს აღძრული მექანიკური რხევების ჩაქრობა, როგორც დამატებით ჩართული მექანიკური ელემენტების, ისე ძრავას მართვის საშუალებით.

განკუთვნილია სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტის მაგისტრანტების, დოქტორანტებისა და აგრეთვე იმ პირთათვის, ვინც დაინტერესებულია განხილული საკითხებით.

რეცენზენტები: მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტი, მანქანათა დინამიკის განყოფილების ხელმძღვანელი, სტუ-ს სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტის პროფესორი **ვ. ზვიადაური**

მანქანათა მექანიკის ინსტიუტი, მანქანათა დინამიკის განყოფილების უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი **მ. ჭელიძე.**

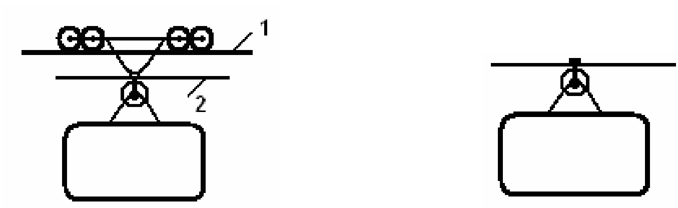
შესავალი

კიდული ბაგირგზა ტრანსპორტის ერთ-ერთ გავრცელებულ სახეობას წარმოდგენს. როგორც სამგზავრო, ისე სატვირთო ბაგირგზების ექსპლუატაციის პრაქტიკამ აჩვენა მათი დიდი ეფექტურობა და საიმედოობა. სწორად დაპროექტებული და თანამედროვე ტექნოლოგიური მიღწევებით აღჭურვილი ბაგირგზა, ტრანსპორტის ყველაზე უსაფრთხო სახეობად იქცა. ბაგირგზები ფართოდ გამოიყენება შახტებისა და მაღაროების ზედაპირზე ხალხისა და სხვადასხვა ტვირთის გადასაადგილებლად.

კიდული ბაგირგზები ასევე ფართოდ გამოიყენება მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობაში. ისეთი მთაგორიანი ქვეყნისათვის, როგორიც საქართველოა, ბაგირგზის განვითარებას, პირველ რიგში, სოციალური და სტრატეგიული დანიშნულება აქვს. მათ გარეშე წარმოუდგენელია მაღალმთიანი რეგიონების შენარჩუნება-ათვისება, ტურიზმისა და სამთო-სათხილამურო სპორტის განვითარება და სხვ. ამასთანავე, ყველა სხვა სატრანსპორტო საშუალებასთან შედარებით ისინი ეკოლოგიურად უფრო სუფთა, ეკონომიური და უსაფრთხოა.

კიდული ბაგირგზები ორ ტიპად იყოფა: ორბაგირიანად და ერთბაგირიანად. ორბაგირიან ბაგირგზაზე ორი სახის ბაგირია: სარელსო (1), რომელზეც ვაგონის სავა-

ლი თვლები დაგორავენ და საწევი (2), რომლის საშუალ-ებითაც მოძრაობს ვაგონი (ნახ. 1, ა).



ა) ბ)

ნახ. 1

ერთბაგირიან ბაგირგზაზე მხოლოდ ერთი, საწევი ბა-გირია (ნახ. 1, ბ). მისი დანიშნულებაა, როგორც ვაგონის გაწევა, ასევე მისი გადატანა.

კიდული ბაგირგზები (როგორც ერთბაგირიანი, ისე ორბაგირიანი) მოძრაობის ხასიათის მიხედვით ორგვარია:

1. ქანქარასებრი, სადაც სადგურები ერთმანეთთან დაკავ-შირებულია სარელსო ბაგირებით და რომლებზეც ვაგონ-ები უკუმოქცევ-გადატანით (ქანქარასებრ) მოძრაობას ახ-ორციელებენ საწევი ბაგირების საშუალებით.

2. წრიული, სადაც ვაგონები მუდმივად ერთი მიმართუ-ლებით მოძრაობენ. ამ გზებზე ვაგონებს საწევ ბაგირზე ისეთნაირად ამაგრებენ, რომ სადგურებზე შესაძლებელი იყოს მათი მოხსნა. ზოგჯერ, ვაგონი საწევ ბაგირთან უძ-

არავადაა ჩამაგრებული და მასთან ერთად შემოუვლის ყველა შკივსა და გორგოლაჭს.

ბაგირგზის მუშაობის შეფერხება და მათში გაჩენილი უწესივრობანი ძირითადად გამოწვეულია საწევ ბაგირში აღძრული დინამიკური ძალებით. ამ ძალების გათვალისწინება, დინამიკური რეჟიმების კვლევისას, ძალზე რთულ ამოცანას წარმოადგენს და მისი გადაწყვეტა ხდებოდა გამარტივებული მათემატიკური მოდელებით. ეს კი არ იძლეოდა ბაგირგზის ელემენტების სწორად შერჩევისა და ოპტიმალური მართვის საშუალებას.

თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებამ საშუალება მოგვცა თავიდან ავიცილოთ ის გამარტივებები და დაშვებები, რომლებიც მათ გამოყენებამდე ხდებოდა და შევქმნათ ისეთი მათემატიკური მოდელები, რომლებიც უფრო სრულყოფილად აღწერენ რეალურ სურათს. კომპიუტერული ტექნიკის მძლავრი მათემატიკური აპარატით შესაძლებელია ასევე ამოიხსნას ნებისმიერი სირთულის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა, რომელიც აუცილებელია ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის დინამიკური რეჟიმების კვლევისას.

ბაგირგზის ძირითადი პარამეტრები და განზომილების ერთეულები

$g \approx 10$ - სიმძიმის ძალის აჩქარება, მ/წმ^2;

L - გზის ჰორიზონტალური სიგრძე, მ;

h - სადგურებს შორის დონეთა სხვაობა, მ;

$\beta = \mathrm{arctg}\left(\frac{h}{L}\right)$ - ბაგირგზის ე.წ. სავიზირო კუთხე;

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

$t_0 = 0.2$ - საწევი ბაგირის ერთი შტოს მოძრაობის წინააღმდეგობის მნიშვნელობა, კნ;

$E_0 = 1.1 \cdot 10^{-5}$ - სარელსო ბაგირის ხაზური წაგრძელების კოეფიციენტი, მ;

$E = (1.6...2.1) \cdot 10^8$ - ფოლადის მავთულის დრეკადობის მოდული, კნ/მ^2;

q_C - სავალი ურიკის (კარეტის) წონა, კნ;

Q_w - ცარიელი ვაგონის წონა კნ;

$Q_{EC} = Q_w + q_C$ - ცარიელი ვაგონის წონა სავალი ურიკით (კარეტით), კნ;

$q_p \approx 0.8$ - ერთი მგზავრის სავარაუდო წონა ვაგონში, კნ;

N- მგზავრთა რაოდენობა ვაგონში;

$Q_F = Q_w + q_p \cdot N$ - დატვირთული ვაგონის წონა, კნ;

$Q_{FC} = Q_F + q_C$ - დატვირთული ვაგონის წონა სავალი ურიკით (კარეტით), კნ;

q_1 - ერთი მეტრი სარელსო ბაგირის წონა, კნ/მ;

q_2 - ერთი მეტრი საწევი ბაგირის წონა, კნ/მ;

$n_1 = 3.3$ - სარელსო ბაგირის სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტის მინიმალური მნიშვნელობა;

$n_2 = 4.5$ - საწევი ბაგირის სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტის მინიმალური მნიშვნელობა;

$\alpha_{1,2} = 0.82...0.9$ -კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბაგირის მავთულების არათანაბარ დატვირთვას;

$\sigma_1 = (120...190) \cdot 10^4$ -სარელსო ბაგირის სიმტკიცის ზღვარი გაგლეჯაზე, კნ/მ^2;

$\sigma_2 = (140...220) \cdot 10^4$ - საწევი ბაგირის სიმტკიცის ზღვარი გაგლეჯაზე, კნ/მ^2;

s_1 - სარელსო ბაგირის ლითონის კვეთი, მ^2;

s_2 - საწევი ბაგირის ლითონის კვეთი, მ^2;

$\gamma_1 = \dfrac{q_1}{s_1} \approx 85$ - სარელსო ბაგირის ფიქტობრივი მოცულობითი წონა, კნ/მ^3.;

$\gamma_2 = \dfrac{q_2}{s_2} \approx 95$ - საწევი ბაგირის ფიქტობრივი მოცულობითი წონა, კნ/მ^3;

$T_1 = \alpha_1 \sigma_1 s_1$ - სარელსო ბაგირის საგლეჯი ძალა, კნ;

$T_{1max} = \dfrac{T_1}{n_1} = \dfrac{\alpha_1 \sigma_1 s_1}{n_1} = \dfrac{\alpha_1 \sigma_1 q_1}{\gamma_1 n_1} = b_1 q_1$ - სარელსო ბაგირის დაჭიმულობის დასაშვები მაქსიმალური მნიშვნელობა, კნ;

$b_1 = \dfrac{\alpha_1 \sigma_1}{\gamma_1 n_1}$ - T_{1max} მაქსიმალური ძალის კოეფიციენტი, მ;

$T_2 = \alpha_2 \sigma_2 s_2$ - საწევი ბაგირის საგლეჯი ძალა, კნ

$T_{2max} = \dfrac{T_2}{n_2} = \dfrac{\alpha_2 \sigma_2 s_2}{n_2} = \dfrac{\alpha_2 \sigma_2 q_2}{\gamma_2 n_2} = b_2 q_2$ - საწევი ბაგირის დაჭიმულობის დასაშვები მაქსიმალური მნიშვნელობა, კნ;

$b_2 = \dfrac{\alpha_2 \sigma_2}{\gamma_2 n_2}$ - T_2 მაქსიმალური ძალის კოეფიციენტი, მ;

$G_1 = q_1 (b_1 - h)$ -სარელსო ბაგირის დამჭიმი ტვირთის წონა, კნ;

$H_1 = \left(G_1 + \dfrac{1}{2} q_1 h \right) \cos\beta$ - სარელსო ბაგირის დაჭიმულობის ჰორიზონტალური მდგენელი, კნ;

$t_F = Q_{FC} (\sin\gamma + f_0 \cos\gamma)$ - დატვირთული ვაგონის წონის მდგენელისა და მისი მოძრაობის წინააღმდეგობის ჯამი, კნ;

γ - ვაგონის ასვლის კუთხის მაქსიმლური მნიშვნელობა;

$G_2 = 2\left(b_2 q_2 - \frac{t_F}{2} - t_0\right)$ - საწევი ბაგირის დამჭიმი ტვირთის წონა, კნ;

$H_2 = \frac{1}{2}\left(G_2 + q_2 h\right)\cos\beta$ - საწევი ბაგირის დაჭიმულობის ჰორიზონტალური მდგენელი, კნ;

$f_{2max} = \frac{q_2 L^2}{8 H_2 \cos\beta}$ - საწევი ბაგირის ჩაკიდულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა, მ;

$l_R = \frac{L}{\cos\beta} + \frac{8}{3} \cdot \frac{f_{2max}^2}{L} \cos^3\beta$ - ჩაკიდული საწევი ბაგირის მრუდის სიგრძე, მ;

$C_v = \frac{E s_2}{l_R}$ - საწევი ბაგირის სიხისტის ვერტიკალური მდგენელი, კნ/მ;

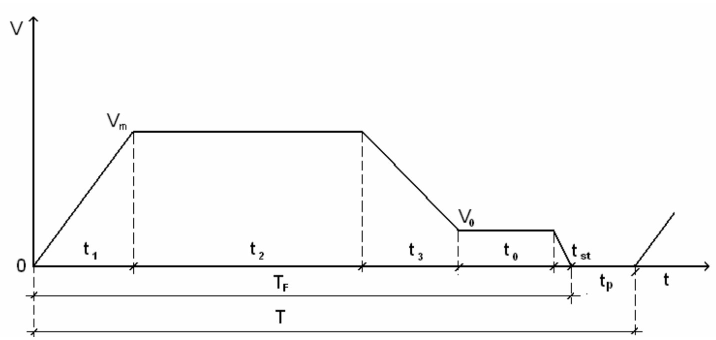
$C_H = \frac{12 H_2^3}{q_2^2 l_R^3 \cdot \cos\beta}$ - საწევი ბაგირის სიხისტის ჰორიზონტალური მდგენელი, კნ/მ;

$C = \frac{C_v C_H}{C_v + C_H}$ - საწევი ბაგირის სიხისტის კოეფიციენტი, კნ/მ;

თავი I. ბაგირგზის კინემატიკის ელემენტები და გამტარუნარიანობა

1.1 ბაგირგზის კინემატიკის ელემენტები

ბაგირგზის სიჩქარის ტაქოგრამა უმეტეს შემთხვევაში ხუთპერიოდიანია.



ნახ. 1.1 სიჩქარის ხუთპერიოდიანი ტაქოგრამა

აქ t_1 ძირითადი აჩქარების პერიოდია; t_2 - თანაბარი მოძრაობის პერიოდი; t_3 - ძირითადი შენელების პერიოდი; t_0 - გაწევის (მცოცი) სიჩქარის პერიოდი; t_{st} - ბაგირგზის მუშა მუხრუჭით დამუხრუჭების პერიოდია გაწევის სიჩქარით მოძრაობისას, წმ.

ძირითადი აჩქარების პერიოდი

$$t_1 = \frac{V_m}{j_1}, \qquad 1.1$$

სადაც V_m მოძრაობის მაქსიმალური სიჩქარეა, მ/წმ;

საორენტაციოდ, მაქსიმალური სიჩქარის მნიშვნელობად აიღება [2]

$$V_m = 0.32\sqrt{2\frac{j_1 \cdot j_3}{j_1 + j_3}L}, \qquad 1.2$$

აქ j_1 ძირითადი აჩქარების სიდიდეა, მ/წმ^2; აიღება $j_1 = 0.5...0.75$. j_3 - ძირითადი შენელების სიდიდე, მ/წმ^2; აიღება $j_3 = 0.5...0.75$. ხშირ შემთხვევაში $j_3 = j_1$; L - ტრასაზე ვაგონის მოძრაობის მთლიანი მანძილი, მ.

ძირითადი აჩქარების პერიოდში გავლილი მანძილი

$$L_1 = \frac{j_1 \cdot t_1^2}{2}. \qquad 1.3$$

ძირითადი შენელების პერიოდი

$$t_3 = \frac{V_m - V_0}{j_3}, \qquad 1.4$$

სადაც $V_0 = 0.5$ - ბაგირგზის გაწევის (მცოცი) სიჩქარეა, მ/წმ. [2]

ძირითადი შენელების პერიოდში გავლილი მანძილი

$$L_3 = \frac{V_m^2 - V_0^2}{2j_3}. \qquad 1.5$$

გაწევის (მცოცი) სიჩქარით მოძრაობის პერიოდი

$$t_0 = \frac{L_0}{V_0}, \qquad 1.6$$

სადაც $L_0 = 8...10$ - ბაგირგზის გაწევის პერიოდში გავლილი მანძილი, მ.

მაქსიმალური სიჩქარით მოძრაობის მანძილი

$$L_2 = L - \left(L_1 + L_3 + L_0\right). \qquad 1.7$$

მაქსიმალური სიჩქარით მოძრაობის პერიოდი

$$t_2 = \frac{L_2}{V_m}. \qquad 1.8$$

მოძრაობის სრული დრო

$$T_F = t_1 + t_2 + t_3 + t_0. \qquad 1.9$$

ციკლის ხანგრძლივობა

$$T = T_F + t_p, \qquad 1.10$$

სადაც t_p პაუზის ხანგრძლივობაა და აიღება ვაგონის ტევადობის მიხედვით, წმ.

1.2 ბაგირგზის გამტარუნარიანობა

1. სამგზავრო ბაგირგზა

გამტარუნარიანობა ხასიათდება დროის ერთეულში, მაგალითად, ერთი საათის განმავლობაში, ერთი მიმართულებით გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობით. ქანქარასებრი გზებისათვის გამტარუნარიანობა განისაზღვრება ფორმულით [1]

$$A = nk \quad \text{კაც/სთ}, \tag{1.11}$$

სადაც, n არის ვაგონის ტევადობა; k - რეისთა რიცხვი ერთ საათში.

ორვაგონიანი გზებისათვის

$$k = \frac{3600}{\frac{L}{V_m} + \frac{V_m}{j_1} + \frac{V_m}{j_3} + t_p}, \tag{1.12}$$

ხოლო ერთვაგონიანისათვის

$$k = \frac{3600}{2 \cdot \frac{L}{V_m} + \frac{V_m}{j_1} + \frac{V_m}{j_3} + 2 \cdot t_p}, \tag{1.13}$$

სადაც, L ბაგირგზის სადგურებს შორის ჰორიზონტალური სიგრძეა, მ;

$V_m = \pi D_1 n_n / 60 / i$ - რეალური მაქსიმალური სიჩქარე, მ/წმ;

D_1 - ხახუნის ამძრავი შკივის დიამეტრი, მ;

n_n - ძრავას ნომინალური ბრუნთა რიცხვი, ბრ/წთ;

i - რედუქტორის გადაცემის რიცხვი;

t_p - დროის დანახარჯი მგზავრთა ჩასხდომა-გადმოსხდომაზე, კარის გაღება-დახურვაზე.

დროის დანახარჯი t_p დამოკიდებულია ვაგონის ტევადობასა და კარების რიცხვზე (ერთი ან ორი). მასში შედის აგრეთვე დრო, რომელიც საჭიროა სადგურებს შორის გაშვებისათვის მზადყოფნის მაუწყებელი სიგნალე-

ბის გასაცვლელად, რაც დამოკიდებული არაა ვაგონების ტევადობასა და კონსტრუქციაზე. ბაგირგზის მუშაობის დაკვირვების შედეგების მიხედვით, ერთი მგზავრის ჩას-ხდომა-გადმოსხდომაზე დახარჯული დრო შეადგენს 2 წამს, ხოლო კარების გაღება-დაკეტვასა და სიგნალების გაცვლაზე - საშუალოდ 10 წამს. ამრიგად, დრო t_p, მა-გალითად, გზისათვის, რომლის ვაგონის ტევადობა ათი კაცია, შეადგენს $2 \times 10 + 10 = 30$ წამს, ხოლო ოცი მგზა-ვრის დროს - $2 \times 20 + 10 = 50$ წამს. [1]

2. სატვირთო ბაგირგზა

ორვაგონიანი ბაგირგზებისათვის რეისთა რიცხვი ერთ საათში

$$k = 0.8\frac{3600}{T} = 0.8\frac{3600}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0 + t_p}, \qquad 1.14$$

სადაც 0.8 - მოძრაობის უთანაბრობის რეზერვის კოეფი-ციენტია.

ერთვაგონიანი ბაგირგზებისათვის კი

$$k = 0.8\frac{3600}{T} = 0.8\frac{3600}{t_1 + 2 \cdot t_2 + t_3 + t_0 + 2 \cdot t_p}. \qquad 1.15$$

სატვირთო ბაგირგზის მწარმოებლურობა, კნ/სთ -

$$A = Q_0 \cdot k, \qquad 1.16$$

სადაც Q_0 ვაგონის ტევადობაა, კნ.

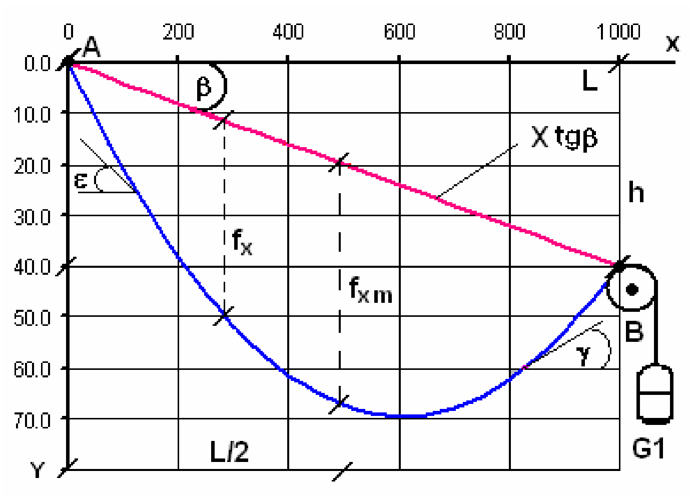
თავი II. სარელსო ბაგირის ჩაკიდულობა

2.1 ქანქარასებრ კიდულ ბაგირგზაზე ვაგონის მოძრაობის ტრაექტორია

როგორც ცნობილია, ორ საყრდენზე ჩამოდებული, კიდული ბაგირგზის სარელსო ბაგირის ჩაკიდულობის მრუდი აღიწერება პარაბოლის განტოლებით და მას აქვს შემდეგნირი სახე [5] -

$$y = xtg\beta + f_x \,, \qquad 2.1$$

ხოლო გრაფიკულად ასე გამოისახება –



ნახ. 2.1. სარელსო ბაგირის ჩაკიდულობის მრუდი

აქ f_x - ჩაღუნვის ისარი ანუ მანძილი მრუდის ქორდიდან მრუდის გადაკვეთამდე, მ -

$$f_{1x} = \frac{x(L-x)}{2H_1}\left(\frac{q_1}{\cos\beta} + 2\frac{Q_{FC}}{L}\right) = x(L-x)\cdot k_{1F}\,, \qquad 2.2$$

სადაც - $k_{1F} = \frac{1}{2H_1}\left(\frac{q_1}{\cos\beta} + 2\frac{Q_{FC}}{L}\right)$, H_1- სარელსო ბაგირ-ის დაჭიმულობის ჰორიზონტალური მდგენელის მუდმივ-ობას, დატვირთვის ცვალებადობის მიუხედავად, უზრუნვ-ელყოფს G_1 დამჭიმი ტვირთი.

თუკი ვაგონი იმყოფება A ან B საყრდენზე, მისი წონა გავლენას არ ახდენს სარელსო ბაგირის ჩაღუნვის ისარზე და ეს უკანასკნელი ასე გამოითვლება

$$f_{0x} = \frac{x(L-x)}{2H_1}\left(\frac{q_1}{\cos\beta}\right) = x(L-x)\cdot k_0\,, \qquad 2.3$$

სადაც,

$$k_0 = \frac{1}{2H_1}\cdot\frac{q_1}{\cos\beta}\,. \qquad 2.4$$

ჩაღუნვის ისრები, თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას იღებს $x = 0.5\cdot L$-ის დროს და გამოისახებიან როგორც

$$f_{1m} = \frac{L^2}{4}k_{1F} \quad \text{და} \quad f_{0m} = \frac{L^2}{4}k_0\,. \qquad 2.5$$

მრუდის (მოძრაობის ტრაექტორიის) მხების დახრის კუთხე ჰორიზონტთან იქნება (2.1 –ის გათვალისწინებით)

$$tg\varepsilon = \frac{dy}{dx} = tg\beta + (L-2x)\cdot k_{1F}\,. \qquad 2.6$$

ამ უკანასკნელის ნულთან გატოლებით, განისაზღვრება x-ის ის x_0 მნიშვნელობა, რომელიც შეესაბამება ჩაკიდულობის მრუდის წვეროს აბსცისას

$$x_0 = \frac{L}{2} + \frac{tg\beta}{2k_{1F}}. \tag{2.7}$$

ამის გათვალისწინებით, ჩაკიდულობის მრუდის ორდინატის მაქსიმალური მნიშვნელობა იქნება

$$y_{max} = x_0 tg\beta + x_0\left(L - x_0\right)k_{1F} = k_{1F} \cdot x_0^2. \tag{2.8}$$

ვაგონის ასვლის კუთხეს, მისი მოძრაობისას ბაგირზე, ანგარიშობენ ფორმულით [5] –

$$tg\gamma = tg\beta + \frac{L - 2x}{2H_1}\left(\frac{q_1}{\cos\beta} + \frac{Q_{FC}}{L}\right) = tg\beta + \left(L - 2x\right) \cdot k_{2F}, \tag{2.9}$$

სადაც -

$$k_{2F} = \frac{1}{2H_1} \cdot \left(\frac{q_1}{\cos\beta} + \frac{Q_{FC}}{L}\right). \tag{2.10}$$

ვაგონის ასვლის კუთხე (2.9 ფორმულიდან) ნულის ტოლი გახდება

$$x = x_m = \frac{L}{2} + \frac{tg\beta}{2k_{2F}} \tag{2.11}$$

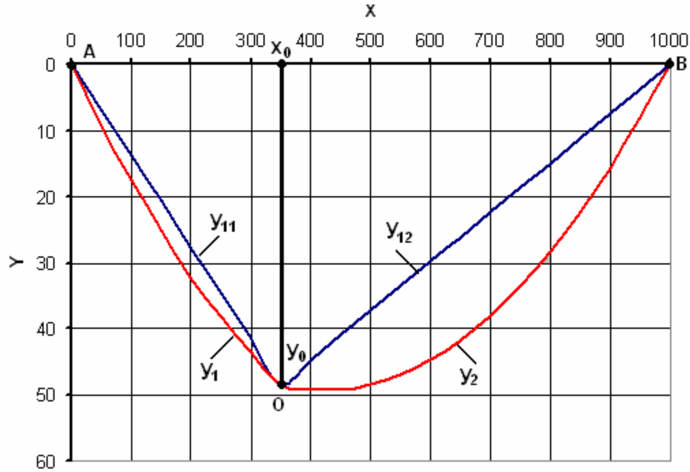
სიდიდის დროს. ბუნებრივია, ჩაკიდულობის მრუდის წვეროს მნიშვნელობა მაქსიმალური იქ უნდა იყოს, სადაც ვაგონის ასვლის კუთხე ნულია. x_0-ისა და x_m-ის შედარ-

ებით კი გამოდის, რომ $x_m \succ x_0$. ამ გაურკვევლობის ასახსნელად ლიტერატურაში მოყვანილია განმარტება, რომ ვაგონის ასვლის კუთხე γ [ის. 2.9] ნაკლებია ტრაექტორიის მხების დახრის კუთხეზე, ε-ზე [ის. 2.6]. ამის დასადასტურებლად ავტორი გამოთქვამს მოსაზრებას, რომ ვაგონის მოძრაობისას სარელსო ბაგირზე, ჩაღუნვის ისრის გაზრდასთან ერთად, დამჭიმი ტვირთი ზემოთ გადაადგილდება, მიაღწევს მაქსმალურ სიდიდეს, როცა ვაგონი გაივლის $\frac{L}{2}$ მანძილს და ამის შემდეგ ქვემოთ დაიწყებს ჩაშვებას. ვაგონის მიახლოებისას საყრდენთან, სარელსო ბაგირი, გარვეული სიდიდით მაღლა აიწევს (დამჭიმი ტვირთის ჩაშვების ხარჯზე) და ამით ასვლის კუთხე შემცირდება [5].

ჩვენ შევეცადეთ, გაგვეთვალისწინებინა ავტორის ეს მოსაზრება და გამოგვეყვანა სარელსო ბაგირის ჩაკიდულობის აღმწერი განტოლებები. შესაბამისად, მათი საშუალებით ვაგონის ასვლის კუთხეები [2]

მსჯელობის გამარტივების მიზნით დავუშვათ, რომ სარელსო ბაგირი აბსოლუტურად მოქნილია და ბაგირგზა ჰორიზონტალური, ანუ საყრდენებს შორის დონეთა სხვაობა ნულის ტოლია. ბაგირი, A საყრდენიდან x_0 მანძილზე, ტვირთის ჩამოკიდების შემდეგ ჩაიღუნება y_0 სი-

დიდით და A და B საყრდენებთან ერთად მიიღება სამკუთხედი AOB (იხ. ნახ 2.2).



ნახ. 2.2 ჩაკიდულობის მრუდის აგება

AO წრფის განტოლება იქნება

$$y_{11} = \frac{y_0}{x_0} x, \tag{2.12}$$

ხოლო OB-სი -

$$y_{12} = \frac{y_0}{L - x_0}(L - x). \tag{2.13}$$

რეალურად, სარელსო ბაგირი არ არის აბსოლუტურად დრეკადი და იგი აუცილებლად ჩამოიღუნება. ამის გასათვალიწინებლად y_{11} წრფეს დავუმატოთ

$$y_{21} = k_0(x_0 - x) \cdot x \tag{2.14}$$

პარაბოლა, ხოლო y_{12}-ს -

$$y_{22} = k_0(x - x_0)(L - x). \qquad 2.15$$

მივიღებთ ორ ფუნქციას, რომლებიც ზოგად შემთხვევაში, ასე გამოისახებიან –

სანამ $0 \le x \le x_0$ -

$$y_1 = x\text{tg}\beta + \frac{y_0}{x_0}x + k_0(x_0 - x)\cdot x, \qquad 2.16$$

ხოლო როდესაც $x_0 \le x \le L$ -

$$y_2 = x\text{tg}\beta + \frac{y_0}{L - x_0}(L - x) + k_0(x - x_0)(L - x). \qquad 2.17$$

ჩვენი აზრით, A საყრდენიდან x_0 წერტილამდე y_1 და x_0 წერტილიდან B საყრდენამდე y_2 ფუნქციები წარმოადგენენ ბაგირის ჩაკიდულობების აღმწერ განტოლებებს.

2.16 და 2.17 გამოსახულებებიდან აშკარად ჩანს, რომ როცა $x = x_0$, მაშინ ფუნქციის მნიშვნელობები ჩაღუნვის ისრის ტოლნი არიან ($y_1 = y_2 = y_0$). ავიღოთ კერძო შემთხვევა, $x_0 = \frac{L}{2}$, ანუ ვაგონი მალის შუაშია და გავითვალისწინოთ, რომ ამ წერტილში $y_0 = \frac{L^2}{4}k_1$, მაშინ -

$$y_1 = xtg\beta + \left[\frac{L}{2}\left(k_{1F} + k_0\right)x - k_0x^2\right], \quad \text{და} \qquad 2.18$$

$$y_2 = xtg\beta + \left[\frac{L^2}{2}\left(k_{1F} - k_0\right) - \frac{L}{2}\left(k_{1F} - 3k_0\right)x - k_0x^2\right]. \qquad 2.19$$

რა თქმა უნდა, ამ ბოლო ორი გამოსახულების კვადრატულ ფრჩხილებში მოთავსებული მნიშვნელობები სარელსო ბაგირის ჩაღუნვის ისრის ტოლია.

თუკი ამ გამოსახულებებში x-ის ნაცვლად ჩავსვავთ ვაგონის მალში მდებარეობის შესაბამის წერტილს x_0-ს, მივიღებთ ჩაღუნვის ისრის მნიშვნელობას, რომელიც შეესაბამება x_0-ის შესაბამის სიდიდეს. ასეთ შემთხვევაში

– სანამ $0 \le x_0 \le \frac{L}{2}$,

$$y_0 = \frac{L}{2}\left(k_{1F} + k_0\right)x_0 - k_0x_0^2, \qquad 2.20$$

ხოლო როდესაც $\frac{L}{2} \le x_0 \le L$ -

$$y_0 = \frac{L^2}{2}\left(k_{1F} - k_0\right) - \frac{L}{2}\left(k_{1F} - 3k_0\right)\cdot x_0 - k_0x_0^2. \qquad 2.21$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა $x_0 = bL$, $\left(0 \le b \le 1\right)$ და მაშინ - სანამ $0 \le b \le 0.5$ -

$$y_{0(b=0...0.5)} = \frac{L^2}{2}b\left[K_{1F} + k_0\left(1 - 2b\right)\right], \qquad 2.22$$

და როდესაც $0.5 \le b \le 1$-

$$y_{0(b=0.5...1)} = \frac{L^2}{2}(1-b)\left[K_{1F} - k_0(1-2b)\right]. \qquad 2.23$$

y_0-ის შესაძლებელია მნიშვნელობა განისაზღვროს ერთი ფუნქციის საშუალებით, როდესაც b იცვლება 0-დან 1-მდე.

$$y_0 = \frac{L^2}{4}\left[1 - abs(2b-1)\right]\left[K_{1F} + k_0 \cdot abs(2b-1)\right]. \qquad 2.24$$

ჩაღუნვის ისრის განსაზღვრის შემდეგ მივუბრუნდეთ სარელსო ბაგირის სიმრუდის აღმწერ განტოლებებს. 2.20 და 2.21 გამოსახულებებში $x_0 = bL$-ის შეტანით საბოლოოდ გვექნება –

სანამ $0 \le x \le bL = x_0$ -

$$\begin{aligned} y_1 &= xtg\beta + \left[\frac{y_0}{x_0} + k_0(x_0 - x)\right] \cdot x = \\ &= xtg\beta + \left[\frac{y_0}{bL} + k_0(bL - x)\right] \cdot x \end{aligned} \qquad 2.25$$

ხოლო როდესაც $x_0 = bL \le x \le L$

$$\begin{aligned} y_2 &= xtg\beta + \left[\frac{y_0}{L - x_0} + k_0(x - x_0)\right] \cdot (L - x) = \\ &= xtg\beta + \left[\frac{y_0}{L(1-b)} + k_0(x - bL)\right] \cdot (L - x) \end{aligned}. \qquad 2.26$$

ნახ.ნახ. 2.3, 2.4 და 2.5-ზე წარმოდგენილია b-ს სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის სარელსო ბაგირის ჩაკიდულობის ფორმა. აქვეა [5] ლიტერატურის მიხედვით აგებული მრუდები ($Y_oD.$ და $Y1D.$). ნახაზებზე მწვანე და ლურჯი მრუდები აგებულია ლიტერატურაში მოცემული განტოლებებით, ხოლო წითლითა და ყავისფერით - ჩვენს მიერ შემოთავაზებულით.

განვსაზღვროთ სარელსო ბაგირზე ვაგონის ასვლის კუთხეები.

2.25 და 2.26 გამოსახულებების დიფერენცირებით, სარელსო ბაგირზე $x_0 = bL$ წერტილში ვაგონის მდებარეობისას, განისაზღვრება მხების დახრის კუთხე და რომელსაც ჩვენ ვთვლით ვაგონის ასვლის კუთხედ ამავე წერტილში.

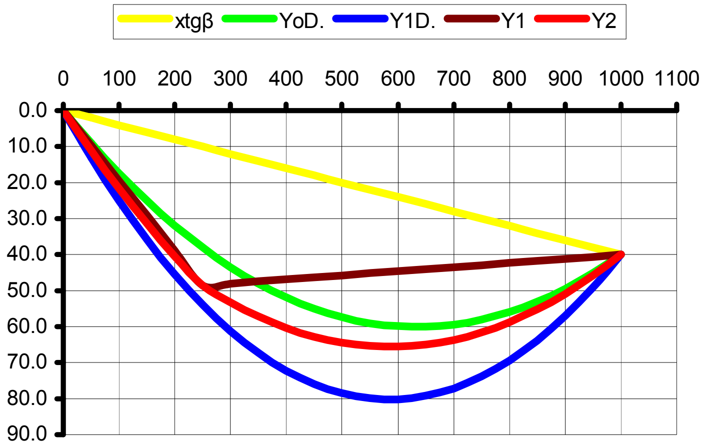
$$y_0 = \frac{L^2}{4}\left[1 - abs\left(2\frac{x_o}{L} - 1\right)\right]\left[K_{1F} + k_o\, abs\left(2\frac{x_o}{L} - 1\right)\right] =$$
$$= \frac{L^2}{4}\left[1 - abs\left(2b - 1\right)\right]\left[K_{1F} + k_0\, abs\left(2b - 1\right)\right]$$

-ის გათვალისწინებით

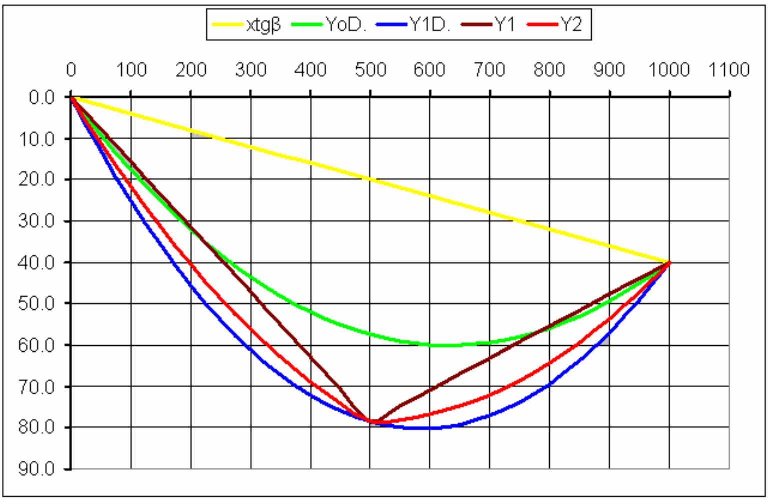
$x_o = bL$ წერტილის მარცხნივ, ასვლის კუთხე -

$$tg\gamma_1 = tg\beta + \frac{y_0}{x_0} - k_0 x_0 = tg\beta + \frac{y_0}{bL} - k_0 bL\,, \qquad 2.27$$

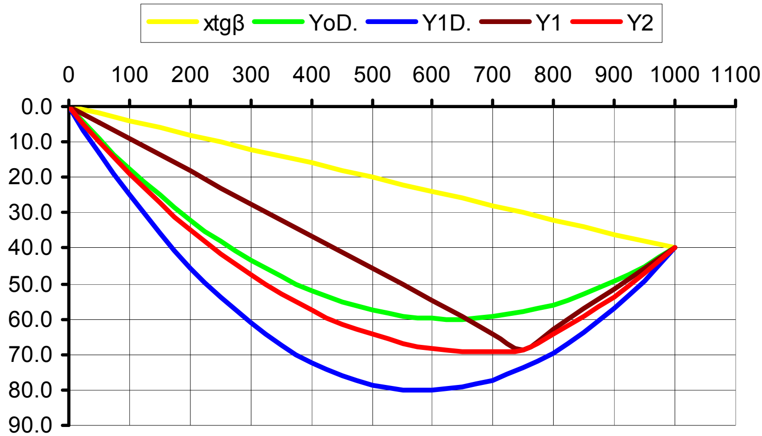
$x_o = bL$ წერტილის მარჯვნივ, ასვლის კუთხე -



ნახ. 2.3 $\left(b = \dfrac{x_0}{L} = 0.25\right)$



ნახ. 2.4 $\left(b = \dfrac{x_0}{L} = 0.5\right)$



ნახ. 2.5 $\left(b = \dfrac{x_0}{L} = 0.75\right)$

$$\begin{aligned} tg\gamma_2 &= tg\beta - \frac{y_0}{L - x_0} + k_0\left(L - x_0\right) = \\ &= tg\beta - \frac{y_0}{(1-b)L} + k_0\left(1-b\right)L \end{aligned} \quad . \qquad 2.28$$

ამრიგად, სარელსო ბაგირის ჩაკიდულობის წვეროს აბსცისის გამოსათვლელად უნდა ვიხმაროთ 2.11 ფორმულა, ხოლო ჩაკიდულობის წვეროს ორდინატას მაქსიმალური მნიშვნელობა (y_{max}) გამოითვლება

$$y_{max} = k_{2F} \cdot x_m^2 = \frac{q_1 L + Q_{FC}\cos\beta}{2H_1 L\cos\beta} \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{H_1 L\sin\beta}{q_1 L + Q_{FC}\cos\beta}\right)^2 . \qquad 2.29$$

თუკი სავიზირო კუთხის მნიშვნელობა იქნება

$$tg\beta_0 = \frac{h_0}{L} = \frac{1}{\left(b^2-1\right)}\left[\frac{ab}{L} + \sqrt{\left(\frac{a}{L}\right)^2 + \left(b^2-1\right)}\right], \quad 2.30$$

სადაც

$$a = \frac{Q_{Fc}}{q_1} \text{ და } b = \frac{2H_1}{q_1 L},$$

მაშინ $x_m = L$, ანუ ჩაკიდულობის წვერო B საყრდენზეა, ხოლო საყრდენებს შორის დონეთა სხვაობა $h_0 = L \cdot tg\beta_0$.

2.2 სარელსო ბაგირის შერჩევა

კიდული ბაგირგზის ყველაზე პასუხსაგებ ელემენტს სარელსო ბაგირი წარმოადგენს.

სარელსო ბაგირების ბოლოების ჩამაგრების წესი ორგვარია: პირველ შემთხვევაში ბაგირის რომელიმე ბოლოს (ჩვეულებრივ, ქვედა სადგურში) დამჭიმ ტვირთზე მიამაგრებენ, ხოლო მეორე ბოლოს უძრავად ჩაამაგრებენ. დამჭიმი ტვირთის დანიშნულებაა ტემპერატურისა და გზის დატვირთვის ცვალებადობის მიუხედავად, შეინარჩუნოს ბაგირის დაჭიმულობის მუდმივი სიდიდე.

სარელსო ბაგირის ბოლოების უძრავად ჩამაგრება დასაშვების მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუკი დაცული იქნება ორი პირობა:

1. ბაგირის ერთი ბოლოს დასამაგრებელი კონსტრუქცია უნდა იძლეოდეს ბაგირის სიგრძის სეზონური რეგულირების საშუალებას (ბაგირი ზაფხულში მცირედ უნდა დამოკლდეს, ხოლო ზამთარში - მცირედ დაგრძელდეს).

2. ბაგირის ბოლოების უძრავად ჩამაგრების შემთხვევაში დაჭიმულიბა იცვლება მასზე მოძრავი ვაგონის მდებარეობის მიხედვით - როცა ვაგონი მალის შუაშია, მაშინ დაჭიმულობა მაქსიმალურია, ხოლო როცა ვაგონი რომელიმე სადგურთანაა -მინიმალური. ცნობილია, რომ რაც ნაკლებია სარელსო ბაგირის დაჭიმულობა, მით უფრო მეტად იღუნება იგი ვაგონის წონის გავლენით და შესაბამისად, მით მეტია მისი ცვეთაც. მეორე პირობაც სწორად ამაში მდგომარეობს, რომ შეზღუდული იყოს ბაგირის მინიმალური დაჭიმულობა.

2.2.1 დამჭიმტვირთიანი სარელსო ბაგირის შერჩევა

სარელსო ბაგირის შერჩევისას, ერთ-ერთი ძირითადი პარამეტრი ბაგირის საგლეჯი T_1 ძალაა (იხ. გვ. 4).

ავტორი გვთავაზობს მზიდი ბაგირის შერჩევის მეთოდს, რომლის ძირითადი იდეა შემდეგშია. როგორც ცნო-

ბილია, ბაგირის ნებისმიერ წერტილში დაჭიმულობა შეს-აძლებელია გამოითვალოს ფორმულით (ყველა სახის რე-აქციულ ძალებს უგულებელვყოფთ მათი სიმცირის გამო) [6] -

$$T_x = T_{max} - q_1 \cdot y, \qquad 2.31$$

სადაც

$$y = xtg\beta + f_x, \text{ მ}; \qquad 2.32$$

ვაგონის მოძრაობის ტრაექტორიის აღმწერი განტოლებაა x და y კოორდინატებში [5].

T_x-ის მნიშვნელობა მინიმალურია, როდესაც y იქნება მაქსიმალური. მისი შესასაბამისი აბსცისა გამოითვლება 2.11 ფორმულით

$$x_m = \frac{L}{2} + \frac{H_1 L \cdot \sin\beta}{q_1 L + Q_{FC} \cos\beta}, \qquad 2.33$$

ხოლო y-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა - 2.29 ფორმუ-ლით

$$y_{max} = k_{2F} \cdot x_m^2. \qquad 2.34$$

ამრიგად, T_x-ის მინიმალური მნიშვნელობა იქნება

$$T_{min} = q_1 \left(b_1 - y_{max} \right). \qquad 2.35$$

OITAF-ის (ბაგირგზების საერთაშორისო ორგანიზაცი-ის) ტექნიკური რეკომენდაცია ითვალისწინებს სარელსო ბაგირის შერჩევისას დაცული იყოს პირობა

$$\frac{T_{min}}{Q_{FC}} = K, \qquad 2.36$$

სადაც T_{min} სარელსო ბაგირის მინიმალური დაჭიმულობაა, კნ;

$K = 12$ - ე.წ. ”გრძელვადიანობის” კოეფიციენტი; საბოლოოდ, 2.35 მიიღებს სახეს

$$T_{min} = q_1 \left(b_1 - y_{max} \right) = kQ_{FC}. \qquad 2.37$$

ბოლო ფორმულიდან გამოდის, რომ ერთი მეტრი სარელსო ბაგირის შესარჩევად საკმარისია y_{max} გამოთვლა.

კერძო შემთხვევაში, როდესაც $y_{max} = h$, ანუ ჩაკიდულობის წვეროს აბსცისა $x_m = L$, 2.37-დან მიიღება

$$q_1 = \frac{kQ_{FC}}{b_1 - h}. \qquad 2.38$$

თუ $x_m \succ L$, ავტორის [19] აზრით, ამ შემთხვევაში, სრულიად საკმარისია სარელსო ბაგირი შევირჩიოთ იმ პირობიდან გამომდინარე, თითქოს ჩაკიდულობის წვერო B საყრდენზეა მოთავსებული, ანუ გამოვიყენოთ 2.38 გამოსახულება.

დაჭიმულობის ჰორიზონტალური მდგენელი H_1, ტრაექტორიის უმდაბლეს წერტილში ბაგირის მინიმალური დაჭიმულობის ტოლია და შეიძლება დაიწეროს

$$H_1 = T_{min} = kQ_{FC}\,. \qquad 2.39$$

შევიტანოთ H_1-ისა (2.39-დან) და q_1-ის (2.38-დან) მნიშვნელობები x_m-ის (2.33) ფორმულაში და იქნება

$$x_m = \frac{L}{2} + \frac{KL(b_1 - h)\sin\beta}{KL + (b_1 - h)\cos\beta}\,. \qquad 2.40$$

ამრიგად, ერთი მეტრი სარელსო ბაგირის შესარჩევად პირველად შემოწმდება x_m -ის მნიშვნელობა 2.40 ფორმულიდან. თუკი $x_m \ge L$, მაშინ გამოიყენება 2.38 ფორმულა, წინააღმდეგ შემთხვევაში ანუ როცა $x_m \prec L$, გამოვიყენებთ 2.37 გამოსახულებას ასეთი სახით

$$z = q_1\left(b_1 - y_{max}\right) - KQ_{FC}\,, \qquad 2.41$$

ამ ბოლო გამოსახულებაში, z ფუნქციაში, q_1 სიდიდის 0-დან გაზრდით და $z >= 0$ პირობის შემოწმებით, გამოითვლება q_1-ის მნიშვნელობა. სადაც $y_{მაქს}$ განისაზღვრება 2.29-დან $\left(H_1 = kQ_{FC}\right)$-

$$y_{max} = k_{2F} \cdot x_m^2 = \frac{q_1L + Q_{FC}\cos\beta}{2KQ_{FC}L\cos\beta} \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{KQ_{FC}L\sin\beta}{q_1L + Q_{FC}\cos\beta}\right)^2. \qquad 2.42$$

q_1-ის გამოითვლის შემდეგ შესაბამისი ცხრილიდან შევირჩევთ სტანდარტულ ბაგირს. (იხ. დანართი 1, ბაგირ-

ის ერთი მეტრის წონა- q_1, კნ/მ; დიამეტრი- d_1,მ; მეტალური კვეთი-s_1, მ^2; საგლეჯი ძალა-T_1, კნ. $b_{1r} = \frac{T_1}{n_1 q_1}$,მ).

ბაგირის შერჩევის შემდეგ ვანგარიშობთ სარელსო ბაგირის დამჭიმი ტვირთის წონას

$$G_1 = q_1\left(b_{1r} - h\right) \quad 2.43$$

ხოლო ბაგირის დაჭიმულობის ჰორიზონტალური მდგენელი

$$H_1 = \left(G_1 + \frac{1}{2}q_1 h\right)\cos\beta \quad 2.44$$

2.2.2 უძრავად ჩამაგრებულბოლოებიანი სარელსო ბაგირის შერჩევა

კიდული ბაგირგზები, სადაც სარელსო ბაგირის ბოლოები უძრავადაა (ყრუდაა) ჩამაგრებული, კონსტრუქციის სიმარტივის გამო, ფართოდ გამოიყენება როგორც ტვირთის გადაზიდვის, ისე მგზავრთა გადაყვანისათვის. ამ შემთხვევაშიც, [6] ავტორის აზრით, ბაგირის შერჩევისათვის დაცული უნდა იყოს 2.36 პირობა –

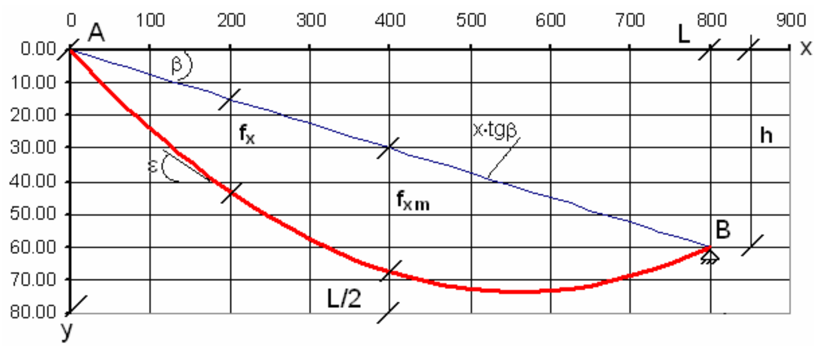
$$\frac{T_{min}}{Q_{FC}} \geq K.$$

განვიხილოთ ბაგირის ორი მდგომარეობა.

ა) Q_{FC} წონის მქონე ვაგონი მალის შუაშია ($L/2$) და ბაგირის ტემპერატურაა t^0_{min}, C. ასეთ შემთხვევაში, სარელსო ბაგირი, რომლის ერთი მეტრის წონაა q_1 და სიგრძე S_{min}, განიცდის T_{max} მაქსიმალურ დაჭიმულობას.

ბ) დატვირთული ვაგონი A ან B საყრდენთანაა და ბაგირის ტემპერატურაა t^0_{max}, C. ასეთ შემთხვევაში, სარელსო ბაგირი, რომლის ერთი მეტრის წონაა q_1 და სიგრძე S_{max}, განიცდის T_{min} მინიმალურ დაჭიმულობას.

როგორც დაჭიმულობის, ასევე ტემპერატურის ცვლილება იწვევს ბაგირის სიგრძის შეცვლას. ბაგირის საერთო წაგრძელება გამოისახება ფორმულებით



ნახ. 3.1 უძრავად ჩამაგრებულ ბოლოებიანი სარელსო ბაგირის ჩაკიდულობა

$$S_{max} - S_{min} = \frac{T_{max} - T_{min}}{Es_1} \cdot \frac{L}{\cos\beta} \pm E_0 \frac{L}{\cos\beta} \Delta t^0, \qquad 2.45$$

სადაც , S_{max} - უძრავად ჩამაგრებულბოლოებიანი სარე-ლსო ბაგირის მაქსიმალური სიგრძეა; მ.

S_{min} -უძრავად ჩამაგრებულბოლოიანი სარელსო ბაგირის მინიმალური სიგრძე; მ.

Δt^0 - ბაგირის ტემპერატურათა სხვაობა ცელსიუსის გრა-დუსებში ერთი საანგარიშო მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლისას;

T_{max} და T_{min} - სარელსო ბაგირის მაქსიმალური და მინი-მალური დაჭიმულობა, კნ;

სარელსო ბაგირის მაქსიმალური და მინიმალური სიგრძე განისაზღვრება პარაბოლის მეთოდით და ტოლია

$$S_{max} = L + \frac{h^2}{2L} + \frac{G^2 L}{24 H_{max}^2} + \frac{L}{8 H_{max}^2} Q_{FC}\left(Q_{FC} + G\right) \qquad 2.46$$

$$S_{min} = L + \frac{h^2}{2L} + \frac{G^2 L}{24 H_{min}^2} + \frac{x(L - x)}{2 H_{min}^2} Q_{FC}\left(Q_{FC} + G\right), \qquad 2.47$$

სადაც: $G = \frac{q_1 L}{\cos\beta}$ სარელსო ბაგირის მთლიანი წონაა, კნ;

H_{max} - დაჭიმულობის ჰორიზონტალური მდგენელის მაქსი-მალური მნიშვნელობა, კნ;

H_{min} - დაჭიმულობის ჰორიზონტალური მდგენელის მინიმალური მნიშვნელობა, კნ;

$H_{min} = T_{min} = kQ_{FC}$ - სარელსო ბაგირის მინიმალური დაჭიმულობაა ვაგონის მოძრაობის ტრაექტორიის ყველაზე დაბალ წერტილში, კნ;

თუ ჩავსვათ S_{max} და S_{min} 2.45 განტოლებაში და გავითვალისწინებთ, რომ $H_{max} = T_{max}\cos\beta = b_1q_1\cos\beta$

$$\frac{G^2L}{24H_{max}^2} + \frac{L}{8H_{max}^2}Q_F\left(Q_F + G\right) - \frac{G^2L}{24H_{min}^2} - \\ - \frac{x(L - x)}{2H_{min}^2L}Q_F\left(Q_F + G\right) = \frac{(H_{max} - H_{min})L}{Es_1\cos\beta} \pm E_0\frac{L}{\cos\beta}\Delta t^0 \qquad 2.48$$

სადაც x - ვაგონის მოძრაობის ტრაექტორიის უმდაბლესი წერტილის აბსცისაა

$$x = x_m = \frac{L}{2} + \frac{KQ_{FC}L\sin\beta}{q_1L + Q_{FC}\cos\beta}, \qquad 2.49$$

ამრიგად, 2.48 შესაძლებელია ასე წარმოვიდგინოდ

$$D = \frac{G^2L}{24}\left(\frac{1}{H_{max}^2} - \frac{1}{H_{min}^2}\right) + \frac{Q_{FC}\left(Q_{FC} + G\right)}{8}\cdot \\ \cdot\left[\frac{L}{H_{max}^2} - \frac{4x_m(L - x_m)}{H_{min}^2L}\right] - \left(\frac{(H_{max} - H_{min})L}{Es_1\cos\beta} \pm E_0\frac{L}{\cos\beta}\Delta t^0\right) \qquad 2.50$$

თუკი D ფუნქციაში დავიწყებთ q_1 სიდიდის გაზრდას 0-დან და შევამოწმებთ პირობას $D \prec= 0$, გამოვითვლით

q_1 მნიშვნელობას და შევირჩევთ სტანდარტულ ბაგირს. (იხ. დანართი 1, ბაგირის ერთი მეტრის წონა- q_1, კნ/მ; დიამეტრი -d_1,მ; მეტალური კვეთი-s_1, მ^2; საგლეჯი ძალა- T_1, კნ. $b_{1r} = \dfrac{T_1}{n_1 q_1}$,მ).

თავი III. სარელსო ბაგირზე ვაგონის ასვლის კუთხეებისა და ამძრავ შკივზე ეფექტური ძალების განსაზღვრა

3.1 დამჭიმ ტვირთიან სარელსო ბაგირზე ვაგონის ასვლის კუთხეებისა და ამძრავ შკივზე ეფექტური სიმძლავრის განსაზღვრა

დამჭიმ ტვირთიან სარელსო ბაგირში დაჭიმულობის ჰორიზონტალური მდგენელი ყოველთვის მუდმივია დამჭიმი ტვირთის ხარჯზე და გამოითვლება 2.47, ხოლო ვაგონის ასვლის კუთხე - 2.9 ფორმულით

$$tg\gamma = tg\beta + (L - 2x) \cdot k_2, \qquad 3.1$$

სადაც k_2, დატვირთული ვაგონისათვის

$$k_2 = k_{2F} = \frac{1}{2H_1} \cdot \left(\frac{q_1}{\cos\beta} + \frac{Q_{FC}}{L} \right),$$

ხოლო ცარიელისათვის-

$$k_2 = k_{2E} = \frac{1}{2H_1} \cdot \left(\frac{q_1}{\cos\beta} + \frac{Q_{EC}}{L} \right).$$

მიღებულია, რომ ვაგონის მოძრაობის დასაწყისში, A წერტილში, $x = 10$ მ და მოძრაობის დასასრულს, B წერტილში -$x = L - 10$ მ, [2].

შესაბამისად –

სავსე ვაგონის ასვლის კუთხე ზედა სადგურთან, A საყრდენთან, $(x=10)$

$$tg\gamma_{F.A} = tg\beta + (L-2\cdot 10)k_{2F}. \qquad 3.2$$

სავსე ვაგონის ასვლის კუთხე ქვედა სადგურთან, B საყრდენთან, $(x=L-10)$ -

$$tg\gamma_{F.B} = tg\beta - (L-2\cdot 10)k_{2F}. \qquad 3.3$$

ცარიელი ვაგონის ასვლის კუთხე ზედა სადგურთან, A საყრდენთან, $(x=10)$ -

$$tg\gamma_{E.A} = tg\beta + (L-2\cdot 10)k_{2E}. \qquad 3.4$$

ცარიელი ვაგონის ასვლის კუთხე ქვედა სადგურთან, B საყრდენთან, $(x=L-10)$ -

$$tg\gamma_{E.B} = tg\beta - (L-2\cdot 10)k_{2E}. \qquad 3.5$$

საწევ ბაგირში დაჭიმულობის განსაზღვრისათვის, რაც საბოლოოდ საჭიროა ამძრავ შკივზე მოდებული საწევი ძალებისა და ამძრავი ძრავას ეფექტური მნიშვნელობების გაანგარიშებისათვის, ორვაგონიანი ბაგირგზებისათვის განიხილავენ ორ შემთხვევას [1]:

1. A2 ვარიანტი-„დატვირთული ვაგონი ზემოთ-ცარიელი ვაგონი ქვემოთ“.
2. B2 ვარიანტი-„დატვირთული ვაგონი ქვემოთ-ცარიელი ვაგონი ზემოთ-“.

ცარიელი ვაგონის წონის მდგენელისა და ვაგონის მოძრაობის წინააღმდეგობის ჯამი ზემოთ მოძრაობისას

- ქვედა სადგურთან, B საყრდენთან

$$t_{E.B.U} = Q_{wC}\left(\sin\gamma_{E.B} + f_0 \cos\gamma_{E.B}\right); \qquad 3.6$$

- ზედა სადგურთან, A საყრდენთან

$$t_{E.A.U} = Q_{wC}\left(\sin\gamma_{E.A} + f_0 \cos\gamma_{E.A}\right); \qquad 3.7$$

ცარიელი ვაგონის წონის მდგენელისა და ვაგონის მოძრაობის წინააღმდეგობის ჯამი ქვემოთ მოძრაობისას

- ზედა სადგურთან, A საყრდენთან

$$t_{E.A.D} = Q_{wC}\left(\sin\gamma_{E.A} - f_0 \cos\gamma_{E.A}\right); \qquad 3.8$$

- ქვედა სადგურთან, B საყრდენთან

$$t_{E.B.D} = Q_{wC}\left(\sin\gamma_{E.B} - f_0 \cos\gamma_{E.B}\right); \qquad 3.9$$

დატვირთული ვაგონის წონის მდგენელისა და ვაგონის მოძრაობის წინააღმდეგობის ჯამი ზემოთ მოძრაობისას

- ქვედა სადგურთან, B საყრდენთან

$$t_{F.B.U} = Q_{FC}\left(\sin\gamma_{F.B} + f_0 \cos\gamma_{F.B}\right); \qquad 3.10$$

- ზედა სადგურთან, A საყრდენთან

$$t_{F.A.U} = Q_{FC}\left(\sin\gamma_{F.A} + f_0 \cos\gamma_{F.A}\right); \qquad 3.11$$

დატვირთული ვაგონის წონის მდგენელისა და ვაგონის მოძრაობის წინააღმდეგობის ჯამი ქვემოთ მოძრაობი-

სას

- ზედა სადგურთან, A საყრდენთან

$$t_{F.A.D} = Q_{FC}\left(\sin\gamma_{F.A} - f_0 \cos\gamma_{F.A}\right); \qquad 3.12$$

- ქვედა სადგურთან, B საყრდენთან

$$t_{F.B.D} = Q_{FC}\left(\sin\gamma_{F.B} - f_0 \cos\gamma_{F.B}\right); \qquad 3.13$$

ამძრავ შკივზე საწევი ძალების გაანგარიშებისას განიხილავენ ორ შემთხვევას: როდესაც ამძრავი ზედა სადგურშია და როდესაც – ქვედა სადგურში.

როგორც წესი, ამძრავ შკივზე სატატიკური დატვირთვა წარმოადგენს საწევი ბაგირის მომრბენი და გამრბენი შტოების სტატიკურ დაჭიმულობათა შორის სხვაობას. ამის გათვალისწინებით, ამძრავ შკივზე საწევი ძალების გაანგარიშებისას, საანგარიშო ფორმულებში ნიშან “+”-ს აიღებენ როდესაც ამძრავ ძრავაზე მოდებულია დადებითი დატვირთვა და ნიშან “-“-ს, როდესაც ამძრავ ძრავაზე მოდებულია უარყოფითი დატვირთვა. ამძრავის მდებარეობის ორივე შემთხვევაში საწევი ძალები ამძრავ შკივზე გამოითვლება ერთნაირი ფორმულებით.

1. საწევი ძალა ამძრავ შკივზე, როდესაც დატვირთული ვაგონი მოძრაობს ზემოთ და ცარიელი ქვემოთ (A2 ვარიანტი):

- მოძრაობის დასაწყისში,

$$F_{A1} = t_{F.B.U} - t_{E.A.D} + 2 \cdot t_0; \qquad 3.14$$

- მოძრაობის დასასრულს

$$F_{A2} = t_{F.A.U} - t_{E.B.D} + 2 \cdot t_0 . \qquad 3.15$$

საწევი ძალის ეფექტური მნიშვნელობა ამძრავ შკივ-ზე

$$F_{ef.A} = \frac{1}{3}\left(F_{A1}^2 + F_{A1}F_{A2} + F_{A2}^2\right) \qquad 3.16.$$

2. საწევი ძალა ამძრავ შკივზე, როდესაც დატვირთული ვაგონი მოძრაობს ქვემოთ და ცარიელი ზემოთ (B2 - ვარიანტი):

- მოძრაობის დასაწყისში

$$F_{B1} = t_{E.B.U} - t_{F.A.D} + 2 \cdot t_0 ; \qquad 3.17$$

- მოძრაობის დასასრულს

$$F_{B2} = t_{E.A.U} - t_{F.B.D} + 2 \cdot t_0 ; \qquad 3.18$$

საწევი ძალის ეფექტური მნიშვნელობა ამძრავ შკივ-ზე

$$F_{ef.B} = \frac{1}{3}\left(F_{B1}^2 + F_{B1}F_{B2} + F_{B2}^2\right) . \qquad 3.19$$

ერთვაგონიანი ბაგირგზებისთვისაც ორ შემთხვევას განიხილავენ:

1. A1 ვარიანტი-„დატვირთული ვაგონი ზემოთ“;
2. B1 ვარიანტი-„დატვირთული ვაგონი ქვემოთ“.

1. საწევი ძალა ამძრავ შკივზე, როდესაც დატვირთული ვაგონი მოძრაობს ზემოთ:

- მოძრაობის დასაწყისში

$$F_{A11} = t_{F.B.U} + t_0 ; \qquad 3.20$$

- მოძრაობის დასასრულს

$$F_{A21} = t_{F.A.U} + t_0 . \qquad 3.21$$

საწევი ძალის ეფექტური მნიშვნელობა ამძრავ შკივ-
ზე

$$F_{ef.A1} = \frac{1}{3}\left(F_{A11}^2 + F_{A11}F_{A21} + F_{A21}^2\right) \qquad 3.22$$

2. საწევი ძალა ამძრავ შკივზე, როდესაც დატვირთული ვაგონი მოძრაობს ქვემოთ:

- მოძრაობის დასაწყისში

$$F_{B11} = -t_{F.A.D} + t_0 ; \qquad 3.23$$

- მოძრაობის დასასრულს

$$F_{B21} = -t_{F.B.D} + t_0 ; \qquad 3.24$$

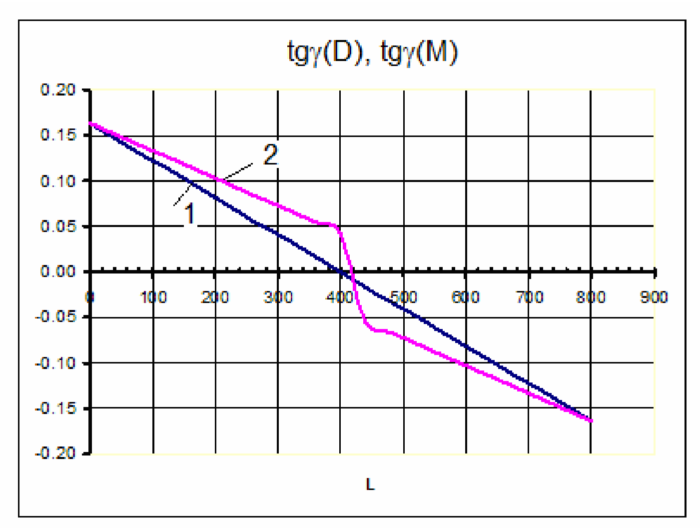
საწევი ძალის ეფექტური მნიშვნელობა ამძრავ შკივ-
ზე

$$F_{ef.B1} = \frac{1}{3}\left(F_{B11}^2 + F_{B11}F_{B21} + F_{B21}^2\right). \qquad 3.25$$

შევადაროთ კონკრეტული მაგალითისათვის ლიტერატურაში [5] მოყვანილი მეთოდითა და ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მოსაზრებით განსაზღვრული ასვლის კუთხეები: ბაგირგზის ჰორიზონტალური სიგრძე - $L = 800$ მ;

ბოლო სადგურებს შორის დონეთა სხვაობა - $h = 0$ მ; $k_0 = 0.0001519$ 1/მ; $k_{1F} = 0.0002426$ 1/მ; $k_{2F} = 0.0001973$

ავაგოთ ორივე მეთოდით გამოთვლილი ასვლის კუთხეები მალის მთელ სიგრძეზე. სამაგალითოდ ავიღოთ დატვირთული ვაგონის მოძრაობა (იხ. ნახ. 3.3)



ნახ. 3.3 ასვლის კუთხეები სარელსო ბაგირის მთელ სიგრძეზე [5]–ს მიხედვით (ლურჯი-1) და ჩვენს მიერ შემოთავაზებულით (წითელი-2)

მალის შუამდე, მე-2 გრაფიკის მნიშვნელობები უფრო მეტია, ვიდრე 1-ისა, ხოლო მალის შუა წერტილის შემდეგ, ამ შემთხვევაში 400 მ-ის შემდეგ, 1-ის მნიშვნელობები უფრო მეტია ვიდრე 2-ისა. ამ განსხვავების მიზეზი ისაა, რომ A საყრდენიდან ვაგონის მოძრაობისას დამჭიმი ტვირთი იწყებს ზემოთ სვლას, იზრდება სარელსო

ბაგირის სიგრძე და შესაბამისად - ასვლის კუთხის მნიშვნელობები.

საწინააღმდეგო სურათია როდესაც ვაგონი მალის შუა წერტილს, 400 მ-ს გაივლის, დამჭიმი ტვირთი დაიწყებს დაბლა დაშვებას, შემცირდება სარელსო ბაგირის სიგრძე და შესაბამისად - ასვლის კუთხის მნიშვნელობა.

მაქსიმალური განსხვავება გრაფიკებს შორის მალის შუა წერტილშია. გამოვთვალოთ ეს განსხვავება. 1-წრფის მნიშვნელობა, ამ წერტილში, ნულის ტოლია, ხოლო მეორესი (გავითვალისწინოთ 2.27 ფორმულა და y_0-ის მნიშვნელობა, რომელიც ამ წერტილში $y_0 = \frac{L^2}{4}k_{1F}$-ის ტოლია),

A საყრდენისაკენ-

$$tg\gamma_A = \frac{y_0}{x_0} - k_0 x_0 = \frac{\frac{L^2}{4}k_{1F}}{\frac{L}{2}} - k_0\frac{L}{2} = \frac{L}{2}\left(k_{1F} - k_0\right). \quad 3.26$$

B საყრდენისაკენ-

$$tg\gamma_B = -\frac{y_0}{L - x_0} + k_0\left(L - x_0\right) = -\frac{\frac{L^2}{4}k_{1F}}{L - \frac{L}{2}} + k_0\left(L - \frac{L}{2}\right) = \quad 3.27$$

$$= -\frac{L}{2}\left(k_{1F} - k_0\right)$$

ჰორიზონტალურ ბაგირგზაზე, როდესაც ვაგონი მალის შუა წერტილშია, ასვლის კუთხეები ორივე მიმართულებით აბსოლუტური მნიშვნელობით ტოლი და ასეთი სიდიდისაა - $\Delta = \dfrac{Q_{FC}}{2H_1}$ (2.2 და 2.4 ფორმულების გათვალისწინებით).

ჩვენი შემოთავაზებაა, ვაგონის ასვლის კუთხეები გამოითვალოს ჩვენს მიერ წარმოდგენილი მეთოდით, როდესაც $\Delta = \dfrac{Q_{FC}}{2H_1} \geq 0.087 \approx 5^0$, ხოლო სხვა შემთვევაში გამოვიყენოთ ლიტერატურაში [5] მოყვანილი მეთოდი.

3.2 უძრავად ჩამაგრებულბოლოებიან სარელსო ბაგირზე ვაგონის ასვლის კუთხეებისა და ამძრავი შკივზე ეფექტური ძალების განსაზღვრა

უძრავად ჩამაგრებულბოლოებიან სარელსო ბაგირზე ვაგონის ასვლის კუთხეების განსაზღვრისათვის საჭიროა წინასწარ განისაზღვროს დაჭიმულობის ჰორიზონტალური მდგენელი დატვირთული და ცარიელი ვაგონისათვის (განსხვავებით დამჭიმტვირთიანი სარელსო ბაგირისა, სადაც დაჭიმულობის ჰორიზონტალური მდგენელი ყველა შემთხვევაში მუდმივია დამჭიმი ტვირთის გამო).

დატვირთული ვაგონისათვის -

$$H_F^3 + A \cdot H_F^2 - B_1 = 0, \qquad 3.28$$

ცარიელი ვაგონისათვის -

$$H_E^3 + A \cdot H_E^2 - B_2 = 0, \qquad 3.29$$

სადაც - (ვაგონის მდებარეობისას სადგურებთან, როცა $x = 10$ ან $x = L - 10$)

$$A = \frac{Es_1}{24H_{max}^2}\left[\left(\frac{q_1L}{\cos\beta}\right)^2 + 3 \cdot Q_{FC}\left(Q_{FC} + \frac{q_1L}{\cos\beta}\right)\right]\cos^2\beta -$$

$$- H_{max} + EE_0s_1\Delta t$$

$$B_1 = \frac{Es_1}{24}\left[\left(\frac{q_1L}{\cos\beta}\right)^2 + 12 \cdot Q_{FC}\left(Q_{FC} + \frac{q_1L}{\cos\beta}\right)\frac{x(L - x)}{L^2}\right]\cos^2\beta$$

$$B_2 = \frac{Es_1}{24}\left[\left(\frac{q_1L}{\cos\beta}\right)^2 + 12 \cdot Q_{EC}\left(Q_{EC} + \frac{q_1L}{\cos\beta}\right)\frac{x(L - x)}{L^2}\right]\cos^2\beta .$$

სადაც $H_{max} = b_{1r}q_1\cos\beta$, (იხ. გვ. 35).

ასეთ შემთხვევაში

$$k_{2F} = \frac{1}{2H_F} \cdot \left(\frac{q_1}{\cos\beta} + \frac{Q_{FC}}{L}\right), \qquad 3.30$$

ხოლო

$$k_{2E} = \frac{1}{2H_E} \cdot \left(\frac{q_1}{\cos\beta} + \frac{Q_{EC}}{L}\right). \qquad 3.31$$

გამოვთვალოთ ვაგონის ასვლის კუთხეები სარელსო ბაგირზე.

დატვირთული ვაგონის ასვლის კუთხე ზედა სადგურთან, $(x = 10)$ -

$$tg\gamma_{F.A} = tg\beta + (L - 2 \cdot 10) \cdot k_{2F} . \qquad 3.32$$

დატვირთული ვაგონის ასვლის კუთხე ქვედა სადგურთან , $(x = L - 10)$ -

$$tg\gamma_{F.B} = tg\beta - (L - 2 \cdot 10) \cdot k_{2F} . \qquad 3.33$$

ცარიელი ვაგონის ასვლის კუთხე ზედა სადგურთან, $(x = 10)$ -

$$tg\gamma_{E.A} = tg\beta + (L - 2 \cdot 10) \cdot k_{2E} . \qquad 3.34$$

ცარიელი ვაგონის ასვლის კუთხე ქვედა სადგურთან, $(x = L - 10)$ -

$$tg\gamma_{E.B} = tg\beta - (L - 2 \cdot 10) \cdot k_{2E} . \qquad 3.35$$

ამძრავ შკივზე მოდებული საწევი ძალებისა და ამძრავი ძრავას ეფექტური მნიშვნელობის გაანგარიშების მეთოდი, როგორც ორვაგონიანი, ისე ერთვაგონიანი ბაგირგზებისათვის სავსებით ანალოგიურია დამჭიმ ტვირთიანი სარელსო ბაგირისა.

თავი IV. საწვი ბაგირის, ამძრავი ძრავასა და რედუქტორის შერჩევა

4.1 საწევი ბაგირის შერჩევა

საწევი ბაგირის შერჩევისას (როგორც სარელსო ბაგირებში) ერთ-ერთი ძირითადი პარამეტრი ბაგირის საგლეჯი ძალაა.

წინასწარ ანგარიშობენ მუდმივ სიდიდეს:

$$D = \frac{K_{st}}{\exp(\mu\alpha) - 1}, \qquad 4.1$$

სადაც $K_{st} = 1.75$ - ხახუნის ამძრავ შკივზე საწევი ბაგირის ჩაჭიდების მარაგის კოეფიციენტი;

$\mu = 0.2$ - ბაგირსა და შკივის ღარს შორის ხახუნის კოეფიციენტი;

$\alpha = \pi$ - ბაგირის ამძრავ შკივზე შემოხვევის კუთხე.

ასე, რომ

$$D = \frac{K_{st}}{\exp(\mu\alpha) - 1} = \frac{1.75}{\exp(0.2 \cdot \pi) - 1} \approx 2. \qquad 4.2$$

ერთი მეტრი საწევი ბაგირის წონა, როდესაც ამძრავი ზედა სადგურშია მოთავსებული, გამოითვლება:

თუ $\gamma_{F.B} \geq 0$

$$q_2 = \frac{D\left(t_{F.A.U} - t_{E.B.D} + 2 \cdot t_0\right) + t_{F.A.U} + t_0}{b_2 - h}, \qquad 4.3$$

თუ $\gamma_{F.B} \prec 0$

$$q_2 = \frac{D\left(t_{F.A.U} - t_{F.B.D} + 2 \cdot t_0\right) + t_{F.A.U} - t_{F.B.D} + t_0}{b_2}. \qquad 4.4$$

ერთი მეტრი საწევი ბაგირის წონა, როდესაც ამძრავი ქვედა სადგურშია მოთავსებული, გამოითვლება:

თუ $\gamma_{\mathbf{F.B}} \geq 0$

$$q_2 = \frac{D\left(t_{F.A.U} - t_{E.B.D} + 2 \cdot t_0\right) + t_{F.A.U} - t_{E.B.D} + t_0}{b_2}, \qquad 4.5$$

თუ $\gamma_{\mathbf{F.B}} \prec 0$, იგივე 4.4 გამოსახულებით

$$q_2 = \frac{D\left(t_{F.A.U} - t_{F.B.D} + 2 \cdot t_0\right) + t_{F.A.U} - t_{F.B.D} + t_0}{b_2}. \qquad 4.6$$

შენიშვნა: $\gamma_{F.B}$ კუთხის გამოთვლა იხ. სარელსო ბაგირის გამოთვლის შესაბამის მეთოდში.

საწევი ბაგირის დამჭიმი ტვირთის G_2-ის წონა განისაზღვრება ამძრავ შკივზე მოდებული მაქსიმალური დატვირთვით. მისი მნიშვნელობა გამოითვლება A (ზედა) საყრდენთან სავსე ვაგონის ასვლისას -

$$\frac{G_2}{2} = b_2 q_2 - \frac{t_{max}}{2} - t_0, \qquad 4.7$$

სადაც

$$t_{max} = t_{F.A.U} = Q_{FC}\left(\sin\gamma_{F.A} + f_0 \cos\gamma_{F.A}\right), \qquad 4.8$$

ხოლო

$$tg\gamma_{F.A} = tg\beta + \left(L - 2 \cdot 10\right)k_{2F} \,. \qquad 4.9$$

4.2 ამძრავი ძრავასა და რედუქტორის შერჩევა

საწევი ბაგირის გამოთვლის შემდეგ შეირჩევა ხახუნის ამძრავი შკივის დიამეტრი $\left(D_0, მ\right)$ -

$$D_0 = 80d_2 \,. \qquad 4.7$$

ამძრავი შკივის დიამეტრების სტანდარტული მნიშვნელობებია (მ-ში)

D0	**1**	**1.25**	**1.6**	**2**	**2.25**

ამძრავი შკივის საორენტაციო ბრუნვათა რიცხვი ასეთ შემთხვევაში იქნება

$$n_m = \frac{60V_m}{\pi D_0} \,, \qquad 4.8$$

ხოლო შესარჩევი ამძრავი ძრავას ბრუნვათა რიცხვი

$$n_{0mot} = n_m \cdot i_r \,, \qquad 4.9$$

სადაც i რედუქტორის გადაცემათა რიცხვია.ზოგად, სამრეწველო გამოყენების PM ტიპის რედუქტორებისათვის

$i = 10, 16, 20, 31.5, 40, 50$; გადაცემის რიცხვების ამ სტანდარტული საფეხურებიდან შეირჩევა ის მნიშვნელობა, რომლის ნამრავლი ამძრავი შკივის საორენტაციო ბრუნვათა რიცხვზე, n_m-ზე, ყველაზე მეტად მიუახლოვდება ასინქრონული ძრავას სტანდარტულ ბრუნვათა რიცხვს $\left(n_{0mot} = 750, 1000, 1500\right)$.

შერჩეული ძრავას სტანდარტული ბრუნვათა რიცხვის მიხედვით გამოითვლება ბაგირგზის რეალური, მაქსიმალური სიჩქარე [1]

$$V_{m\,r} = \frac{\pi D_0 n_{0mot}}{60 \cdot i}. \qquad 4.10$$

ამძრავი ძრავას ეფექტური სიმძლავრე გამოითვლება ფორმულით

$$P_{ef} = \varphi \frac{F_{ef} \cdot V_{mr}}{\eta};\ \text{კვტ.} \qquad 4.11$$

სადაც φ -სისტემის დინამიკურობის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ტრასის სიგრძესა და მოძრაობის სიჩქარეზე; $\varphi = 1.05...1.5$, ამასთან, დიდი მნიშვნელობა შეესაბამება მოკლე გზებსა და დიდ სიჩქარეებს.

η- ძრავასა და ამძრავ შკივს შორის არსებული გადაცემის მქკ.

F_{ef} - ეფექტური ძალის მნიშვნელობა ტოლია

1. ორვაგონიანი ბაგირგზებისათვის

ა) A_2 ვარიანტი-“ დატვირთული ზევით-ცარიელი ქვევით”

$$F_{ef} = F_{ef.A} = \frac{1}{3}\left(F_{A1}^2 + F_{A1}F_{A2} + F_{A2}^2\right), \qquad 4.12$$

ბ) B_2 ვარიანტი-“დატვირთული ქვევით-ცარიელი ზევით”

$$F_{ef} = F_{ef.B} = \frac{1}{3}\left(F_{B1}^2 + F_{B1}F_{B2} + F_{B2}^2\right). \qquad 4.13$$

2. ერთვაგონიანი ბაგირგზებისათვის

ა) A_1 ვარიანტი-“ დატვირთული ზევით”

$$F_{ef} = F_{ef.A1} = \frac{1}{3}\left(F_{A11}^2 + F_{A11}F_{A21} + F_{A21}^2\right), \qquad 4.14$$

ბ) B_1 ვარიანტი-“ დატვირთული ქვევით”

$$F_{ef} = F_{ef.B1} = \frac{1}{3}\left(F_{B11}^2 + F_{B11}F_{B21} + F_{B21}^2\right). \qquad 4.15$$

ეფექტური ძალის გამოსათვლელ ფორმულებში შემავალი სიდიდეების მნიშვნელობები შესაძლოა განისაზღვროს 3.14, 3.15, 3.17, 3.18, 3.20, 3.21, 3.23 და 3.24 ფორმულებით.

გაანგარიშებული ძრავას სიმძლავრის მიხედვით შეირჩევა ცხრილი №3 -დან სტანდარტული ძრავა.

რედუქტორის ტიპი შეირჩევა გადაცემის რიცხვისა და მაქსიმალური მომენტის მნიშვნელობით მის ნელმავალ ლილვზე. ეს უკანასკნელი არ უნდა იყოს ნაკლები ამძრავ შკივზე მოდებულ მაქსიმალურ მომენტზე.

რედუქტორის ნელმავალ ლილვზე მოდებული მომენ-ტი განისაზღვრება ფორმულით

$$M_r = M_{max} - 2\frac{J_{mot.0} + J_{r.0}}{D_0} j_1, \qquad 4.16$$

სადაც M_{max} - მაქსიმალური მომენტია ამძრავ შკივზე. ამ შემთხვევაში შეიძლება შეიცვალოს ძრავას მიერ განვი-თარებული დაყვანილი მომენტით;

$J_{mot.0}$ და $J_{r.0}$ - შესაბამისად ძრავას როტორისა და რედუქტორის ინერციის მომენტებია დაყვანილი ამძრავ შკივზე, კგმ^2.

j_1 - ამძრავი შკივის აჩქარების მნიშვნელობა, მ/წმ^2.

რედუქტორის დაყვანილ ინერციის მომენტს საშუალ-ოდ ძრავას დაყვანილი ინერციის მომენტის სიდიდის ნახ-ევარს აიღებენ

$$J_{r.0} = 0.5 \cdot J_{mot.0}. \qquad 4.17$$

ძრავას ნორმალური ამუშავების პირობიდან გამომდი-ნარე, მაქსიმალური მომენტის მნიშვნელობა ამძრავ შკივ-ზე იანგარიშება

$$M_{max} = 0.85 \cdot \lambda_n \frac{9.55P_n}{n_n} \eta_i i; \text{ კნმ}, \qquad 4.18$$

სადაც P_n, შერჩეული ძრავას ნომინალური სიმძლავრეა, კვტ;

n_n - შერჩეული ძრავას ნომინალური ბრუნვათა რიცხვი, ბრ/წთ;

$0.85 \cdot \lambda_n$ - ძრავას ამუშავებისას გადატვირთვის დასაშვები მნისვნელობა (λ_n - ძრავას ნომინალური გადატვირთვის კოეფიციენტი);

i და η_i - რედუქტორის გადაცემის რიცხვი და მქკ-ა.

ამრიგად, საბოლოოდ შესაძლოა დაიწეროს

$$M_r = M_{max} - 2\frac{J_{mot.0} + J_{r.0}}{D_0} j_1 \approx 0.85 \cdot \lambda_n \frac{9.55P_n}{n_n} \eta_i i - \\ - 2\frac{1.5J_{mot} i^2}{D_0} j_1 \approx \left(8 \cdot \lambda_n \frac{P_n}{n_n} \eta_i - \frac{3J_{mot} i}{D_0} j_1 \right) i \qquad 4.19$$

გადაცემის i რიცხვისა და M_r მომენტის მიხედვით შეირჩევა ცხრილი №4 -დან სტანდარტული რედუქტორი. შრომატევადი მათემატიკური გაანგარიშებების თავიდან აცილების მიზნით, დაპროგრამების სისტემა MATLAB-ში, მოცემულია პროგრამები, რომლებიც იძლევიან საშუალებას გამოითვალოს დამჭიმტვირთიანი და უძრავად ჩამაგრებულბოლოებიანი სარელსო ბაგირის გრძივი მეტრის წონა, საწევი ბაგირის გრძივი მეტრის წონა, სარელსო ბაგირზე ვაგონის ასვლის კუთხეები, რადუქტორი და ამძრავი ძრავას ეფექტური სიმძლავრე, იმის მიხედვით, თუ სადაა მოთავსებული ბაგირგზის ამძრავი.

4.3 დამჭიმტვირთიანი სარელსო ბაგირის გრძივი მეტრის წონის შერჩევა, სარელსო ბაგირზე ვაგონის ასვლის კუთხეების, რედუქტორისა და ამძრავი ძრავას ეფექტური სიმძლავრის გამოთვლა დაპროგრამების სისტემა **MATLAB** –ის გამოყენებით

“[q1]=კნ/მ, - ერთი მეტრი სარელსო ბაგირის წონა;
[h]= მ, - სადგურებს შორის დონეთა სხვაობა;
[L]= მ, - ბაგირგზის ჰორიზონტალური სიგრძე;
[D0]= მ,- ამძრავი შკივის დიამეტრი;
[QFC]=კნ, - დატვირთული ვაგონის წონა, კარეტით;
[QEC]=კნ, - ცარიელი ვაგონის წონა, კარეტით;
nn= (2 ან 1); 2- როცა ორი ვაგონია და 1, როცა ერთია.”
kk=(1 ან 0); 1- როცა ამძრავი ზევითაა და 0- როცა ქვევით”

```
nn=input('vagonebis raodenoba -nn=');
>> kk=input('amzravi zevit -kk=1 da amzravi kvevit-kk=0 ');
>> h=input('doneta sxvaoba -h='); L=input('horizontaluri sigrze- L=');
>> if nn>=2 QFC=input('datvirtuli vagonis cona-QFC=');
>> QEC=input('carieli vagonis cona -QEC='); else
>> QFC=input('datvirtuli vagonis cona-QFC='); QEC=0; end,
>> k=12;D2=2;kst=1.75;n1=3.3;
>> n2=4.5;gam1=85;gam2=95;miu2=0.2;alfa2=pi; sig1=140*10^4;
>> sig2=180*10^4; b1=.9*sig1/n1/gam1; f0=0.06;  t0=0.2;  j=0.6;
>> b2=.9*sig2/n2/gam2; bet=atan(h/L); Fi=1.1; etar=.85;
>> xm=L/2+ k*L*(b1-h)*sin(bet)/(k*L+(b1-h)*cos(bet)); if xm>=L
>> y=h; q1=k*QFC/(b1-y);else for q1=0.0001:0.00001:10;
>> k2=(q1*L+QFC*cos(bet))/(2*k*QFC*L*cos(bet));
>> xm=1/2*(L+tan(bet)/k2);y=k2*xm^2; z=q1*(b1-y)-k*QFC;
>> if z>=0  break; end; end, end;
>> q11=[0.05,0.056,0.063,0.07,0.086,0.096,0.103,0.115];
>> q12=[0.125,0.145,0.164,0.173,0.177,0.198,0.237,0.272];
>> q13=[q11,q12]; n=min(find(q13>=q1)); q1=q13(n);
>> d11=[0.0305,0.032,0.034,0.0355,0.0385,0.0405,0.0425,0.045];
>> d12=[0.047,0.051,0.052,0.054,0.055,0.06,0.065,0.07];
```

```
>> d13=[d11,d12]; d1=d13(n);
>> s11=[0.000596,0.00066,0.00073,0.000796,0.001,0.001135];
>> s12=[0.00121,0.001356,0.00146,0.001725,0.00196];
>> s13=[0.002064,0.002075,0.00239,0.00285,0.003292];
>> s14=[s11,s12,s13]; s1=s14(n); T1=sig1*s1; G1=q1*(b1-h);
>> H1=(G1+q1*h/2)*cos(bet); k2F=1/2/H1*(q1/cos(bet)+QFC/L);
>> k2E=(nn-1)*(1/2/H1*(q1/cos(bet)+QEC/L));
>> gaEA=(atan(tan(bet)+(L-2*10)*k2E))*(nn-1);
>> gaEB=(atan(tan(bet)-(L-2*10)*k2E))*(nn-1);
>> gaFA=atan(tan(bet)+(L-2*10)*k2F);
>> gaFB=atan(tan(bet)-(L-2*10)*k2F);
>> tEBU=(QEC*(sin(gaEB)+f0*cos(gaEB)))*(nn-1);
>> tEAU=(QEC*(sin(gaEA)+f0*cos(gaEA)))*(nn-1);
>> tEAD=(QEC*(sin(gaEA)-f0*cos(gaEA)))*(nn-1);
>> tEBD=(QEC*(sin(gaEB)-f0*cos(gaEB)))*(nn-1);
>> tFBU=QFC*(sin(gaFB)+f0*cos(gaFB));
>> tFAU=QFC*(sin(gaFA)+f0*cos(gaFA));
>> tFAD=QFC*(sin(gaFA)-f0*cos(gaFA));
>> tFBD=QFC*(sin(gaFB)-f0*cos(gaFB));
>> if kk>=1 disp(' rodesac amdzravi  zevitaa, A  sakrdentanaa');
>> if gaFB>=0 q2=(D2*(tFAU-tEBD+nn*t0)+tFAU+t0)/(b2-h); else
>> q2=(D2*(tFAU-tFBD*(nn-1)+nn*t0)+tFAU-tFBD*(nn-1)+t0)/b2;
>> end,else disp(' rodesac amdzravi kvevitaa, B  sakrdentanaa');
>> if gaFB>=0 q2=(D2*(tFAU-tEBD+nn*t0)+tFAU-tEBD+t0)/b2; else
>> q2=(D2*(tFAU-tFBD*(nn-1)+nn*t0)+tFAU-tFBD*(nn-1)+t0)/b2;
>> end,end,q21=[0.0062,0.0071,0.0081,0.0092,0.0097,0.011,0.013];
>> q22=[0.016,0.017,0.021,0.022,0.027,0.033,0.036];
>> q23=[q21,q22];  [z,n]=min((abs(q23-q2))); q2=q23(n+1);
>> d21=[0.0135, 0.0145, 0.015, 0.016, 0.0165, 0.0175, 0.0195];
>> d22=[0.021, 0.022, 0.024, 0.025, 0.0275, 0.0305, 0.032];
>> d23=[d21,d22];d2=d23(n+1);
>> FB1=tFBU-tEAD*(nn-1)+nn*t0;FB2=tFAU-tEBD*(nn-1)+nn*t0;
>> Fef.A=(1/3*(FB1^2+FB1*FB2+FB2^2))^0.5;
>> FC1=tEBU*(nn-1)-tFAD+nn*t0;FC2=tEAU*(nn-1)-tFBD+nn*t0;
>> Fef.B=(1/3*(FC1^2+FC1*FC2+FC2^2))^0.5;
>> Vm=0.32*(j*L)^.5; D0=80*d2; D0r=[1,1.25,1.6, 2, 2.5];
>> n=min(find(D0r>=D0)); D0=D0r(n); nm=60*Vm/pi/D0;
>> ired=[10,16,20,31.5,40,50];n0=[750,1000,1500];nm1=nm*ired;
>> [M1,n]=min((abs(nm1-750))); [M2,n]=min((abs(nm1-1000)));
>> [M3,n]=min((abs(nm1-1500)));[MM,n]=min([M1,M2,M3]);
```

```
>> nmot=n0(n); dd=nmot/nm; [z,n]=min((abs(ired-dd))); ir=ired(n);
>> Vmr=pi*D0*nmot/60/ir; Pef.A=Fi*Fef.A*Vmr/etar;
>> Pef.B=Fi*Fef.B*Vmr/etar; G2=2*(b2*q2-tFAU/2-t0);
>> disp(sprintf('sarelso bagiris erti metris cona, kN/m-q1=%g',q1));
>> disp(sprintf('sarelso bagiris diametri, m-d1=%g',d1));
>> disp(sprintf('sarelso bagiris metaluri kveti, m^2-s1=%g',s1));
>> disp(sprintf('sarelso bagiris sagleji zala, kN-T1=%g',T1));
>> disp(sprintf('sarelso bagiris damchimi tvirti, kN-G1=%g',G1));
>> disp(sprintf('sacevi bagiris erti metris cona, kN/m-q2=%g',q2));
>> disp(sprintf('sacevi bagiris diametri, m- d2=%g',d2));
>> disp(sprintf('sacevi bagiris damchimi tvirti, kN-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, -  ir=%g',ir));
>> disp(sprintf('bagirgzis sichqare, m/s-  Vmr=%g',Vmr)); if nn>=2
>> disp(sprintf('datvirtuli zevit-carieli qvevit, kWt -Pef.A=%g', Pef.A)),
>> disp(sprintf('datvirtuli qvevit-carieli zevit, kWt -Pef.B=%g', Pef.B)),
>> else disp(sprintf('datvirtuli zevit, kWt - Pef.A=%g',Pef.A)),
>> disp(sprintf('datvirtuli qvevit, kWt -  Pef.B=%g',Pef.B)), end;
```

4.4 უძრავად ჩამაგრებულბოლოებიანი სარელსო ბაგირის გრძივი მეტრის წონის შერჩევა, სარელსო ბაგირზე ვაგონის ასვლის კუთხეების, რედუქტორისა და ამძრავი ძრავას ეფექტური სიმძლავრის გამოთვლა დაპროგრამების სისტემა **MATLAB** –ის გამოყენებით

“[q1]=კნ/მ, - ერთი მეტრი სარელსო ბაგირის წონა;
[h]= მ, - სადგურებს შორის დონეთა სხვაობა;
[L]= მ, - ბაგირგზის ჰორიზონტალური სიგრძე;
[D0]= მ,- ამძრავი შკივის დიამეტრი;
[QFC]=კნ, - დატვირთული ვაგონის წონა, კარეტით;
[QEC]=[QW]= კნ, - ცარიელი ვაგონის წონა, კარეტით;

nn= (2 ან 1); 2- როცა ორი ვაგონია და 1, როცა ერთია."
kk=(1 ან 0); 1- როცა ამძრავი ზევითაა და 0, როცა ქვე-ვით"

```
nn=input('vagonebis raodenoba -nn=');
>> kk=input('amzravi zevit -kk=1 da amzravi kvevit-kk=0 ');
>> h=input('doneta sxvaoba -h='); L=input('horizontaluri sigrze- L=');
>> if nn>=2 QFC=input('datvirtuli vagonis cona-QFC=');
>> QEC=input('carieli vagonis cona -QEC='); QW=0;else
>> QFC=input('datvirtuli vagonis cona-QFC='); QEC=0;
>> QW=input('carieli vagonis cona -QW='); end,
>> bet=atan(h/L); n1=3.3;
>> n2=4.5;sig1=140*10^4; sig2=180*10^4; gam1=85;gam2=95;
>> b1=.9*sig1/n1/gam1; b2=.9*sig2/n2/gam2;
>> k=12;D2=2;kst=1.75; miu2=0.2;alfa2=pi;f0=0.06;t0=0.2;j=0.6;
>> Fi=1.2; etar=.8; E0=1.1*10^(-5); E=2.1*10^8; dt=30;
>> xm=L/2 +k*L*(b1-h)*sin(bet)/(k*L+(b1-h)*cos(bet));
>> if xm>=L xm=L; else xm=xm; end; for q1=0.001:0.000001:1;
>> G=q1*L/cos(bet); Hmax=b1*q1* cos(bet);s1=q1/gam1;
>> Hmin=k*QFC; A11=G^2*L/24*(1/Hmax^2-1/Hmin^2);
>> A12=QFC*(QFC+G)/8*(L/Hmax^2-4*xm*(L-xm)/Hmin^2/L);
>> A13=L/cos(bet)*((Hmax-Hmin)/E/s1+E0*dt);
>> D=A11+A12-A13; if D<=0 ,break ; end; end;
>> q11=[0.05,0.056,0.063,0.07,0.086,0.096,0.103,0.115];
>> q12=[0.125,0.145,0.164,0.173,0.177,0.198,0.237,0.272];
>> q13=[q11,q12]; n=min(find(q13>=q1)); q1=q13(n);
>> d11=[0.0305,0.032,0.034,0.0355,0.0385,0.0405,0.0425,0.045];
>> d12=[0.047,0.051,0.052,0.054,0.055,0.06,0.065,0.07];
>> d13=[d11,d12]; d1=d13(n);
>> s11=[0.000596,0.00066,0.00073,0.000796,0.001,0.001135];
>> s12=[0.00121,0.001356,0.00146,0.001725,0.00196];
>> s13=[0.002064,0.002075,0.00239,0.00285,0.003292];
>> s14=[s11,s12,s13]; s1=s14(n); T1=sig1*s1;
>> a00=E*s1/24/Hmax^2; a11=q1*L/cos(bet);
>> a12=3*QFC*(QFC+a11); a13=E*E0*s1*dt-Hmax;
>> A=a00*(a11^2+a12)*cos(bet)^2+a13;
>> b00=a00*Hmax^2; b11=a11;
>> b121=12*QFC*(QFC+b11)*10*(L-10)/L^2;
>> B1=b00*(b11^2+b121)*cos(bet)^2;
```

```
>> b122=12*QW*(QW+b11)*10*(L-10)/L^2;
>> B2= b00*(b11^2+b122)*cos(bet)^2;
>> fF=@(x)x.^3+A*x.^2-B1; HF=fzero(fF,100);
>> fE=@(x)x.^3+A*x.^2-B2; HE=fzero(fE,100);
>> k2F=1/2/HF*(q1/cos(bet)+QFC/L);
>> k2E=(nn-1)*(1/2/HE*(q1/cos(bet)+QEC/L));
>> gaEA=(atan(tan(bet)+(L-2*10)*k2E))*(nn-1);
>> gaEB=(atan(tan(bet)-(L-2*10)*k2E))*(nn-1);
>> gaFA=atan(tan(bet)+(L-2*10)*k2F);
>> gaFB=atan(tan(bet)-(L-2*10)*k2F);
>> tEBU=(QEC*(sin(gaEB)+f0*cos(gaEB)))*(nn-1);
>> tEAU=(QEC*(sin(gaEA)+f0*cos(gaEA)))*(nn-1);
>> tEAD=(QEC*(sin(gaEA)-f0*cos(gaEA)))*(nn-1);
>> tEBD=(QEC*(sin(gaEB)-f0*cos(gaEB)))*(nn-1);
>> tFBU=QFC*(sin(gaFB)+f0*cos(gaFB));
>> tFAU=QFC*(sin(gaFA)+f0*cos(gaFA));
>> tFAD=QFC*(sin(gaFA)-f0*cos(gaFA));
>> tFBD=QFC*(sin(gaFB)-f0*cos(gaFB));
>> if kk>=1 disp(' rodesac amdzravi  zevitaa, A  sakrdentanaa');
>> if gaFB>=0 q2=(D2*(tFAU-tEBD+nn*t0)+tFAU+t0)/(b2-h);
>> else q2=(D2*(tFAU-tFBD*(nn-1)+nn*t0)+tFAU-tFBD*(nn-
1)+t0)/b2; end,
>> else disp(' rodesac amdzravi kvevitaa, B  sakrdentanaa');
>> if gaFB>=0
>> q2=(D2*(tFAU-tEBD+nn*t0)+tFAU-tEBD+t0)/b2; else
>> q2=(D2*(tFAU-tFBD*(nn-1)+nn*t0)+tFAU-tFBD*(nn-1)+t0)/b2;
>> end, end,
>> q21=[0.0062, 0.0071,0.0081, 0.0092, 0.0097, 0.011, 0.013];
>> q22=[0.016, 0.017, 0.021, 0.022, 0.027, 0.033, 0.036];
>> q23=[q21,q22];  n=min(find(q23>=q2)); q2=q23(n);
>> d21=[0.0135, 0.0145, 0.015, 0.016, 0.0165, 0.0175, 0.0195];
>> d22=[0.021, 0.022, 0.024, 0.025, 0.0275, 0.0305, 0.032];
>> d23=[d21,d22];d2=d23(n);
>> FB1=tFBU-tEAD*(nn-1)+nn*t0;FB2=tFAU-tEBD*(nn-1)+nn*t0;
>> Fef.A=(1/3*(FB1^2+FB1*FB2+FB2^2))^0.5;
>> FC1=tEBU*(nn-1)-tFAD+nn*t0;FC2=tEAU*(nn-1)-tFBD+nn*t0;
>> Fef.B=(1/3*(FC1^2+FC1*FC2+FC2^2))^0.5;
>> Vm=0.32*(j*L)^.5; D0=80*d2; D0r=[1,1.25,1.6, 2, 2.5];
>> n=min(find(D0r>=D0)); D0=D0r(n); nm=60*Vm/pi/D0;
>> ired=[10,16,20,31.5,40,50];n0=[750,1000,1500];nm1=nm*ired;
```

```
>> [M1,n]=min((abs(nm1-750))); [M2,n]=min((abs(nm1-1000)));
>> [M3,n]=min((abs(nm1-1500)));[MM,n]=min([M1,M2,M3]);
>> nmot=n0(n); dd=nmot/nm; [z,n]=min((abs(ired-dd))); ir=ired(n);
>> Vmr=pi*D0*nmot/60/ir; Pef.A=Fi*Fef.A*Vmr/etar;
>> Pef.B=Fi*Fef.B*Vmr/etar; G2=2*b2*q2-tFAU-2*t0;
>> disp(sprintf('sarelso bagiris grzivi metris cona, kN/m-q1=%g',q1));
>> disp(sprintf('sarelso bagiris diametri, m-d1=%g',d1));
>> disp(sprintf('sarelso bagiris metaluri kveti, m^2-s1=%g',s1));
>> disp(sprintf('sarelso bagiris sagleji zala, kN-T1=%g',T1));
>> disp(sprintf('sacevi bagiris grzivi metris cona, kN/m-q2=%g',q2));
>> disp(sprintf('sacevi bagiris diametri, m- d2=%g',d2));
>> disp(sprintf('sacevi bagiris damchimi tvirti, kN-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, -  ir=%g',ir));
>> disp(sprintf('bagirgzis sichqare, m/s-  Vmr=%g',Vmr)); if nn>=2
>> disp(sprintf('datvirtuli zevit-carieli qvevit, kWt -Pef.A=%g', Pef.A)),
>> disp(sprintf('datvirtuli qvevit-carieli zevit, kWt -Pef.B=%g', Pef.B)),
>> else disp(sprintf('datvirtuli zevit, kWt - Pef.A=%g',Pef.A)),
>> disp(sprintf('datvirtuli qvevit, kWt -  Pef.B=%g',Pef.B)), end;
```

თავი V. კიდული ბაგირგზის ამუშავების დინამიკური რეჟიმის კვლევა

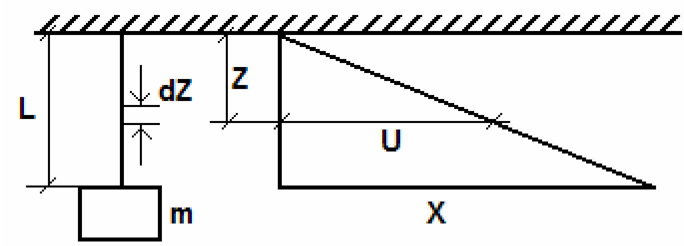
5.1 კვლევის მეთოდები.

კიდული ბაგირგზის დინამიკური რეჟიმების კვლევისა და შემდგომ ამ რეჟიმების ოპტიმიზაციისათვის, საჭიროა მისი მათემატიკური მოდელის შექმნა. შემდგომ, ამ მოდელის საშუალებით მიღებული მოძრაობის ამსახველი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ამოხსნა და ანალიზი.

ექვივალენტურ ლილვზე, მასების დაყვანისას, დიდი დახმარება შეიძლება გასწიოს მეთოდმა, რომელიც **რელეის** სახელს ატარებს. ამ მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ დეფორმაციის ხასიათი როგორც სტატიკური, ისე დინამიკური ზემოქმედების დროს მიღებულია დაახლოებით ერთნაირად. ასევე ცნობილია, რომ რელეის მეთოდის გამოყენებისას სხვა, უფრო სრულყოფილ მეთოდებთან შედარებით, გაანგარიშების სიზუსტე მცირდება, მაგრამ განსხვავება 10%-ს არ აღემატება. ისეთ მექანიზმებში, სადაც დინამიკური ზემოქმედების დროს ბაგირის სიგრძე უმნიშვნელოდ იცვლება, ამ მეთოდის გამოყენება, თავისი სიმარტივის გამო, დიდ პრაქტიკულ მნიშვნელობას იძენს [3].

ვაჩვენოთ ამ მეთოდის გამოყენების მაგალითი. განვიხილოთ უძრავბოლოიან დრეკად ბაგირზე ჩამოკიდებული m მასა; ბაგირის გრძივი მეტრის წონა იყოს m_{0R}, ხოლო სიგრძე L (ნახ. 5.1).

თეორიული მექანიკიდან ცნობილია, რომ ასეთი სისტემის მოძრაობის გამოკვლევა დაკავშირებულია კერძოწარმოებულიან დიფერენციალურ განტოლების ამოხსნასთან და მეტად რთულ და შრომატევად სამუშაოს წარმოადგენს. ბაგირის მასის უგულებელყოფა ამარტივებს ამოცანის გადაწყვეტის პრობლემას, მაგრამ ასეთი დაშვება მეტად არაზუსტ შედეგებამდე მიგვიყვანს განსაკუთრებით ისეთ შემთხვევაში, როცა ბაგირის მასა მასზე ჩამოკიდებული ტვირთის მასის თანაზომადია.



ნახ. 5.1. რელიეს მეთოდის გამოყენების მაგალითი

ვთქვათ, u ბაგირის კვეთის გადაადგილებაა ბაგირის ჩამაგრების ადგილიდან z მანძილზე დეფორმაციის დროს. მაშინ, ბაგირის dz სიგრძის მონაკვეთის კინეტიკური ენერგია ტოლი იქნება

$$dT_R = \frac{1}{2}\dot{u}^2 dm_{zR} = \frac{1}{2}\dot{u}^2 m_{oR} dz, \qquad 5.1$$

სადაც, dm_{zR} ბაგირის dz მონაკვეთის მასაა, ხოლო m_{0R} ბაგირის ერთი მეტრის მასა.

ბაგირის სრული კინეტიკური ენერგია იქნება

$$T_R = \frac{1}{2} m_{0R} \int_0^L \dot{u}^2 dz. \qquad 5.2$$

ბოლოკიდულ ტვირთზე დამატებული ბაგირის მასის კინეტიკური ენერგია ასევე ამ სიდიდის ტოლი უნდა იყოს

$$T_R = \frac{1}{2} m_{0R} \int_0^L \dot{u}^2 dz = \frac{1}{2} m_R \dot{x}^2, \qquad 5.3$$

სადაც, x ტვირთთან ბაგირის ჩამაგრების ადგილის გად-აადგილებაა, ხოლო m_0- ბოლოკიდულ ტვირთზე დამატე-ბული ბაგირის მასა. ამ ბოლო გამოსახულებიდან

$$m_0 = \frac{m_{0R}}{\dot{x}^2} \int_0^L \dot{u}^2 dz. \qquad 5.4$$

თუკი ცნობილია u -ს ცვლილების კანონი, ამ ინტე-გრალის გამოთვლა სირთულეს არ წარმოადგენს.

რელეის მეთოდის გათვალისწინებით, u -ს ცვლილ-ება შეესაბამება დეფორმაციის ხასიათს სტატიკური დატ-ვირთვის დროს.

განხილულ შემთხვევაში, ბაგირის სტატიკური დეფო-

რმაცია იცვლება წრფივი კანონით და შეიძლება დაიწეროს

$$u = \frac{z}{L}x \quad \text{და} \quad \dot{u} = \frac{z}{L}\dot{x}\ . \qquad 5.5$$

თუ ამ უკანასკნელს ჩავსვამთ m_R-ის ფორმულაში, მიიღება

$$m_0 = \frac{m_{0R}}{\dot{x}^2}\int_0^L \dot{u}^2 dz = \frac{m_{0R}}{\dot{x}^2}\int_0^L \frac{z^2}{L^2}\dot{x}^2 dz = \frac{m_{0R}L}{3} = \frac{m_R}{3}\,, \qquad 5.6$$

სადაც m_R - ბაგირის მთლიანი მასაა.

ამრიგად, სისტემის რხევისას, ბაგირის მასის კინეტიკური ენერგიის გასათვალისწინებლად, საკმარისია ბოლოკიდულ ტვირთის მასას დაემატოს ბაგირის მასის მესამედი.

ლაგრანჟეს მეთოდი დაფუძნებულია განზოგადებული კოორდინატისა და ძალის ცნებაზე.

განზოგადებული კოორდინატის ცნებაში იგულისხმება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი ცალსახა $x_i(t)$ დროის ფუნქციები, რომელთა საშუალებითაც მთლიანად განისაზღვრება სისტემის მოძრაობა. განზოგადებული კოორდინატების პირველი რიგის წარმოებულს უწოდებენ განზოგადებულ სიჩქარეს და აღნიშნავენ $\dot{x}_i(t)$ სიმბოლოთი.

განზოგადებულ კოორდინატებს მიეკუთვნება ნებისმიერი დამოუკიდებელი პარამეტრი: წერტილებს შორის

მანძილი, მობრუნების კუთხე, მობრუნების კუთხეებს შორის სხვაობა და სხვ.

ლაგრანჟეს განტოლებას x განზოგადებული კოორდინატისათვის შემდეგი სახე აქვს:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x . \qquad 5.7$$

აქ ცვლად სიდიდეს x კოორდინატი წარმოადგენს. მისი წარმოებული დროით (განზოგადებული სიჩქარე) აღნიშნულია $\dot{x}$-ით, სისტემის კინეტიკური ენერგია T-თი და ბოლოს, Q_x-ით აღნიშნულია განზოგადებული ძალა. Q_x განისაზღვრება როგორც ყველანაირი ძალის (როგორც შიგა, ისე გარე) მიერ შესრულებული უსასრულოდ მცირე dA მუშაობის ფარდობა x კოორდინატის უსასრულოდ მცირე dx გადაადგილებაზე, ანუ

$$Q_x = \frac{dA}{dx} . \qquad 5.8$$

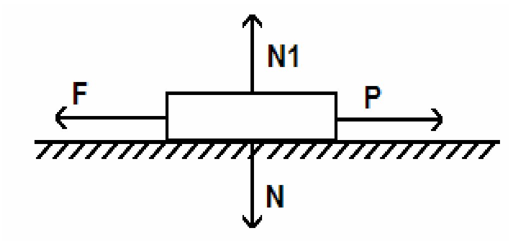
როგორც წესი, მოძრავი სხეულის კინეტიკური ენერგიის გამოთვლა არ არის ძნელი, რადგან იგი ადვილად განისაზღვრება განზოგადებული $\dot{x}$ კოორდინატით.

ცოტა უფრო რთულადაა საქმე განზოგადებული Q_x-ის ძალის გამოთვლისას. საერთოდ, მისი გაანგარიშებისათვის საჭიროა განისაზღვროს ყველა ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა უსასრულოდ მცირე მონაკვეთზე.

განვიხილოთ მარტივი მაგალითი (ნახ. 5.2).

ვთქვათ N წონის ტვირთი P ძალის გავლენით მოძრაობს f ხახუნის კოეფიციენტიან ზედაპირზე. სხეულზე მოქმედებს შემდეგი ძალები: საკუთარი N წონა; N1 რეაქციის ძალა, რომელიც N ძალას აწონასწორებს; P გარეშე ძალა და $F = N_f$ ხახუნის ძალა. განზოგადებულ კოორდინატად მივიღოთ სხეულის გადაადგილება ზედაპირზე P ძალის მოქმედების მიმართულებით და იგი ავღნიშნოთ x-ით. მაშინ, dx მანძილზე შესრულებული dA მუშაობა გამოითვლება

$$dA = (P - F)dx. \qquad 5.9$$



ნახ. 5.2 ლაგრანჟეს მეთოდის გამოყენების მაგალითი

განზოგადებული ძალა, რასაკვირველია იქნება

$$Q_x = P - F. \qquad 5.10$$

თუკი P ძალა იქნება ნულის ტოლი (მაშინ, როდესაც სხეული მოძრაობს ინერციით)

$$Q_x = -F. \qquad 5.11$$

აღსანიშნავია, რომ თუ განზოგადებული ძალა იწვევს განზოგადებული კოორდინატის გაზრდას (ამ შემთხვევაში x კოორდინატისას), მაშინ იგი აიღება დადებითი ნიშნით, წინააღმდეგ შემთხვევაში – უარყოფითით.

ბრუნვითი მოძრაობის დროს განზოგადებული ძალა იგივე მეთოდით განისაზღვრება.

განზოგადებული ძალების გამოთვლა მნიშვნელოვნად მარტივდება, როდესაც სიტემაზე მოქმედებს მხოლოდ კონსერვატიული ძალები. მათი მუშაობა განისაზღვრება განვლილი მანძილის საბოლოო წერტილების კოორდინატებით.

კონსერვატიული ძალების მაგალითებია სიმძიმისა და დრეკადობის ძალები. სისტემაზე მოქმედი კონსერვატიული ძალების განზოგადებულ ძალას წარმოადგენს სისტემის პოტენციალური ენერგიის კერძო წარმოებული შესაბამისი განზოგადებული კოორდინატით, აღებულს საწინააღმდეგო ნიშნით

$$Q_i = -\frac{\partial \Pi}{\partial x_i}. \qquad 5.12$$

ზემოთ განხილულ მაგალითში (ნახ. 5.2) სისტემას გააჩნია მხოლოდ ერთი თავისუფლების ხარისხი. ზოგად შემთხვევაში, სისტემას შეიძლება ჰქონდეს ნებისმიერი რაოდენობის თავისუფლების ხარისხი და მისი მდგომარ-

ეობა განისაზღვრება ამავე რაოდენობის განზოგადოებული კოორდინატებით. ამისათვის, თითოეული კოორდინატისათვის უნდა შედგეს ლაგრანჟეს ცალკეული განტოლება და შემდეგ იგი ამოიხსნას ერთად, მთლიანობაში.

ამრიგად, როგორც ცნობილია, ლაგრანჟეს განტოლება საბოლოოდ შესაძლებელია ამგვარი სახით დაიწეროს:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_i + Q'_x, \qquad 5.13$$

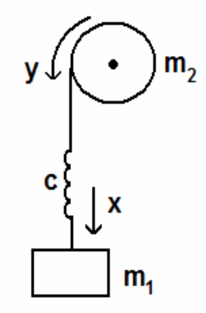
სადაც Q'_x -ით განისაზღვრება მხოლოდ არაკონსერვატიული ძალა, ხოლო კონსერვატიული ძალა შევა $\frac{\partial \Pi}{\partial x_i}$ გამოსახულებაში.

განვიხილოთ ლაგრანჟეს მეთოდის გამოყენების მარტივი მაგალითი. ვთქვათ, m_2 მასის ბლოკზე დრეკადი ძაფით ჩამოკიდებულია m_1 მასა (ნახ. 5.3). დავუშვათ, რომ ძაფის სიხისტის კოეფიციენტია c. სისტემას გააჩნია ორი თავისუფლების ხარისხი (x და y) და როგორც ავღნიშნეთ, მოძრაობის აღმწერი განტოლებების მისაღებად საჭიროა ლაგრანჟეს ორი განტოლების გამოყენება

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial T}{\partial \dot{x}} - \dfrac{\partial T}{\partial x} = Q_x + Q'_x, \\ \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial T}{\partial \dot{y}} - \dfrac{\partial T}{\partial y} = Q_y + Q'_y. \end{cases} \qquad 5.14$$

სისტემის კინეტიკური ენერგია ასე დაიწერება

$$T = \frac{1}{2}m_1\dot{x}^2 + \frac{1}{2}m_2\dot{y}^2 \qquad 5.15$$



ნახ. 5.3. ლაგრანჟეს მეთოდის გამოყენების მაგალითი მარტივი ამწევი მექანიზმისათვის

სისტემაზე მოქმედებს მხოლოდ კონსერვატიული ძალები (სიმძიმის m_1g ძალა და ძაფის დრეკადობის ძალა $c\,(x-y)$). ამის გათვალისწინებით - $Q'_x = Q'_y = 0$.

რადგან m_1 მასა ქვემოთ გადაადგილდება, მისი პოტენციალური ენერგია მცირდება. სისტემის მთლიანი პოტენციალური ენერგია

$$\Pi = -m_1gx + \frac{1}{2}c(x - y + f_0)^2, \qquad 5.16$$

სადაც $f_0 = \frac{m_1g}{c}$, ბაგირის საწყისი სტატიკური დაჭიმულობაა.

განვსაზღვროთ ყველა წევრი, რომელიც ლაგრანჟის განტოლებაში შედის

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} = m_1\frac{d^2x}{dt^2};\ \frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{y}} = m_2\frac{d^2y}{dt^2};\ \frac{\partial T}{dx} = 0; \frac{\partial T}{dy} = 0; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial x} = -m_1g + c(x - y + f_0) = -m_1g + c(x - y) + m_1g; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial y} = -c(x - y + f_0) = -c(x - y) - m_1g. \end{cases} \qquad 5.17$$

ამრიგად, 5.17 განტოლებათა სისტემა მიიღებს სახეს

$$\begin{cases} m_1\frac{d^2x}{dt^2} = -c(x - y), \\ m_2\frac{d^2y}{dt^2} = m_1g + c(x - y). \end{cases} \qquad 5.18$$

მივიღეთ განხილული სისტემის აღმწერი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა, რომლის ამოხსნითაც სრული წარმოდგენა გვექნება მასების მოძრაობის ხასიათზე. ამოვხსნათ ეს განტოლება ნულოვანი საწყისი პირობებისათვის, 5.18 სისტემა, ოპერაციულ ფორმაში ჩაიწერება -

$$\begin{cases} \left(m_1P^2 + c\right)\overline{x} - c\overline{y} = 0; \\ -c\overline{x} + \left(m_2P^2 + c\right)\overline{y} = \frac{m_1g}{P}. \end{cases} \qquad 5.19$$

მისი ამონახსნები კი იქნება

$$\begin{cases} \bar{x} = \dfrac{cg}{m_2} \dfrac{1}{P^3\left(P^2 + \omega^2\right)}, \\ \bar{y} = m_1 g \dfrac{m_1 P^2 + c}{P^3\left(P^2 + \omega^2\right)}. \end{cases} \qquad 5.20$$

ჩვენთვის უფრო საინტერესოა აჩქარებებისა და სიჩქარეების განსაზღვრა. ამისათვის 5.20 სისტემის ორივე განტოლების ორივე მხარე გავამრავლოთ P^2-ზე და გამოვთვალოთ აჩქარებების სიდიდეები, შემდეგ კი მათი ინტეგრებით განვსაზღვრავთ სიჩქარეებს. შესაბამისად, აჩქარებები -

$$\begin{cases} a_x = a_0\left(1 - \cos\omega t\right); \\ a_y = a_0\left(1 + \dfrac{m_1}{m_2}\cos\omega t\right), \end{cases} \qquad 5.21$$

სიჩქარეები –

$$\begin{cases} V_x = a_0\left(t - \dfrac{1}{\omega}\sin\omega t\right); \\ V_y = a_0\left(t + \dfrac{m_1}{m_2}\dfrac{1}{\omega}\sin\omega t\right). \end{cases} \qquad 5.22$$

სადაც $\omega^2 = \dfrac{c(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}$ 1/წმ² - სისტემის რხევის კუთხური სიხშირეა, ხოლო $a_0 = \dfrac{m_1 g}{m_1 + m_2}$ სისტემის საშუა-

ლო აჩქარების სიდიდე, ანუ აჩქარების ის მნიშვნელობა, რომლითაც აჩქარდებოდნენ მასები, მათი დამაკავშირებელი ძაფი უჭიმავი რომ ყოფილიყო.

ბაგირი თავიდანვე მოჭიმული რომ არ ყოფილიყო, ანუ $f_0 = 0$, მაშინ 5.18 განტოლებათა სისტემა მიიღებდა სახეს

$$\begin{cases} m_1 \dfrac{d^2x}{dt^2} = m_1 g - c(x - y), \\ m_2 \dfrac{d^2y}{dt^2} = c(x - y). \end{cases} \tag{5.23}$$

ხოლო აჩქარებებისა და სიჩქარეების მნიშვნელობები შესაბამისად იქნებოდნენ-

აჩქარებები –

$$\begin{cases} a_x = a_0\left(1 + \dfrac{m_2}{m_1}\cos\omega t\right); \\ a_y = a_0(1 - \cos\omega t), \end{cases} \tag{5.24}$$

სიჩქარეები –

$$\begin{cases} V_x = a_0\left(t + \dfrac{m_2}{m_1}\dfrac{1}{\omega}\sin\omega t\right); \\ V_y = a_0\left(t - \dfrac{1}{\omega}\sin\omega t\right). \end{cases} \tag{5.25}$$

როგორც 5.22 და 5.25 გამოსახულებებიდან ჩანს, სიჩ-

ქარეები იცვლებიან სწორხაზობრივი კანონით, რომლებზ-ეც სინუსოიდებია დამატებული და პროცესს აქვს ჩაუქრ-ობადი ხასიათი.

რეალურ ელექტრომექანიკური სისტემების დრეკად ელემენტებში (ამ შემთხვევაში ბაგირში), უეჭველად არს-ებობენ დისიპატიური (ენერგიის ფანტვის) ძალები ბლან-ტი ხახუნის სახით და პროცესს ყოველთვის მილევადი ხასიათი აქვს. ამიტომაც, 5.14 განტოლებათა სისტემაში, გათვალისწინებული უნდა ყოფილიყო ეს ძალები, მაგრამ სიჩქარეების რხევის პირველი ამპლიტუდა, რომელიც ყვე-ლაზე საინტერესოა სისტემაში მაქსიმალური გადატვირ-თვის ხარისხის შესაფასებლად, მცირედ განსხვავდება რეალური ელექტრომექანიკური სისტემის აღმწერი გან-ტოლებებით მიღებული სიჩქარეების რხევის პირველი ამ-პლიტუდისაგან.

5.2 დინამიკური რეჟიმების ოპტიმიზაცია

ზოგადად, დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაციის ცნებ-აში იგულისხმება სისტემის შიგა მექანიკური რხევების ჩაქრობა გარდამავალი პერიოდის დროს. ჩვეულებრივ, მრ-ავალმასიან სისტემაში, რომელსაც თავისუფლების მრავ-ალი ხარისხი გააჩნია, ოპტიმიზაცია ხორციელდება ძირი-თადი (დაბალი) სიხშირის მიმართ [3]. ცნობილია დრეკა-

დი ელემენტით შეერთებული მასების რხევის გარეშე ამუშავების რამდენიმე ხერხი. მათ შორის ყველაზე მეტად ორია გავრცელებული [2].

პირველ შემთხვევაში (ორმასიან სისტემაში) დინამიკურ ძალას, $F_0 = a_0(m_1 + m_2)$, რომელიც შეესაბამება საპროგრამო a_0 აჩქარებას, წრფივად გაზრდიან თავის დამყარებულ მნიშვნელობამდე დროში, რომელიც ამ სისტემის რხევის პერიოდის ჯერადია $\left(t_0 = nT = n\dfrac{2\pi}{\omega}\right)$, სადაც n - ნატურალური რიცხვია [3].

მეორე შემთხვევაში სისტემაზე მოსდებენ დინამიკური ძალის ნახევარს, როდესაც ტვირთი გადაიხრება მაქსიმალური მნიშვნელობით, დინამიკურ ძალას გააორმაგებენ, ტვირთი დარჩება გადახრილ მდგომარეობაში მთელი აჩქარების პერიოდის განმავლობაში. აჩქარების პერიოდის დასასრულს, დინამიკურ ძალას ისევ გაანახევრებენ, ტვირთი დაიწყებს დაბლა დაშვებას და როდესაც ვერტიკალურ მდგომარეობას დაუბრუნდება, სისტემაზე მთლიანად მოხსნიან დინამიკურ ძალას. სისტემა რხევის გარეშე გააგრძელებს მოძრაობას.

განვიხილოთ მმართველი ზემოქმედების ოპტიმიზაციის საკითხი ერთბოლოიანი ამწევის ამუშავების მაგალითზე [3]. პირველი ხერხის შემთხვევაში ამუშავების აღმწერ

$$\begin{cases} m_1\ddot{x} = F - c(x - y); \\ m_2\ddot{y} = c(x - y) - m_2 g. \end{cases}, \qquad 5.26$$

განტოლებათა სისტემაში პირველი განტოლების ყველა წევრი გავამრავლოთ m_2-ზე, ხოლო მეორეში- m_1-ზე. შემდეგ პირველს გამოვაკლოთ მეორე, მიღებული განტოლებიდან განვსაზღვროთ y და გავაწარმოოთ ორჯერ. y-სა და მისი ორჯერ წარმოებულის მნიშვნელობა შევიტანოთ სისტემის მეორე განტოლებაში და გვექნება (გავითვალისწინოთ, რომ $\left(\dfrac{d^4x}{dt^4} = \dfrac{d^2a}{dt^2}\right)$) -

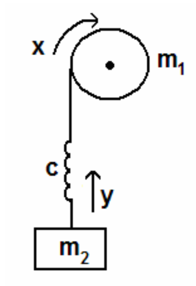
$$\frac{1}{\omega^2}\frac{d^2a_x}{dt^2} + a_x = a_0, \qquad 5.27$$

ანლოგიური გარდაქმნებით

$$\frac{1}{\omega^2}\frac{d^2a_y}{dt^2} + a_y = a_0. \qquad 5.28$$

აქ ω^2 და a_0 იგივე სიდიდეებია, რაც წინა პარაგრაფებში.

ამძრავის მიერ განვითარებული დინამიკური ძალა $F_d = F - Q$ შევცვალოთ t_0 დროში იმ F_{d0} მნიშვნელობამდე, რომელიც საჭიროა საანგარიშო a_0 აჩქარების მისაღებად-



ნახ. 5.4 ოპტიმიზაციის პირველი ხერხი ერთბოლოიანი ამწევის მაგალითზე

$$F_d = F_{d0}\frac{t}{t_0} = \varepsilon_0 t . \qquad 5.29$$

ამ უკანასკნელის გათვალისწინებით, ამწევი ჭურჭლის აჩქარება იქნება

$$\frac{1}{\omega^2}\frac{d^2a_y}{dt^2} + a_y = \rho t , \qquad 5.30$$

სადაც $\rho = \frac{\varepsilon_0}{\Sigma m}$, მ/წმ^3 ე.წ. “გაქანება” ანუ აჩქარების წარმოებულია.

ნულოვანი საწყისი პირობებისათვის ამ განტოლების ამოხსნა გვაძლევს

$$a_y = \rho\left(t - \frac{1}{\omega}\sin\omega t\right). \qquad 5.31$$

ვთქვათ, ამწევი ჭურჭლის აჩქარება t_1 დროის მნიშვნელობისათვის გამოისახება

$$a_{y1} = \rho\left(t_1 - \frac{1}{\omega}\sin\omega t_1\right), \qquad 5.32$$

სიდიდით, ხოლო t_2 მნიშვნელობისათვის ($t_2 = t_1 + t_0$) -

$$a_{y2} = \rho\left(t_2 - \frac{1}{\omega}\sin\omega t_2\right). \qquad 5.33$$

განვსაზღვროთ $a_{y2} - a_{y1} = \Delta a_y$ სხვაობა

$$\Delta a_y = \rho\left[\left(t_2 - t_1\right) - \frac{1}{\omega}\left(\sin\omega t_2 - \sin\omega t_1\right)\right], \qquad 5.34$$

ანუ

$$\begin{aligned}\Delta a_y &= \rho\left(t_0 - \frac{2}{\omega}\sin\omega\frac{t_2 - t_1}{2}\cos\omega\frac{t_2 + t_1}{2}\right) = \\ &= \rho\left(t_0 - \frac{2}{\omega}\sin\omega\frac{t_0}{2}\cos\omega\frac{t_2 + t_1}{2}\right).\end{aligned} \qquad 5.35$$

თუკი დინამიკური ძალის ცვლილების დროის მნიშვნელობად ავიღებთ $t_0 = \dfrac{2\pi}{\omega} = T$ სიდიდეს, საბოლოოდ გვექნება

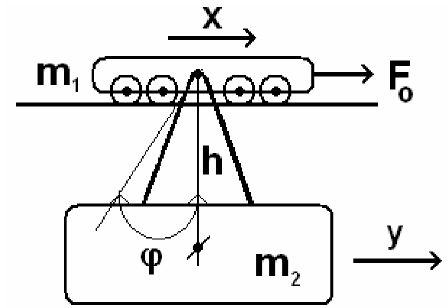
$$\Delta a_y = \rho t_0 . \qquad 5.36$$

ამრიგად, დინამიკური ძალის ცვალებადობის დროის მნიშვნელობად თუკი აიღება დრეკადი სისტემის საკუთარი რხევის სიხშირის პერიოდი, რხევით პროცესს გარდამავალ პროცესში ადგილი არ ექნება (სისტემა დინამიკურად ოპტიმალურია). მექანიკური რხევების დიდი სიხში-

რეების (მცირე პერიოდების) დროს, შესაძლებელია t_0 ავ-იღოთ მთელ რიცხვჯერ მეტი სისტემის საკუთარი რხევის სიხშირის პერიოდზე -

$$t_0 = \frac{2\pi}{\omega} n, \; (n = 1, 2, ...) \; . \qquad 5.37$$

მეორე მეთოდის წარმოსადგენად განვიხილოთ კონკ-რეტული მაგალითი. ვთქვათ, გადასაადგილებელია სამგზ-ავრო კიდული ბაგირგზის m_1 მასის ურიკა, რომელზეც m_2 მასის ვაგონია ჩამოკიდებული (იხ. ნახ. 5.5).



ნახ. 5.5. ოპტიმიზაციის მეორე ხერხი ბაგირგზის ვაგონის მაგალითზე

x და y შესაბამისად m_1 და m_2 მასების გადაადგ-ილებებია, ხოლო F_o- დინამიკური ძალა. h ჩამოკიდების სიგრძეში, როგორც წესი, იგულისხმება m_1 და m_2 მასე-ბის სიმძიმის ცენტრებს შორის მანძილი. გაანგარიშების გამარტივების მიზნით დავუშვათ, რომ გარდამავალ პრო-

ცესში ვაგონი მოძრაობს არა რკალზე, არამედ მის ქორდაზე. ასეთი დაშვებით, ჩამოკიდების სიგძის “დაყვანილი” სიხისტის კოეფიციენტი c გამოითვლება როგორც ვაგონის წონის ფარდობა ჩამოკიდების სიგრძეთან [2]

$$c = \frac{m_2 g}{h}, \tag{5.38}$$

სადაც g სიმძიმის ძალის აჩქარებაა, მ/წმ².

გახილულ შემთხვევაში მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას ექნება სახე

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}=F_0-c(x-y); \\ m_2\ddot{y}=c(x-y). \end{cases} \tag{5.39}$$

5.39 სისტემის მეორე განტოლებიდან განვსაზღვროთ x

$$x = \frac{m_2}{c}\ddot{y} + y. \tag{5.40}$$

შევიტანოთ 5.39 სისტემის პირველ განტოლებაში x-ისა და მისი ორჯერ წარმოებულის მნიშვნელობები, მივიღებთ (გავითვალისწინოთ, რომ $\ddot{x} = a_1$ და $\ddot{y} = a_2$)

$$\ddot{a}_2 + a_2\omega^2 = a_0\omega^2, \tag{5.41}$$

სადაც $\omega = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}c} = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \cdot \frac{m_2 g}{h}} = \sqrt{\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) \cdot \frac{g}{h}}$

– სისტემის რხევის კუთხური სიხშირე, 1/წმ.

$a_0 = \frac{F_0}{m_1 + m_2}$ სისტემის საშუალო აჩქარების სიდიდე, მ/წმ².

ანალოგიურად, 5.39 სისტემის პირველი განტოლებიდან განვსაზღვროთ y

$$y = \frac{m_1}{c}\ddot{x} + x - \frac{F_0}{c}. \qquad 5.42$$

შევიტანოთ სისტემის მეორე განტოლებაში y-ისა და მისი ორჯერ წარმოებულის მნიშვნელობები, მივიღებთ

$$\ddot{a}_1 + a_1\omega^2 = a_0\omega^2. \qquad 5.43$$

5.41 და 5.43 განტოლებების ამონახსნი, საწყისი პირობებით $a_{1(0)}$ და $a_{2(0)}$, იქნება

$$a_1 = a_0 + \left(a_{1(0)} - a_0\right)\cos\omega t, \qquad 5.44$$

$$a_2 = a_0 + \left(a_{2(0)} - a_0\right)\cos\omega t. \qquad 5.45$$

5.44 და5.45 განტოლებების ინტეგრებით მივიღებთ სიჩქარეების გამოსახულებებს (შესაბამისი საწყისი პირობებით)

$$V_1 = V_{1(0)} + a_0 t + \frac{a_{1(0)} - a_0}{\omega}\sin\omega t, \qquad 5.46$$

$$V_2 = V_{2(0)} + a_0 t + \frac{a_{2(0)} - a_0}{\omega}\sin\omega t, \qquad 5.47$$

ამ უკანასკნელთა ინტეგრებით კი, შესაბამის გადაადგილებებს

$$X = X_{(0)} + V_{1(0)}t + \frac{1}{2}a_0t^2 + \frac{a_{1(0)} - a_0}{\omega^2}\left(1 - \cos\omega t\right), \qquad 5.48$$

$$Y = Y_{(0)} + V_{2(0)}t + \frac{1}{2}a_0t^2 + \frac{a_{2(0)} - a_0}{\omega^2}\left(1 - \cos\omega t\right). \qquad 5.49$$

საწყისი პირობების განსაზღვრისათვის ვისარგებლოთ 5.39 განტოლებათა სისტემით - $t = 0$ მომენტში

$$x = y = 0\,,\ \ \ddot{x} = a_{1(0)} = \frac{F_0}{m_1}\ \ \text{და}\ \ \ddot{y} = a_{2(0)} = 0\,.$$

თუ შევიტანთ საწყისი პირობების ამ მნიშვნელობებს 5.44 და 5.45 განტოლებებში, გვექნება

$$a_1 = a_0\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\cos\omega t\right), \qquad 5.50$$

$$a_2 = a_0\left(1 - \cos\omega t\right). \qquad 5.51$$

დრეკადობის ძალა, ანუ დაჭიმულობა ვაგონის საკიდარზე, რა თქმა უნდა იქნება

$$F_{\text{დრ}} = m_2a_2 = m_2a_0\left(1 - \cos\omega t\right), \qquad 5.52$$

ხოლო გადაადგილებებს შორის კუთხე

$$\varphi \approx \frac{x - y}{h} = \frac{F_{\text{დრ}}}{ch} = \frac{a_0}{g}\left(1 - \cos\omega t\right), \qquad 5.53$$

(კუთხის სიმცირის გამო მიღებულია, რომ $tg\varphi \approx \varphi$).

დაჭიმულობის ძალისა და გადაადგილებებს შორის კუთხის მაქსიმალური მნიშვნელობა მიიღება $\omega t = \pi$-ს დროს

$$F_{dr.max} = 2m_2 a_0 \text{ და } \varphi_{max} = \frac{2a_0}{g}. \qquad 5.54$$

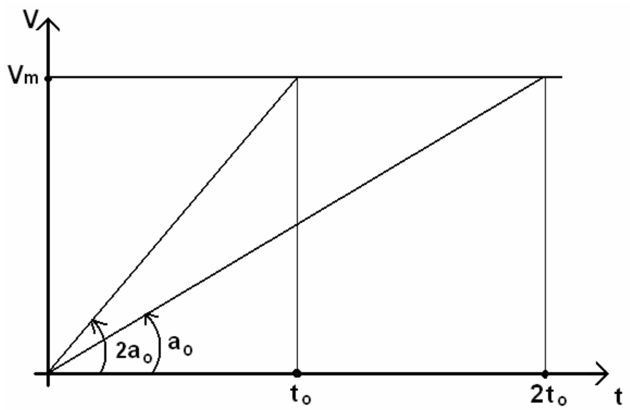
უსაფრთხოების წესების თანახმად, ქანქარასებრი ბაგირგზების აჩქარების (შენელების) მაქსიმალურმა სიდიდემ არ უნდა გადააჭარბოს 1 მ/წმ^2-ს, ხოლო ავარიული დამუხრუჭების შემთხვევაში - 3 მ/წმ^2-ს [2], ანუ ნორმალურ რეჟიმში ვაგონის გადახრის კუთხემ არ უნდა გადააჭარბოს

$$\varphi_{max.nom.} = \frac{2a_{0.nom.}}{g} \le \frac{2\cdot 1}{g} = 0.204\,\text{rad.} \approx 11.5^0, \qquad 5.55$$

ხოლო ავარიულ რეჟიმში -

$$\varphi_{max.avar.} = \frac{2a_{0.avar.}}{g} \approx \frac{2\cdot 3}{g} = 0.611\ \text{rad.} \approx 35^0. \qquad 5.56$$

m_1 მასაზე მოდებენ F_0 დინამიკური ძალის ნახევარს (იხ. ნახ. 5.6), შემდეგ, როდესაც m_2 მასა გადაიხრება მაქსიმალური φ_{max} მნიშვნელობით, დინამიკურ ძალას გააორმაგებენ, m_2 მასა დარჩება გადახრილ მდგომარეობაში მთელი აჩქარების პერიოდის განმავლობაში.



ნახ. 5.6. ამუშავების პროცესში აჩქარების ცვლილების გრაფიკი

აჩქარების პერიოდის დასასრულს, დინამიკურ ძალას ისევ გაანახევრებენ, m_2 მასა დაიწყებს დაბლა დაშვებას და როდესაც ვერტიკალურ მდგომარეობას დაუბრუნდება, m_1 მასაზე მთლიანად მოხსნიან დინამიკურ ძალას. სის-ტემა რხევის გარეშე გააგრძელებს მოძრაობას.

აღვწეროთ მათემატიკურად ეს ხერხი.

ვთქვათ, სისტემის დასაშვები მაქსიმალური აჩქარებაა $2a_0$ (ნახ. 5.6). პირველად m_1 მასაზე მოვდოთ დინამიკური ძალის ნახევარი $F_0/2$, რომელსაც შეესაბამება აჩქარებ-ის a_0 მნიშვნელობა. $t=\pi/\omega$ დროის გავლის შემდეგ m_2 მასა გადაიხრება და გახდება $\varphi_{max}=2a_0/g$-ის ტოლი. ასეთ დროს, m_2 მასის აჩქარების მნიშვნელობა იქნება

$$a_2 = a_0\left[1-(-1)\right] = 2a_0\,, \qquad 5.57$$

ხოლო m_1 მასისა

$$a_1 = a_0\frac{m_1 - m_2}{m_1}. \qquad 5.58$$

დროის ამ მომენტში ($t = \frac{\pi}{\omega}$) დაჭიმულობის ძალა მაქსიმალურია და მექანიკური კავშირი m_1 და m_2 მასებს შორის შეიძლება განვიხილოთ, როგორც აბსოლუტურად ხისტი. ამის შემდეგ დინამიკური ძალა გავაორმაგოთ, ანუ m_1 მასაზე მოვდოთ საპროგრამო F_0 ძალა, რომელსაც შეესაბამება $2a_0$ აჩქარების მნიშვნელობა. m_2 მასის აჩქარება (საწყისი პირობით $a_{2(0)} = 2a_0$) იქნება

$$\begin{aligned} a_2 &= 2a_0 + \left(a_{2(0)} - 2a_0\right)\cos\omega t = \\ &= 2a_0 + \left(2a_0 - 2a_0\right)\cos\omega t = 2a_0 \end{aligned}. \qquad 5.59$$

მასების მექანიკური კავშირის აბსოლიტური სიხისტის გამო, m_1 მასაც მიიღებს $2a_0$ აჩქარებას.

m_2 მასა აგრძელებს გადახრილ მდგომარეობაში მოძრაობას ყოველგვარი რხევის გარეშე $2a_0$ აჩქარებითა და $\varphi_{max} = 2a_0 / g$ გადახრის კუთხით.

განხილული მეთოდი შესაძლებელია გამოვიყენოთ კიდულ ბაგირგზაზე. ამ შემთხვევაში m_1 მასად ჩაითვლება ვაგონის სავალი ურიკა, ხოლო m_2-ად - თვით ვაგონი.

ვაგონის მასა (m_2) თავის მხრივ თვით ვაგონის მასის (m_w) და მასში მოთავსებული მგზავრთა(m_{pas}) მასის ჯამის ტოლია. ეს უკანასკნელი აუცილებლად შეიცვლება ვაგონში მგზავრთა რაოდენობის შეცვლის გამო. ასევე შეიცვლება ვაგონის საკიდარის სიგრძე h. ეს თავის მხრივ გამოიწვევს სისტემის რხევის კუთხური სიხშირისა (ω) და პერიოდის $\left(T=\dfrac{2\pi}{\omega}\right)$ შეცვლას, ანუ ვაგონის გადახრა თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას (რომელიც ყველა შემთხვევაში მუდმივია და დამოკიდებულია მხოლოდ a_0 აჩქარების სიდიდეზე $(\varphi=2a_0/g)$, სხვადასხვა დროში მიაღწევს.

თუკი ურიკაზე დავამაგრებთ შტოკს (ჭოკს), რომელზეც საბოლოო ამომრთველი იქნება დამაგრებული, იგი დააფიქსირებს ვაგონის მაქსიმალურ გადახრას და მოგვცემს იმპულს რათა გავაორმაგოთ ამძრავის ძრავას საშუალებით დინამიკური ძალის მნიშვნელობა.

თანამედროვე ტექნოლოგიები იძლევიან საშუალებ-

ას ეს მეთოდი განვახორციელოთ სიხშირული გარდამქმნელებით, მოკლედ ჩართულ როტორიანი ძრავათი, კიდულ ბაგირგზაზე დინამიკური რეჟიმების დროს აღძრული რხევების ჩასაქრობად.

სიხშირული გარდამქმნელები უდიდესი სიზუსტით ასრულებენ მიცემულ დავალებას. მაგალითად, დავალების შესრულების სიზუსტის გადახრა პროგრამულიდან, სიჩქარის მიხედვით უკუკავშირის არსებობისას, 0.1 %-ია, ხოლო არ არსებობისას- 1.5 %. მათ შეუძლიათ აგრეთვე, აჩქარების (შენელების) პერიოდის განმავლობაში შეასრულონ მრავალსაფეხურიანი ტაქოგრამები აჩქარებისა და შენელების სხვადასხვა სიდიდეებით და სხვ.

დავუშვათ, ვაგონის აჩქარების დასაშვები სიდიდეა $2a_0$ (იხ. ნახ. 5.6), მაქსიმალური სიჩქარის მისაღწვად საჭირო იქნება $t_0 = V_m / 2a_0$ წმ. ამუშავების დასაწყისში, გარდამქმნელს მიეცემა დავალება, რომ მაქსიმალურ სიჩქარეს V_m-ს (50 ჰც) მიაღწიოს $2t_0$ დროში. ცხადია, ამ შემთხვევაში აჩქარების სიდიდე იქნება $a_0 = V_m / 2t_0$. როდესაც გაივლის $t = \pi / \omega$ წმ, ანუ სისტემის რხევის ნახევარი პერიოდი, ვაგონი გადაიხრება მაქსიმალური მნიშვნელობით. ამ დროს იმოქმედებს მანძილის გადამწოდი და გარდამქმნელს შეუცვლის დავალებს, რომ მაქსიმალურ სიჩქარეს მიაღწიოს t_0 დროში. ეს ტოლფასია იმისა,

რომ აჩქარების სიდიდე გაორმაგდა. ზემოთ მოყვანილი განმარტების თანახმად, ვაგონი დარჩება გადახრილ მდგომარეობაში და ასე გაგრძელდება აჩქარების პერიოდი.

ამის შემდეგ, გარდამქმნელს ისევ შეეცვლება დავალება და აჩქარების სიდიდე ისევ განახევრდება, ვაგონი დაიწყებს დაბლა დაშვებას. როდესაც იგი დაუბრუნდება ვერტიკალურ მდგომარეობას, ამ დროს სიჩქარის (სრიალის) სიდიდე ტოლი უნდა იყოს კრიტიკული მნიშვნელობისა, იმისათვის, რომ დინამიკური ძალა, ანუ აჩქრება გახდეს ნულის ტოლი. რადგანაც ცნობილია რხევის პერიოდის მნიშვნელობა, ადვილი განსასაზღვრია იმ დროის გამოთვლა, როდესაც ვაგონმა უნდა დაიწყოს დაბლა დაშვება [2].

აღნიშნული მეთოდის მართებულობა ვაჩვენოთ პრაქტიკულ მაგალითზე. დავუშვათ, გადასაადგილებელია $m_1 = 9580$ კგ მასის ურიკა, რომელზეც $h = 4$ მ სიგრძის საკიდარით ჩამოკიდუბულია $m_2 = 14000$ კგ მასის ვაგონი. საკიდარის "დაყვანილი" სიხისტის კოეფიციენტი იქნება

$c = \dfrac{m_2 g}{h} = \dfrac{14000 \cdot 9.81}{4} = 34335$ ნ/მ, საშუალო აჩქარების სიდიდედ მივიღოთ $a_0 = 0.6$ მ/წმ^2. ასეთ შემთხვევაში დინამიკური ძალა $F_0 = a_0(m_1 + m_2) = 0.6(9580 + 14000) = 14148$

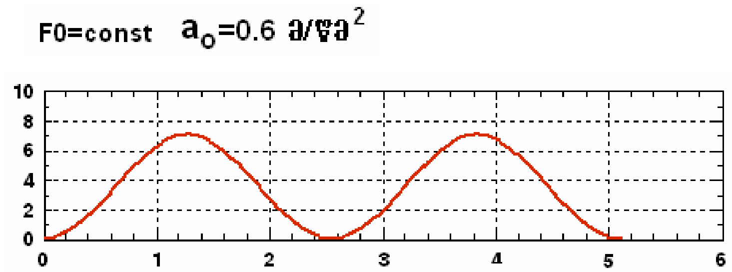
შევიტანოთ აღნიშნული სიდიდეები 5.39 განტოლება

თა სისტემაში და ამოვხსნათ მანქანური წესით. გრაფიკზე გამოვიტანოთ x და y გადაადგილებებს შორის სხვაობის შესაბამისი გადახრის კუთხის მნიშვნელობა გრადუსებში. ასევე, ორივე მასის შესაბამისი სიჩქარეები და აჩქარებები. პირველ შემთხვევაში (იხ. ნახ. 5.7) ვაჩვენოთ როგორ იცვლება აღნიშნული სიდიდეები, როდესაც დინამიკური ძალა მუდმივია და მეორე შემთხვევაში (იხ. ნახ. 8) - როდესაც დინამიკური ძალა იცვლება ზემოთ განხილული მეთოდით.

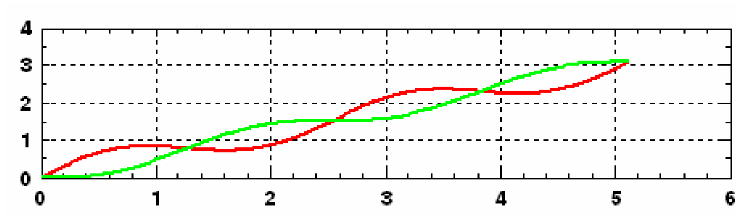
გრაფიკებიდან აშკარად ჩანს მეორე შემთხვევის (იხ. ნახ. 8) უპირატესობა ამუშავების დინამიკური რეჟიმის გაუმჯობესების თვალსაზრისით.

ამრიგად, სიხშირული გარდამქნელი, რომელსაც ძალიან მარტივად შეუძლია განახორციელოს ზემოთ განხილული მეთოდი, წარმატებით შეიძლება გამოვიყენოთ კიდულ ბაგირგზაზე დინამიკური რეჟიმების დროს აღძრული რხევების ჩასაქრობად მოკლედ შერთულ როტორიან ძრავასთან ერთად.

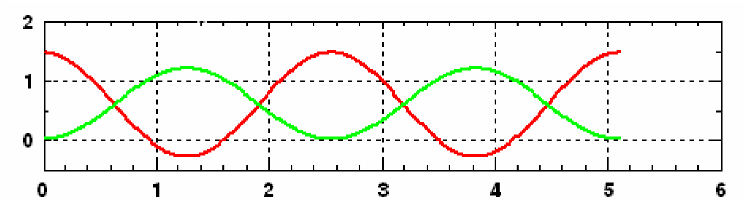
სისტემაში რხევის ჩაქრობა შესაძლებელია სხვა გზითაც. მართალია, ამ შემთხვევაში რხევის მთლიანად ჩაქრობა არ ხდება, მაგრამ წინა მეთოდთან შედარებით ადვილი განსახორციელებელია. კერძოდ, უნდა ვისარგებლოთ ძრავას ბუნებრივი თვისებით, რომლის მეშვეობითაც იგი მექანიკურ რხევებზე ახდენს მადემპფერებელ გავლენას.



(ვაგონის გადახრა სავალი ურიკის მიმართ, გრადუსებში)



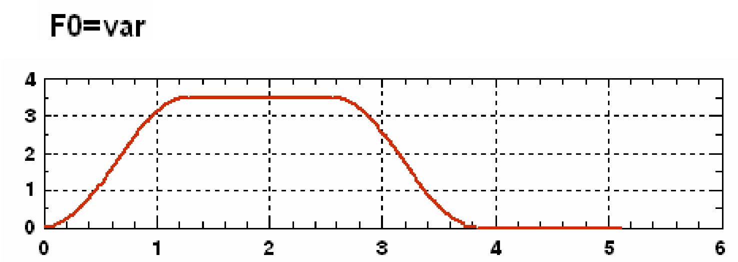
(სავალი ურიკისა (წით.) და ვაგონის (მწვ.) სიჩქარის ცვლილება)



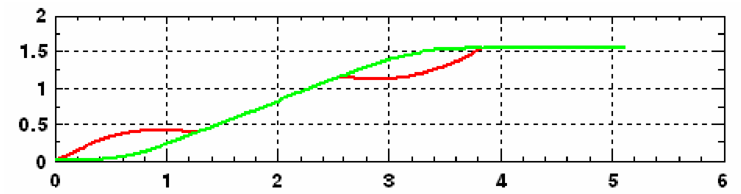
(სავალი ურიკისა (წით.) და ვაგონის (მწვ.) აჩქარებები)

(დინამიკური ძალა მუდმივია F_0 = const)

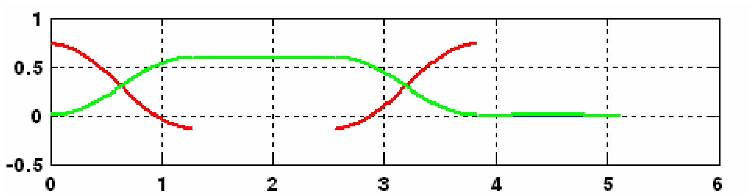
ნახ. 5.7 დინამიკური ძალის ცვლილება აჩქარების პერიოდში



(ვაგონის გადახრა სავალი ურიკის მიმართ, გრადუსებში)



(სავალი ურიკისა (წით.) და ვაგონის (მწვ.) სიჩქარის ცვლილება)



(სავალი ურიკისა (წით.) და ვაგონის (მწვ.) აჩქარებები)

(დინამიკური ძალა ცვალებადია F_0 = var)

ნახ. 5.8 დინამიკური ძალის ცვლილება აჩქარების პერიოდში

როდესაც ძრავა მექანიკური მახასიათებლის სწორხაზოვან უბანზე მუშაობს, მაშინ ძალა სიჩქარის პროპორციულია და იცვლება კანონით [3]

$$F = \beta(V_0 - V), \qquad 5.60$$

სადაც β ძრავას მექანიკური მახასიათებლის სიხისტის კოეფიციენტია, ხოლო V_0 – სინქრონული ბრუნვათა რიცხვის შესაბამისი სიჩქარე.

დადგენილია, რომ, როდესაც $\beta = 0$ ან $\beta = \infty$, მაშინ ძრავა მადემპირებელ თვისებებს ვერ ამჟღავნებს, მაგრამ ამ შუალედში შეიძლება მოიძებნოს β-ს ისეთი ოპტიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც რხევების ჩაქრობა იქნება მაქსიმალური.

არსებობს β-ს განსაზღვრის გრაფიკული ხერხი. გარდა იმისა, რომ ეს მეთოდი არაზუსტია, ხშირად შერჩეული სიხისტის მახასიათებელი ამუშავების დროს იწვევს დაუშვებელ, ჭარბ აჩქარებას (მაგალითად, ბაგირგზებში, საჩამომსხმელო ამწეებში და სხვ.). ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია β-ს განსაზღვრის ანალიზური მეთოდი, სადაც მამოძრავებელი ძალა იცვლება შემდეგი კანონით:

$$F = \beta(\varepsilon t - V), \qquad 5.61$$

აქ ε პროპორციულობის კოეფიციენტია. ამასთან დაცული უნდა იქნეს პირობა – $\varepsilon t \le V_0$.

ამწევის ამუშავების ამსახველი განტოლებათა სისტ-ემა, (თუკი მხედველობაში არ მივიღებთ ბაგირის მასას), დაიწერება

$$\begin{cases} m_1\ddot{x} = \beta(\varepsilon t - \dot{x}) - c(x-y), \\ m_2\ddot{y} = c(x-y). \end{cases} \quad 5.62$$

ამ განტოლებათა სისტემის ამონახსნი ოპერაციულ ფორმაში იქნება

$$\begin{cases} \overline{x} = a_1\varepsilon\dfrac{P^2+\alpha}{P^3Q(P)}, \\ \overline{y} = a_1\alpha\varepsilon\dfrac{1}{P^3Q(P)}. \end{cases} \quad 5.63$$

აქ $Q(p)$ მახასიათებელი განტოლებაა,

$$Q(p) = P^3 + a_1P^2 + a_2P + a_3\,, \quad 5.64$$

სადაც –

$$a_1 = \frac{\beta}{m_1};\;\; a_2 = \gamma\alpha;\;\; a_3 = a_1\alpha;\;\; \alpha = \frac{c}{m_2};\;\; \gamma = \frac{m_1+m_2}{m_1}.$$

m_2 მასის აჩქარება ოპერაციულ ფორმაში იქნება

$$P^2\overline{y} = a_3\varepsilon\frac{1}{PQ(p)}. \quad 5.65$$

თუ მახასიათებელ განტოლებაში დავუშვებთ $P=0$, მაშინ გარდამავალი პროცესის დასასრულს, m_2 მასის აჩქარების დამყარებული მნიშვნელობა

$$\ddot{y} = a_3 \varepsilon \frac{1}{a_3} = \varepsilon. \quad 5.66$$

მაშასადამე, თუ მექანიზმისთვის შეზღუდულია აჩქარება, მაშინ ε დასაშვები აჩქარების ტოლი უნდა იყოს.

როგორც უკანასკნელი ფორმულიდან ჩანს, სისტემის პარამეტრები გავლენას არ ახდენენ აჩქარების დამყარებულ მნიშვნელობაზე, მაგრამ ისინი იმოქმედებენ გარდამავალი პროცესის ხასიათზე.

m_2 მასის აჩქარება ზოგადი სახით მიიღება 5.65 - ის ამოხსნით,

$$\ddot{y} = a_3 \varepsilon \left[A_2 e^{at} \sin(\omega t + \varphi) + B_2 e^{bt} + K_2 \right], \quad 5.67$$

სადაც, A_2, B_2 და K_2 განტოლების კოეფიციენტებია; b - მახასიათებელი განტოლების ნამდვილი ფესვია, ხოლო a და ω – შესაბამისად, ამავე განტოლების კომპლექსური ფესვის ნამდვილი და წარმოსახვითი ნაწილები.

ამის შემდეგ, $Q(p)$ შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ

$$Q(P) = (P - b)[(P - a)^2 + \omega^2] . \quad 5.68$$

იმისათვის, რომ გარდამავალი პროცესი გავხადოთ მონოტონური, გამოვიკვლიოთ მახასიათებელი განოლება.

ვიშნეგრადსკის მიხედვით

$$Z^3 + XZ^2 + YZ + 1 = 0 , \quad 5.69$$

სადაც

$$Z = \frac{P}{\sqrt[3]{a_3}}; \; X = \frac{a_1}{\sqrt[3]{a_3}}; \quad Y = \frac{a_2}{\sqrt[3]{a_3^2}}. \qquad 5.70$$

როგორც ცნობილია, თუ $XY \succ 1$, პროცესი მდგრად-ია, ამ მაგალითში

$$XY = \frac{a_1 a_2}{a_3} = \frac{a_1 \alpha \gamma}{\alpha a_1} = \gamma, \qquad 5.71$$

მაშასადამე, ჩვენი შემთხვევისათვის, პროცესი ყოველთვის მდგრადი იქნება.

ვიშნეგრადსკის განტოლების დისკრიმინანტი არის

$$108D = 4(X^3 + Y^3) - X^2Y^2 - 18XY + 27. \qquad 5.72$$

რხევების ჩაქრობა მით უფრო სწრაფად მოხდება, რაც უფრო დიდია რხევის ჩაქრობის ლოგარითმული დეკ-რემენტი $\lambda = \frac{2\pi}{\omega}$, ანუ, რაც უფრო მცირე სიდიდისაა მახ-ასიათებელი განტოლების დისკრიმინანტი. მოვძებნოთ მი-სი მინიმუმი X-სა და Y-ის მიხედვით -

$$\begin{cases} \frac{\partial D}{\partial X} = 12X^2 - 2XY^2 - 18Y = 0, \\ \frac{\partial D}{\partial Y} = 12Y^2 - 2X^2Y - 18X = 0. \end{cases} \qquad 5.73$$

დისკრიმინანტი მინიმუმია, როდესაც $X = Y$ და ნულ-ის ტოლი ხდება, როცა $X = Y = 3$. ამ შემთხვევაში ყველა ფესვი ნამდვილია, პროცესი კი – აპერიოდული.

მაგრამ, მეორეს მხრივ, თუ $X = Y = 3$, გამოდის, რომ

$$X^2 = 9 = \gamma = 1 + \frac{m_2}{m_1}. \qquad 5.74$$

რეალური დანადგარებისათვის (ამწევი მანქანებისათვის) მასებს შორის ასეთი თანაფარდობა (1:8) არარეალურია. პრაქტიკულად, ყოველთვის, $\gamma \prec 9$. ამიტომ პროცესს მილევადი, რხევითი ხასიათი ექნება.

იმისათვის, რომ მივიღოთ ამ თვალსაზრისით ტექნიკურად ოპტიმალური პროცესი, უნდა დავიცვათ $X = Y$ პირობა და აქედან გამომდინარე, განვსაზღვროთ β-ს მნიშვნელობა

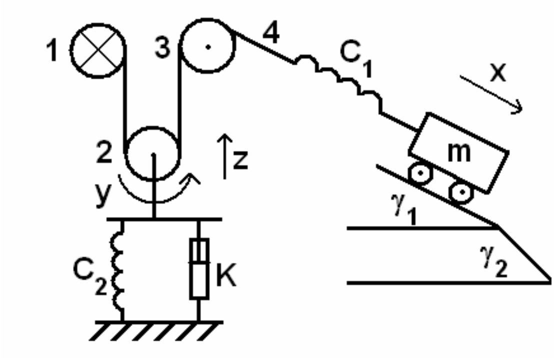
$$\beta^4 = m_1^4 \cdot \alpha^2 \cdot \gamma^3. \qquad 5.75$$

β-ს ასეთი მნიშვნელობის დროს ჩაქრობის ლოგარითმული დეკრემენტის, $\boldsymbol{\lambda}$-ს მნიშვნელობა მაქსიმალურია.

სამთო გამონამუშევრებში არის შემთხვევები, როდესაც საშახტო ამწევ მანქანას უხდება მუშაობა ცვალებად დახრის კუთხიან ტრასაზე (იხ. ნახ. 9) [3].

მუშაობის ასეთი რეჟიმი მნიშვნელოვნად განსხვავდება ჩვეულებრივისაგან, ანუ ისეთისაგან, როცა დახრის კუთხე მთელ ტრასაზე მუდმივია.

γ_1 დახრის კუთხის მქონე ტრასაზე მოძრაობისას ამწევი მანქანის ამძრვი 1 მუშაობს რეკუპერაციულ რეჟიმში



ნახ. 5.9 საშახტო ამწევი მანქანის მუშაობა ცვალებად დახრის კუთხიან ტრასაზე

და m მასიანი ვაგონი c_1 სიხისტის მქონე საწევ ბაგირს ჭიმავს ძალით-$mg\sin\gamma_1$. γ_2 დახრის კუთხეზე გადასვლისას, $\gamma_2 \succ \gamma_1$, ბაგირი დაიჭიმება $mg\sin\gamma_2$ ძალით და წაგრძელდება Δx სიდიდით –

$$\Delta x = \frac{Q}{c_1} = \frac{mg(\sin\gamma_2 - \sin\gamma_1)}{c_1}. \qquad 5.76$$

რადგანაც ამძრავი ძრავა დიდი სიხისტის მქონე ბუნებრივ მექანიკურ მახასიათებელზე მუშაობს, იგი დაამუხრუჭებს ჩამავალ ტვირთს და ბაგირის დრეკადობის ხარჯზე სისტემაში აღიძვრება იძულებითი რხევები, რაც უარყოფითად მოქმედებს მუშაობის რეჟიმზე.

ბაგირში რხევის ჩაქრობისათვის საწევი ბაგირი შემოვავლოთ მიმმართველ შკივს 2 და ეს უკანასკნელი უძ-

რავ ზედაპირთან დავამაგროთ c_2 სიხისტის მქონე ზამბარითა და k დემპფირების მქონე ამორტიზატორით. აღვწეროთ ეს პროცესი მათემატიკურად.

ანგარიშის გამარტივების მიზნით დავუშვათ, რომ ამძრავის ძრავას მექანიკური მახასიათებელი აბსოლუტურად ხისტია. მიმმართველი შკივების 2, 3 და ბაგირის 4 მასები უგულებელვყოთ და ამწევი მანქანის მოძრაობის სიჩქარე მივიღოდ ნულის ტოლად. ასეთი დაშვებები, ჩვენი აზრით, დიდად არ იმოქმედებს აღწერილი პროცესის საბოლოო შედეგის წარმოდგენაზე. ვაგონის გადაადგილება ტრასაზე ავღნიშნოთ x-ით, მიმმართველ შკივზე (2) ბაგირის გადაადგილება y-ით, ხოლო ამ შკივის ცენტრის გადაადგილება z-ით. ასეთი შემთხვევისათვის მოძრაობის აღმწერ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას ექნება სახე

$$\begin{cases} m\ddot{x} = Q - c_1(x - y); \\ 2c_1(x - y) = c_2 z + k\dot{z}; \\ y = 2z. \end{cases} \qquad 5.77$$

სისტემის ამონახსნი ოპერაციულ ფორმაში ჩაიწერება –

$$\bar{x} = \frac{1}{mP\Delta}\left(P + \frac{4c_1 + c_2}{k}\right)\cdot Q, \quad \bar{z} = \frac{2c_1}{kmP\Delta}Q. \qquad 5.78$$

Δ არის მახასიათებელი განტოლება და გამოისახება

$$\Delta = P^3 + a_1P^2 + a_2P + a_3, \qquad 5.79$$

სადაც

$$a_1 = \frac{4c_1 + c_2}{k}; \; a_2 = \frac{c_1}{m}; \; a_3 = \frac{c_1c_2}{km}. \qquad 5.80$$

სისტემაში აღძრული იძულებითი რხევების თავიდან ასაცილებლად მახასიათებელ განტოლებაში შევარჩიოთ კოეფიციენტები ისე, რომ გარდამავალ პროცესს ჰქონდეს აპერიოდული ხასიათი. ტექნიკური ოპტიმუმის პირობიდან გამომდინარე, სასურველია მახასიათებელ განტოლებას ჰქონდეს ჯერადი ფესვები. ამისათვის საკმარისია დაცული იქნას პირობა: $a_1^2 = 3a_2$ და $a_1^3 = 27a_3$. ამ უკანასკნელთა გათვალისწინებით მიიღება:

$$c_2 = \frac{1}{2}c_1 \text{ და } k = \frac{2}{3}\sqrt{3mc_1}; \qquad 5.81$$

მაშინ -

$$a_1 = 3\sqrt{\frac{c_1}{m}}; \;\; a_2 = \frac{c_1}{m}; \;\; a_3 = \sqrt{\frac{c_1^3}{27m^3}}. \qquad 5.82$$

ავღნიშნოთ - $\alpha = \sqrt{\frac{c_1}{3m}}$ და გვექნება

$$\Delta = P^3 + 3\alpha P^2 + 3\alpha^2 P + \alpha^3 = (P + \alpha)^3. \qquad 5.83$$

ასეთ შემთხვევაში, ვაგონისა და მიმმართველი შკივის გადაადგილებები ოპერაციულ ფორმაში ასე გამოისახება

$$\bar{x} = \frac{Q}{m} \cdot \frac{P + 3\alpha}{P(P + \alpha)^3}; \quad \bar{z} = \frac{4Q\alpha}{3m} \cdot \frac{1}{P(P + \alpha)^3}, \qquad 5.84$$

ხოლო ორიგინალში იქნება -

$$x = \frac{Q}{m}\left[\frac{3}{\alpha^2} - \left(\frac{3}{\alpha^2} + \frac{3}{\alpha}t + t^2\right)e^{-\alpha t}\right], \qquad 5.85$$

$$z = \frac{4Q}{3m}\left[\frac{1}{\alpha^2} - \left(\frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\alpha}t + \frac{1}{2}t^2\right)e^{-\alpha t}\right]. \qquad 5.86$$

შესაბამისად, სიჩქარეები -

$$\dot{x} = \frac{Q}{m}(1 + \alpha t)te^{-\alpha t}, \quad \dot{z} = \frac{2Q}{3m}\alpha t^2 e^{-\alpha t}. \qquad 5.87$$

ხოლო აჩქარებები -

$$\ddot{x} = \frac{Q}{m}\left(1 + \alpha t - \alpha^2 t^2\right)e^{-\alpha t}, \ \ddot{z} = \frac{2Q}{3m}(2 - \alpha t)te^{-\alpha t}. \qquad 5.88$$

გარდამავალი პროცესის დასასრულს, $t \approx 4/\alpha$ წამის შემდეგ, ვაგონი და მიმმართველი შკივი გადაადგილდებიან -

$$x \approx \frac{3Q}{m} \cdot \frac{1}{\alpha^2} = \frac{9Q}{c_1} \quad \text{და} \quad z \approx \frac{4Q}{3m} \cdot \frac{1}{\alpha^2} = \frac{4Q}{c_1}, \qquad 5.89$$

სიდიდეებით, ხოლო $t = \dfrac{1 + \sqrt{5}}{2\alpha}$ წამის შემდეგ ვაგონის სიჩქარე გაიზრდება $\dot{x}_{max} \approx 0.84\dfrac{Q}{\alpha m}$ სიდიდემდე, შემდეგ კი შემცირდება თავის საწყის მნიშვნელობამდე. ვაგონის

აჩქარების მაქსიმალური მნიშვნელობა მიიღება $t_1 = 0$, ხოლო შენელების - $t_2 = \frac{3}{\alpha}$ დროის გავლის შემდეგ და შესაბამისად იქნებიან –

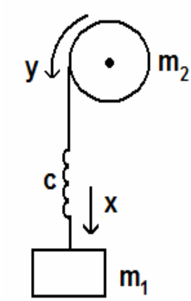
$$\ddot{x}_{max.1} = \frac{Q}{m} \quad \text{და} \quad \ddot{x}_{max.2} = -5\frac{Q}{m}e^{-3} \approx -0.25\frac{Q}{m}. \qquad 5.90$$

როგორც ვხედავთ, ვაგონის აჩქარების მაქსიმალური მნიშვნელობა ოთხჯერ მეტია მისი შენელების სიდიდეზე.

ამრიგად, მიმმართველი შკივისა და მასთან ერთად ზამბარისა და ამორტიზატორის დაყენებით, ზამბარის სიხისტისა და ამორტიზატორის კოეფიციენტების ოპტიმალური მნიშვნელობების შერჩევით, სისტემაში საერთოდ არ აღიძვრება იძულებითი რხევები და პროცესს ექნება აპერიოდული ხასიათი.

ამ ბოლო დროს მიღწეულმა წარმატებებმა ძრავების მართვის თვალსაზრისით, შესაძლებელი გახადა თვით ძრავას საშუალებით განვახორციელოთ სისტემის დინამიკური პროცესების ოპტიმიზაცია [3],

განვიხილოთ რამდენადაა შესაძლებელი, ძრავას საშუალებით გადავწყვიტოთ ზემოთ განხილული ამოცანა. მაგალითის ანალიზის გამარტივების მიზნით ავირჩიოთ ყველაზე მარტივი მანქანა -



ნახ. 5.10 დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაცია ძრავას საშუალებით მარტივი ამწევი მექანიზმის მაგალითზე

იმისათვის, რომ ამწევი მექანიზმის მუშაობის რეჟიმი მსგავსი იყოს ზემოთ განხილულისა, კერძოდ, საშახტო ამწევი მანქანის მუშაობისა ცვალებად დახრის კუთხიან ტრასაზე, განვიხილოთ ასეთი შემთხვევა. ბაგირი თავიდან არ იყო მოჭიმული და მოძრაობის დასაწყისში, m_1 მასას g აჩქარების სიდიდე გააჩნია. ვისარგებლოთ 5.23 განტოლებათა სისტემით, იმ განსხვავებით, რომ m_2 მასაზე ძრავა ანვითარებს გარკვეულ ძალას -

$$\begin{cases} m_1 \dfrac{d^2x}{dt^2} = m_1 g - c(x-y), \\ m_2 \dfrac{d^2y}{dt^2} = c(x-y) + F_0. \end{cases} \qquad 5.91$$

შევკრიბოთ 5.91 სისტემაში შემავალი განტოლებები

და გამოვთვალოთ $\frac{d^2y}{dt^2}$. ამის შედეგად მიიღება -

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{m_1g + F_0}{m_2} - \frac{m_1}{m_2}\frac{d^2x}{dt^2}. \qquad 5.92$$

5.90 სისტემის პირველი განტოლებიდან განვსაზღვროთ y და გავაწარმოოთ ორჯერ

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{m_1}{c}\frac{d^4x}{dt^4} + \frac{d^2x}{dt^2}, \qquad 5.93$$

ამ ორი უკანასკნელი გამოსახულების გატოლებით იქნება

$$\frac{1}{\omega^2}\frac{d^4x}{dt^4} + \frac{d^2x}{dt^2} = a_0. \qquad 5.94$$

ანალოგიურად მიიღება m_2 მასისთვისაც -

$$\frac{1}{\omega^2}\frac{d^4y}{dt^4} + \frac{d^2y}{dt^2} = a_0, \qquad 5.95$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $a_x = \ddot{x}$ და $a_y = \ddot{y}$, გვექნება -

$$\begin{cases} \frac{1}{\omega^2}\frac{d^2a_x}{dt^2} + a_x = a_0; \\ \frac{1}{\omega^2}\frac{d^2a_y}{dt^2} + a_y = a_0. \end{cases} \qquad 5.96$$

სადაც, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული

$\omega^2 = \dfrac{c(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}$ და $a_0 = \dfrac{m_1 g + F_0}{m_1 + m_2}$ სისტემის რხევის კუთხური სიხშირე და საშუალო აჩქარების სიდიდეებია.

გარდამავალი რეჟიმის დასაწყისში, ძრავას განვავითარებინოთ ძალა -

$$F_0 = m_2 g - (m_1 + m_2) g \cdot t / T_0 , \qquad 5.97$$

სადაც $T_0 = 2\pi / \omega$ სისტემის რხევის პერიოდია.

ასეთ შემთხვევაში საშუალო აჩქარების სიდიდე მიიღებს სახეს -

$$a_0 = \frac{m_1 g + F_0}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 g + m_2 g - (m_1 + m_2)\dfrac{gt}{T_0}}{m_1 + m_2} = g\left(1 - \frac{t}{T_0}\right), \qquad 5.98$$

ხოლო 5.96 განტოლებათა სისტემა დაიწერება -

$$\begin{cases} \dfrac{1}{\omega^2}\dfrac{d^2 a_x}{dt^2} + a_x = g\left(1 - \dfrac{t}{T_0}\right); \\ \dfrac{1}{\omega^2}\dfrac{d^2 a_y}{dt^2} + a_y = g\left(1 - \dfrac{t}{T_0}\right). \end{cases} \qquad 5.99$$

როგორც 5.99 სისტემიდან ჩანს, მოძრაობის დასაწყისში, როცა $t = 0$, ორივე მასის საწყისი აჩქარებები ტოლია - $a_x(0) = a_y(0) = g$ სიდიდისა.

ჩავწეროთ 5.99 განტოლება ოპერაციულ ფორმაში

$$\begin{cases} \frac{1}{\omega^2}\left(P^2\bar{a}_x - Pg\right) + \bar{a}_x = g\left(\frac{P - 1/T_0}{P^2}\right); \\ \frac{1}{\omega^2}\left(P^2\bar{a}_y - Pg\right) + \bar{a}_y = g\left(\frac{P - 1/T_0}{P^2}\right). \end{cases} \qquad 5.100$$

რადგანაც ორივე განტოლება მსგავსია და ერთნაირი საწყისი პირობები გააჩნიათ, ამიტომ მათი ამონახსნებიც ერთნაირი იქნება

$$a_x = a_y = g\left[1 - \left(\frac{t}{T_0} - \frac{1}{2\pi}\sin\omega t\right)\right]. \qquad 5.101$$

$t = T_0$ დროის გავლის შემდეგ აჩქარების სიდიდეები ნულის ტოლი გახდება. ასევე ნულის ტოლია საშუალო აჩქარების სიდიდე და 5.99 განტოლებათა სისტემა მიიღებს სახეს -

$$\begin{cases} \frac{1}{\omega^2}\frac{d^2a_x}{dt^2} + a_x = 0; \\ \frac{1}{\omega^2}\frac{d^2a_y}{dt^2} + a_y = 0. \end{cases} \qquad 5.102$$

ამ განტოლებათა სისტემის ამონახსნი ნულოვანი საწყისი პირობებისათვის, რასაკვირველია ნული იქნება. ე. ი. ორივე მასა მოძრაობენ თანაბარი სიჩქარით რხევის გარეშე. ძრავას ოპტიმალური მართვის საშუალებით სისტემაც გახდა დინამიკურად ოპტიმალური.

გამოვთვალოთ ის სიჩქარე, რომელსაც მიაღწევს ორივე მასა გარდამავალი პერიოდის დასასრულს.

$$V_x = V_y = \int_0^{T_0} a_x dt = g\int_0^{T_0}\left[1-\left(\frac{t}{T_0}-\frac{1}{2\pi}\sin\omega t\right)\right]dt. \qquad 5.103$$

საიდანაც -

$$V_x = V_y = \frac{1}{2}gT_0 + \frac{g}{2\pi\omega}\left(1-\cos\omega T_0\right). \qquad 5.104$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\omega T_0 = 2\pi$, საბოლოოდ გვექნება

$$V_x = V_y = \frac{1}{2}gT_0 = \frac{1}{2}g\frac{2\pi}{\omega} = \frac{\pi g}{\omega}. \qquad 5.105$$

ე. ი. სიჩქარე ნულოვანი მნიშვნელობიდან გაიზარდა ამ საკმაოდ დიდ მნიშვნელობამდე, მაგრამ უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ჩვენს მაგალითში, აჩქარების საწყის მნიშვნელობად ავიღეთ თავისუფლად ვარდნილი სხეულის აჩქარება, რეალურ პირობებში კი აჩქარება ბევრად ნაკლებია 9.81 მ/წმ^2 - ზე.

თავი VI. ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის ამუშავების დინამიკური რეჟიმის კვლევა და ოპტიმიზაცია

6.1 კიდული ბაგირგზის მათემატიკური მოდელისა და შესაბამისი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის შედგენა

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

კიდული ბაგირგზის ამუშავების დინამიკური რეჟიმ-ის ოპტიმიზაციისათვის ჩვენ ავირჩიეთ თეორიაში ერთ-ერთი ყველაზე მეტად გავრცელებული მეთოდი. კერძოდ, ამძრავ შკივზე მოდებულ დინამიკურ ძალას ვცვლით ვა-გონის მაქსიმალური გადახრის მიხედვით. ეს მეთოდი სა-კმაოდ დიდი ხანია ცნობილია ელექტრული ამძრავის თე-ორიაში, მაგრამ მისი პრაქტიკული გამოყენება ვერ ხერხ-დებოდა ამძრავი ძრავას სრულყოფილი მართვის არ არს-ებობის გამო. ამ ბოლო დროს, ძრავას მართვის საშუალე-ბების წარმატებების გამო, უკვე შესაძლებელია პრაქტიკ-აში ყველაზე საიმედო და იაფი მოკლედ ჩაკეტილ როტო-რიანი ძრავას საშუალებით განვახორციელოთ თითქმის

ნებიმიერი სახის ამოცანა. ჩვენს შემთხვევაში, ძრავას სიხშირული მართვის საშუალებით შესაძლებელია წარმატებით გადავჭრათ ჩვენი ამოცანა, კერძოდ კიდული ბაგირგზის ამუშავების დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაცია.

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

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

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

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

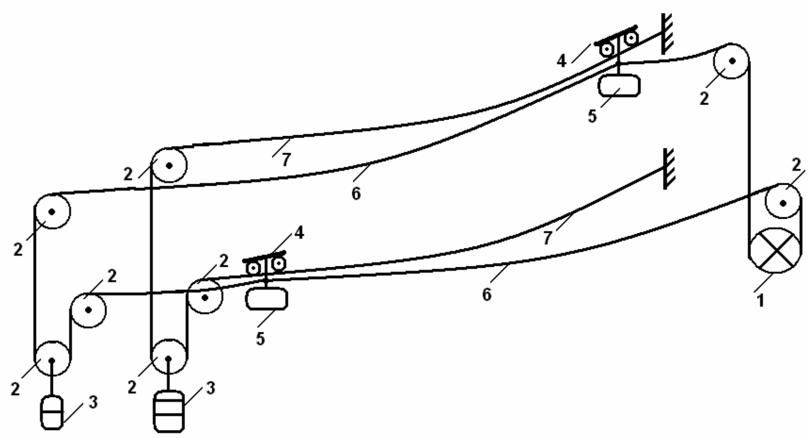
4. მხედველობაში არ არის მიღებული ბაგირის შინაგანი ხახუნის ანუ დისიპატიური ძალები და პროცესს ვიხილავთ როგორც არაქრობადს.

5. გარდამავალი პროცესის განხილვისას მხედველო-

ბაში არ ვიღებთ საწევი ბაგირის სიგრძის ცვალებადობას.

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

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

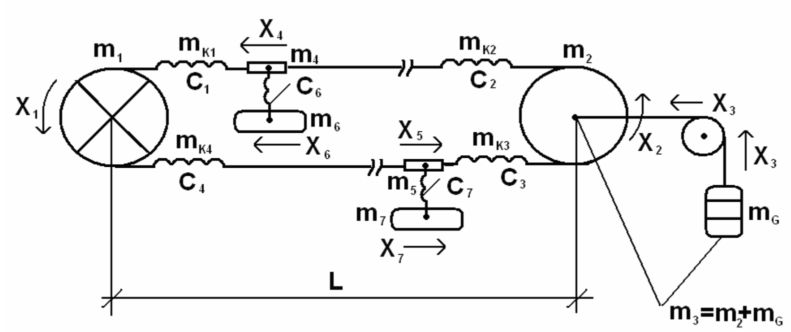


ნახ. 6.1 ორბაგირიანი, ორვაგონიანი ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის კინემატიკური სქემა

სადაც - 1- ხახუნის ამძრავი შკივია; 2 - მიმმართველი შკივები; 3 - დამჭიმი ტვირთები; 4 - სავალი ურიკები; 5 - ვაგონები; 6 - საწევი ბაგირი; 7 – სარელსო ბაგირები.

აღნიშნულის გათვალისწინებით, შესაძლოა წარმოვ-

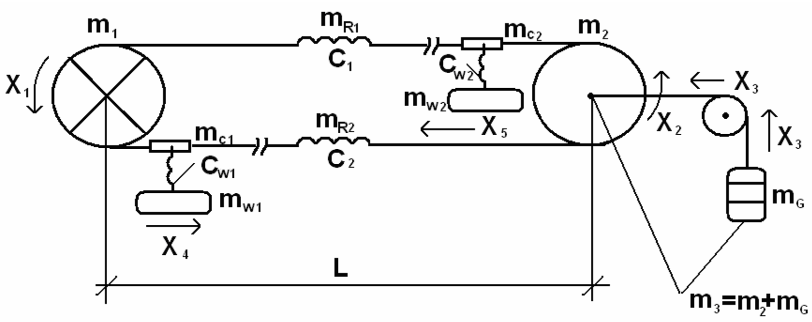
იდგინოთ ბაგირგზის საანგარიშო სქემა (იხ. ნახ. 6.2).



ნახ. 6.2 ორბაგირიანი, ორვაგონიანი ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის საანგარიშო სქემა

შევადგინოთ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა ამუშავების ისეთი რეჟიმისათვის, როცა ვაგონები მიმღებ სადგურებში არიან. ამუშავების ეს რეჟიმი, რა თქმა უნდა, კერძო შემთხვევაა ამუშავების ისეთი რეჟიმისა, როცა ვაგონები მალის ნებისმიერ ადგილას შეიძლება იყოს. ჩვენ არ განვიხილავთ ამ ზოგად შემთხვევას შემდეგი მოსაზრებებიდან გამომდინარე. ამძრავს ამუშავება მალის ნებისმიერ ადგილას, შესაძლოა მოუხდეს მხოლოდ ავარიული დამუხრუჭების შემდეგ- ან ძაბვის უეცარი შეწყვეტისას, ან თვით ბაგირგზის რომელიმე ელემენტის დაზიანებისას. ასეთ შემთხვევაში ამძრავის ამუშავება ხდება ან სარეზერვო ძრავათი, ან ძირითადი ამძრავით, მცირე აჩქარებებით. ასე, რომ ჩვენ განვიხილავთ ამძრავის ამუშავების ნორმალურ რეჟიმს, ანუ როცა ვაგონები მიმღებ

სადგურებში დგანან. საანგარიშო სქემას ექნება ასეთი სახე (იხ. ნახ. 6.3)



ნახ. 6.3 ორბაგირიანი, ორვაგონიანი ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის საანგარიშო სქემა, როდესაც ვაგონები მიმღებ სადგურებში დგანან

აქ x_1 ამძრავი შკივის ხაზოვანი გადაადგილებაა; x_2 - დამჭიმი შკივისა; x_3 - დამჭიმი შკივისა და ტვირთისა ერთად; x_4 და x_5 შესაბამისად m_{w1} და m_{w2} ვაგონების გადაადგილებები; m_1 -ამძრავი შკივისა და მასზე დაყვანილი მთლიანი ამძრავის მასა ამძრავ სადგურში განლაგებულ მიმმართველი შკივების მასებთან ერთად; m_2 - დამჭიმი შკივის მასა; m_3 - m_2 დამჭიმი შკივისა და m_G ტვირთის მასების ჯამი; $m_{R1} = m_{R2} = m_R$ - საწევი ბაგირების მასები; $m_{C1} = m_{C2} = m_C$ – ვაგონების სავალი ურიკების

მასები, დაემატება შესაბამისად m_1 და m_2 მასებს;
$C_1 = C_2 = C_R$ - საწევი ბაგირის სიხისტის კოეფიციენტები.

შენიშვნა: საწევი ბაგირების სიხისტის კოეფიციენტების გაანგარიშება მოყვანილია **“ბაგირგზის ძირითადი პარამეტრები და განზომილების ერთეულები’**-ში

შევადგინოთ ამუშავების აღმწერი დიფერეციალურ განტოლებათა სისტემა ასეთი რეჟიმისათვის.

სისტემის სრული კინეტიკური ენერგია -

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_{R1} + T_{R2} + T_{w1} + T_{w2}\,. \qquad 6.1$$

შესაბამისად -

$$\begin{cases} T_1 = \frac{1}{2}m_1\dot{X}_1^2;\ T_2 = \frac{1}{2}m_2\dot{X}_2^2;\ T_3 = \frac{1}{2}m_3\dot{X}_3^2; \\ T_{R1} = \frac{m_{R1}}{2}\frac{\dot{X}_1^2 + \dot{X}_1\dot{X}_2 + \dot{X}_2^2}{3}; T_{R2} = \frac{m_{R2}}{2}\frac{\dot{X}_1^2 + \dot{X}_1\dot{X}_2 + \dot{X}_2^2}{3}; \\ T_{w1} = \frac{1}{2}m_{w1}\dot{X}_4^2;\ T_{w2} = \frac{1}{2}m_{w2}\dot{X}_5^2 \end{cases} \qquad 6.2$$

შესაბამისი განზოგადებული ძალები -

$$\begin{cases} Q_{x1} = F_0 - C_1\cdot\left(X_1 - X_2 - X_3\right) + C_2\cdot\left(X_2 - X_1 - X_3\right) - C_{w1}\cdot\left(X_1 - X_4\right); \\ Q_{x2} = C_1\cdot\left(X_1 - X_2 - X_3\right) - C_2\cdot\left(X_2 - X_1 - X_3\right) - C_{w2}\cdot\left(X_2 - X_5\right); \\ Q_{x3} = C_1\cdot\left(X_1 - X_2 - X_3\right) + C_2\cdot\left(X_2 - X_1 - X_3\right); \\ Q_{x4} = C_{w1}\cdot\left(X_1 - X_4\right);\ Q_{x5} = C_{w2}\cdot\left(X_2 - X_5\right). \end{cases}$$

6.3

$F_0 = F_{mot} - Q_{st}$ - ამძრავი ძრავას მიერ განვითარებული ძალის დინამიკური მდგენელი, კნ;

F_{mot} - ამძრავი ძრავას მიერ განვითარებული ძალა, კნ;

$Q_{st} = m_{w2} g \sin\gamma_2 - m_{w1} g \sin\gamma_1$ - ამძრავ შკივზე მოდებული სტატიკური დატვირთვა, კნ;

γ_1 - ვაგონის ასვლის კუთხეა სარელსო ბაგირზე ზედა სადგურთან, ხოლო γ_2 - ქვედა სადგურთან.

ვაგონის სავალ ურიკასთან ექვივალენტურ სიხისტის კოეფიციენტი გამოითვლება

$$C_{W1} = m_{W1} g / h_W \quad \text{და} \quad C_{W2} = m_{W2} g / h_W \, ;$$

სადაც h_W - ვაგონის ჩამოკიდების სიგრძეა.

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

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial T}{\partial \dot{X}_1} - \dfrac{\partial T}{\partial X_1} = Q_{x1}; \quad \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial T}{\partial \dot{X}_2} - \dfrac{\partial T}{\partial X_2} = Q_{x2}; \\ \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial T}{\partial \dot{X}_3} - \dfrac{\partial T}{\partial X_3} = Q_{x3}; \quad \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial T}{\partial \dot{X}_4} - \dfrac{\partial T}{\partial X_4} = Q_{x4}; \\ \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial T}{\partial \dot{X}_5} - \dfrac{\partial T}{\partial X_5} = Q_{x5}. \end{cases} \qquad 6.4$$

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

$$
\begin{cases}
a_{11}\ddot{X}_1 + a_{12}\ddot{X}_2 + \ 0 \ + \ 0 \ + \ 0 \ = Q_1; \\
a_{21}\ddot{X}_1 + a_{22}\ddot{X}_2 + \ 0 \ + \ 0 \ + \ 0 \ = Q_2; \\
\ 0 \ + \ 0 \ + a_{33}\ddot{X}_3 + \ 0 \ + \ 0 \ = Q_3; \\
\ 0 \ + \ 0 \ + \ 0 \ + a_{44}\ddot{X}_4 + \ 0 \ = Q_4; \\
\ 0 \ + \ 0 \ + \ 0 \ + \ 0 \ + a_{55}\ddot{X}_5 = Q_5.
\end{cases} \qquad 6.5
$$

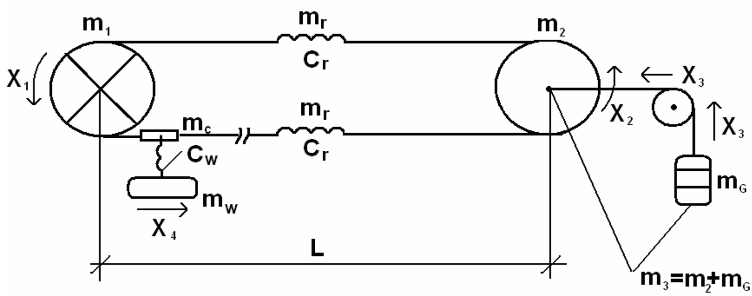
სადაც –

$$
\begin{cases}
a_{11} = m_1 + m_C + \frac{2}{3}m_R; \ a_{12} = \frac{1}{3}m_R; \\
a_{21} = a_{12} = \frac{1}{3}m_R; a_{22} = m_2 + m_C + \frac{2}{3}m_R; \ a_{33} = m_3; \\
a_{44} = m_{w1} = m_{w0} + m_{p1}; \ a_{55} = m_{w2} = m_{w0} + m_{p2}; \\
Q_1 = F_0 - Q_{st} - 2C_R\left(X_1 - X_2\right) - C_{w1}\left(X_1 - X_4\right); \\
Q_2 = 2C_R\left(X_1 - X_2\right) - C_{w2}\left(X_2 - X_5\right); \ Q_3 = -2C_R X_3, \\
Q_4 = C_{w1}\left(X_1 - X_4\right); \quad Q_5 = C_{w2}\left(X_2 - X_5\right).
\end{cases} \qquad 6.6
$$

ერთვაგონიანი ბაგირგზებისათვის საანგარიშო სქემა გამარტივდება და ექნება ასეთი სახე (იხ. ნახ. 6.4).

6.5 განტოლებათა სისტემაც უფრო გამარტივდება და მიიღებს სახეს-

$$
\begin{cases}
a_{11}\ddot{X}_1 + a_{12}\ddot{X}_2 + \ 0 \ + \ 0 \ + \ 0 \ = Q_1; \\
a_{21}\ddot{X}_1 + a_{22}\ddot{X}_2 + \ 0 \ + \ 0 \ + \ 0 \ = Q_2; \\
\ 0 \ + \ 0 \ + a_{33}\ddot{X}_3 + \ 0 \ + \ 0 \ = Q_3; \\
\ 0 \ + \ 0 \ + \ 0 \ + a_{44}\ddot{X}_4 + \ 0 \ = Q_4.
\end{cases} \qquad 6.7
$$



ნახ. 6.4 ორბაგირიანი, ერთვაგონიანი ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის საანგარიშო სქემა, როდესაც ვაგონი მიმღებ სადგურში დგას

სადაც –

$$\begin{cases} a_{11} = m_1 + m_C + \frac{2}{3}m_R,\ a_{12} = \frac{1}{3}m_R,\ a_{21} = a_{12} = \frac{1}{3}m_R; \\ a_{22} = m_2 + m_C + \frac{2}{3}m_R,\ a_{33} = m_3, a_{44} = m_w = m_{w0} + m_p; \\ Q_1 = F_0 - 2C_R\left(X_1 - X_2\right) - C_w\left(X_1 - X_4\right); \\ Q_2 = 2C_R\left(X_1 - X_2\right);\ Q_3 = -2C_R X_3; \\ Q_4 = C_w\left(X_1 - X_4\right); F_0 = F_{mot} - Q_{st} = F_{mot} - m_w g\sin\gamma. \end{cases} \qquad 6.8$$

$a_{33}\ddot{x}_3 = Q_3 = -2C_R x_3$, როგორც 6.5 და 6.7 სისტემებიდან ჩანს, წარმოადგენს ჩვეულებრივ ჰარმონიული რხევის დიფერენციალურ განტოლებას, რომლის ამონახსნი ნულოვანი საწყისი პირობების დროს ასევე ნულია.

აქედან შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა: ბაგირგზის ამუშავების გარდამავალ პერიოდში, როცა საწევი ბაგირ-

ების მასები და სიხისტეები ერთნაირია, დამჭიმი ტვირთი მონაწილეობას არ ღებულობს.

ნაშრომში მიღებულია ბაგირგზის ამუშავების ამსახველი დიფერენციალურ განტოლებათა მსგავსი სისტემები. ჩვენ ეს განტოლებები მოყვანილი გვაქვს ოდნავ განსხვავებული სახით და ამ განსხვავების დასადასტურებლად ვისარგებლეთ პროფესორ ა. სტეპანოვის მიერ შემოთავაზებული მეთოდით. ა. სტეპანოვი გვთავაზობს, რომ რეალური ფიზიკური სურათის მისაღებად, დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემებში უნდა უგულებელვყოთ ზოგიერთი წევრი [2], [4].

ზემოთ მოყვანილი დასკვნისა და ა. სტეპანოვის მეთოდის საფუძველზე, ამუშავების აღმწერი განტოლებათა სისტემები საბოლოო სახით ასე გადაიწერება (უფრო მოსახერხებელია თუ ავღნიშნავთ : ამძრავი შკივის გადაადგილებას x-ით, დამჭიმი შკივისას y-ით, ხოლო ვაგონებისას z-ითა და s-ით. ასეთ შემთხვევაში ორვაგონიანი ბაგირგზებისათვის-

$$\begin{cases}(m_1+m_C+m_R)\ddot{x}=F_0-2C_R(x-y)-C_{w1}(x-z);\\(m_2+m_C+m_R)\ddot{y}=2C_R(x-y)-C_{w2}(y-s);\\m_{w1}\ddot{z}_1=C_{w1}(x-z);\\m_{w2}\ddot{z}_2=C_{w2}(y-s).\end{cases} \quad 6.9$$

ერთვაგონიანი ბაგირგზებისათვის:

როცა ვაგონი ამძრავ შკივთანაა –

$$\begin{cases}(m_1+m_R+m_c)\ddot{x}=F_0-2C_R(x-y)-C_W(x-z)\\(m_2+m_R)\ddot{y}=2C_R(x-y)\\m_W\ddot{z}=C_W(x-z)\end{cases}\qquad 6.10$$

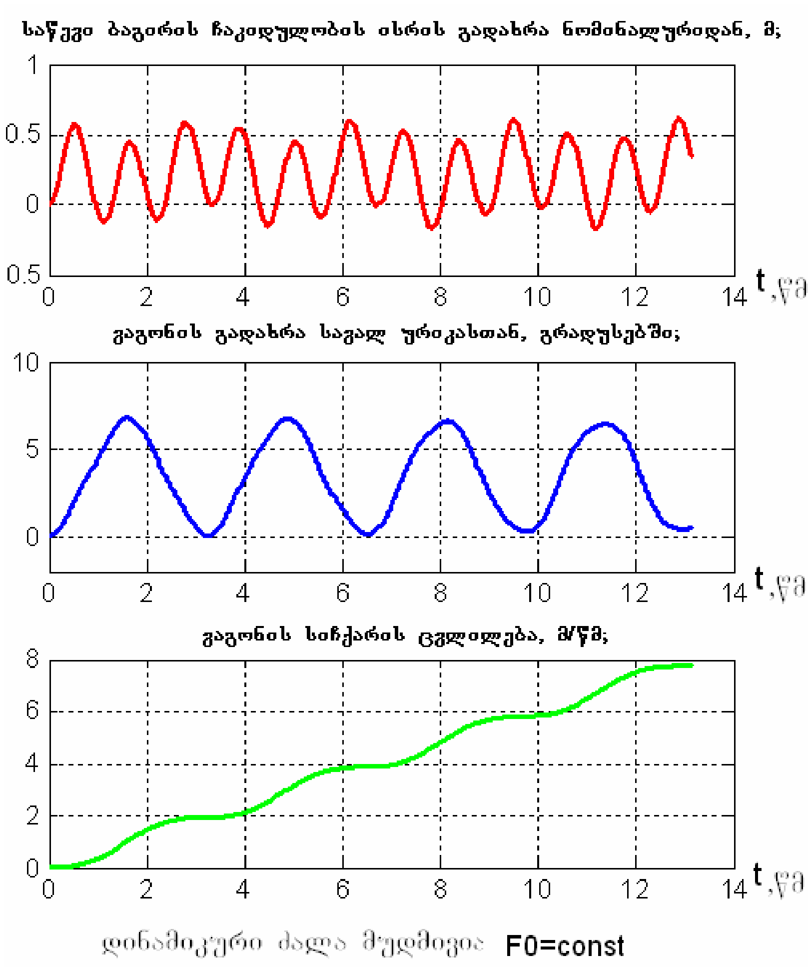
როცა ვაგონი დამჭიმ შკივთანაა -

$$\begin{cases}(m_1+m_R)\ddot{x}=F_0-2C_R(x-y)\\(m_2+m_R+m_c)\ddot{y}=2C_R(x-y)-C_W(y-z)\\m_W\ddot{z}=C_W(y-z)\end{cases}\qquad 6.11$$

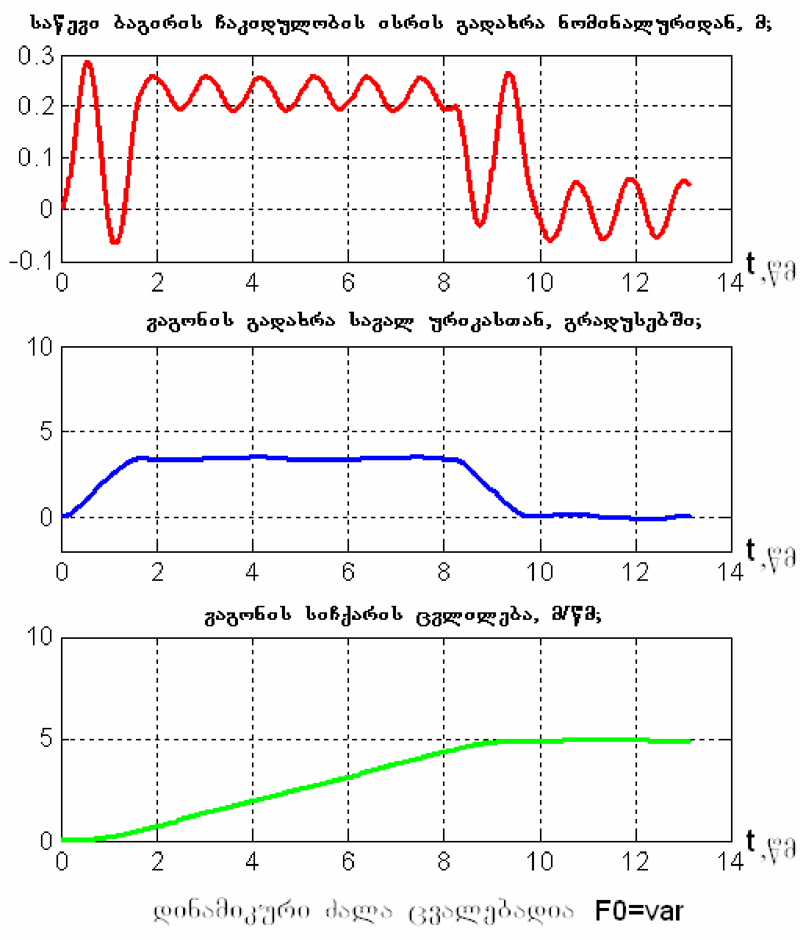
გამოვიყენოთ რეალური კიდული ბაგირგზის მონაცემები [2] და მოვახდინოთ ამუშავების დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაცია ერთვაგონიანი ბაგირგზის მაგალითზე. განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც ვაგონი ამძრავ შკივთანაა, ანუ ამოვხსნათ 6.10 განტოლებათა სისტემა.

დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაციისათვის გამოვიყენოთ მეორე მეთოდი (იხ. გვ. 76-82).

შენიშვნა: 6.10 განტოლებათა სისტემის ამოხსნის მეთოდიკა დაპროგრამების სისტემა MatLAB-ის გამოყენებით სრულადაა მოცემული ნაშრომში [2].



ნახ. 6.5 ერთბაგირიანი, ერთვაგონიანი ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის ამუშავების დინამიკური რეჟიმი



ნახ. 6.6 ერთბაგირიანი, ერთვაგონიანი ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის ამუშავების დინამიკური რეჟიმი

6.6 ნახაზიდან აშკარად ჩანს, რომ ამუშავების რეჟიმი დინამიკურად ოპტიმალურია.

დანართი 1

ბაგირგზის სარელსო ბაგირები

გრძივი მეტრის წონა, q_1, კნ/მ	ბაგირის დიამეტრი, d_1, მ	ბაგირის ლითონის კვეთი, s_1, მ^2	ჯამური საგლეჯი ძალა, T_1,კნ		
			$\sigma 1$, $120x10^4$ კნ/მ^2	$\sigma 1$, $130x10^4$ კნ/მ^2	$\sigma 1$, $140x10^4$ კნ/მ^2
0.05	0.0305	0.000596	715	775	834
0.056	0.032	0.00066	790	858	924
0.063	0.034	0.00073	875	949	1022
0.07	0.0355	0.000796	955	1035	1114
0.086	0.0385	0.001	1200	1300	1400
0.096	0.0405	0.001135	1360	1475	1589
0.103	0.0425	0.00121	1450	1573	1694
0.115	0.045	0.001356	1620	1762	1898
0.125	0.047	0.00146	1750	1898	2044
0.145	0.051	0.001725	2070	2242	2415
0.164	0.052	0.00196	2352	2548	2744
0.173	0.054	0.002064	2480	2683	2890
0.177	0.055	0.002075	2490	2697	2905
0.198	0.06	0.00239	2870	3107	3346
0.237	0.065	0.00285	3420	3705	3990
0.272	0.07	0.003292	3950	4280	4609

დანართი 2

ბაგირგზის საწევი ბაგირები

გრძივი მეტრის წონა, q_2, კნ/მ	ბაგირის დიამეტრი, d_2, მ	ბაგირის ლითონის კვეთი, s_2, მ^2	ჯამური საგლეჯი ძალა, T_2,კნ		
			σ1, $170x10^4$ კნ/მ^2	σ1, $180x10^4$ კნ/მ^2	σ1, $190x10^4$ კნ/მ^2
0.0062	0.0135	0.000065	97.4	103	109
0.0071	0.0145	0.000074	111.5	118	124.5
0.0081	0.015	0.000084	127.5	134.5	142
0.0092	0.016	0.000095	144	152.5	161
0.0097	0.0165	0.000105	150.5	159.5	168.5
0.011	0.0175	0.000114	165.35	175.1	184.8
0.013	0.0195	0.000144	207	219.5	231.5
0.016	0.021	0.000175	252.5	267.4	282.25
0.017	0.022	0.000185	266	282	297.5
0.021	0.024	0.00022	318.5	337.25	356
0.022	0.025	0.000239	345.5	365.5	385.5
0.027	0.0275	0.000286	413.5	438.5	462.5
0.033	0.0305	0.00035	504.5	534.5	564
0.036	0.032	0.000386	557.5	590.25	623

დანართი 3

ბაგირგზის ამძრავი ძრავები

სინქრონული ბრუნთა რიცხვი - **750** ბრ/წთ

ძრავას ტიპი	სიმძლავრე, კვტ	სრიალი, %	მქკ	cos φ	$\frac{M_m}{M_n}$	$\frac{M_0}{M_n}$	J_{mot}, კგმ^2
4A160	**7.5**	**2.7**	**0.86**	**0.75**	**2.2**	**2**	**0.14**
4A160	**11**	**2.7**	**0.87**	**0.75**	**2.2**	**1.2**	**0.18**
4A180	**15**	**2.6**	**0.87**	**0.82**	**2**	**1.2**	**0.25**
4A200	**18.5**	**2.5**	**0.885**	**0.84**	**2.2**	**1.2**	**0.4**
4A200	**22**	**2.7**	**0.885**	**0.84**	**2**	**1.2**	**0.45**
4A225	**30**	**2**	**0.9**	**0.81**	**2**	**1.2**	**0.74**
4A250	**37**	**1.6**	**0.9**	**0.83**	**2**	**1.2**	**1.15**
4A250	**45**	**1.4**	**0.915**	**0.82**	**2**	**1.2**	**1.34**

სინქრონული ბრუნთა რიცხვი - **1000** ბრ/წთ

ძრავას ტიპი	სიმძლავრე, კვტ	სრიალი, %	მქკ	cos φ	$\frac{M_m}{M_n}$	$\frac{M_0}{M_n}$	J_{mot}, კგმ^2
4A160	**11**	**3**	**0.86**	**0.86**	**2**	**1.2**	**0.14**
4A160	**15**	**3**	**0.875**	**0.87**	**2**	**1.2**	**0.18**
4A180	**18.5**	**2.7**	**0.88**	**0.87**	**2**	**1.2**	**0.22**
4A200	**22**	**2.5**	**0.9**	**0.9**	**2**	**1.2**	**0.4**
4A200	**30**	**2.3**	**0.905**	**0.9**	**2**	**1.2**	**0.45**
4A225	**37**	**2.15**	**0.91**	**0.89**	**2**	**1.2**	**0.74**
4A250	**45**	**1.5**	**0.915**	**0.89**	**2**	**1.2**	**1.15**
4A250	**55**	**2**	**0.92**	**0.88**	**1.9**	**1.2**	**1.26**

სინქრონული ბრუნთა რიცხვი - **1500** ბრ/წთ

ძრავას ტიპი	სიმძლავრე, კვტ	სრიალი, %	მქკ	cos φ	$\frac{M_m}{M_n}$	$\frac{M_0}{M_n}$	J_{mot}, კგმ^2
4A160	**15**	**2.7**	**0.9**	**0.88**	**2.2**	**1.4**	**0.1**
4A160	**18.5**	**2.7**	**0.9**	**0.88**	**2.2**	**1.4**	**0.13**
4A180	**22**	**2**	**0.91**	**0.9**	**2.2**	**1.4**	**0.19**
4A200	**30**	**2**	**0.91**	**0.89**	**2.2**	**1.4**	**0.23**
4A200	**37**	**1.7**	**0.92**	**0.9**	**2.2**	**1.4**	**0.37**
4A225	**45**	**1.8**	**0.925**	**0.9**	**2.2**	**1.4**	**0.45**
4A250	**55**	**2**	**0.93**	**0.9**	**2.2**	**1.2**	**0.64**
4A250	**75**	**1.4**	**0.93**	**0.9**	**2.2**	**1.2**	**1.02**
4A280	**90**	**1.3**	**0.925**	**0.91**	**2**	**1.2**	**1.2**

დანართი 4

ბაგირგზის ამძრავის რედუქტორები

შემავალი ბრუნვათა რიცხვი, ბრ/წთ, **n**	ნომინალური მაბრუნი მომენტი, კნმ					
გადაცემის რიცხვი, **i**	**50**	**40**	**31.5**	**20**	**16**	**10**
ტიპი	**PM-500**					
750	**2.042**	**1.945**	**2.167**	**2.166**	**2.307**	**2.320**
1000	**1.995**	**1.996**	**2.167**	**2.153**	**2.317**	**2.324**
1500	**1.98**	**1.996**	**2.167**	**2.166**	**2.307**	**2.11**
ტიპი	**PM-650**					
750	**4.764**	**4.708**	**5.136**	**5.09**	**5.517**	**5.537**
1000	**4.687**	**4.912**	**5.116**	**5.188**	**5.568**	**4.994**
1500	**4.702**	**4.708**	**5.116**	**5.155**	**5.016**	
ტიპი	**PM-750**					
750	**6.806**	**6.703**	**7.303**	**7.308**	**7.825**	**7.911**
1000	**6.729**	**6.716**	**7.163**	**7.341**	**7.825**	**7.12**
1500	**6.651**	**6.78**	**7.308**	**7.123**		
ტიპი	**PM-850**					
750	**9.404**	**9.160**	**10.032**	**10.049**	**10.834**	**9.888**
1000	**9.884**	**9.211**	**9.931**	**9.984**	**10.834**	
1500	**9.157**	**9.083**	**10.032**			
ტიპი	**PM-1000**					
750	**16.149**	**16.119**	**17.455**	**17.227**	**18.458**	**17.01**
1000	**16.009**	**15.927**	**17.455**	**17.423**	**17.004**	
1500	**15.932**	**15.868**	**17.455**			

ლ ი ტ ე რ ა ტ უ რ ა

1. ბარამიძე კ., კოგანი ი. სამგზავრო კიდული საბაგირო გზები. გამომცემლობა “განათლება”, თბილისი – 1969 წ. 248 გვ.

2. ნ. მახარაშვილი. ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის, როგორც რთული ელექტრომექანიკური სისტემის, ზოგიერთი დინამიკური რეჟიმის კვლევა და ოპტიმიზაცია. წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად. სტუ, თბილისი, 2012 წ.

3. წერეთელი მ. სამთო მანქანების დინამიკური რეჟიმების ოპტიმიზაცია. მონოგრაფია, "ტექნიკური უნივერსიტეტი", თბილისი. 2008წ. 113 გვ.

4. წერეთელი მ., მახარაშვილი ნ., წერეთელი ი. მოქნილკავშირიანი ორმასიანი სისტემის დინამიკური რეჟიმის კვლევა. ჟურნალი “ენერგია”, №1(61)/2012 წ.

5. Дукельский А. И. Подвесные канатые дороги и кабельные краны.издотельство «машиностроение», Москва-Ленинград, 1966 г.

6. Русия В.Г. К вопросу расчета несущего каната пассажирской подвесной канатной дороги маятникогово типа. Диссертация на соискание ученной степени кандидата технических наук. Тбилиси-1973 г.

სარჩევი