

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ე. მოისწრაფიშვილი,  
მ. მოისწრაფიშვილი, ნ. რურუა

რკინიგზის ლიანდაგი  
(ლიანდაგის ზედა ნაშენის გაანგარიშებები)

IV ნაწილი



დამტკიცებულია სტუ-ს  
სარედაქციო-საგამომცემლო  
საბჭოს მიერ

თბილისი  
2009

უკ. 625.1

სახელმძღვანელოში განხილულია რკინიგზის ლიანდაგის სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე გაანგარიშების მეთოდები, ლიანდაგის ზედა ნაშენის ელემენტების შერჩევის პრინციპები და მათში დასაშვები ძაბვების განსაზღვრა, ვარიანტების ეკონომიკური შედარება, მატარებლების მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის საკითხები. სახელმძღვანელო მოიცავს ლიანდაგის ზედა ნაშენის ელემენტების სიმტკიცისა და საერთოდ ლიანდაგის კონსტრუქციის ხანგამძლეობისა და საიმედოობის გაანგარიშებებს მათემატიკური სტატისტიკის, ალბათობის თეორიის და უმაღლესი მექანიკის გამოყენებით. მოტანილია მეთოდური, საცნობარო და ნორმატიულ-ტექნიკური მასალები. სახელმძღვანელო შედგენილია მოქმედი სტანდარტების დაცვით, კურიკულუმებისა და სილაბუსების შესაბამისად.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია სატრანსპორტო სპეციალობის სტუდენტების, მაგისტრანტების და დოქტორანტებისათვის. იგი დიდ დახმარებას გაუწევს აგრეთვე რკინიგზის ლიანდაგის ექსპლუატაციის მუშაკებს და რკინიგზის ინჟინერ-დამპროექტებლებს.

რეცენზენტი ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,  
ასოცირებული პროფესორი გ. კვანტალიანი

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2009

ISBN 978-9941-14-381-6 (ყველა ნაწილი)

ISBN 978-9941-14-384-7 (მეთოხე ნაწილი)

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>



ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილი (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) არანაირ ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური), არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

**თავი I. მოქრავი შემადგენლობის ზემოქმედება ღიანდაგზე  
(ღიანდაგის ზედა ნაშენის და მოქრავი შემადგენლობის ურთიერთქმედება)**

**I.1 ზოგადი ცნობები**

რკინიგზის ღიანდაგის კონსტრუქციისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს საფუძვლად უდევს მისი სიმტკიცისა და მდგრადობის უსრუწველყოფა, ოპტიმალური ეკონომიკური მოთხოვნების დაკმაყოფილების პირობებში.

ასეთი მოთხოვნები ჩვეულებრივია საინჟინრო ნაგებობებისა და მოწყობილობების დაგეგმარებისას, მაგრამ ღიანდაგის ზედა ნაშენის კონსტრუქციას ახასიათებს ისეთი თავისებურება, რომელიც საგრძნობლად განასხივებს მას ჩვეულებრივი საინჟინრო ნაგებობებისაგან. ეს თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ ღიანდაგის ზედა ნაშენის კონსტრუქციის ძირითადი მზიდი ელემენტები, როგორც წესი, მუშაობენ ნარჩენი დეფორმაციების დაშვებით.

მაგალითისათვის, რელსი ღიანდაგის კონსტრუქციის ერთ-ერთი მთავარი ელემენტი, ამავე დროს იგი წარმოადგენს ისეთ ნაწილს, რომელიც ცედება მასზე უშუალოდ მიმდრავ მობრავი შემადგენლობის თვლებისაგან. რელსის თავის ლითონში (მის კრისტალურ გისოსში) მობრავობის შედეგად გროვდება დაღლილობითი ხასიათის დეფორმაციები.

ბალასტის შრე შპალის ქვეშ, ღიანდაგზე მოქმედი დატვირთვების ქვეშ მუშაობს გაცილებით მაღალ ძაბვებზე, ვიდრე ეს ჩვეულებრივ დაიშვება მუდმივი ნაგებობებისათვის საუკეთესო გრუნტების შემთხვევაშიც კი, მით უმეტეს ზედაპირიდან 0,15 მეტრის სიღრმეზე გაყინვად ზონაში და ისეთი ვიწრო საპირკელის ქვეშ, როგორც შპალია. თვით შპალებშიც, ქვესაღების ქვეშ, ნარჩენი დეფორმაციები წარმოიწობა. ღიანდაგის კონსტრუქციის მუშაობის მთელ პერიოდში, რელსებისა და შპალებისაგან შემდგარ გისოსებში გროვდება ნარჩენი გადაწვეები, როგორც ბალასტის მიმართ, ისე საერთოდ გეგმაში.

ეს პირობები ძლიერ ართულებს ღიანდაგის ზედა ნაშენის ოპტიმალური კონსტრუქციის შერჩევას და გაანგარიშებას რკინიგზის აღებული უბნის ექსპლუატაციური პირობების მოთხოვნების შესაბამისად.

შედარებისათვის შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ მაგალითად, რკინიგზის ხიდის დაპროექტებისათვის საკმარისია განისაზღვროს ლერძზე მოსული დატვირთვები, მობრავობის სინქარები და ძალთა მოდების სქემა; ღიანდაგის ზედა ნაშენის დაპროექტების დროს აუცილებელია დამატებით განისაზღვროს ტვირთდაძაბულობა.

ამისთანავე ტვირთდაძაბულობის გაელენა მით უფრო გადიმწყვეტია, რაც მეტია მისი მოცულობა.

ტვირთდაძაბულობა განსაზღვრავს ნარჩენი დეფორმაციების დაგროვების ინტენსივობას ლიანდაგის ელემენტებში და, მაშასადამე ლიანდაგის მოვლა-შენახვის და შეკეთების სამუშაოთა მოცულობას, აგრეთვე ამ შეკეთებათა სიხშირესაც.

ტვირთდაძაბულობა წარმოადგენს ძირითად ფაქტორს, აგრეთვე ლიანდაგის ზედა ნაშენის ტიპისაციის დადგენის დროსაც.

უნდა აღინიშნოს, რომ ლიანდაგის სიმტკიცეზე გაანგარიშებით დადგინდება ზედა ნაშენის მინიმალურად აუცილებელი ტიპი ექსპლუატაციის არა თუ იმ პირობებისათვის, ხოლო ტვირთდაძაბულობის მიხედვით ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე შეირჩევა ლიანდაგის ზედა ნაშენის მიზანშეწონილი ტიპი.

ლიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე გაანგარიშება უწყობს ლუნვის ისეთ თეორიას, რომლის მიხედვითაც რელსი განიხილება, როგორც უსასრულო სიგრძის უკრი კოჭი, მდებარე მთლიანად დრეკად საფუძველზე. გაანგარიშებები ეყრდნობა ალბათობის თეორიას და მათემატიკური სტატისტიკის კანონზომიერებებს, რადგანაც ლიანდაგზე მოქმედი ძალები მრავალფეროვანი და ცვალებადია. ამ ძალების ლიანდაგზე მოქმედების ჯამური შედეგი ნებისმიერ საანგარიშო კვეთში, ნებისმიერ მომენტში წარმოადგენს შემთხვევით, ალბათობით სიდიდეს. ამგვარად რკინიგზის ლიანდაგის სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე გაანგარიშების ამოცანაა ძაბვებისა და დეფორმაციების სიდიდეების განსაზღვრა, რომლეტიც წარმოიშობა მის ელემენტებში, ლიანდაგში მოქმედი ფაქტორებისა და საკუთარი ძაბვების ზემოქმედების გათვალისწინებით. შესაძლოა ამ ამოცანის დაყენება სხვაანაირადაც: ტვირთდაძაბულობისა და გატარებული ტვირთების რაოდენობის გათვალისწინებით, განისაზღვროს ისეთი დატვირთვები და მოძრაობის სიჩქარის მნიშვნელობები, რომლის დროსაც ძაბვები და დეფორმაციები არ გადააჭარბებენ დასაშვებ სიდიდეებს. მაშასადამე ლიანდაგის სიმტკიცე და მდგრადობა უსრუნველყოფილი იქნება. ბევრ შემთხვევაში ლიანდაგის სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე გაანგარიშება ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშებების ნაწილია.

ლიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე გაანგარიშების სიზუსტე დამოკიდებულია, მრავალ სხვადასხვანაირი ფაქტორების ზემოქმედებაზე. ამიტომ პირველ ყოვლისა საჭიროა ამ ზემოქმედებათა ხასიათის შესწავლა, რისთვისაც თანამიმდევრობით განიხილება ჯერ მოძრავი შემადგენლობისა და ბუნებრივი ფაქტორების ზემოქმედება ლიანდაგზე, აგრეთვე საკუთარი ზემოქმედება, რომელიც დაკავშირებულია კონსტრუქციის დამზადებასთან, დაგებასთან, მოვლა-შენახვასთან

და შეკეთებასთან. განხილულ უნდა იქნას აგრეთვე ლიანდაგის მახასიათებლები, რომლებიც საჭიროა გაანგარიშების ჩასატარებლად და ბოლოს, თვით გაანგარიშება შემოქმედებათა მრავალჯერადობისა და ერთობლიობის გამოქვეყნების შესაძლო აღრიცხვით და ლიანდაგის წინაღობის ცვალებადობის გათვალისწინებით.

როგორც ცნობილია, მოძრავი შემადგენლობის ნებისმიერი ერთეული შედგება დარესორებული (ძარა) და დაურესორებელი ანუ რესორსქვედა ნაწილებისაგან. მათი შემოქმედებით რკინიგზის ლიანდაგს შეუძლია განიცადოს დეფორმაცია, როგორც ევრტიკალური, ისე პორიზონტალური მიმართულებით.

სწორ, თარსულ ლიანდაგზე უქარო ამინდში მდგარი ვაგონი ან ლოკომოტივი (გამორთული ძრავებით) მხოლოდ სტატიკურად შემოქმედებს ლიანდაგზე, თავისი წონით. ღერძზე მოსული სტატიკური დატვირთვა, რომელიც გადაეცემა ლიანდაგს თანამედროვე ვაგონებისაგან 20-21 ტონას შეადგენს, ლოკომოტივებისაგან კი არა უმეტეს 23 ტონას. ამერიკის შეერთებულ შტატებში ლოკომოტივების ღერძზე მოსული დაწოლა 29-33 ტონას აღწევს.

მოძრაობის დროს ეკიპაჟის შემოქმედება ლიანდაგზე გაცილებით უფრო რთული ხასიათისაა. სტატიკურ მდგომარეობაში თანაბრად განაწილებული დატვირთვა კი მოძრაობის დროს ღერძებს შორის არათანაბრად გადაინაწილდება.

ლიანდაგზე ეკიპაჟის მოძრაობის დროს, ეკიპაჟის წონის გარდა მოქმედებენ აგრეთვე დამატებითი ინერციული ძალები, რომლებიც წარმოიშობიან: რესორების რხევის (დეფორმაციის) შედეგად, მოძრავი შემადგენლობის თვლებზე არსებული უსწორობებისაგან (იზოლირებული და უწყვეტი უსწორობები) და ლიანდაგის უსწორობებისაგან. ლიანდაგზე მოქმედებს აგრეთვე წვეისა და დამუხრუჭების ძალები; წაძერის ძალები; ტემპერატურული ძალები და სხვა.

ლიანდაგზე მოქმედი ძალები ორ ძირითად ჯგუფად იყოფიან: ევრტიკალური და პორიზონტალური ძალები. მაგრამ გაანგარიშებებში მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ აგრეთვე ირიბი სიერციითი ძალები და მგრეხი მომენტები. ამიტომ ლიანდაგის სუდა ნაშენის სიერცობრივი გაანგარიშება საერთო გაანგარიშებების ერთ-ერთი ნაწილია.

## 12 ლიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე გაანგარიშება ვერტიკალური ძალების ზემოქმედებაზე

### 12.1 ძირითადი წინაპირობები და მახასიათებლები

ლიანდაგზე ეკიპაჟის მოძრაობის დროს მის ძარას, ურიკებს, თელეებს და ლიანდაგს შორის წარმოიქმნება რთული ურთიერთქმედება. იმისათვის, რომ საკმარისი სისრულით აღირიცხოს და განისაზღვროს ურთიერთქმედების ვერტიკალური ინერციული ძალები მხოლოდ ოთხდერძიანი ეკიპაჟისათვის, საჭიროა შედგეს და ამოიხსნას 42 განტოლებისაგან შემდგარი სისტემა, მთელი რიგი გამამართლებელი ვარაუდების გათვალისწინებით. ასეთი სისტემა ამოიხსნება გამომთქვლედი მანქანების დახმარებით. მიახლოებითი გაანგარიშებისათვის კი სისტემა შეიძლება გამარტივდეს. მაგრამ ამისათვის საჭიროა პირველ ყოვლისა განისაზღვროს ვერტიკალური ძალების სიდიდეები, რადგანაც ლიანდაგის გაანგარიშებაში მათ გადამწყვეტი მნიშვნელობა გააჩნიათ.

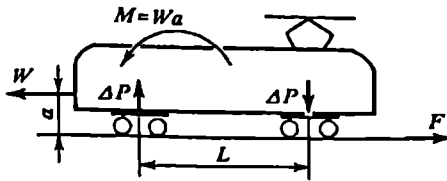
### 12.2 მოძრავი შემადგენლობიდან გადმოცემული ხტატიკური დატვირთვები და მათი ღერძებზე გადანაწილება

სტატიკური ძალა  $P_{\Sigma}$ , რომელიც გადაეცემა ლიანდაგს თვალზე მოსული დატვირთვის შედეგად ტოლია

$$P_{\Sigma} = \frac{P}{2} \quad (1.1)$$

სადაც  $P$  – მოძრავი შემადგენლობის ღერძზე მოსული დატვირთვაა. იგი ნორმირებულია ჩვენი რკინიგზებისათვის. ამჟამად ვაგონების ერთ ღერძზე დატვირთვა 20-21 ტონას შეადგენს, ლოკომოტივის ღერძზე კი 23 ტონამდე.

დინამიკის პირობებში მოძრავი შემადგენლობის ღერძზე მოსული დატვირთვები ღერძებს შორის გადანაწილდება. მოძრავი შემადგენლობის წონის ღერძებზე გადანაწილების უთანაბრობა იზრდება, წვეის ძალისა და მოძრავი შემადგენლობის წინაღობის ზრდის პროპორციულად. დატვირთვების ღერძებზე გადანაწილების სიდიდეები განსაკუთრებით დიდ მნიშვნელობას აღწევს ლოკომოტივის ადგილიდან დაიქრისა და რყუქპერაციული დამუხრუჭების დროს. ამის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ ორურიკიანი ლოკომოტივის გამარტივებული სქემა (ნახ.1.1).



ნახ.1.1 მოძრავი შემადგენლობის ღერძებზე დატვირთვების გადანაწილების სქემა

მხები წვეის ძალა  $F$ , მოდებულია მოძრაობის მიმართულებით, ხოლო შემადგენლობის წინაღი  $W$  ძალა მოქმედებს ლოკომოტივის ავტოგადაბმულობის ღერძის გასწვრივ, რელსის თავიდან დაახლოებით  $a=1$  მეტრის სიმაღლეზე. ტექნიკური ექსპლუატაციის წესების თანახმად  $a$  სიდიდე იცვლება ფარგლებში ( $a=950+1080$  მმ). თანაბარი მოძრაობის დროს  $F=W$  და ეს ძალები ქმნიან მომენტების წყვილს  $M = Fa = Wa$ ,  $a$  მხარით. მომენტი  $Wa$  ცდილობს განტვირთოს წინა და გადაამტკიეროს უკანა ღერძები. ამ შემთხვევაში წარმოიშობა გამაწონასწორებელი რეაქციული მომენტი  $\Delta PL$ , სადაც  $\Delta P$  - არის წინა და უკანა ურიკების რეაქციის ძალა თანაბარი სიდიდის და შებრუნებული ნიშნით.  $L$  ურიკების ღერძებს შორის მანძილია. თუ ამ ძალების მომენტებს გაეუტოვებთ ერომანეთს, ე.ი.  $Wa = \Delta PL$ , მაშინ შეიძლება განესაზღვროთ ურიკების რეაქციის ძალა

$$\Delta P = W \frac{a}{L} \quad (12)$$

ხოლო ურიკის თითოეული ღერძზე მოსული რეაქციის ძალა ტოლი იქნება

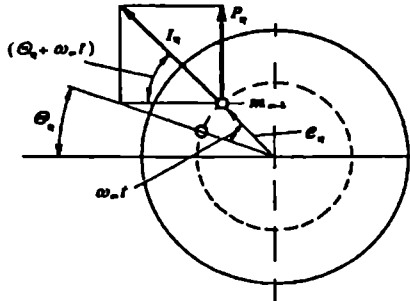
$$\frac{\Delta P}{n} \quad (13)$$

სადაც  $n$  - ურიკის ღერძების რიცხვია.

მაგალითად, თუ მივიღებთ, რომ თანაბარი მოძრაობის დროს  $W = F = 40000$  კგ,  $L = 10$  მ, მაშინ ურიკების რეაქციის ძალა  $\Delta P = \frac{40000 \times 1}{10} = 4000$  კგ, ხოლო თითოეული ღერძის რეაქციის ძალა, ორღერძიანი ურიკის შემთხვევაში  $\frac{4000}{2} = 2000$  კგ, მაშინ განტვირთულ წინა ღერძზე მოსული დატვირთვა  $P = 23$  ტონა, სტატიკური დატვირთვის შემთხვევაში ტოლი იქნება  $23000 - 2000 = 21000$  კგ, ხოლო უკანა გადაამტკიერებულ ღერძებზე მოსული დატვირთვა კი  $23000 + 2000 = 25000$  კგ.

### 1.2.3. მოძრავი შემადგენლობის თელების დისბალანსი

მოძრავი შემადგენლობის თელის ბრუნვისა და სიჩქარის ცენტრების აცდენის სიდიდეს თელის დისბალანსი ეწოდება. დისბალანსი შეიძლება გამოწვეული იყოს თელის დისკისა და არტახების ლითონის არათანაბარი განაწილებით ან თელეების ლერძზე ექსცენტრული დაგებით (ნახ. 12)



ნახ. 12. თელის დისბალანსის ზემოქმედების საანგარიშო სქემა

დისბალანსიანი თელის ბრუნვის დროს წარმოიქმნება ცენტრიდანული ძალა

$$I_m = \frac{m_{m-1} v_m^2}{\rho} \quad (1.4)$$

$$v_m = \omega_m \times e_m \quad (1.5)$$

მაშინ

$$I_m = \frac{m_{m-1} \omega_m^2 e_m^2}{e_m} = m_{m-1} \omega_m^2 e_m \quad (1.6)$$

$$m_{m-1} = \frac{q_{m-1}}{g} \quad (1.7)$$

სადაც  $m_{m-1}$  – დაურესორებელი მასის მბრუნავი ნაწილის მასაა;

$v_m$  –  $m_{m-1}$  მბრუნავი მასის ცენტრის ბრუნვის სიჩქარე;

$\omega_m$  – თელის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე;

$e_m$  – დისბალანსის ექსცენტრისიტეტის სიდიდე.

მაშინ

$$I_m = \frac{m_{m-1} \omega_m^2 e_m^2}{e_m} = q_{m-1} e_m \frac{\omega_m^2}{g} \quad (1.8)$$



$$m_{\text{მა}} = \frac{q_{\text{მა}}}{g} \quad (1.9)$$

სიღაც  $q_{\text{მა}}$  - დაურესორებელი მასის მბრუნავი ნაწილის წონაა მოსული ერთ თეაღზე (თელის, ბუქსის, ღერძის ნახვერისა და 2/3 რესორის წონა).

$$q_{\text{მა}} = \alpha q_{\text{მა}}, \quad \alpha = 0,9 \quad (1.10)$$

$q_{\text{მა}}$  - დაურესორებელი მასის წონა მოსული ერთ თეაღზე.

$q_{\text{მა}} = 900-1000$  კგ - სატვირთო ვაგონებისათვის;

$q_{\text{მა}} = 710$  კგ - სამგზაო ვაგონებისათვის;

$q_{\text{მა}} = 1600-1800$  კგ - ლოკომოტივებისათვის - წვეის ძრავების ჩარჩოვანი ჩამოკიდების შემთხვევაში;

$q_{\text{მა}} = 2500-2800$  კგ - ლოკომოტივებისათვის - წვეის ძრავების ღერძული ჩამოკიდების შემთხვევაში.

აუღნიშნოთ

$$D = q_{\text{მა}} e_{\text{გ}} \quad (1.11)$$

მაშინ ცენტრიდანული ძალა გამოწვეული დისბალანსისაგან ტოლი იქნება

$$I_{\text{გ}} = \alpha_{\text{გ}} m_{\text{მა}} e_{\text{გ}} \omega_{\text{გ}}^2 = \frac{D \omega_{\text{გ}}^1}{g} \quad (1.12)$$

$D$  - სიდიდე წარმოადგენს დისბალანსს.

$I_{\text{გ}}$  სიდიდის შესამცირებლად საჭიროა დისბალანსის სიდიდის ლიმიტირება.

დისბალანსის შესამცირებლად საჭიროა გაცვეთილი თელბების მაღალი სიხუსტით განარხვა და მათი ღერძზე ზუსტი დაგება. მაღალი სიჩქარეების შემთხვევაში სიხუსტის ხარისხი უფრო მაღალი უნდა იყოს.

დისბალანსის დასაშეუბი სიდიდეები სხვადასხვა ქვეყნების რკინიგზებზე მოცემულია ცხრილში 1.1.

ჩვენი რკინიგზების მოძრავი შემადგენლობის თელბების შემოწმებითი გაზომვები გვიჩვენებს, რომ დისბალანსის ფაქტიური სიდიდე 100-150 კგსმ აღწევს.

დისბალანსის ცენტრიდანული ძალის ვერტიკალური მდგენელი, დროის ნებისმიერ მომენტში ტოლი იქნება (ნახ.1.2)

$$P_{\text{გ}} = -I_{\text{გ}} \sin(\Theta_{\text{გ}} + \omega_{\text{გ}} t) \quad (1.13)$$

სადაც  $\Theta_e - e_e$  ვექტორის პორიზონტთან დახრის კუთხეა, დროის ათეულის საწყის მომენტში ( $t = 0$ );

$t$  - მიმდინარე დრო.

ნიშანი მინუსი აღნიშნავს, რომ  $P_e$  ძალას მიმართულება აქვს ქვემოდან ზემოთ.

*ცხრილი 1.1.*

ქვეყნების დასახელება	დისბალანსის დასაშვები სიდიდე, კგ/სმ
რკინიგზების საერთაშორისო ასოციაციის მოთხოვნით	
სამგზავრო ვაგონებისათვის	25
ა შ შ	65
ინგლისი, საფრანგეთი:	
სამგზავრო ვაგონებისათვის	25
სატვირთო ვაგონებისათვის	37,5
რუსეთი, საქართველო:	
130 - 160 კმ/სთ	65
160 - 200 კმ/სთ	35

დროის ნებისმიერ მომენტში კუთხე  $e_e$  ვექტორსა და პორიზონტს შორის ტოლი იქნება  $(\Theta_e + \omega_e t)$ .

თუ ფორმულაში შევიტანთ  $I_e$ -ს მნიშვნელობას, მივიღებთ

$$P_e = -m_e \alpha_e \omega_e^2 e_e \sin(\Theta_e + \omega_e t) \quad (1.14)$$

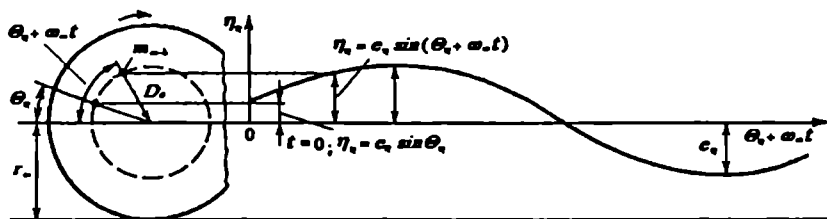
ეიციით, რომ

$$\omega_e = \frac{v}{r_e} \quad (1.15)$$

სადაც  $v$  - არის კუთხური  $\omega_e$  სინქარის გამოხატულება თანაბარჩქარებული მოძრაობის შემთხვევაში;

$r_e$  - თელის გორვის ზედაპირის რადიუსი.

დისბალანსის ცენტრიდანული ძალა, როგორც ყველა ცენტრიდანული ძალა საერთოდ წარმოადგენს ინერციის ძალას და ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად იგი ტოლია სინქარისაგან მასის წარმოებულისა.



ნახ. 13. თელის მასის ცენტრის წინსვლითი მოძრაობის სქემა კოორდინატთა სისტემაში

ნახ. 13 ნაჩვენებია  $m_{\alpha}$  მასის ბრუნვის ცენტრის ტრაექტორია კოორდინატთა სისტემაში  $\eta_{\alpha}$ . ( $\Theta_{\alpha} + \omega_{\alpha} t$ );

სადაც  $\eta_{\alpha}$  -  $m_{\alpha}$  მასის ტრაექტორიის ორდინატაა მისი ბრუნვის ცენტრის მიმართ; ( $\Theta_{\alpha} + \omega_{\alpha} t$ ) - შესაბამისი აბსცისა.

როგორც ნახ.13 -ის მარცხენა ნაწილიდან ჩანს  $\eta_{\alpha}$  ორდინატა ტოლია

$$\eta_{\alpha} = e_{\alpha} (\omega_{\alpha} t + \Theta_{\alpha}) \quad (1.16)$$

ცნობილია, რომ  $m_{\alpha}$  მასის ვერტიკალური გადაადგილების სინქარე თანაბარანქარებული მოძრაობის დროს წარმოადგენს დროის პირველი რიგის წარმოებულს, ხოლო ანქარება დროის მეორე რიგის წარმოებულს:

$$\eta_{\alpha} = e_{\alpha} \sin(\omega_{\alpha} t + \Theta_{\alpha}) \quad (1.17)$$

$$\eta'_{\alpha} = \frac{d\eta_{\alpha}}{dt} = e_{\alpha} \omega_{\alpha} \cos(\omega_{\alpha} t + \Theta_{\alpha}) \quad (1.18)$$

$$\eta''_{\alpha} = \frac{d^2\eta_{\alpha}}{dt^2} = -e_{\alpha} \omega_{\alpha}^2 \sin(\omega_{\alpha} t + \Theta_{\alpha}) = -\omega_{\alpha}^2 \eta_{\alpha} \quad (1.19)$$

მაშინ ინერციის ძალის ვერტიკალური მდგენელი გამოწვეული დისბალანსის შექმნელებით ტოლი იქნება

$$P_{\alpha} = m_{\alpha} \eta''_{\alpha} = -m_{\alpha} \alpha_{\alpha} e_{\alpha} \omega_{\alpha}^2 \sin(\omega_{\alpha} t + \Theta_{\alpha}) \quad (1.20)$$

ეს ფორმულა მთლიანად ემთხვევა (1.14) ფორმულას.  $P_{\alpha}$  ძალას მაქსიმალური მნიშვნელობა ექნება, მაშინ, როდესაც კუთხე  $(\omega_{\alpha} t + \Theta_{\alpha}) = -1$  ე.ი. ექსტრემუმის შემთხვევაში, მაშინ

$$\max P_{\alpha} = m_{\alpha} \alpha_{\alpha} e_{\alpha} \omega_{\alpha}^2 = I_{\alpha} \quad (1.21)$$

თელის ერთი ბრუნის პერიოდში დისბალანსის ძალის ვერტიკალური მდგენელი  $P_{\Sigma}$  ორჯერ აღწევს ექსტრემუმს, რომელიც ტოლია თვით  $I_{\Sigma}$  ძალისა, ე.ი. ერთ შემთხვევაში  $P_{\Sigma}$  აღიდებს  $P_{\Sigma 0}$  მნიშვნელობას, მეორე შემთხვევაში კი ამცირებს მას  $I_{\Sigma}$  ძალის სიდიდით. ანუ თელის ერთი ბრუნის პერიოდში რელსზე თელიდან გადაცემული დატვირთვის ცვალებადობა შეადგენს  $2I_{\Sigma}$ , მაშასადამე დატვირთვა იცვლება  $\frac{P_{\Sigma 0} + I_{\Sigma}}{P_{\Sigma 0} - I_{\Sigma}}$  - ჯერ.

#### 1.2.4. მოძრავი შემადგენლობის თელებისა და ლიანდაგის უსწორობებით გამოწვეული ინერციული ძალები

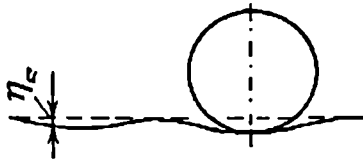
ლიანდაგზე ეკიპაჟის მოძრაობის დროს მის ძარას, ურიკებს, თელებსა და ლიანდაგს შორის წარმოიქმნება რთული ურთიერთქმედება, განსაკუთრებით მოძრავი შემადგენლობის სავალ ნაწილებზე და ლიანდაგში სხვადასხვა სახის უსწორობის არსებობის შემთხვევაში.

მოძრავი შემადგენლობის თელებისა და ლიანდაგის უსწორობები იწვევს ვერტიკალური ინერციული ძალების აღზნებას, რომლებიც ლიანდაგში დამატებით დატვირთვებს წარმოქმნიან.

ლიანდაგის უსწორობები ორ ძირითად ჯგუფად იყოფა: აშკარა-გეომეტრიული უსწორობები და ფარული-ძალური უსწორობები.

ლიანდაგის უსწორობა ვერტიკალურ სიბრტყეში განისაზღვრება  $\eta_{\Sigma}$  ორდინატით, რომელიც იზომება სარელსო ძაფის თავის ნორმალური მდგომარეობიდან (ნახ.1.4). ასეთი უსწორობის გრძივი ქანობი დაუტვირთავ მდგომარეობაში მყოფი რელსებისათვის არ უნდა აღემატებოდეს  $i \leq \frac{1}{1000}$ , როცა მოძრაობის სიჩქარე

$v \leq 120$  კმ/სთ და  $i \leq \frac{1}{1500}$ , როცა  $v > 120$  კმ/სთ. მაგრამ ხშირად ლიანდაგში გეხედება უსწორობა გაცილებით უფრო დიდი მნიშვნელობის გრძივი ქანობებით, გამოწვეული პირაპირებში რელსების გაძლიერებული ცვეთით, ჯვარედების მანევრიერებაში და სხვა. ზემოთ ჩამოთვლილი უსწორობები მიეკუთვნება აშკარა-გეომეტრიულ უსწორობებს.



ნახ. 1.4. ლიანდაგის უსწორობების ორდინატების სქემა

ფარული-ძალური უსწორობების გამოაშკარავება შეიძლება თვლების ნელა გადაგორებით ლიანდაგზე. ასეთებია ფოლხეები, ლიანდაგის კონსტრუქციის ელემენტების ურთიერთკონტაქტის არეში ლითონის არასაკმარისი სიმჭიდროვე, ლიანდაგის გრძივი არათანაბარდრეკალობა. თვლების გადაგორებისას ლიანდაგის სხვადასხვა კუთხეში, განსხვავებული სიდიდის ჯდენები წარმოიქმნება, რომელთა სიდიდე მით უფრო მეტია, რაც მეტია თვლებიდან ლიანდაგზე გადაცემული დატვირთვა. ამიტომაც ასეთ უსწორობებს ძალური უსწორობები ეწოდება.

მოძრავი შემადგენლობის თვლებზედაც არსებობს აშკარა-გეომეტრიული და ფარული უსწორობები.

აშკარა-გეომეტრიულ უსწორობებს მიეკუთნება: თვლებზე არსებული უწყვეტი უსწორობები (ოვალურობა, ღერძებზე ექსცენტრული დაგება, უწყვეტი ცვეთა გორგის მთელ პერიმეტრზე); ადგილობრივი უსწორობები, რომელთა სიგრძე 20 სმ-ს აღემატება, იზოლირებული უსწორობები, რომელთა სიგრძე 20 სმ-ზე ნაკლებია, ადგილობრივი ცვეთა და სხვა.

ამგეარად, როგორც ლიანდაგს, ისე მოძრავი შემადგენლობის თვლებს ახასიათებს აშკარა-გეომეტრიული და ფარული უსწორობები.

თუ ზემოთ ჩამოთვლილი უსწორობები იმდენად შორს არიან განლაგებული ერთიმეორისაგან, რომ ისინი ერთმანეთზე გაეფენას ვერ ახდენენ და იზოლირებულად განიხილება, მათ იზოლირებული უსწორობები ეწოდება. თუ ერთი უსწორობის ზეგაელენის შეწყვეტამდე იწყება მეზობელი უსწორობის ზეგაელენა – უსწორობის ასეთ ერთობლიობას მომიჯნავე უსწორობები ეწოდება. თუ უსწორობები ურთერთში გადადის ინტერვალის გარეშე, მაშინ ისინი უწყვეტ უსწორობებს წარმოადგენენ.

თვლებზე არსებული უსწორობებისა და ლიანდაგის უსწორობების ჯამური ორდინატა ტოლია

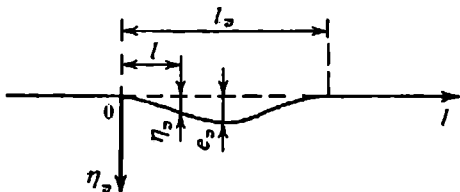
$$\eta_z = \eta_z + \eta_o \quad (122)$$

აბსოლუტურად ხისტი თელის  $m_m$  მასის ბრუნვის ცენტრი აბსოლუტურად ხისტი ლიანდაგის უსწორობაზე უწყვეტი მოძრაობის დროს, ხან აიწევა და ხან დაიწევა  $\eta_0$  სიღრმით (ნახ.1.5), რასაც თან სდევს ინერციის ძალის  $P_{\text{ც.ა}}$  წარმოშობა, რომელიც ტოლია

$$P_{\text{ც.ა}} = m_m \eta_0^2 \quad (1.23)$$

სათანადო გარდაქმნების შემდეგ

$$P_{\text{ც.ა}} = -m_m \frac{e_3}{2} \omega_3^2 \sin(\omega_3 t + \Theta) \quad (1.24)$$



ნახ.1.5. აბსოლუტურად ხისტი ლიანდაგის ჯდენის სქემა თელის  $m_m$  მასის ზემოქმედების შედეგად

სადაც  $e_3 - l_3$  სიგრძის უსწორობის ტალღის სიგრძეა, (ნახ.1.5).

ისოლირებული უსწორობის შემთხვევაში  $\omega_3 = 2\pi \frac{v}{l_3}$ , ხოლო უწყვეტი უსწორობის შემთხვევაში

$$\omega_3 = 2\pi \frac{v}{l_3} = 2\pi \frac{v}{2\pi r_m} = \frac{v}{r_m} = \omega_m \quad (1.25)$$

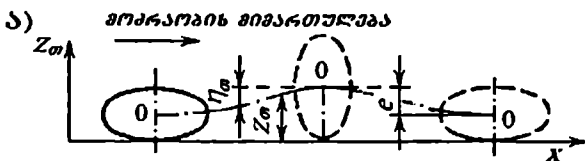
სადაც  $l_3 = 2\pi r_m$  - უსწორობის სიგრძე თვალზე არსებული უწყვეტი უსწორობის შემთხვევაში.

დისბალანსიანი, უსწორობის მქონე თელის გაელის დროს უსწორო ლიანდაგზე, რომლის სიხისტა  $\mathcal{K}_L$ , სარელსო ძაფი ჩაიღუნება თელის ქვეშ ცვალებად  $y_0$  სიღრმით. ამის გამო თელის რხევითი მოძრაობის დროს ირხევა რელსიც და რელსიქვეშა საფუძელის ნაწილიც. ხშირად ანგარიშებში ფაქტიურად გრძივად განაწილებულ რხევაში მყოფ მასას ცვლიან დაყვანილი მასით  $m_L$ , რომელიც შეეურსულა თელისა და რელსის კონტაქტის წერტილში და ზემოქმედების მიხედვით ფაქტიური მასის ექვივალენტურია.

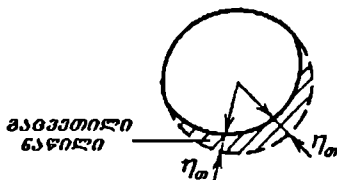
მიახლოებით ანგარიშებში, ზოგჯერ დაყვანილი მასა მიიღება 2-4 მეტრი სიგრძის რელსის მასის ტოლი თავისი სამაგრებით.

დაკვირვებებით დადგენილია, რომ სარელსო ძაფის გრძივი უსწორობა შეიძლება მივიღოთ კოსინუსოიდის მოხაზულობისა, ხოლო  $P_{\Sigma}$  ძალის მიმართ ლიანდაგის რეაქცია ტოლი იქნება

$$P = \mathcal{K}_{\Sigma} \gamma_0 \quad (126)$$



ბ)



ნახ.1.6. თელეზე არსებული უსწორობების შემოქმედების შედეგად, მისი ცენტრის მოძრაობის ტრაექტორია

თელეზე არსებული ქარხნული უსწორობების გამო (თელის ოვალურობა, ღერძზე ექსცენტრული დაგება და სხვა), სრულიად ახალი თელეების ბრუნვის ცენტრი ხან აიწევს, ხან დაიწევს (ნახ.1.6) ექსცენტრისიტეტის  $e$  სიდიდით. აღნიშნულის გარდა, თელეების გორვის ზედაპირის კონუსურობის გამო თელის სიმძიმის ცენტრი დამატებით ირხევა, ლიანდაგის სწორ უბნებზე წყვილთელის ზიგზაგური (მომოქანებიით) მოძრაობის შედეგად. გორვის ზედაპირის თანდათანობით ცვეთის გამო, იწარმოება თელეების უსწორობა, როგორც ფერსოს გრძივად, ისე განივ კვეთში. ეს თავის მხრივ კიდევ უფრო აძლიერებს თელის ბრუნვის ცენტრის მოძრაობის კლაკნილობას. თელეზე არსებული უსწორობებით გამოწვეული ინერციული ძაღის  $P_{\Sigma}$  განსაზღვრა, ლიანდაგის უსწორობის ინერციული ძაღის განსაზღვრის ანალოგიურია

$$P_{\Sigma} = -m_{\Sigma} \frac{e_{\Sigma}}{2} \omega_{\Sigma}^2 \sin(\omega_{\Sigma} t + \Theta) \quad (127)$$

1.2.5. ეკიპაჟის დარესორებული მასის (ძარის) რხევით გამოწვეული დინამიკური (ინერციული) ძალა

დარესორებული მასის რხევით გამოწვეული დინამიკური  $P_d$  ძალა წარმოიშობა ეკიპაჟის მოძრაობის დროს, ლიანდაგისა და თელბების უსწორობების გამო, რაც იწვევს რესორების კომპლექტისა და მასთან დაკავშირებული ძარის რხევას. ძარის რხევა დამოკიდებულია მისი ყველა თელის ერთობლივ შემოქმედებაზე, რის გამოც წარმოიქმნება რთული სახის გადატანითი და ბრუნვითი მოძრაობა სივრცით კოორდინატთა სისტემაში, სამივე ღერძის მიმართ. გადატანით მოძრაობას მიეკუთვნება ეკიპაჟის ხტუნაობა, განივი განსივდვა, ბიძგიითი მოძრაობა; ხოლო ბრუნვით მოძრაობას მიეკუთვნება მიმოქნევა და რწევით სეღა ძარის სიმძიმის ცენტრში გაშვადლი ვერტიკალური, გრძივი და განივი ღერძების მიმართ. ეს სიდიდეები მათი აღზათობითი ხასიათის გამო ცდებით დადგინდება. ჩატარებული ცდების მონაცემების მიხედვით რესორული კომპლექტის უდიდესი რხევითი ამპლიტუდა  $z_{max}$  (ე.ი. უდიდესი გადახრა სტატიკური მდგომარეობიდან) ძირითადად დამოკიდებულია მოძრაობის სინქარესზე, როცა მოძრაობის სინქარე  $v < 100$  კმ/სთ-ზე,  $z_{max}$  აღწევს 20 მმ-ს, უფრო მაღალი სინქარეებისათვის, როცა  $v \geq 100$  კმ/სთ -  $z_{max} \geq 25$  მმ.

ცხრილი 12

მოძრაიე შემადგენლობის ტიპი	$a_n$	$b_n$
ელექტრომაველები ВЛ 23, ВЛ 22 <sup>М</sup> , ВЛ 60D, ВЛ 8 თბომაველები ТЭП 60, ТЭП 10, ТЭ 10, 2ТЭ 10Л	10,9	$9,6 \times 10^{-4}$
ТЭ 30, ТЭ 7, ТЭ 3, ТЭМ 1 აირტურთბომაველი ГП1	7,9	$8,4 \times 10^{-4}$
რეაღერძიანი სატეირთო ვაგონები, ოთხღერძიანი 3200 მმ ხისტი ბაზიანი ურიკებით	9,5	$9,6 \times 10^{-4}$
ექვსღერძიანი სატეირთო ვაგონები УВ3 - 9 <sup>М</sup> ტიპის სამღერძიანი ურიკებით	6,0	$16 \times 10^{-4}$
ექვსღერძიანი სატეირთო ვაგონები KB3 - 1 <sup>М</sup> ტიპის სამღერძიანი ურიკებით	4,6	$23 \times 10^{-4}$
ოთხღერძიანი სატეირთო ვაგონები ЦННН-Х3 ურიკებით	10	$16 \times 10^{-4}$
ოთხღერძიანი სატეირთო ვაგონები MT-50 ურიკებით	3,5	$14 \times 10^{-4}$

შენიშვნა სხვა ელექტრომაველების, თბომაველების და სამანევრო თბომაველებისათვის  $z_{max} = 15$  მმ.

ელექტრომაველების, თბომაველებისა და სატეირთო ვაგონებისათვის  $z_{max}$  გამოიწველება ფორმულით



$$z_{\text{max}} = a_n + b_n v^2 \quad (1.28)$$

სადაც  $a_n$  და  $b_n$  - ცდებით დადგენილი პარამეტრებია (ცხრილი 1.2).

რესორების რხევით გამოწვეული დინამიკური ძალა კი გამოითვლება ფორმულით

$$P_n = \mathcal{K} z_{\text{max}} \quad (1.29)$$

სადაც  $\mathcal{K}$  - რესორების სიხისტეა, დამოკიდებული მოძრავი შემადგენლობის ტიპზე, კგ/მმ.

### 1.2.6. საკუთარი რხევების შედეგად წარმოშობილი დინამიკური (ინერციული) ძალები

სისტემის საკუთარი რხევა ეწოდება ისეთ რხევას, როდესაც განსახილველ პერიოდში სისტემაზე უკვე აღარ მოქმედებენ შემრყევი (გამალიზიანებელი) ფაქტორები და რხევა გამოწვეულია საწყისი, შემდგომი გამჭრალი ფაქტორების ზეგავლენით (მაგალითად, დარტყმა ან უეცრად მოდებული დატვირთვა და სხვა). აუცილებელი წინააღობების ზემოქმედებით რხევა თანდათან მიიღწევა. ასეთ რხევებს საკუთარი მიღწევადი რხევები ეწოდება. თუ წინააღობები არ არსებობენ (იდეალური შემთხვევა), მაშინ რხევას საკუთარი თავისუფალი რხევა ეწოდება, რომელიც შეიძლება უსასრულოდ გაგრძელდეს (თეორიულად). რკინიგზის ლიანდაგიც შეიძლება განიხილულ იქნეს, როგორც ზედა ნაშენის ელემენტებისაგან შემდგარი გარკვეული მატერიალური სისტემა. მოძრავი შემადგენლობის თვლების გადაადგილების შედეგად ლიანდაგი განიცდის საკუთარ მიღწევად რხევას. ასეთივე რხევა ახასიათებს დაურესორებელი მასის მბრუნავ ნაწილს (თელის მასას). ამიტომ ლიანდაგის ზედა ნაშენის გაანგარიშებებში, როგორც ლიანდაგის, ისე დაურესორებელი მასის მბრუნავი ნაწილის საკუთარ მიღწევად რხევას განიხილავენ ერთობლივად. ასეთი რხევის შედეგად წარმოქმნილი ვერტიკალური დინამიკური ძალა ზუსტი ანგარიშების დროს გაიანგარიშება ფორმულით:

$$P_z = \mathcal{K}_z E_z e^{-\delta} \sin(\Psi_z t + \Theta_z) \quad (1.30)$$

სადაც  $\mathcal{K}_z$  - ლიანდაგის სიხისტეა;

$E_z$  და  $\Theta_z$  - საკუთარი წინააღობების გამათვალისწინებელი პარამეტრები;

$t$  - რხევათა შესატყვისი (მიმდინარე) დრო;

$\Psi_z$  - საკუთარ მიღწევად რხევათა ციკლური სიხშირე.

ძალის სიდიდეზე არსებით გაულებნას ახდენს აგრეთვე ლიანდაგის არადრეკად წინააღმდეგობათა გათვალისწინება, რაც ჯერ კიდევ ჯეროვნად არ არის შესწავლილი.

ამრიგად, ვერტიკალური ძალების ჯამი ზოგად შემთხვევაში შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$P = P_{\text{ს}} + P_{\text{ა}} + P_{\text{მ}} + P_{\text{წ}} + P_{\text{წ}} \quad (131)$$

ყველა ეს ძალები (გარდა  $P_{\text{ს}}$ ) ცვალებადია და მაქსიმალურ მნიშვნელობებს აღწევენ სხვადასხვა მომენტში. ამასთან მათი ერთდროული ზემოქმედება ნებისმიერ საანგარიშო კვეთში, როგორც აბსოლუტური სიდიდით, ასევე ურთიერთშეხამებით ალბათობითი ხასიათისაა. ე.ი. საქმე გვაქვს მოვლენათა და შესაძლებლობათა ალბათობასთან. ამიტომ ყველა ამ ძალების მაქსიმალურ მნიშვნელობათა უბრალო შეჯამება საანგარიშო ტოლქმედი ძალის მისაღებად სწორი არ იქნება, რადგანაც ყოველი მათგანი იცვლება თავისთვის დამახასიათებელი კანონით და აღებულ მომენტში, ერთ საანგარიშო კვეთში ყველა მაქსიმალური მნიშვნელობის ცვალებად ძალთა თანხედრა პრაქტიკულად შეუძლებელია.

ამიტომ ყველა ძალთა ტოლქმედის ზემოქმედების მაქსიმალური მნიშვნელობის დასადგენად, ნებისმიერ საანგარიშო კვეთში, საჭიროა ალბათობის თეორიისა და მათემატიკური სტატისტიკის კანონზომიერებათა გამოყენება.

## თავი 2. ლიანდაგზე ბუნებრივი ფაქტორების და კონსტრუქციის საკუთარი ზემოქმედება

### 2.1. ლიანდაგზე ბუნებრივი, კლიმატური ფაქტორების ზემოქმედება

ლიანდაგისა და მოძრავი შემადგენლობის ძალოვანი ურთიერთქმედება ხორციელდება რთულ ბუნებრივ სიტუაციებში. სოგიერთი ბუნებრივი ფაქტორი ლიანდაგის მუშაობის მთელ პერიოდში, განსასაღერულ ადგილზე, დაახლოებით უცვლელია (მაგალითად გეოლოგიური სიტუაცია), ხოლო სხვა ფაქტორები დროის გარკვეულ მონაკვეთში მკაცრად ცვალებადია (ატმოსფერული მოვლენები, პაერნაკადები, ნალექების რაოდენობა, ტემპერატურულ-ტენიანი ფაქტორები და სხვა).

ამდენად ბუნებრივი ფაქტორების სიტუაციას შეუძლია მნიშვნელოვნად შეცვალოს ლიანდაგისა და მოძრავი შემადგენლობის ურთიერთქმედების ხასიათი და მისი ძალური ზემოქმედების მნიშვნელობა.

რელსებისა და თელების საკონტაქტო ფართობების მდგომარეობა (სიმშრალე, სინესტე, მინაყინების არსებობა, დამტვერიანობა და სხვა) მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს თელისა და ლიანდაგის ძალურ ურთიერთქმედებაზე, ცულის მხები კონტაქტური ძაბვების სიდიდეებს, თელისა და რელსის ცვეთის ინტენსივობის ხარისხს.

ბალასტის შრისა და მიწის ვაკისის გრადიენტების ტენიანობის ხარისხი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მის შიდაუნარიანობაზე. ასევე ხის შპალეების მერქნის მალალი ტენიანობა მნიშვნელოვნად ამცირებს მის წინაღობას თელვაზე და იწვევს ლიანდაგის პროცესის დაჩქარებას.

დაბალი ტემპერატურები ხელს უწყობს რელსების სიმყიფის ხარისხის ზრდას. მიწის ვაკისის, ბალასტის შრის და შპალეების გაყინვა მნიშვნელოვნად ზრდის ლიანდაგის სიხისტეს (2-3-ჯერ), რის შედეგად იზრდება თელის რელსზე ძალური ზემოქმედების სიდიდე. მიწის ვაკისის ტენიანი გრუნტები გაყინვისას არათანაბრად ამოიბურცება, რაც იწვევს ლიანდაგის გამრუდებას ვერტიკალურ სიბრტევეში და სარელსო ძაფების გადაფურცებას. ეს პროცესები იწვევს ძაბვების ზრდას ლიანდაგის ზედა ნაშენის ელემენტებში და მიწის ვაკისში.

თუ დავეუშევთ, რომ გრუნტების გაყინვის შედეგად ნაბურცის კუთხის კოსინუსოიდის ფორმა აქვს (ნახ.21), მაშინ ამ უსწორობის ორდინატის  $\eta$  და სიმრუდის

$$\frac{1}{\rho} = \eta'' \text{ სიდიდე ტოლი იქნება}$$

$$\left. \begin{aligned} \eta &= \frac{e}{2} \left( 1 - \cos 2\pi \frac{x}{l} \right) \\ \frac{1}{\rho} &\approx \frac{d^2 \eta}{dx^2} = 2\pi^2 \frac{e}{l^2} \cos 2\pi \frac{x}{l} \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

$$\rho_{\min} = \frac{l^2}{2\pi^2} \approx \frac{l^2}{20e} \quad (2.2)$$

$e$ ,  $l$  და  $\rho_{\min}$  მიღებული მნიშვნელობებისათვის მღუნაეი  $M$  მომენტისა და რელსების ღუნვის ნორმალური ძაბვა  $\sigma$  ტოლი იქნება

$$M = \frac{EI}{W} \quad (2.3)$$

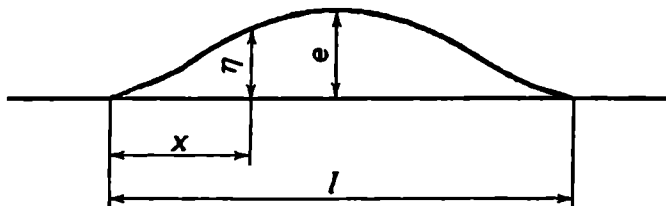
$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{Ey}{\rho} \quad (2.4)$$

სადაც  $W$  - რელსის წინაღობის მომენტია;

$I$  - რელსის ინერციის მომენტი;

$y$  - მანძილი რელსის ნეიტრალური ღერძიდან ძაბვის საძიებელ წერტილამდე;

$E$  - სარელსო ფოლადის დრეკადობის მოდული,  $E = 2,1 \times 10^6$  კგ/სმ<sup>2</sup>.



ნახ.2.1. ლიანდაგის ნაბურცის კუზის კოსინუსოიდური ფორმა

რელსების, განსაკუთრებით გრძელი რელსების ტემპერატურის ცვალებადობა მათ ბოლოებში, სადაც ტემპერატურული ძალები ძლევუნ წინააღობის ძალებს, იწვეუნ რელსების ბოლოების გადაადგილებას. ამ გადაადგილებამ შეიძლება მნიშვნელოვან სიდიდეს მიაღწიოს, განსაკუთრებით სარელსო გადაბმებში.

## 2.2. ლიანდაგის კონსტრუქციის საკუთარი ზემოქმედება

კონსტრუქციის დამსაღებობის, დაგების, მოვლა-შენახვის და შეკეთებების შედეგად მასში აღძრულ ძაბვებს კონსტრუქციის საკუთარი ზემოქმედება ეწოდება.

რელსები გაგლინვის შემდეგ არათანაბრად ცივდება განივ კვეთში. რელსის თაფი, რომელშიაც ფოლადის მასა მეტია უფრო ნელა ცივდება, ვიდრე რელსის ყელი და ფუძე, რაც იწვევს რელსის გამრუდებას. რელსის გასწორებისათვის მიმართავენ მის ცივად გაგლინვას. რელსის ცივად გაგლინვა იწვევს მასში მნიშვნელოვანი სიდიდის საკუთარი ძაბვების წარმოშობას.

საკუთარი ძაბვების რეგულირების დაუფლებების შემთხვევაში შეიძლება მიღწეულ იქნას მისი ისეთი მნიშვნელობები, რომლებიც მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებდა კონსტრუქციის მუშაობის პირობებს.

კონსტრუქციის მუშაობის პირობების გააუმჯობესების მიზნით მასში დიდი სიდიდის საკუთარი ძაბვების შექმნის საუკეთესო მაგალითია, წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის ნაკეთობები.

განვიხილოთ საკუთარი ძაბვების ზემოქმედება ლიანდაგის კონსტრუქციაზე, აღძრული მრუდებში რელსების დაგების შედეგად. ამ შემთხვევაში მღუნავი მომენტის სიდიდე ტოლია

$$M = \frac{EI}{\rho} \quad (2.5)$$

როგორც ცნობილია გადასასვლელი მრუდის განტოლებას შემდეგი სახე აქვს

$$\rho = \frac{C}{I} \quad (2.6)$$

სადაც  $C$  - გადასასვლელი მრუდის პარამეტრია,  $C = RI_0$ ;

$I$  - გადასასვლელი მრუდის მიმდინარე სიგრძე;

$I_0$  - გადასასვლელი მრუდის სრული სიგრძე;

$R$  - წრიული მრუდის რადიუსი.

მაშინ

$$M = \frac{EI}{C} \quad (2.7)$$

საკუთარი ძაბვის სიდიდე რელსებში, მისი მრუდებში ჩაგების შედეგად გაღუნვის გამო ტოლი იქნება

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{EI}{CW} \quad (2.8)$$

ამგვარად, მხოლოდ მრუდებში ჩაგების შედეგად რელსებში აღძრული მღუნავი  $M$  მომენტი და მისი შესაბამისი ძაბვა ტოლი იქნება

$$M = \frac{EI}{R} \frac{1}{l_0} \quad (2.9)$$

$$\sigma = \frac{E}{R} \gamma = \frac{1}{l_0} \quad (2.10)$$

ლიანდაგის უსწორობები გეგმაში, ასევე რელსებში აღძრავენ დიდი სიდიდის საკუთარ ძაბვებს. დაუტყეირთავე ლიანდაგის ელემენტებში დიდი სიდიდის საკუთარი ძაბვები, მნიშვნელოვნად ცვლის კონსტრუქციის მუშაობის პირობებს მისი დატვირთვის ქვეშ მუშაობისას.

საკუთარი ძაბვების სასურველი მიმართულებით რეგულირება უფრო მსუბუქი, გამძლე და სამეფო კონსტრუქციის შექმნის საშუალებას იძლევა, კერძოდ:

- წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის კონსტრუქციები;  
ლითონის კონსტრუქციები დამუშავებული თერმული და მექანიკური მეთოდებით, რომლებიც მასში ქმნიან ძაბვებს მუშაობის პერიოდში წარმოქმნილი ძაბვების შებრუნებულ ნიშნით.

### თავი 3. ვერტიკალური ძალების ზემოქმედება ლიანდაგზე

#### 3.1. ძირითადი დაშვებები და წანამსღერები ლიანდაგის სიმტკიცეზე გაანგარიშების დროს

რკინოზის ლიანდაგზე მოქმედი ძალების სიდიდე და მათი მოდების სქემა ალბათობითი ხასიათისაა და ზუსტ განსასაღვრას არ ექვემდებარება. ამიტომ ლიანდაგის სიმტკიცეზე გაანგარიშების საფუძვლებში ჩადებულია შემდეგი ძირითადი დაშვებები და წინამსღერები:

1. რელსი განიხილება, როგორც უსასრულო სიგრძის უჭრი კოჭი. პირაპირების გაელენის გამორიცხვის მიზნით საანგარიშო კვეთი აღებულ უნდა იქნას პირაპირებიდან არა ნაკლებ 3,5 მეტრის დაშორებით. პირაპირის კონსტრუქცია კი ცალკე გაიანგარიშება;
2. რელსი, როგორც უსასრულო სიგრძის უჭრი კოჭი განიხილება მდებარე თანაბარდრეკად საფუძველზე. სინამდვილეში იგი დეეს ურთიერთ ახლო განლაგებულ წერტილოვან საფუძველზე – შალეებზე. ამ დაშვების საფუძველს იძლევა რელსის დიდი სიხისტე და თანაბარდრეკად საფუძველზე – ბალასტზე განლაგებული შალეები, რომლებიც ერთმანეთთან იმდენად ახლოს მდებარეობს, რომ ვერტიკალური დატვირთვების დროს რელსების ჩაღუნვის სიდიდე შალეებს შორის და შალეების ქვეშ პრაქტიკულად თანაბარია. ანგარიშების შედეგის ცდომილება ასეთი დაშვებების დროს 5%-ს არ აღემატება;
3. დაშვებულია, რომ ვერტიკალური ძალები მოდებულია რელსის სიმეტრიის ვერტიკალური ღერძის გასწვრივ და ორთავე სარელსო ძაფი თანაბრად არის დატვირთული. ამ შემთხვევაში რელსის დახრილობა  $1/20$  მიხედვლობაში არ მიიღება.

პორიზონტალური ძალების ზემოქმედების, ვერტიკალური ძალების ექსცენტრული მოდების და რელსების  $1/20$  დახრილობის გათვალისწინება ხდება  $f$  კოეფიციენტის საშუალებით, რომელიც ყოველთვის მეტია ერთზე, ე.ი.  $f > 1$ .

$f$  კოეფიციენტი მოძრავი შემადგენლობის საპასპორტო სიდიდეა და დამოკიდებულია მოძრავი შემადგენლობის ტიპზე, ლიანდაგის გეგმაზე და რელსების ტიპზე. იგი ცდების შედეგად არის დადგენილი.

მრუდში პორიზონტალური ძალების ზემოქმედება განიხილება გარე რელსის მიმართ;

4. დაშვებულია, რომ მოძრაობის დროს თვალი არ წყდება რელსს, ე.ი. მიღებულია, რომ თელის დარტყმით ზემოქმედებას ადგილი არ აქვს. თელის დარტყმითი ზემოქმედება ცალკე განიხილება;
5. დაშვებულია სარელსო საფუძვლის ორმხრივი რეაქცია (ქვემოდან ზემოთ და ზემოდან ქვემოთ), მაშინ, როდესაც სარელსო საფუძვლის რეაქციის მიმართულება სინამდვილეში ცალმხრივია (ქვემოდან ზემოთ);
6. დატვირთვების სისტემის ზემოქმედება გაანგარიშებებში დაფუძნებულია სარელსო საფუძვლის ერთეულ დაწოლასა და ამ დაწოლით გამოწვეულ დრეკად ჩაღუნვას შორის ხაზობრივი დამოკიდებულების კიპოთეზაზე;
7. ლიანდაგის ელემენტებში ძაბვების განსაზღვრისას სტატიკური ფორმულები ძალაში რჩება დინამიკის დროსაც. ე.ი. არადრეკადი წინაღობების, რხევებისა და დეფორმაციათა გაერცელების სინქარეები მხედველობაში არ მიიღება;
8. გაანგარიშებებში დატვირთვების სისტემის ზემოქმედებისას მიღებულია ძალთა დამოკიდებულების კანონი. ე.ი. დეფორმაციებისა და ძაბვების სიდიდეები ნებისმიერ კვეთში, გამოწვეული თითოეული ძალისაგან შეიკრიბება მათი აბსოლუტური სიდიდისა და ნიშნის მიხედვით;
9. გაანგარიშების დროს დაშვებულია, რომ მოძრავი შემადგენლობის საველი ნაწილები და ლიანდაგის კონსტრუქცია მთლიანობაში გამართულ მდგომარეობაშია და ზუსტად პასუხობს ტექნიკური ექსპლუატაციის წესების მოთხოვნებს;
10. გაანგარიშებებში ლიანდაგის ზედა ნაშენის წონა მხედველობაში არ მიიღება, რადგანაც მისი გაელენა ძაბვების სიდიდეზე მეტად უმნიშვნელოა.
11. ლიანდაგის ელემენტებში ევრტიკალური დინამიკური ძალებით გამოწვეული ძაბვების განსაზღვრისათვის მიღებულია, რომ საანგარიშო თელიდან საანგარიშო კვეთს გადაეცემა მაქსიმალური რეალური დატვირთვა  $\Phi = 0,994$  ალბათობით, ხოლო მეზობელი თელებიდან საშუალო სიდიდის დატვირთვები.  
ასეთი დაშვება პრაქტიკულად მცირე ცდომილებას იწვევს, რადგანაც მეზობელი თელების გაელენა საანგარიშო კვეთში ძაბვებისა და დრეკადი ჩაღუნვის სიდიდეებზე 20%-ს არ აღემატება. გარდა ამისა მეზობელი თელებისაგან გადაცემული დატვირთვები იწვევს კვეთის არა მარტო გადაამტკირთვას, არამედ ზოგჯერ განტვირთვას, რაც კიდევ უფრო ამცირებს საანგარიშო კვეთზე მეზობელი თელების გაელენის ხარისხს;
12. გაანგარიშებებით დადგინდება ლიანდაგის ელემენტებში დასაშვები ძაბვები და არა მათი სამსახურის ვადა რესურსების ამოწურვასზე.



### 3.2. სარელსო საფუძვლის დრეკადობის მოდული

ნებისმიერი კონსტრუქციის დრეკადობის ხარისხს განსაზღვრავს ორიდან ერთ-ერთი მახასიათებელი: *სიხისტის კოეფიციენტი*, რომელიც წარმოადგენს დატვირთვის ისეთ სიდიდეს, რომელიც იწვევს ერთეული სიდიდის დრეკად ჩაღუნვას, ან *დრეკადობის კოეფიციენტი*, რომელიც წარმოადგენს ჩაღუნვის სიდიდეს გამოწვეულს ერთეული სიდიდის დატვირთვისაგან. როგორც ცნობილია ლიანდაგის სიმტკიცეზე გაანგარიშებებში დაშვებულია ჩაღუნვისა და დატვირთვის სიდიდეებს შორის ხასობრივი დამოკიდებულება. ამ დამოკიდებულების საფუძველზე შეიძლება დაეწეროს:

$$P = Cy \quad (3.1)$$

სადაც  $P$  – შპალის საწოლის სხმ მოსული დატვირთვაა;

$y$  – შპალის დრეკადი ჩაღუნვის სიდიდე;

$C$  – შპალის საფუძვლის დრეკადობის მახასიათებელი, ე.წ. საფუძვლის დამკობლობის ანუ შპალის საწოლის კოეფიციენტი. დაწოლის ძალა, რომელიც იწვევს შპალის დრეკად ჩაღუნვას ერთეული სიდიდით, კგ/სმ<sup>2</sup> და ტოლია

$$C = \frac{P}{y} \quad (3.2)$$

როცა  $y = 1$ , მაშინ  $C = P$ .

შპალის საწოლის კოეფიციენტი  $C$  წარმოადგენს ლიანდაგის საფუძვლის დრეკადობის ხარისხის მახასიათებელს, დამოკიდებულს ბალასტის სახეობაზე, მისი გატუჟიანების ხარისხზე, დატკეპნილობაზე, მიწის ეაკისის მდგომარეობაზე, წლის დროზე.  $C$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა გაყინული ბალასტისასთვის გაცილებით მეტია, ვიდრე გაუყინაისათვის.

თუ დაუშვებთ, რომ შპალის მასალა აბსოლუტურად ხისტია და შპალზე თითოეული რელსიდან გადაეცემა  $P_1 = P_2 = P$  ძალა, მაშინ შპალის დრეკადი საშუალო ჩაღუნვა ტოლი იქნება  $y_{\text{სა}}$  და შეგვიძლია დაეწეროს (ნახ. 3.1):

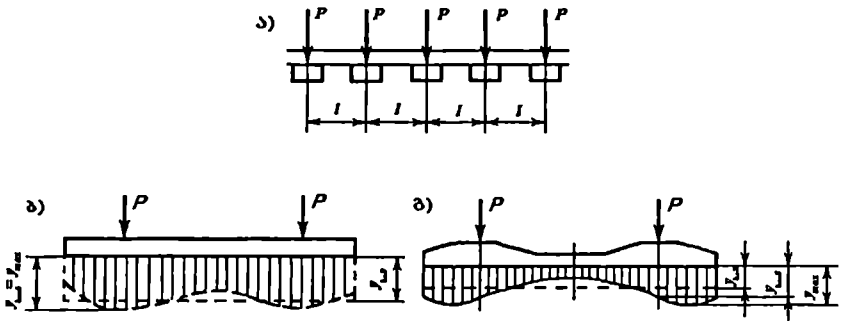
$$2P = Cby_{\text{სა}} \quad (3.3)$$

სადაც  $b$  – შპალის სიგრძეა;

$a$  – შპალის სიგანე.

შპალის გაღუნვის გამო, ფაქტიურად მის ქვეშ დრეკად ჩაღუნვებს სხვადასხვა მნიშვნელობები ექნება. ხის შპალის შემთხვევაში დრეკადი ჩაღუნვა მაქსიმალურ სიდიდეს  $y_{\text{სა1}} = y_{\text{სა2}}$  რელსების ქვეშ აღწევს (ნახ. 3.1-ბ). შპალის ბოლოებში და მის

შუაში იგი მცირდება. რკინაბეტონის შპალებში დრეკადი ჩაღუნვის ეპიურას განსხვავებული სახე აქვს. ამ შემთხვევაში დრეკადი ჩაღუნვის საანგარიშო სიდიდე აიღება რელსების ქვეშ, ხოლო მაქსიმალურ მნიშვნელობას იგი შპალების ბოლოებში აღწევს (ნახ.3.1-გ).



ნახ.3.1 შპალებზე ძალების გადაცემის სქემა (ა); შპალების დრეკადი ჩაღუნვა დატვირთვის ქვეშ: (ბ) ხის შპალების და (გ) რკინაბეტონის შპალების

შპალის საშუალო დრეკადი ჩაღუნვა ტოლია

$$y_{\text{საშ}} = \alpha y_{\text{საბოლოო}} \quad (3.4)$$

მაშასადამე

$$2P = Caaby_{\text{საბოლოო}} \quad (3.5)$$

$$P = \frac{Caab}{2} y_{\text{საბოლოო}} \quad (3.6)$$

თუ დაუშვებთ,  $P$  ძალა იწვევს შპალის დრეკად ჩაღუნვას ერთეული სიდიდით, ე.ი.  $y_{\text{საბოლოო}} = 1$ , მივიღებთ

$$P = \frac{Caab}{2} \quad (3.7)$$

სადაც  $\alpha$  – შპალის დრეკადი გაღუნვის კოეფიციენტი,  $\alpha = 0,7+0,9$  ხის შპალებსათვის;  $\alpha = 0,9$  რკინაბეტონის შპალებისათვის.

რელსის, როგორც მთლიანად დრეკად საფუძველზე მდებარე უჭრი კოჭის გაანგარიშებისათვის,  $P$  ძალა მოდებულია თანაბრად განაწილებული ტვირთის სახით, შპალების ღერძებს შორის  $l$  მანძილზე, მაშინ

$$U = \frac{P}{l} \quad (3.8)$$

აქედან

$$P = UI \quad (3.9)$$

ხოლო

$$U = \frac{Caab}{2l} \quad (3.10)$$

$U$  – სარელსო საფუძელის დრეკადობის მოდულს წარმოადგენს. იგი რიცხობრივად რელსის ერთეულ სიგრძეზე მოდებული თანაბრად განაწილებული დატვირთვის ტოლია და რომელიც იწვევს ერთეული სიდიდის დრეკად ჩაღუნვას.

თანაბრდრეკადი საფუძელის რეაქციის ძალა  $q_r$  თანაბრად განაწილებული ტვირთით დატვირთული რელსის საფუძველზე დაწოლის ინტენსივობის ტოლია, რომელიც იწვევს  $y$  სიდიდის დრეკად ჩაღუნვას.

$$q_r = Uy \quad (3.11)$$

ერთეული სიდიდით ჩაღუნვის შემთხვევაში, როცა  $y = 1$

$$q_r = U \quad (3.12)$$

ხის შპალებისათვის ზაფხულის პერიოდში სარელსო საფუძელის დრეკადობის მოდული იცვლება  $U = 200 + 300$  კგ/სმ<sup>2</sup> ფარგლებში, ხოლო ზამთრის პერიოდში  $U = 450 + 500$  კგ/სმ<sup>2</sup> ფარგლებში.

რკინაბეტონის შპალების სარელსო საფუძელის დრეკადობის მოდულის სიდიდე გაცილებით მეტია, ვიდრე ხის შპალებისა და აღწევს  $U = 1700 + 2000$  კგ/სმ<sup>2</sup>.

### 3.3 ლიანდაგზე ძალთა ზემოქმედების აღბათობითი ხასიათი

ტექნიკაში და საინჟინრო საქმეში ხშირია, რომ რაიმე ცვალებად, სიდიდეთა ცალკეულ დაკვირვებათა მნიშვნელობების მწკრივის მიხედვით განისაზღვროს მისი საშუალო სიდიდე. ასეთებს მიეკუთვნება, მაგალითად, სვლის დრო, რომელიმე სამანევრო ოპერაციის ხანგრძლივობა, ძაბვა რელსის რომელიმე კვეთში ერთი და იმავე დატვირთვისა და ერთნაირი სიჩქარის დროს, რომელიმე მანქანის გამომუშავება და სხვა.

ეთქვამთ გვაქვს გამოსაკვლევი სიდიდის ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა შემდეგი რიგი:

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_i, \dots, X_n$$

ამ ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა საშუალო არითმეტიკული სიდიდე იქნება

$$\overline{X_{\dots}} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_1^n X_i}{n} \quad (3.13)$$

რაც მეთია დაკვირვებათა რიცხვი  $n$  მით უფრო მეტი სიზუსტით ახასიათებს საშუალო არითმეტიკული სიდიდე გამოსაკელეე ფაქტორს.

ამავე დროს საშუალო არითმეტიკული სიდიდის მნიშვნელობას ახასიათებს მეტად მნიშვნელოვანი ნაკლი, რომ იგი სრულად ვერ ახასიათებს ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა საშუალო სიდიდიდან გადახრის ხარისხს, ე.ი. ვერ ახასიათებს ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა გამომხატველ წერტილთა განთესვის ხარისხს.

ამის საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ ასეთი მაგალითი: თუ ერთ შემთხვევაში დაკვირვებათა შედეგების ცალკეული მნიშვნელობები (ამ შემთხვევაში რელსში ძაბვის სიდიდეები) ტოლია  $X_1=900$  კვ/სმ<sup>2</sup> და  $X_2=700$  კვ/სმ<sup>2</sup>, მაშინ მათი საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა ტოლი იქნება  $\overline{X} = 800$  კვ/სმ<sup>2</sup>.

მეორე შემთხვევაში დაკვირვებათა ცალკეული მნიშვნელობები შეიძლება იყოს  $X_1=1200$  კვ/სმ<sup>2</sup> და  $X_2=400$  კვ/სმ<sup>2</sup>, ხოლო მათი საშუალო არითმეტიკული სიდიდე ტოლია  $\overline{X} = 800$  კვ/სმ<sup>2</sup>.

როგორც მაგალითებიდან ჩანს, საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა ორივე შემთხვევაში ერთნაირი სიდიდისაა, მაგრამ იგი სრულად ვერ ასახავს ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა აბსოლუტურ სიდიდეებს, როცა მაქსიმუმი ერთ შემთხვევაში ტოლია  $X_{\max}=1200$  კვ/სმ<sup>2</sup>, მეორე შემთხვევაში  $X_{\max}=900$  კვ/სმ<sup>2</sup>, ასევე ამ მნიშვნელობათა მინიმუმი ერთ შემთხვევაში  $X_{\min}=700$  კვ/სმ<sup>2</sup>, ხოლო მეორე შემთხვევაში  $X_{\min}=400$  კვ/სმ<sup>2</sup> ტოლია.

ბუნებრივია, ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა საშუალო არითმეტიკულის ნაცვლად ვიპოვოთ ისეთი მანიერენტული, რომელიც შესაძლებლობას მოგვცემს გათვალისწინებულ იქნეს ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა აბსოლუტური მნიშვნელობების სიდიდეც, ანუ მათი განთესვა.

ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა განთესვის ხარისხი შეიძლება გათვალისწინებულ იქნას, თუ ავიღებთ თითოეულ ამ მნიშვნელობათა და საშუალო არითმეტიკული სიდიდის სხვაობას, შევკრებთ მათ და გავყოფთ დაკვირვებათა რიცხვზე, ე.ი.

$$\frac{\sum(\bar{X} - X_i)}{n} \quad (3.14)$$

მაგრამ ეს სიდიდე თვით საშუალო არითმეტიკული სიდიდის ბუნებიდან გამო-  
მდინარე ნულის ტოლია. განხილული მაგალითის მიხედვით

$$\frac{(800 - 900) + (800 - 700)}{2} = \frac{-100 + 100}{2} = 0$$

ამიტომ ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა განთესვის ხარისხის გათვალისწი-  
ნების მიზნით გამოთვლიან ამ მნიშვნელობათა საშუალო არითმეტიკულ სიდიდეს,  
შემდეგ გამოთვლიან საშუალო არითმეტიკულისა და თითოეულ ცალკე მნიშვნელ-  
ობათა სხვაობას, აიყვანენ კვადრატში და ამოფესვთ. ამით მიიღება საშუალო  
კვადრატული გადახრის სიდიდე

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\bar{X} - X_i)^2}{n}} \quad (3.15)$$

ფესქვეშა მნიშვნელობა წარმოადგენს ცალკეულ მნიშვნელობათა განთესვის  
ხარისხს. მას დისპერსია ეწოდება. ე.ი. დისპერსია ტოლია  $S^2$ .

ლიანდაგის ნებისმიერ საანგარიშო კვეთში მოქმედ მუღმიე და ცვალებად  
ძალთა ერთობლივი მოქმედების აღბათობითი ხასიათის გამო, ამ ძალების ტოლ-  
ქმედი უნდა განისაზღვროს აღბათობის ისეთი ხარისხით, რომელიც უზრუნველ-  
ყოფს კონსტრუქციის გამართულ მუშაობას ნებისმიერ საექსპლუატაციო პირობებ-  
ში.

საერთოდ არსებობს ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა განაწილების სხვადა-  
სხვა კანონები, რომელთა მიხედვით აიგება განაწილების აღბათობის მრუდები. სა-  
ინჟინრო პრაქტიკაში ფართოდ არის გავრცელებული ცალკეულ კერძო მნიშვნე-  
ლობათა ნორმალური განაწილების, ანუ გაუსის მრუდები (ნახ. 3.2).

მათემატიკური სტატისტიკის კანონების მიხედვით ცალკეულ კერძო მნიშვნე-  
ლობათა ნორმალური განაწილების აღბათობის შემთხვევაში ცვალებად ძალთა  
ტოლქმედი, რომელიც გარკვეული აღბათობით უზრუნველყოფს კონსტრუქციის  
გამართულ მუშაობას ტოლია:

$$P_{\text{---}} = \bar{P} + \lambda_p S \quad (3.16)$$

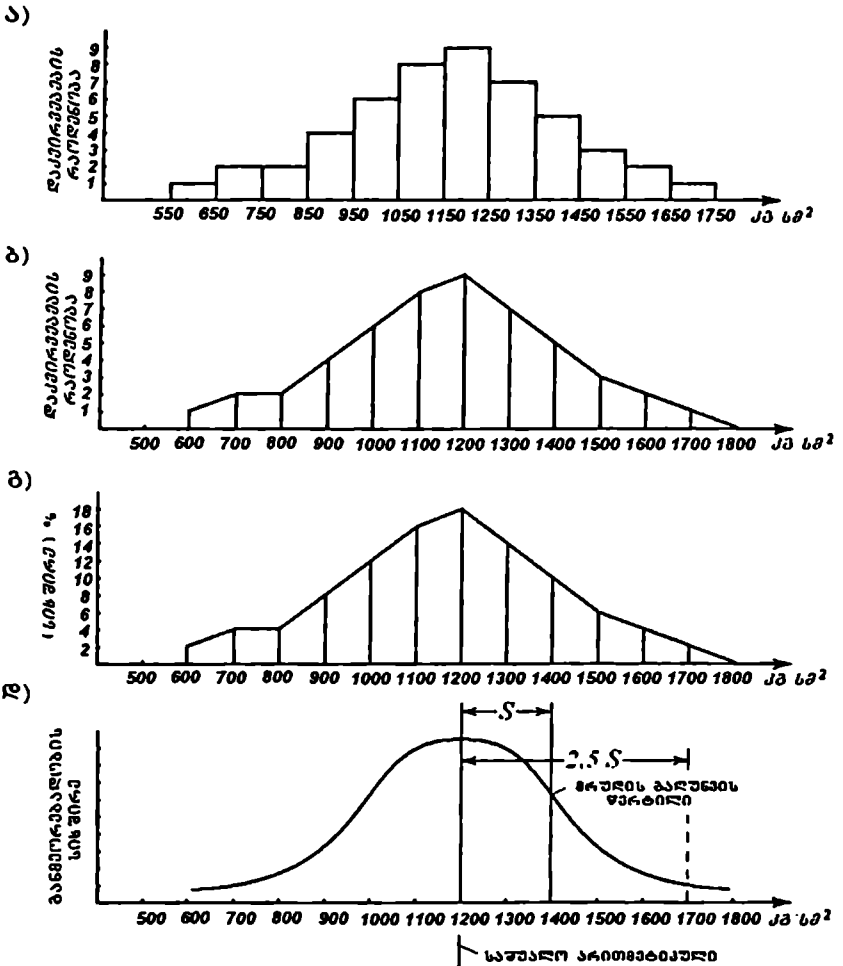
სადაც  $\bar{P}$  - ცვალებად ძალთა საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობაა;

$\lambda_p$  - მანორმირებული მამრაველი (კვანტილი), რომელიც უზრუნველყოფს

$P_{\text{---}}$  აღის ისეთ მნიშვნელობას, რომელიც შეესაბამება აღბათობის  
ჩვენთვის მისაღებ  $\Phi$  დონეს, ამოიღება ცხრილებიდან, (ცხრ.3.1).  $\lambda_p = 2.5$

ეს ისეთი მნიშვნელობაა, რომელიც უზრუნველყოფს ალბათობის სიზუსტეს 99,4%, ე.ი. შეიძლება დაეწეროს

$$P_{max} = \bar{P} + 2,5S \quad (3.17)$$



ნახ. 3.2. კერძო მნიშვნელობათა განთესვის გრაფიკები:

ა - განაწილების ჰისტოგრამა; ბ - განაწილების შრეულკუთხედი; გ - სიბშირეების პოლიგონი; დ - ნორმალური განაწილების (გაუსის) მრედი.

ნახ.3.2-ის მიხედვით  $\bar{P}=1200\text{კგ/სმ}^2$ ,  $S=200\text{კგ/სმ}^2$ , მაშასადამე

$$P_{\text{სა}} = 1200 + 2,5 \times 200 = 1700\text{კგ/სმ}^2$$

ცხრილი 3.1.

$\lambda_p$	0	1	2	2,5	3	4	5	6
$P_p = P + \lambda_p S$	$\bar{P}$	$\bar{P} \pm S$	$\bar{P} \pm 2S$	$\bar{P} \pm 2,5S$	$\bar{P} \pm 3S$	$\bar{P} \pm 4S$	$\bar{P} \pm 5S$	$\bar{P} \pm 6S$
$\Phi$	0,5000	0,84134	0,97725	0,99379	0,99865	0,999968	0,9999997	1,0000

### 3.4. ლინდაგის სიმტკიცეზე სტატიკური გაანგარიშების საფუძვლები ვერტიკალური ძალების ზემოქმედებაზე

რელსის, როგორც დრეკად საფუძველზე მდებარე უჭრი კოჭის სტატიკური გაანგარიშების ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს კავშირი დრეკადი ჩაღუნვის სიდიდესა და საფუძვლის  $q$ , რეაქციას შორის.

ძირითადი საანგარიშო ფორმულების გამოსაყენად სარგებლობენ მასალათა გამსქეობის კანონებით, კერძოდ შეენდლერ-ჟურაესკის თეორიით.

ცნობილია, რომ კოჭზე მოქმედი მღუნავი მომენტი ტოლია

$$M = -EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.18)$$

სადაც  $E$  - კოჭის მასალის დრეკადობის მოდულია. სარელსო ფოლადისათვის

$$E = 2,1 \times 10^6 \text{კგ/სმ}^2;$$

$I$  - რელსის ინერციის მომენტი;

$EI$  - რელსის სიხისტე.

განივი ძალა კი ტოლია რელსის  $EI$  სიხისტისა და დრეკადი ჩაღუნვის მესამე რიგის წარმოებულის ნამრავლისა:

$$Q = -EIY''' \quad (3.19)$$

ეიციით, რომ

$$q_x = -Uy \quad (3.20)$$

მაშინ

$$Uy = -EIy'''' \quad (3.21)$$

(3.21) გაეყოს  $EI$  და გაეუბოლოს ნულის:

$$y'''' + \frac{U}{EI} y = 0 \quad (3.22)$$

(3.22) წარმოადგენს ძირითად საანგარიშო დიფერენციალურ განტოლებას. ამ განტოლებაში საანგარიშო ზედა ნაშენისათვის, სარელსო საფუძელის დრეკადობის მოდული  $U$  და რელსის სიხისტე  $EI$  მუდმივ სიდიდეებს წარმოადგენენ.

(3.22) განტოლების ამოსახსნელად უნდა შედგეს მახასიათებელი განტოლება  $y'' + 4k' = 0$ , ამასთან ერთად შემოგვაქვს აღნიშვნა

$$\frac{U}{EI} = 4k' \quad (3.23)$$

(3.23) ფორმულიდან

$$k = \sqrt{\frac{U}{4EI}} \text{ სმ}^{-1} \quad (3.24)$$

როგორც უხედავთ  $k$  სიდიდე დამოკიდებულია სარელსო საფუძელის სიხისტის  $U$  მახასიათებელზე და რელსის სიხისტის  $EI$  სიდიდეთა ფარდობაზე, ამიტომ იგი წარმოადგენს სარელსო საფუძელისა და რელსის სიხისტის ფარდობით კოეფიციენტს.

ძირითადი დიფერენციალური (3.22) განტოლების გაინტეგრირებით, ცნობილი 'სღერუელი პირობების ფარგლებში ( $x = \infty, y = 0; x = 0, y' = 0; x = 0, Q = \frac{P}{2}$ ) მივიღებთ ძირითად საანგარიშო ფორმულებს, რომლებითაც სარგებლობენ ღლიანდაგის სიმტკიცეზე გაანგარიშების დროს:

მღუნაეი მომენტი

$$M = \frac{P}{4k} \mu \quad (3.25)$$

რელსების დრეკადი ჩაღუნვის სიდიდე

$$y = \frac{Pk}{2U} \eta \quad (3.26)$$

შპალზე გადაცემული დატვირთვა (განივი ძალა) გამომდინარე იქედან, რომ რელსის ერთეულ სიგრძეზე რეაქტიული უაუქცევა ტოლია  $q$ , სიდიდის, ხოლო შპალების ღერძებს შორის მანძილია  $l$ , ტოლი იქნება  $Q = q \cdot l$ ,  $q = Uy$ , მაშინ

$$Q = Uy \cdot l = U \frac{Pk}{2U} \eta \cdot l = \frac{Pkl}{2} \eta \quad (3.27)$$

(3.25), (3.26) და (3.27) ფორმულებში  $\frac{P}{4k}$ ,  $\frac{Pk}{2U}$  და  $\frac{Pkl}{2}$  მუდმივი სიდიდეები მრავალდება  $\mu$  და  $\eta$  სიდიდეებზე.

სადაც  $\mu$  – მღუნაეი მომენტის გაელენის ხაზის ორდინატაა, (ნახ.3.3);



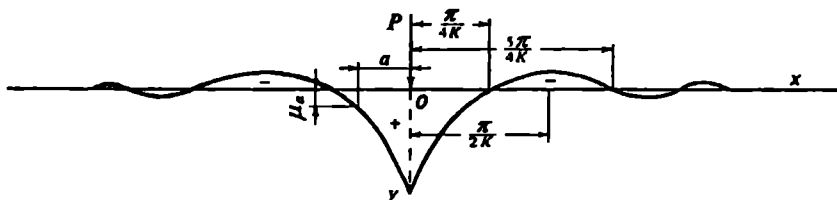
$\eta$ - განივი ძალისა და რელსის დრეკადი ჩალუნების გაველენის ხაზის ორდინატა. (ნახ.3.4).

$$\mu = e^{-bx} (\cos kx - \sin kx) \quad (3.28)$$

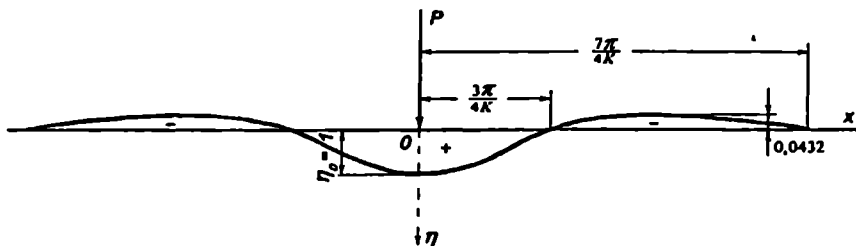
$$\eta = e^{-bx} (\cos kx + \sin kx) \quad (3.29)$$

როგორც უხედავთ  $\mu$  და  $\eta$  სიდიდეები დამოკიდებულია  $kx$  ნამრავლის ფუნქციანზე. ფუნქცია  $kx$  საშუალებას იძლევა გამოეთვალინოს  $\mu$  და  $\eta$  მნიშვნელობები  $x$ -ის ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის.

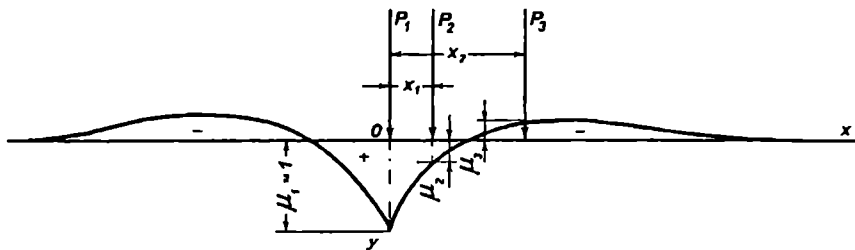
$\mu$  და  $\eta$  მნიშვნელობები საანგარიშო კვეთში, საანგარიშო თელის ქვეშ მიიღება 1-ის ტოლი. საანგარიშო კვეთიდან დაშორების პროპორციულად მათი მნიშვნელობები მცირდება და შეიძლება მინუს ნიშნით აღმოჩნდეს. ამ ეპიურების ერთ-ერთი თაყისებურებაა მათი გავლენის სწრაფად ჩაქრობა, ამიტომაც საანგარიშო კვეთიდან 3,5 მ-ზე მეტი დაშორების შემთხვევაში  $\mu$  და  $\eta$  შეიძლება ნულს გაუქროლოთ. რაც იმას ნიშნავს, რომ საანგარიშო თელის გავლენა 3,5 მ-ს იქეთ პრაქტიკულად არ ვრცელდება.



ნახ.3.3.  $\mu$ -ს ეპიურა  $P$  ძალის  $O$  კვეთში მოდების შემთხვევაში



ნახ. 3.4.  $\eta$ -ს ეპიურა  $P$  ძალის  $O$  კვეთში მოდების შემთხვევაში



ნახ.3.5. მღუნაეი მომენტის საანგარიშო სქემა 0 კვეთში ძალთა სისტემის მოდების შემთხვევაში ( $\mu$  -ს ეპიურა)

დაეუშვათ, რომ რელსზე მოქმედებს რამდენიმე ძალა, მაგალითად  $P_1, P_2$  და  $P_3$  (ნახ.3.5), მაშინ ამ ძალების ზემოქმედებისაგან გამოწვეული მღუნაეი მომენტი 0 წერტილის მიმართ ტოლი იქნება:

$$M = [P_1\mu_1 + P_2\mu_2 + P_3(-\mu_3)] \frac{1}{4k} \quad (3.32)$$

ანუ

$$M = \frac{1}{4k} \sum P_i \mu_i \quad (3.33)$$

ხოლო რელსის ფუძის წიბოში ძაბვა გამოწვეული მღუნაეი მომენტისაგან ტოლი იქნება

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1}{4kW} \sum P_i \mu_i \quad (3.34)$$

ანალოგიური მსჯელობით შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$Q = \frac{kl}{2} \sum P_i \eta_i \quad (3.35)$$

და

$$y = \frac{k}{2U} \sum P_i \eta_i \quad (3.36)$$

### 3.5. ლიანდაგის დინამიკური გაანგარიშების საფუძვლები ვერტიკალური ძალების ზემოქმედებაზე

ლიანდაგის დინამიკური გაანგარიშების ამოსავალი წერტილი არის ის, რომ საანგარიშო კვეთში სტატიკურად მოდებული დატვირთვათა სისტემა ამავე დატვირთვათა დინამიკური ზემოქმედების ექვივალენტური იყოს.

რადგანაც  $\mu$  და  $\eta$  ეპიურები ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავდებიან, ამდენად ექვივალენტური დინამიკური ძალებიც შესაბამისად დამოკიდებული არიან  $\mu$  და  $\eta$  სიდიდეებზე. მასაშადასე გაანგარიშებებში მონაწილეობს  $P'_{\alpha\beta}$  ძალა, რომლის მიხედვითაც გამოითვლება მდუნაეი მომენტი და  $P''_{\alpha\beta}$  ძალა, რომელზედაც დამოკიდებულია რელსის დრეკადი ჩაღუნეა და შპალსე გადაცემული დატვირთეა.

ესარგებლობთ რა (3.33), (3.35) და (3.36) ფორმულებით შეგვიძლია დაეწეროთ: რელსზე მოქმედი დინამიკური მომენტი

$$M_{\alpha\epsilon} = \frac{1}{4k} P'_{\alpha\beta} \mu \quad (3.37)$$

რადგანაც საანგარიშო კეეოში  $\mu=1$ , მაშინ

$$M_{\alpha\epsilon} = \frac{1}{4k} P'_{\alpha\beta} \quad (3.38)$$

ხოლო, პორიზონტალური განიეი ძალების და ეერტიკალური დატვირთეების ექსცენტრული მოდების გათეალისწინებით

$$M_{\alpha\epsilon} = \frac{f}{4k} P'_{\alpha\beta} \quad (3.39)$$

რელსის დრეკადი ჩაღუნეის სიდიდე საანგარიშო კეეოში, როცა  $\eta=1$

$$y_{\alpha\epsilon} = \frac{k}{2U} P''_{\alpha\beta} \quad (3.40)$$

შპალსეზე გადაცემული დატვირთეა საანგარიშო კეეოში, როცა  $\eta=1$

$$Q_{\alpha\epsilon} = \frac{kl}{2} P''_{\alpha\beta} \quad (3.41)$$

$P'_{\alpha\beta}$  და  $P''_{\alpha\beta}$  ექვივალენტური ძალები წარმოადგენენ ჯამურ ძალებს, რომლე-ბიც შედგება ლიანდაგზე მოქმედი სხეადასხეა ძალებისაგან, რომელთაგან მხოლოდ სტატიკური დატვირთეა  $P_{\alpha\beta}$  წარმოადგენს მუდმიეი სიდიდის ძალას. დანარჩენი ძალები კი ცეალებადი სიდიდისაა და დამოკიდებულია მრავალ ობიექტურ და სუბიექტურ ფაქტორებზე.

დამატებითი დინამიკური ძალების წარმომშობი ფაქტორებია: რესორების რხეეა, ლიანდაგის უსწორობები, თეალსე არსებული იხოლირებული და უწინეეტი უსწორობები, სარელსო საფუძეელის არათანაბარდრეკადობა და სხეა.

ლიანდაგის გაანგარიშებისას მასზე მაქსიმალური ძალური ზემოქმედების გასათეალისწინებლად თეადამირეეულად უნდა განისაზღვროს ეეეეა დამატებითი ძალების ერთობლიეი ზემოქმედების საშუალო მნიშენელობა, მას დაემატოს დამატე-

ბოთი დინამიკური ძალების ჯამური მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე გამრავლებული 2,5-ზე.

საანგარიშო კეოში დატვირთვათა სისტემის მაქსიმალური ტოლქმედი ძაღის გამოთელისას, საანგარიშო თელის დაწოლა აიღება მაქსიმალური მნიშვნელობით, ხოლო მეზობელი თელეღის გაეღენა საშუალო მნიშვნელობით. მაშინ:

$$P'_{აბ} = P_{აა} + 2,5S + \sum P_{აა\mu} \quad (3.42)$$

$$P''_{აბ} = P_{აა} + 2,5S + \sum P_{აა\eta} \quad (3.43)$$

სადაც  $\sum P_{აა\mu}$  და  $\sum P_{აა\eta}$  მეზობელი თელეღის დაწოღის გაეღენაა საანგარიშო კეოთზე.

შეეიტანოთ  $P'_{აბ}$  და  $P''_{აბ}$  (3.39), (3.40), (3.41) ფორმულეღში, მაშინ

$$M_{ღინ} = \frac{f}{4k} (P_{აა} + 2,5S + \sum P_{აა\mu}) \quad (3.45)$$

$$Q_{ღინ} = \frac{kl}{2} (P_{აა} + 2,5S + \sum P_{აა\eta}) \quad (3.46)$$

$$y_{ღინ} = \frac{k}{2U} (P_{აა} + 2,5S + \sum P_{აა\eta}) \quad (3.47)$$

შესაბამისად ძაბეა რელსის ფუღის წიბოში, აღძრული დინამიკური მომენტიისაღან ტოლი იქნება

$$\sigma_{ღინ} = \frac{M_{ღინ}}{W} = \frac{f}{4kW} (P_{აა} + 2,5S + \sum P_{აა\mu}) \quad (3.48)$$

სადაც  $W$  – რელსის წინაღობის მომენტი, სმ<sup>3</sup> (დანართი, ცხრილი 7).

### 3.6. დასაშეღი ძაბეღის მნიშვნელობეღი ლიანდაღის ეღემენტეღში

ნეღისმიერი კონსტრუქციის სიმტკიცისა და საიმეღობის უზრუნეღყოფის აუციღებელ პირობას წარმოადგენს ის, რომ ამ კონსტრუქციოზე მოქმედ დატვირთვათა სისტემისაღან აღძრული ძაბეღის სიდიდე, მარაღის სათაღად კოეფიციენტიის გათეღლისწინეღით არ უნდა აღემატებოდეს ამ კონსტრუქციის სიმტკიცის ზღვარს.

კონსტრუქციის გაანგარიშეღისათეღის აუციღებელია დადგენიღ იქნას საანგარიშო და დასაშეღი ძაბეღის მნიშვნეღობეღი.

საანგარიშო ძაბეღის მნიშვნეღობა განისაზღვრება კონსტრუქციოზე მოქმედ დატვირთვათა სისტემის შესაღლო მაქსიმალური შემოქმედეღის შესაბამისად.

დასაშვები ძაბვები კი დადგინდება კონსტრუქციის მასალის სიმტკიცის ზღვარის მიხედვით.

ლიანდაგის გაანგარიშებისას, მისი კონსტრუქციის საიმედოობისა და სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად საანგარიშო ძაბვების მნიშვნელობები უნდა შედარდეს დასაშვები ძაბვების სიდიდეებს.

ლიანდაგის გაანგარიშების მეთოდის მიხედვით  $P_{43}$  და უფრო მძიმე ტიპის რელსებისათვის, ფუძის წიბოში დასაშვები ძაბვის სიდიდე დადგენილი იყო სარედსო ფოლადის დენადობის მინიმალური ზღვრის მიხედვით  $[\sigma_{\text{ფ}}] = 3500 \text{ კგ/სმ}^2$ , (350 მეგ.პა),  $1^{\circ}$  და უფრო მსუბუქი ტიპის რელსებისათვის  $[\sigma_{\text{ფ}}] = 3000 \text{ კგ/სმ}^2$  (300 მეგ.პა).

ამავე დროს აუცილებელი იყო პირაპირიან ლიანდაგებში ტემპერატურული ძაბვების გასათვალისწინებლად  $K=1,3$  კოეფიციენტის გამოყენება.

ნატარებელი გამოკვლევების საფუძველზე  $P_{50}$  და უფრო მძიმე ტიპის რელსებისათვის, სიგრძით 12,5 და 25 მ. რეკომენდებულია დასაშვები ძაბვების შემდეგი მნიშვნელობები, (ცხრილი 3.2).

ცხრილი 3.2

ლიანდაგის დახასიათება	დასაშვები ძაბვების მნიშვნელობები, კგ/სმ <sup>2</sup> (მეგ.პა)	
	რელსის ფუძის წიბოში $[\sigma_{\text{ფ}}]$	რელსის თავის წიბოში $[\sigma_{\text{ფ}}]$
პირაპირიანი ლიანდაგისათვის	2400 (240)	3200 (320)
უპირაპირო ლიანდაგისათვის ტემპერატურული ძაბვების გათვალისწინებით	2000 (200)	2600 (260)

სქელი ვარგისი რელსებისათვის, რომლებიც უახლოეს ხანში უნდა შეიცვალოს, დასაშვებია მათი 30%-ით გადაძაბვა.

ხის შპალეებში ქვესადების ქვეშ დასაშვები ძაბვების მნიშვნელობები დამოკიდებულია ზედა ნაშენის ტიპზე და მოძრავი შემადგენლობის სახეობაზე (ცხრილი 3.3).

ცხრილი 3.3

მოძრავი შემადგენლობის სახეობა	დასაშვები ძაბვების მნიშვნელობები $[\sigma_x]$ კგ/სმ <sup>2</sup> (მეგ.პა)	
	მძიმე ტიპის ზედა ნაშენი	მსუბუქი ტიპის ზედა ნაშენი
ლოკომოტივის დატვირთვის ქვეშ	16 (1,6)	20 (2,0)
ვაგონების დატვირთვის ქვეშ	15 (1,5)	18 (1,8)

დასაშვები ძაბვების მნიშვნელობები ბალასტის შრეში დამოკიდებულია ბალასტის სახეობაზე, მისი ფრაქციების ზომებზე და მოძრავი შემადგენლობის ტიპზე (ცხრილი 3.4).

ცხრილი 3.4.

ბალასტის სახეობა და ფრაქციების ზომები	დასაშვები ძაბვების მნიშვნელობები $[σ_x]$ კგ/სმ <sup>2</sup> , (მეგ.ა.)	
	ლოკომოტივის დატვირთვის ქვეშ	ვაგონების დატვირთვის ქვეშ
ღორღი ფრაქციების ზომებით (25-50), (25-60) და (25-70) მმ.	5 (0,5)	3,25 (0,325)
ღორღი ფრაქციების ზომებით (7-25) მმ.	4 (0,4)	2,6 (0,26)
ხრეში, ნიჟარა	3 (0,3)	2,25 (0,225)
ქვიშა	2,75 (0,275)	2,0 (0,2)

მიწის ვაკისის ძირითად მოედანზე დასაშვები ძაბვების სიდიდე დამოკიდებულია გრუნტების სახეობაზე, მისი დატკეპნისა და ტენიანობის ხარისხზე. ჯანსაღი მიწის ვაკისისათვის, აგებული ყველაზე უფრო გაერცყლებული თიხარი გრუნტებისაგან, დასაშვები ძაბვების სიდიდე მიღებულია  $[σ_x] = 0,8$  კგ/სმ<sup>2</sup> (0,08 მეგ.ა.).

საინგარიშო ძაბვების გადაჭარბება დასაშვები ძაბვების სიდიდეზე იმაზე მიუთითებს, რომ საჭიროა ძლიანდავის კონსტრუქციისა და მისი მოვლა-შენახვის სამუშაოების გაძლიერება. ამასთან ერთად უნდა გაეთეთადისწინოს, რომ საინგარიშო ძაბვების გადაჭარბება შპალეებში და ბალასტში დასაშვებთან შედარებით არა უმეტეს 30%-ისა, არ მოითხოვს მოძრაობის სინქარის დაუყოვნებლივ შემცირების აუცილებლობას.

#### 4.1. კონტაქტური ძაბვები

მორავი შემადგენლობის თვლებიდან რელსებს დატვირთვები გადაეცემა მცირე საკონტაქტო ფართობზე. ამიტომ სარელსო ფოლადის მასალა საკონტაქტო ფართობის ირგვლივ იმყოფება მოცულობით შეკუმშულ მდგომარეობაში. ამ დატვირთვებით გამოწვეული ძაბვების განაწილება მეტად რთული ხასიათისაა და მხოლოდ დრეკადობის თეორიის მეთოდებით კვლევას ექვემდებარება.

ძაბვები, რომლებიც აღიქვება რელსის თავისა და თვლის ფერსოს კონტაქტის არეში, ან მის ახლოს კონტაქტური ძაბვები ეწოდება.

ლითონის დრეკადი შეკუმშვის შედეგად თვლის ფერსო რელსის თავთან კონტაქტში შედის მოკონტაქტე სხეულთა არა ერთ წერტილში, არამედ გარკვეულ ფართობზე - საკონტაქტო ელიფსებზე (ნახ.4.1).

კონტაქტის შედეგად თვალი რელსის თავს გადასცემს ევრტიკალური დინამიკური დატვირთვის ნორმალურ  $p$ , და მხებ  $r$ , მდგენელებს. საკონტაქტო ფართობზე ძაბვების გაერკველების კანონზომიერება და სიდიდეები დამოკიდებულია ევრტიკალური დინამიკური დატვირთვების სიდიდეზე, ამ დატვირთვების ნორმალური  $p$ , და მხები  $r$ , მდგენელების თანაფარდობაზე, თვლის  $R$  და რელსის თავის  $r$  რადიუსების სიდიდეებზე, რელსის თავის ცვეთის ფორმაზე, ლიანდაგისა და თვლების ტექნიკურ მდგომარეობაზე. ყოველივე ზემოჩამოთვლილ ფაქტორებს ითვალისწინებს საკონტაქტო ძაბვების გაანგარიშების პერც-ბულიაევის თეორია, რომლის ძირითად დაშვებებს წარმოადგენს:

საკონტაქტო ფართობი გაცილებით მცირეა რელსის თავის განივ ზომებთან შედარებით;

საკონტაქტო ფართობზე ხახუნის კოეფიციენტი  $f = 0$ , ე.ი. გაანგარიშება ტარდება მხოლოდ ნორმალურ მდგენელებზე;

თვლისა და რელსის ლითონი მუშაობს მხოლოდ დრეკად სტადიაში;

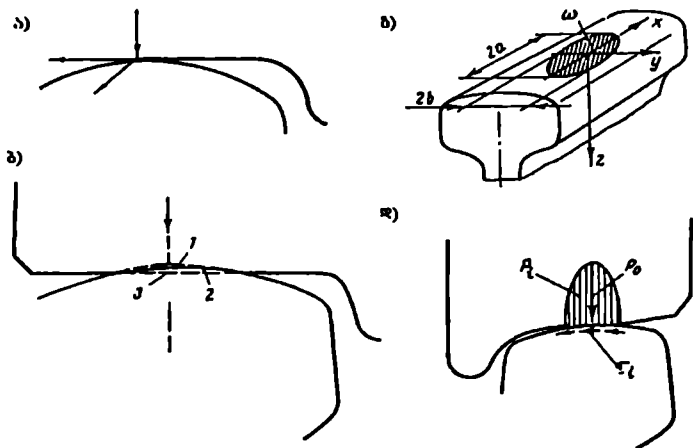
თვლის არტახისა და რელსის თავის კონტაქტის ზონაში საკონტაქტო ფართობი წრიულცილინდრული ფორმისაა.

თვლისა და რელსის ფაქტიური საკონტაქტო ფართობის და მხები ძაბვების სიდიდეთა გასათვალისწინებლად, პროფ. გ. შახუნიაძემა პერც-ბულიაევის თეორიაში შეიტანა  $\phi$  და  $k_0$  კოეფიციენტები. ამ თეორიის თანახმად საანგარიშო ფორმულები წარმოდგენილია შემდეგი სახით ( $x$  ღერძი მიმართულია რელსის გრძივად,  $y$  ღერძი რელსის თავის განივად):

$$\frac{p^2}{p_0^2} + \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (4.1)$$

საკონტაქტო ელიფსის შუა წერტილში მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა ტოლია

$$p_0 = \frac{3P_{\text{კონტ}}}{2k_0 a} \quad (4.2)$$



ნახ. 4.1 თელის რელსის თავთან კონტაქტის ფორმები:

ა. - ერთ წერტილში (პირობითი კონტაქტი); ბ. - ზედაპირზე; გ. - საკონტაქტო ზედაპირის ზომები; დ. - თელიდან გადაცემული ევრტიკალური დინამიკური დატვირთვის ნორმალური  $p$ , და მხები  $\tau$ , მდგენელების განაწილება საკონტაქტო ზედაპირზე;

1 - ძველა ცილინდრის (რელსის თავის) ზედაპირი დეფორმაციამდე; 2 - საკონტაქტო ზედაპირი; 3 - ზედა ცილინდრის (თელის) ზედაპირი დეფორმაციამდე.

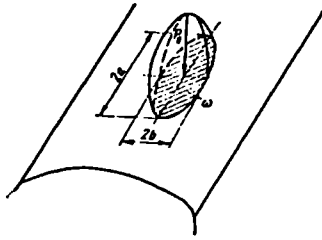
საკონტაქტო ელიფსის დიდი ნახევარღერძის სიგრძე კი (ნახ.4.2)

$$a = m \sqrt{\frac{3P_{\text{კონტ}}(1-\nu)^2}{2E(A+B)}} \quad (4.3)$$

საკონტაქტო ელიფსის მცირე ნახევარღერძის სიგრძე ტოლია

$$b = \frac{n}{m} a \quad (4.4)$$





ნახ. 4.2 საკონტაქტო ძაბვების ნახევარელიფსოიდი

საანგარიშო პარამეტრები განისაზღვრება ფორმულებით:

$$A = \frac{1}{2r} \quad (4.5)$$

$$B = \frac{1}{2R} \quad (4.6)$$

$$\cos \Theta = \frac{|B - A|}{A + B} \quad (4.7)$$

საკონტაქტო ელიფსის ფართობი ტოლი იქნება

$$\omega = \pi ab \quad (4.8)$$

მხები ძაბვების მაქსიმალური მნიშვნელობა საკონტაქტო ელიფსის ბოლოებში, რელსის თავში  $z_0$  სიდრმეზე, დამოკიდებულია ფარდობასე  $r/R \geq 0,33$  და ტოლია

$$2r = 0,65 p_0 = \frac{0,65 \varphi n_0}{k_\phi} \sqrt{\frac{P_{\text{კა}} E^2}{R^2}} \quad (4.9)$$

ხოლო მხები ძაბვების მაქსიმალური მნიშვნელობა რელსის თავის 'ზედაპირზე საკონტაქტო ელიფსის ცენტრში, როცა  $r/R < 0,33$

$$2r_0 = \frac{0,65 \varphi n_0}{k_\phi} \sqrt{\frac{P_{\text{კა}} E^2}{R^2}} \quad (4.10)$$

სადაც  $P_{\text{კა}}$  - თელიდან რელსის თავზე გადაცემული მაქსიმალური, ვერტიკალური დინამიკური დატვირთვაა;

$p_0$  - მაქსიმალური, ნორმალური მკუმშავი ძაბვა ელიფსის ცენტრში, რელსის თავის ზედაპირზე;

$a$  - საკონტაქტო ელიფსის ფართობი;

$r$  - რელსის თავის მუშა ნაწილის რადიუსი;

$R$  - თელის გორვის წრის რადიუსი;

$\nu = (0,25 + 0,30)$  - პუასონის კოეფიციენტი;

$E = 2,1 \times 10^4$  კგ/სმ<sup>2</sup> ( $0,21 \times 10^8$  მეგ.პა) - რელსისა და თელის ფოლადის დრეკადობის მოდული;

$m, n$  - პარამეტრები, რომლებიც დამოკიდებულია  $\Theta$  კუთხის სიდიდეზე;

$m_0, n_0$  - პარამეტრები, რომლებიც დამოკიდებულია  $r/R$  ფარდობაზე;

$k_0$  - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ფაქტიურ და საანგარიშო საკონტაქტო ფართობებს შორის სხვაობას;  $k_0 = (1,3 + 1,6)$  გაუცეფთავი თელებისათვის,  $k_0 = (1,4 + 2,0)$  - გაცეფთილი თელებისათვის;

$\varphi$  - მხები ძაბვების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი.

ძაბვების ნახევარელიფსოიდის მოცულობა, როცა  $k_0 = \varphi = 1$  ტოლია (ნახ.4.2)

$$\frac{2}{3} \omega p_0 \quad (4.11)$$

მაშინ ელიფსის ფართობი ტოლია

$$\omega = \frac{3P_{\text{კონტ}}}{2p_0} \quad (4.12)$$

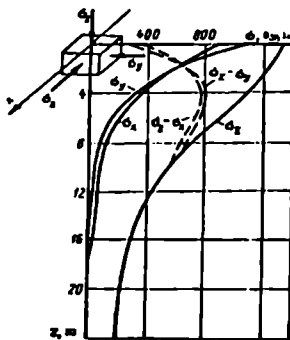
ხოლო

$$p_0 = m_0 \sqrt{\frac{P_{\text{კონტ}} E^3}{R^3}} \quad (4.13)$$

ზედაპირზე საკონტაქტო ფართობის ქვეშ, მთავარი ძაბვების სიდიდე მაქსიმალურია და რელსის სიღრმეში თანდათან მცირდება (ნახ.4.3).

ძალზე საშიშია მხლენი ძაბვები რელსის თავის სიღრმეში. ექვივალენტური ძაბვები კი რელსებში, ექსპლუატაციის თანამედროვე პირობებში, აჭარბებს სარელსო ფოლადის კონტაქტური ამტანობის ზღვარს. ეს ფაქტორი წარმოადგენს რელსის თავში ბზარების წარმოშობის მიზეზს, განსაკუთრებით თელების რელსის თავზე განივად წაცურების შემთხვევაში.

რელსის თავის ფოლადს, იმყოფება რა მოცულობით შეკუმშულ მდგომარეობაში შეუძლია გაცილებით მეტი ძაბვების ატანა, როდესაც საკონტაქტო ელიფსი მდებარეობს რელსის ღერძთან ახლოს და გაცილებით ნაკლებს, როცა საკონტაქტო ელიფსი გადაადგილდება რელსის წიბოსაკენ.



ნახ. 4.3 ძაბვების განაწილების გრაფიკი რელსის თავის სიღრმეში

ლიანდაგის ზედა ნაშენის ლითონის ელემენტების სიმტკიცე პირველ ყოვლისა განისაზღვრება სარელსო ფოლადის კონტაქტურ-დაღლილობითი წინააღობით. რაც მეტია გატარებული ტონაჟი და თვლებიდან რელსებზე გადაცემული დატვირთვების მნიშვნელობა, მით უფრო სჭარა "იღვება" ლითონი.

სადღეისოდ რელსების დეფექტებიდან ფართოდაა გაერყელებული 11.12 დეფექტი, ლითონის ამოფხეხა რელსის თავის მეშა ზოლზე და 21.12 დეფექტი, განივი ბზარების წარმოშობა რელსის თავზე. ეს დეფექტები წარმოიშობა სარელსო ფოლადის კონტაქტურ-დაღლილობითი არასაკმარისი სიმტკიცის შედეგად. რელსების ეროველი ცვლის 70% დაკავშირებულია ამ დეფექტებთან.

სარელსო ფოლადის დაშლა, კონტაქტურ-დაღლილობითი პროცესების გამო, შეიძლება პირობითად სამ ურთიერთდამოკიდებულ სტადიად დაიყოს:

- **პირველი სტადია** – მიკროდაღლილობითი პროცესების წარმოქმნა რელსის თავის ზონაში, არალითონური ჩანართების არსებობისას, დიდი სიდიდის საკონტაქტო ძაბვების გამო წარმოქმნილ გრძივ ბზარებთან ერთობლიობაში. განსაზღვრულ პირობებში ეს ბზარები ამოდიან რელსის თავის ზედაპირზე და წარმოქმნიან ამონაჩიქნებს რელსის თავის მუშა ზედაპირზე (დეფექტი 11);

**მეორე სტადია** – გრძივი ბზარების გადასვლა განივ ბზარებში, გამჭიმავი მღუნავი ძაბვების შემოქმედების შედეგად (დეფექტი 21);

**მესამე სტადია** – შემთხვევითი დეფექტების თანდათანობითი განვითარება, რომლებიც საბოლოოდ იწვევენ რელსების კონტაქტურ-დაღლილო-

ბათი პროცენტების იმ დონეზე განვითარებას, რომლებიც მთავრდება რელსების გარეხვით.

ს.რელსო ყოფიდას კონსტრუქტურ-დაღლილობით პროცესის პირველ სტადიაზე რელსის თავში, ზედაპირიდან 3-6 მმ სიღრმეზე. წარმოიშობა მიკრობზარები და რიმსებიც შემდგომში ვითარდებიან მაქსიმალური მხები ძაბვების მიმართულებით. მიკრობზარები თავდაპირველად ვრცელდება რელსის თავის სიღრმეში 7-10 მმ-ზე, ხოლო შემდგომში უახლოვდება რელსის თავის მუშა ზედაპირს. თელის და რელსის თავის საკონსტრუქტო ერთობის რელსის წიბოხაყენ გადაადგილების შემთხვევაში, მიკრობზარები ერთობის და ქსნის ერთიან 5 - 7 მმ სიგრძის გრძივ ბზარებს.

გრძივი ბზარების წარმოქმნის პროცესი რელსის თავის ლითონის დაღლილობით პროცესის შედეგს წარმოადგენს, რომელიც ციკლური ვერტიკალური დატვირთვების სიდიდისა და მისი კონცენტრული მოდების შედეგია. რაც მეტია ღრუხოს სიდიდე, მით მეტია ვერტიკალური ძალების მოდების კონცენტრისიტეტი.

სარელსო ყოფიდას კონსტრუქტურ-დაღლილობით პროცესის მეორე სტადია ხასიათდება რელსის თავში ვახივი ბზარების წარმოშობით და განვითარებით. შემდგომში ვახივი ბზარების განვითარება ხდება გამჭიმავი ძაბვების შემოქმედებით, რომლებიც აღიძვრებიან რელსების ღრუხოს დეფორმაციების, თელეების ვახივი და გრძივი მასშტაბულეობით ასრიალების შედეგად რელსის თავზე. ვახივი ბზარების ჩახახვა მასშტაბურობის გრძივი ბზარების წარმოშობის წერტილებში. ეს წერტილები ძაბვების მაღალი კონცენტრაციის წერტილებს წარმოადგენენ.

სახიფათო ვაკუორის წარმოადგენს მხები ძაბვებიც, რომლებიც ტოლია მთავარი ძაბვების უდიდესი  $\sigma$ , და  $\sigma_1$  უკუორესი მნიშვნელობების ნახევარსხვაობისა. მხები ძაბვები თავიანთი სიდიდის მაქსიმუმს აღწევენ რელსის თავის სიღრმეში,  $z_r = (0.2 + 0.5)r$  მანძილზე.

საკონსტრუქტო ელიფსის ვაკუორის მიხედვით ადგილი აქვს შემდეგ თანაფარდობას:

$\frac{b}{a}$	1.00;	0.75;	0.50;
$\frac{z_r}{a}$	0.48;	0.41;	0.31;
$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{p_r}$	0.62;	0.635;	0.649.

რაც მეტია სხვაობა ელიფსის მცირე  $a$  და დიდ  $b$  ნახევარღერძებს შორის, მით უფრო ახლოსაა განლაგებული მაქსიმალური მხები ძაბვები საკონტაქტო ზედაპირიდან.

რელსის სიმტკიცის შეფასებისათვის, ექვივალენტური ძაბვები, მაქსიმალური მხები ძაბვების შემოქმედების თეორიის საფუძველზე განისაზღვრება:

რელსის თავში  $z$ , სიღრმეზე

$$\sigma_{\text{ახ}} = 2\tau_{\text{მ}} = 0,65 p, \quad (4.16)$$

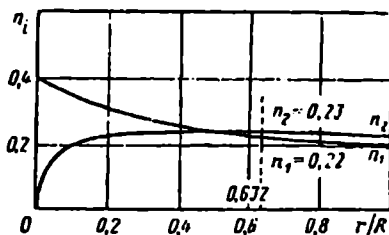
რელსის თავის ზედაპირზე, ელიფსის ცენტრში

$$\sigma_{\text{ახ}} = n_1 p, \quad (4.17)$$

საკონტაქტო ელიფსის დიდი ღერძის ბოლოებში

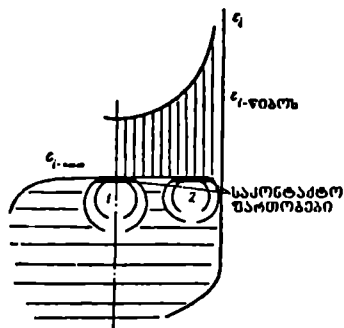
$$\sigma_{\text{ახ}} = n_2 p, \quad (4.18)$$

$n_1$  და  $n_2$  კოეფიციენტები დამოკიდებულია  $r/R$  ფარდობაზე და იღება გრაფიკიდან (ნახ.4.4).



ნახ. 4.4  $n_1$  და  $n_2$  კოეფიციენტების  $r/R$  ფარდობაზე დამოკიდებულების გრაფიკი

სიმტკიცის პირობით ექვივალენტური ძაბვები არ უნდა აღემატებოდეს სარელსო ფოლადის კონტაქტური ამტანობის ზღვარს. დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ მაღალი დინამიკური დატვირთვებისას თანამედროვე რელსები P50 და P65 ვერ აკმაყოფილებენ ამ პირობას. კერძოდ სარელსო ფოლადის ამტანობა კონტაქტურ ძაბვებზე არასაკმარისია. მათი საკონტაქტო ფართობის რელსის წიბოსთან მიახლოების პროპორციულად მცირდება ლითონის ამტანობა. მოდელზე ჩატარებული გამოკვლევებით დადგენილია, რომ  $(0,5+4,0) \times$  მანძილზე წიბოდან დეფორმაციები იზრდება: ვერტიკალური  $2+2,5$ -ჯერ, პორიზონტალური განივი  $3+3,2$ -ჯერ, პორიზონტალური გრძივი  $4,0+6,0$ -ჯერ (ნახ.4.5).

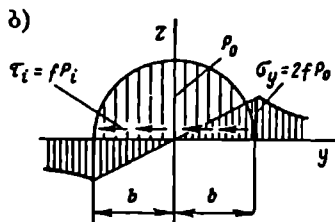
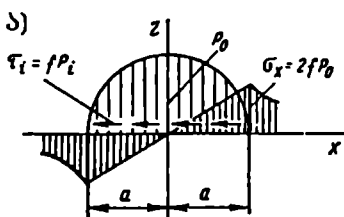


ნახ. 4.5 რელსის თავში აღძრული ფარდობითი დეფორმაციების სიდიდეები საკონტაქტო ფართობის ადგილმდებარეობაზე დამოკიდებულებით

თელის რელსის თავზე ასრიალების დროს, გარდა კონტაქტური დატვირთვის ევრტიკალური მდგენელისა, წარმოიშობა აგრეთვე მხები მდგენელები (გრძივი და განივი) (ნახ.4.6), რომელიც ტოლია

$$r = f_i p_i \quad (4.19)$$

$r$  -ს ზრდასთან ერთად მაქსიმალური მხები ძალების მოდების წერტილი თანდათან უახლოვდება რელსის თავის ზედაპირს, ხოლო  $r_{max}$  მნიშვნელობა იზრდება: როცა  $f = 0,2$ , მაშინ  $r_{max} = 0,34 p_0$ ; ხოლო როცა  $f = 0,3$ , მაშინ  $r_{max} = 0,38 p_0$ . თელეუბის რელსზე ასრიალებისას რელსის თავის გორვის ზედაპირზე ვითარდება დიდი სიდიდის გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვები, რომელთაც შეუძლიათ გამოიწვიონ ლითონზე ზედაპირული ნაჭდეუების წარმოქმნა, გადახეხვები და სხვა.



ნახ. 4.6 თელეუბის ასრიალების შედეგად წარმოქმნილი გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვების სიდიდეები საკონტაქტო ფართობის გასწვრივ (ა) და განივად (ბ).

განსაკუთრებით საშიშია თელეების განივი ასრიალება რკლის თავის მიმართ, იმ შემთხვევებში, როცა საკონტაქტო ფართობი მდებარეობს რელსის წიბოს სიახლოვეს. ლიანდაგში არსებული უსწორობები (კუთხეები გეგმაში, თარაზოში გადახრები და სხვა) იწვევენ მოძრავი შემადგენლობის წყვილთვალის მკვეთრ განივ გადაადგილებას, რელსის თავის ლითონის პლასტიკურ დეფორმაციებს და კონტაქტურ-დაღლილობითი დეფექტების წარმოქმნას.

კელეების საფუყეულსე ამერიკელი მეცნიერებმა მეტნელმა და ალბეკმა (1969 წ.) შემოგვთავაზეს კონტაქტური დატვირთვების მხები მდგენელების გათვალისწინება  $\varphi$  კოეფიციენტის საშუალებით. თუ წვეის ძალის მხები მდგენელი  $r_{\varphi}$  შეჭიდულობის პირობით მაქსიმალური მნიშვნელობისაა (დაახლოებით  $1/3$  ნორმალური მდგენელისა), მაშინ კოეფიციენტი  $\varphi = 1,4$ ; როცა  $r_{\varphi} = 0$ , მაშინ  $\varphi = 1,0$ . ამ დროს მაქსიმალური მკუშმავი ძაბვა საკონტაქტო ელიფსის ცენტრში ტოლია

$$p_0 = m_0 \varphi \sqrt{\frac{P_{\text{კონტ}} E^2}{R^2}} \quad (4.20)$$

ხოლო გაცვეთილი რელსებისათვის, როდესაც მისი ზედაპირი წარმოდგენილია სიბრტყის სახით (ცილინდრის გორეის შემთხვევა ცილინდრულ ზედაპირულსე).

$$p_0 = m_0 \varphi \sqrt{\frac{P_{\text{კონტ}} E^2}{b_1 R^2}} \quad (4.21)$$

$$a = 1,52 \sqrt{\frac{P_{\text{კონტ}} R}{b_1 E}} \quad (4.22)$$

$$\omega = \frac{\pi a b_1}{2} \quad (4.23)$$

სადაც  $b_1$  - საკონტაქტო ზოლის მთლიანი სიგანეა რელსის თავის განივად.

კონტაქტური ძაბვების შემცირების თვალსაზრისით, ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ღონისძიებას ვერტიკალური დატვირთვების რელსის სიმეტრიის ღერძისაკენ გადაადგილება წარმოადგენს. საკონტაქტო ფართობის რელსის სიმეტრიის ღერძისაკენ გადაადგილების ერთ-ერთ ყველაზე საშუალებას ლიანდის სიგანის შესაძლო მინიმალურ სიდიდემდე შემცირება წარმოადგენს.

ლიანდაგში ღრუნოს შემცირება ერთ-ერთი უმთავრესი ღონისძიებაა რელსის თავში და თელის ფერსოში კონტაქტური ძაბვების შემცირების თვალსაზრისით. თელისა და რელსის თავის კონტაქტის ფართობის რელსის თავის წიბოსკენ გადაადგილების შემთხვევაში მკვეთრად იზრდება რელსების, როგორც ვერტიკალური

ისე გვერდითი ცვეთა და შესაბამისად თვლების ცვეთაც. ჩქარდება ლითონში კონტაქტურ-დაღლილობითი პროცესების განვითარება.

აღსანიშნავია, რომ ახალი რელსების თავზე კონტაქტური ძაბვები გაცილებით მეტი სიდიდისაა, ვიდრე გაცვეთილი რელსების თავზე. ამის მიზეზია ის, რომ მცირერადიუსიან მრუდებში რელსების ჩაგების პირველ პერიოდში, როგორც ვერტიკალურ, ისე გვერდით ცვეთას მეტად ინტენსიური ხასიათი აქვს. შემდგომში კი თვლის ფერსოს რელსის თავზე, როგორც ცილინდრის ცილინდრულ ზედაპირზე გორვის ხასიათის მიღების შემდეგ, ცვეთის ინტენსივობა სტაბილური ხდება და ნაკლებ ინტენსიურ ხასიათს ატარებს.

რაც შეეხება კონტაქტური და ექვივალენტური ძაბვების აბსოლუტურ მნიშვნელობებს, ისინი უმეტეს შემთხვევაში აღემატებიან კონტაქტური ამტანობის ზღვარს, მით უმეტეს მხები ძაბვების გათვალისწინებისას და სარკუსო ფოლადი იტანს მათ მოცულობითი შეკუმშული მდგომარეობის შედეგად.

#### 4.2. ადგილობრივი ძაბვები რელსის თავიდან ყელში გარდამავალ ზონაში

პრაქტიკაში ხშირად საჭირო ხდება სამსახურის ვადაგადაცილებული რელსების საიმედოობის შეფასება, სხვა შემთხვევაში კი ძაბვების განსაზღვრა რელსის თავიდან ყელში გარდამავალ ზონაში. ცნობილია, რომ ვერტიკალურ სიბრტყეში რელსის დეფორმაციის მახასიათებელ განტოლებას შემდეგი სახე აქვს

$$E\omega \frac{d^3U}{dx^3} - \alpha_1 U + \alpha_2 h_2 \frac{dy}{dx} = 0 \quad (4.24)$$

$$\alpha_1 h_1 \frac{dU}{dx} + El \frac{d^4y}{dx^4} - \alpha x h_1^2 \frac{d^2y}{dx^2} + \alpha_2 y = 0 \quad (4.25)$$

ხოლო რელსის თავის პორიზონტალური ღუნვისა და გრუხის მახასიათებელი განტოლება შემდეგი სახისაა:

$$El \frac{d^4z}{dx^4} - \alpha_1 z + \alpha_2 \varphi = 0 \quad (4.26)$$

$$G \frac{d^3\varphi}{dx^3} - \mu_2 \varphi - \mu_1 z = 0 \quad (4.27)$$

სადაც  $G$  - წარმოადგენს ძვრის მოდულს და გამოითვლება ფორმულით



$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (4.28)$$

- $\alpha_z$  - საფუძვლის ძალური რეაქციის კოეფიციენტი, რელსის თავის სიმძიმის ცენტრის  $z$  ღერძიდან ერთეული სიდიდით გადაადგილების შემთხვევაში;
- $\alpha_p$  - საფუძვლის ძალური რეაქციის კოეფიციენტი, რელსის თავის სიმძიმის ცენტრის გრძივი ღერძის მიმართ ერთეული  $\varphi$  კუთხის შემობრუნების შემთხვევაში;
- $\mu_z$  - რეაქციული მომენტი აღძრული რელსის თავის  $z$  ღერძის მიმართ ერთეული სიდიდით გადაადგილების შემთხვევაში;
- $\mu_p$  - რეაქციული მომენტი აღძრული რელსის თავის გრძივი ღერძის მიმართ ერთეული  $\varphi$  შემობრუნების შემთხვევაში;
- $\mu$  - ქუასონის კოეფიციენტი.

შემუშავებულია რელსის თავის ქვეშ  $\sigma_z$  ძაბვების კონცენტრაციის განსაზღვრის მიახლოებითი ანალიზური მეთოდიკა. იგი ითვალისწინებს მოძრავი შემადგენლობის თვლებიდან რელსზე გადაცემული ევრტიკალური დინამიკური  $P_{\text{გა}}$  დატვირთვების რელსის თავზე ექსცენტრულ მოდებას  $e$  ექსცენტრისიტეტით.

ამ მეთოდიკის მიხედვით  $\sigma_z$  ძაბვის სიდიდე კონცენტრაციის კოეფიციენტის გათვალისწინებით გამოითვლება ფორმულით

$$\sigma_z = \frac{P_{\text{გა}}}{2d_1} \sqrt{\frac{d_{\text{გა}}}{4h_{\text{გა}}}} C_1^{\text{გა}} \times 10^{-6} + \frac{3P_{\text{გა}}e}{d_1^2} \sqrt{\frac{Ed_{\text{გა}}^3}{12h_{\text{გა}}GI_{\text{გა}}}} C_2^{\text{გა}} \times 10^{-6} \quad (4.29)$$

სადაც  $d_{\text{გა}}$  და  $h_{\text{გა}}$  - რელსის ყელის საშუალო სისქე და სიმაღლეა;

$d_1$  - რელსის ყელის სისქე კრიტიკულ წერტილში;

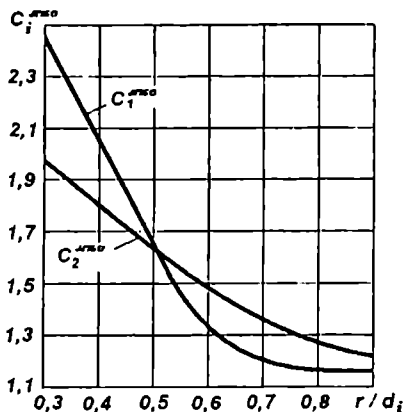
$I$  - რელსის თავის ინერციის მომენტი, მისი სიმძიმის ცენტრში გამავალი პორიზონტალური ღერძის მიმართ;

$I_{\text{გა}}$  - რელსის თავის ინერციის მომენტი გრძივად;

$C_1^{\text{გა}}$  და  $C_2^{\text{გა}}$  - ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტები, შესაბამისად ღერძული კუმშვისა და გრძივი შემთხვევაში. ამ კოეფიციენტების სიდიდეები დამოკიდებულია  $r/d_1$  და  $r/d_{\text{გა}}$  ფარდობებზე (ნახ.4.7);

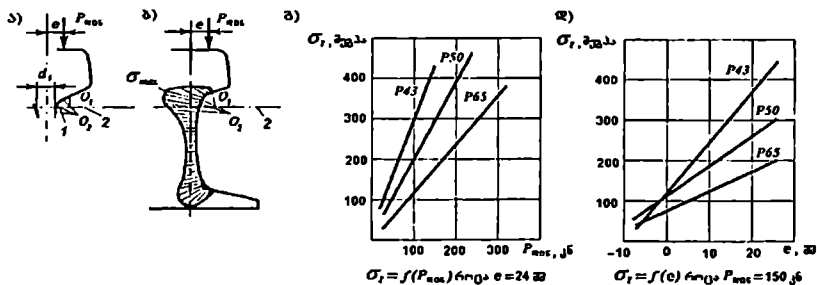
$r$  - მომრგვალების რადიუსი;

რელსის თავსე ვერტიკალური დინამიკური დატვირთვის მოდების ექსცენტრისიტეტი.



ნახ. 4.7 ძაბვების კონცენტრაციის კოეფიციენტების გრაფიკი

კრიტიკული კვეთის საპოვნელად რელსის თავის ქვედა წიბოს ხაზი უნდა გაგრძელდეს სიმეტრიის ვერტიკალური ღერძის გადაკვეთამდე, მიღებული წერტილი შეეხოდეს მომრგვალების რადიუსის  $O_2$  ცენტრთან, (ნახ.4.8).



ნახ.4.8. ადგილობრივი ძაბვების კონცენტრაცია:

ა - კრიტიკული კვეთის მდებარეობა; ბ - ძაბვების ეპიურა; გ,დ - რელსის თავის ქვეშე ძაბვების დამოკიდებულება დატვირთვებისა და ექსცენტრისიტეტის სიდიდეებთან;

1 - დამხმარე ხაზი; 2 - კრიტიკული კვეთის თვორიული მდებარეობა

კრიტიკული კვეთი რელსის კონტურთან დამხმარე ხაზის გადაკვეთის წერტილში გატარებულ პორიზონტალურ ხაზსე მდებარეობს.

რელსის თავის ქვეშ  $\sigma_1$  ძაბვების კონცენტრაციის დამოკიდებულება დატვირთვის სიდიდეებზე, ექსცენტრისიტეტზე და საფუძელის სიხისტეზე ნაჩვენებია ნახ.4.8.

პორიზონტალური განივი ძალების ზემოქმედების შედეგად რელსის თავის ქვეშ ძაბვები განისაზღვრება ფორმულით

$$\sigma_1 = \frac{6H}{d_1^2} \left[ \alpha\beta + \frac{(\beta - \alpha)^2 + \beta^2}{4\beta^2 + d^2} - \frac{\gamma_e}{2} \alpha \right] C_{\text{ჩრკ}} \times 10^{-4} \quad (4.30)$$

სადაც  $H$  - პორიზონტალური დატვირთვაა;

$\alpha$  - მანძილი რელსის თავის სიმძიმის ცენტრიდან კრიტიკულ კვეთამდე;

$\gamma_e$  - პორიზონტალური  $H$  ძალის მოდების ორდინატა,  $\gamma_e > 0$ , ათეული რელსის თავის სიმძიმის ცენტრიდან ზემოთ;

$\beta$  და  $\alpha$  - კოეფიციენტები, რომლებიც განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\beta = \sqrt{\frac{Ed^3}{16h_{\text{კვ}}^2 I_1}}; \quad (4.31)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{Ed^3}{12h_{\text{კვ}} GI_{\text{გაფ}}}}; \quad (4.32)$$

თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევებით დადგენილია, რომ რელსის თავის ქვეშ ძაბვებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მრავალი ფაქტორი, როგორებიცაა: რელსის თავის ევრტიკალური ცვეთა, რელსის პროფილის მომრგვალების რადიუსები, ყელის სისქე, დატვირთვების მოდების ექსცენტრისიტეტი, ლითონის კოროზია რელსის პროფილის მომრგვალების ადგილებში და სხვა.

საერთოდ რელსის თავის ქვეშ ლითონი რთულ დაძაბულ მდგომარეობაში იმყოფება. ამიტომ საჭიროა გამოითვალოს ექვივალენტური ძაბვების სიდიდეები.

$$\sigma_{\text{შ}} = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \sigma_2 \sigma_1 + 3\tau^2} \leq \frac{[\sigma_{\text{შ}}]}{k_3} \quad (4.33)$$

სადაც  $\sigma_1$  - რელსის თავის ღუნვის ძაბვა კრიტიკულ კვეთაში;

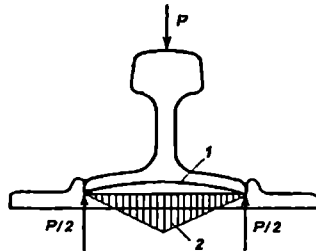
$\tau$  - მხები ძაბვები;

$[\sigma_{\text{შ}}]$  - სარელსო ფოლადის დენადობის პირობითი ზღვარი;

$k_3$  - მარაგის კოეფიციენტი,  $k_3 = 1,2$ .

4.3. ადგილობრივი ძაბვები რელსის ყელიდან ფუძეში გარდამავალ ზონაში.

რელსის ყელიდან ფუძეში გარდამავალ ზონაში ძაბვების კონცენტრაცია 2-3-ჯერ ნაკლებია, ძაბვების კონცენტრაციაზე რელსის თავიდან ყელში გარდამავალ ზონაში. ამ შემთხვევაში კრიტიკული კვეთისა და ძაბვების სიდიდეები გაინსახვდება ზემოთ განხილულის ანალოგიურად ხორციელდება (ნახ.4.9).



ნახ.4.9 ფუძის დეფექტი, რომლის გამო რელსი არასწორად ეყრდნობა ქვესადგებს: 1 - ფუძის გამრუდება; 2 - ძაბვების ეპიურა.

#### 4.4. ადგილობრივი ძაბვები საჭანჭიკე ნახერტების ზონაში

თელეებიდან გადაცემული დატვირთვების შემოქმედებით სარელსო ძაფი პირაპირის ზონაში უფრო დიდი სიდიდით ჩაიღუნება, ვიდრე მის შუა ნაწილში. ამის მიზეზებია: შესადგებების არასაკმარისი სიხისტე ღუნვაზე, საპირაპირო ჭანჭიკებზე ქანჩის მოკერის მომენტის შესუსტება, შესადგებების საყრდენი შედაპირის ცვეთა და სხვა.

თვალი პირაპირის გადავლისას ურტყამს მიმღები რელსის ბოლოს. ამ პროცესს ხელს უწყობს გაჭიმული პირაპირების არსებობა, რელსის თავის თელვა და სხვა.

თელის მიმღები რელსის ბოლოზე დაჯახების მაქსიმალური ძალა გამოითვლება პროფ. ვ.დანილოვის ფორმულით

$$P_{\max} = \varphi_{\text{ფაჯ}} \sqrt{\frac{K_{\text{მ.რ.ღაჯრესღაჯ}}}{g(\rho_{\text{ღაჯრეს}} + \rho_{\text{ფაჯ}})}} \quad (4.34)$$

სიღაც  $\rho_{\text{კვ}}$  - პირაპირში სარელსო ძაფის გარდატეხის კუთხეა. დაჯახების კუთხის სიდიდე მოძრაობის სიჩქარის ზრდის შემთხვევაში მცირდება, რადგანაც თვალი ვერ ასწრებს მთლიანად დაეშვას საპირაპირო უსწორობაზე;

v - მოძრაობის სიჩქარე;

$\mathcal{K}_{\text{კვ}}$  - "თვალ-რელსი" სისტემის სიხისტე. რელსის პორიზონტალური და ვერტიკალური სიხისტე პირაპირის ზონაში 1,25-1,5-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე სარელსო რკოლის შუაში;

$Q_{\text{კვ}}$  - დაურესხორებელი წონა მხოველი ერთ თვალზე;

$Q_{\text{კვ}}$  - რელსის დაყვანილი წონა. საორიენტაციო შეფასებისას შეიძლება მივიღოთ  $Q_{\text{კვ}} = (0,7 + 0,8)Q_{\text{კვ}}$ ;

გ - სიმძიმის ძალის აჩქარება.

#### 4.5 თელის დარტყმითი ზემოქმედება

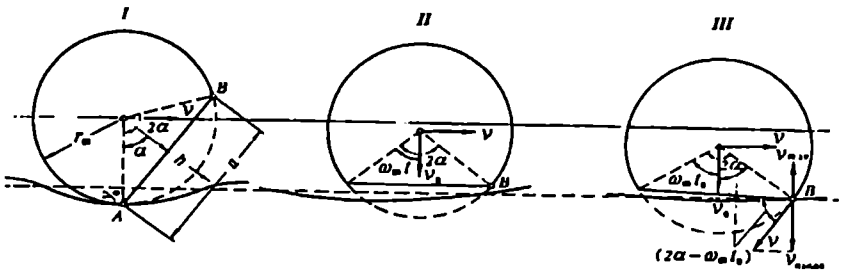
რელსებზე ცოცებიანი თვლების გაელის ან თელის სარელსო პირაპირებზე გადაგორებისაგან წარმოქმნილი დარტყმითი ძალის ზემოქმედების ზუსტად განსაზღვრა, მეტად რთულ ამოცანას წარმოადგენს. ამიტომ თელის დარტყმითი ზემოქმედება პრაქტიკულად მიახლოებითი მეთოდებით განისაზღვრება, ექსპერიმენტული და თეორიული გამოკვლევების შედეგების გზით.

მიახლოებითი გამოთვლებისათვის, თუ მივიღებთ ძალასა და დეფორმაციას შორის ხაზობრივ დამოკიდებულებას, მაშინ პროფ. ედანილოვის გამოკვლევების საფუძველზე თელის სტატიკური კონტაქტური  $\mathcal{K}_{\text{კვ}}$  სიხისტე 10 ტონა დატვირთვისათვის ტოლი იქნება

$$\mathcal{K}_{\text{კვ}} = \frac{10000}{0,02} = 0,5 \times 10^6 \text{ კგ/სმ}$$

ვიცით, რომ ლიანდაგის სტატიკური სიხისტე წარმოადგენს ჩაღუნვის საპირისპირო სიდიდეს, მაშინ

$$\mathcal{K}_{\text{კვ}} = \frac{2u}{k} \quad (4.35)$$



ნახ. 4.10. ცოციებიანი თელის რელსთან დარტყმითი ურთიერთქმედების სტადიები

როგორც წესი  $M_{\text{თ}} \gg M_{\text{რ}}$  და  $\mathcal{K}_{\text{თ}} \gg \mathcal{K}_{\text{რ}}$ . ამ უტოლობების გათვალისწინებით პროფ. ედანილოემა გამოიყენა თელის რელსზე დარტყმის მაქსიმალური ძალის საანგარიშო ფორმულა

$$P_{\text{დარტყმა}} = v_{\text{დარტყმა}} \sqrt{m_{\text{რეფ}} \mathcal{K}_{\text{კონტ}}} \quad (4.36)$$

სადაც  $v_{\text{დარტყმა}}$  - თელის რელსზე დარტყმის წერტილის სიჩქარეა (ნახ. 4.10);

$m_{\text{რეფ}}$  - ლიანდაგის დაუეანილი მასა;

$\mathcal{K}_{\text{კონტ}}$  - თელის რელსთან კონტაქტის სიხისტე,  $\mathcal{K}_{\text{კონტ}} = 0,5 \times 10^4$  კგ/სმ.

ლიანდაგის დაუეანილი მასა განისაზღვრება ფორმულით

$$m_{\text{რეფ}} = \frac{(1,5 + 2,3)m_{\text{კონტ}}}{k} \quad (4.37)$$

საშუალოდ

$$m_{\text{რეფ}} = \frac{1,9m_{\text{კონტ}}}{k} \quad (4.38)$$

სადაც  $m_{\text{კონტ}}$  - რელსის წონაა, კგ/სმ;

$k$  - სარელსო საფუძელისა და რელსის ფარდობითი სიხისტის კოეფიციენტი,  $\text{სმ}^{-1}$ .

აქედან გამომდინარე რაც უფრო მძიმეა და ხისტი რელსი, მით მეტია თელის რელსთან დაჯახების ძალა.

თვალზე ცოციის არსებობისას (ნახ.4.10)  $A$  წერტილი წარმოადგენს თელის რელსის მიმართ ბრუნვის მყისიერ ცენტრს, ამიტომ

$$v_{\text{დარტყმა}} = \frac{a}{r} v \quad (4.39)$$

სადაც  $v$  მოძრაობის სინქარეა;

$a$  - ცოციის სიგრძე.

ცოციებიანი თელის რელსზე დარტყმის ძალა მაქსიმალური მნიშვნელობის გამოდის შედარებით დაბალი სინქარეების (20 – 30 კმ/სთ) დროს.

სინქარის ზრდის შემთხვევაში ღებვა მომენტი, როცა თელის ბრუნვისას მეი-სიური ცენტრის ( $A$  წერტილი) მიმართ წარმოქმნილი ცენტრიდანული ძალის სიდიდე აჭარბებს რესორიდან რელსზე გადაცემულ ძალას, მაშინ თვალი იწყებს რელსიდან მოწყვეტას. ასეთ შემთხვევაში  $A$  წერტილი მაღლა უფრო სწრაფად იწეკის, უკარე ლატეირთეისაგან განთავისუფლებული ჩაღუნული რელსი ასწრებს გასწორებას. სინქარის კიდევ უფრო მეტად ზრდის შემთხვევაში თელის  $B$  წერტილის რელსზე დარტყმის სინქარე და დარტყმის ძალა მცირდება.

**თავი 5. პორიზონტალური ძალების ზემოქმედება და ლიანდაგის  
წინააღმდეგობა**

**5.1. პორიზონტალური ძალები**

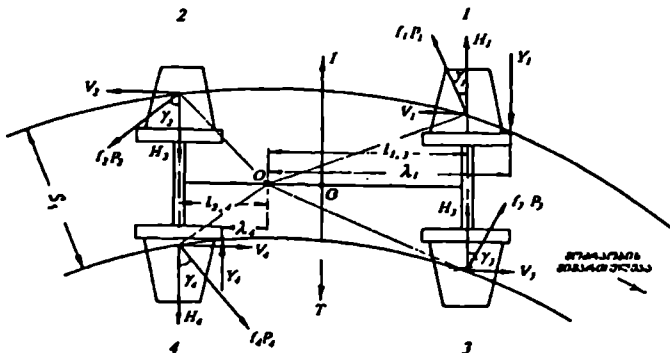
ლიანდაგის ზედა ნაწილის მოძრავი შემადგენლობისაგან გადაეცემა არა მარტო ვერტიკალური ძალები, არამედ პორიზონტალური ძალებიც. მოძრავი შემადგენლობიდან ლიანდაგზე გადაცემული პორიზონტალური ძალები ორ ჯგუფად იყოფიან: განივ და გრძივ პორიზონტალურ ძალებად. განივი პორიზონტალური ძალები მოქმედებენ ლიანდაგის ღერძის მართობულად, ხოლო გრძივი პორიზონტალური ძალები კი ლიანდაგის ღერძის გასწვრივ.

ლიანდაგის სწორ უბნებში პორიზონტალური ძალები ძირითადად წარმოიქმნებიან მოძრავი შემადგენლობის მიმოქანებითი მოძრაობის შედეგად და აისახებიან ხახუნის ძალის სახით.

ლიანდაგის მრუდ უბნებში კი პორიზონტალური ძალების წარმოშობა განპირობებულია მოძრავი შემადგენლობის მრუდებში ჩაწერის პირობით და ცენტრიდანული ძალის ზემოქმედების შედეგად.

**5.2 განივი პორიზონტალური ძალები**

რელსის თავისა და თელის გორვის ზედაპირის შეხების წერტილში წარმოშობილ განივ პორიზონტალურ ძალებს წარმოადგენენ მიმმართველი და გვერდული ძალები. (ნახ. 5.1)



**ნახ.5.1. განივი პორიზონტალური ძალების სქემა**



რელსზე მოძრავი შემადგენლობის ზემოქმედება წარმოადგენს თელის ქიმის რელსის მუშა წახნაგზე მიჭერის ძალისა (მიმმართველი ძალის) და ხახუნის ძალის პორიზონტალური, განივი მდგენელის ალგებრულ ჯამს. მას გვერდული ძალა ეწოდება:

$$Y' = V + H \quad (5.1)$$

$$H_1 = fP_1 \cos \gamma, \quad (5.2)$$

სადაც  $H$  ხახუნის ძალის განივი, პორიზონტალური მდგენელი, მიმმართველი ძალაა;

$P$  - თელიდან რელსზე გადაცემული ვერტიკალური დატვირთვა;

$f$  - ხახუნის კოეფიციენტი.

ხახუნის ძალის გრძივი პორიზონტალური მდგენელი ტოლია:

$$V = fP_1 \sin \gamma, \quad (5.3)$$

$$\gamma_1 = \gamma_{\text{ნაპ}} + \gamma_{\text{პოპ}} \quad (5.4)$$

$$\cos \gamma_1 = \frac{l_1}{d_1} \quad (5.5)$$

$$\sin \gamma_1 = \frac{S_1/2}{d_1} \quad (5.6)$$

$$d_1 = \sqrt{l_1^2 + \left(\frac{S_1}{2}\right)^2} \quad (5.7)$$

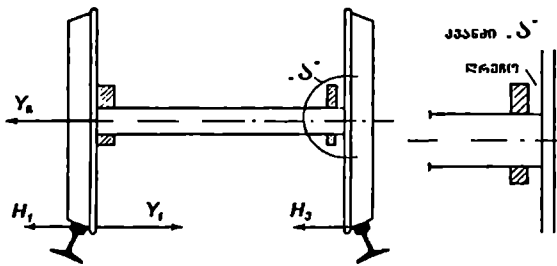
(ვდებით დადგენილია, რომ ლიანდაგზე მოქმედი გვერდული ძალების სიდიდე, 100–120 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობის პირობებში შეადგენს 4–5 ტონას, ხოლო ცალკეული ბიძგების ზემოქმედება აღწევს 10–12 ტონას (მკვეთრად გამოხატული უსწორობების შემთხვევაში).

გარდა მიმმართველი და გვერდული ძალებისა, მოძრავი შემადგენლობის ჩარჩოსაგან, თელების მეშვეობით რელსებს გადაეცემათ ჩარჩო ძალა  $Y_2$ . ჩარჩოზე მოქმედ პორიზონტალურ ძალებს წარმოადგენენ: ცენტრიდანული ძალა და წევის ძალის განივი მდგენელი. ჩარჩო ძალა ერთი და იგივე ღერძიდან გარე და შიგა რელსებზე გადაცემული გვერდული ძალების სხვაობის ტოლია და მოადებულია წვეილთეალის ღერძის გასწვრივ (ნახ.5.2). ჩვეულებრივ შემთხვევაში მიმმართველი ძალა წარმოიქმნება ორიდან ერთ-ერთი თელის მიმართ, ამიტომ

$$Y_2 = Y'_{\text{გაპ}} + H_{\text{გაპ}} \quad (5.8)$$

ან

$$Y_2 = Y'_{\text{პოპ}} + H_{\text{პოპ}} \quad (5.9)$$



ნახ.5.2. წვეილთეაღზე მარჩრო ძალის მოდების სკემა

სამღერძიანი ურიკებისათვის 100 კმ/სთ-ით სინქარით მოძრაობის შემოხვევაში მარჩრო ძალის სიდიდემ 6-7 ტონას შეიძლება მიაღწიოს.

გვერდითი ძალის სიდიდე  $Y'$  დამოკიდებულია ღიანდაგისა და ეკიპაჟის სისტემის დრეკადობის ხარისხზე და თვლის გვერდითი ასრიალების სიდიდესე, რომელსაც იწვევს  $Y'$  გვერდითი ძალა. თვლის გვერდითი ასრიალების სიდიდე ზოგადად დამოკიდებულია რელსის თავის დრეკადად გადაადგილების სიდიდესე და ეკიპაჟის დეტალების დრეკად ჩაღუნვაზე.

რელსების თავების დრეკადი გადაღუნვა პორიზონტალური დინამიკის გათვალისწინებით (უსწორობებისა და ზიგზაგისებური მოძრაობის გათვალისწინებით), გამოითვლება ფორმულით

$$y = \left( \alpha Y' + \frac{Y' - fP}{\beta} \right) k \quad (5.10)$$

სადაც  $f$  - ხახუნის კოეფიციენტი სრიალისას,  $f = 0,15$ ;

$\alpha$  და  $\beta$  ღიანდაგის ზედა ნაშენის ტიპის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი;

$k$  - დინამიკურობის კოეფიციენტი,

$$k = 1 + \gamma \quad (5.11)$$

სადაც  $\gamma$  - მოძრაობის სინქარეა;

$\gamma$  კოეფიციენტი, ლოკომოტივის წინა სვლის დროს პირველი ღერძისათვის  $\gamma = 0,010$ ; მეორე და მესამე ღერძისათვის  $\gamma = 0$ ; ლოკომოტივის უკანა სვლის დროს პირველი ღერძისათვის  $\gamma = 0,006$  და  $\gamma = 0$  დანარჩენი ღერძებისათვის.

საერთოდ პორისონტალური ძალების ზუსტი გაანგარიშებები განხილვა ეკიპაჟის ლიანდაგში ნაწერის პირობების შესწავლისას.

უნდა აღინიშნოს, რომ მრუდე უბნების დარღვევები განსაკუთრებით ზრდის გვერდული ძალების მნიშვნელობას, დაახლოებით 1.5-3-ჯერ. ექსპერიმენტული ცდებით დადგენილია, რომ რაც მეტია უსწორობების ჩაღუნვის ისარი და მცირეა უსწორობის სიგრძე, მით მეტია გვერდული ძალების ზრდის ხარისხი.

მიმოქანებით მოძრავი თელის ქიმი რელსთან მიჯახების შედეგად მრუდში შეხვლის მომენტში, გადასასვლელი მრუდის არასაკმარისი სიგრძის ან გეგმაში მკვეთრად გამოხატული დარღვევის დროს, გვერდული ძალების სიდიდე გაცილებით მეტი შეიძლება იყოს, ვიდრე წრიულ მრუდში მოძრაობისას.

წრიული მრუდებისათვის, გამომდინარე გაუბათილებელი აჩქარების ნორმიდან ( $a = 0,7 \text{ მ/წმ}^2$ ), გვერდული ძალების სიდიდე რეგლამენტირებულია და 10 ტონას არ უნდა აღემატებოდეს.

მრუდებში მოძრაობისას აღიქმება აგრეთვე ცენტრიდანული განივი ძალა:

$$I = \frac{v^2 \sum P_i}{gR} \quad (5.12)$$

თითოეული ურიკიდან ლიანდაგს გადაეცემა აგრეთვე ცენტრიდანული ძალის, გარე რელსის შემაღლების შედეგად წარმოქმნილი სიმძიმის ძალის პორისონტალური მდგენელის და წვეის ძალის ნორმალური მდგენელის ტოლქმედი განივი ძალა  $T$ , რომელიც მოდებულია ურიკის მობრუნების ცენტრში (ათიულება წინა ღერძიდან)

$$T = \frac{a}{g} \sum P_i - \frac{2L_{\text{კვ}}}{k_{\text{კ}} R} \times \frac{L_{\text{კ}}}{L_{\text{კგ}}} \times F_{\text{კ}} \quad (5.13)$$

სადაც  $a$  - გაუბათილებელი ცენტრიდანული აჩქარების სიდიდეა;

$k_{\text{კ}}$  - ურიკების რაოდენობა ეკიპაჟში (ოთხღერძიანი და ექვსღერძიანი ვაგონებისათვის  $k_{\text{კ}}=2$ , ოთხღერძიანი ვაგონებისათვის  $k_{\text{კ}}=4$ );

$L_{\text{კგ}}$  - მატარებლის სიგრძე;

$L_{\text{კ}}$  - მატარებლის ბოლო ნაწილის სიგრძე, ათელილი ეკიპაჟის შუა წერტილიდან (მიმწოლი ლოკომოტივის გამოყენების შემთხვევაში, მატარებლის წინა ნაწილის სიგრძე);

$L_{\text{კვ}}$  - განსახილველი ეკიპაჟის სიგრძე, ავტოგადაბმულობის ღერძების შორის მანძილი;

$F_i$  - ლოკომოტივის მიერ მრუდის გავლის დროს განითარებული წვეის ძალა (მიმწოლი ლოკომოტივის გამოყენების და სალოკომოტივო დამუხრუჭებისას  $F_i$  აიღება უარყოფითი ნიშნით.

### 5.3 გრძივი პორიზონტალური ძალები

რელსებში გრძივი პორიზონტალური ძალები აღიქმება მოძრავი შემადგენლობის სემოქმედების და ტემპერატურული ცვალებადობის შედეგად.

ლიანდაგზე მოქმედი პორიზონტალური გრძივი ძალები ორ ძირითად ჯგუფად იყოფიან:

პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება გრძივი პორიზონტალური ძალები, რომლებიც აღიქმებიან რელსების სიგრძის ცვალებადობისადმი, ლიანდაგის გრძივი წინაღობის შედეგად და მათ ტემპერატურული ძალები ეწოდება.

მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება პორიზონტალური გრძივი ძალები, რომლებიც აღიქმებიან ლიანდაგზე მოძრავი შემადგენლობის სემოქმედებით. ეს ძალები ცდილობენ რელსების ლიანდაგის ღერძის გრძივი მიმართულებით გადაადგილებას და მათ ლიანდაგის წაძვრის ძალები ეწოდება.

რელსებზე თვლების სემოქმედება დამოკიდებულია მატარებლების მოძრაობის რეჟიმზე და მოძრავი შემადგენლობის ტიპზე. წვეის რეჟიმში ლოკომოტივის თვლები გადასცემენ გრძივ პორიზონტალურ ძალას, რომელსაც მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულება გააჩნია. ვაგონების თვლები კი ეწინააღმდეგება რა მოძრაობას, რელსებს გადასცემენ გრძივ პორიზონტალურ ძალას, რომელსაც მოძრაობის თანხედრილი მიმართულება გააჩნია. ინერციული მოძრაობის დროს ლოკომოტივისა და ვაგონების თვლები რელსებს გადასცემენ მოძრაობის მიმართულების თანხედრილ გრძივ პორიზონტალურ ძალას. გრძივ პორიზონტალურ ძალას ასეთივე მიმართულება აქვს დამუხრუჭების შემთხვევაშიც, მხოლოდ მისი სიდიდე გაცილებით მეტია.

პნემატური დამუხრუჭებისას, სამუხრუჭო ძალები თანაბრად ნაწილდება მატარებლის სიგრძეზე. რეკუპერაციული დამუხრუჭების დროს კი რელსებში აღიქმება გრძივი მკუმშავი ძალები, რომლებიც კონცენტრირდება მატარებლის თავში. ამ ძალების სიდიდე დამოკიდებულია ძრავის ღუნის დენის სიდიდეზე, ძაბვის მნიშვნელობაზე საკონტაქტო ქსელში, მოძრაობის სინქარზე და ელექტროძრავების ჩართვის სქემაზე. რეკუპერაციული დამუხრუჭების ძალის სიდიდე იცვლება 5-60 ტონის ფარგლებში, ხოლო მათი საშუალო მნიშვნელობა კი 20-30 ტონის ფარგლებში.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ გრძივი პორიზონტალური ძალების მნიშვნელობა არ უნდა აღემატებოდეს 50-60 ტონას. წინააღმდეგ შემთხვევაში მოძრავი შემაღენელობიდან შეიძლება მოხდეს ნაკლებად დატვირთული ვაგონების ამოწევა.

მთიან რკინიგზებზე რეკუპერაციული დამუხრუჭების გამო განსაკუთრებით იზრდება ლიანდაგის მოვლა-შენახვის სამუშაოები.

ყველა შემთხვევაში გრძივი პორიზონტალური ძალების სიდიდე გადაცემული თელისისაგან რელსებზე არ აღემატება სრიალის ხახუნის ძალას რელსისა და თელისს შორის.

ეს რა მოძრავი შემაღენელობის უკომპენდებისა, ლიანდაგში გრძივი პორიზონტალური ძალები წარმოიშობა რელსების ტემპერატურული ცვალებადობის გამო. ტემპერატურის მატების შემთხვევაში რელსებში აღიქვება კუმშვის ძაბვები, ხოლო ტემპერატურის კლების შემთხვევაში გაშვების ძაბვები.

რადგანაც ტემპერატურული ძალების სიდიდე დამოკიდებულია რელსების სიგრძეზე და ლიანდაგის წინააღმდეგობაზე, ლიანდაგის ზედა ნაწილის სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას აუცილებელია რელსების სიგრძის დადგენა ან ლიანდაგის ზედა ნაწილის სიმტკიცის და მდგრადობის პირობების შემოწმება უპირაპირო ლიანდაგის განგარიშებისას.

რელსების გადაადგილებისადმი წინააღმდეგობის არ არსებობისას, რელსი ტემპერატურის  $t^{\circ}C$  ცვალებადობის შემთხვევაში თავისუფლად წაგრძელდება

$$\Delta l = \alpha t l \quad (5.14)$$

სადაც  $\alpha = 0,0000118$ , სარელსო ფოლადის ხაზობრივი წაგრძელების კოეფიციენტი;

$l$  - რელსის სიგრძე.

თუ რელსის სიგრძის შეცვლას ეწინააღმდეგება  $P$  ძალა, მაშინ რელსებში აღიქვება ძაბვა

$$\sigma = \frac{P}{F} = E \epsilon = E \frac{\Delta l}{l} = \frac{E \alpha t l}{l} = E \alpha t \quad (5.15)$$

სადაც  $F$  - რელსის განივი კვეთის ფართობია;

$E$  - სარელსო ფოლადის დრეკადობის მოდული,  $E = 2,1 \times 10^6$  კგ/სმ<sup>2</sup>;

$\epsilon$  - რელსის ფარდობითი წაგრძელება;

$\lambda'$  - რელსის არშემდგარი წაგრძელების სიგრძე.

თუ (5.15) ფორმულაში შევიტანთ შესაბამის რიცხვით მნიშვნელობებს მივიღებთ

$$\sigma \approx 25t \quad (5.16)$$

ხოლო რელსებში გრძივი ძალის მნიშვნელობა ტოლი იქნება

$$P = \sigma F \approx 251F \quad (5.17)$$

#### 5.4. ლიანდაგის სიგრძივი წინაღობა

გრძივი ძალის მიერ ლიანდაგის გადაადგილებას უპირისპირდება ლიანდაგის პორიზონტალური სიგრძივი წინაღობა. რელსების გრძივი გადაადგილებისადმი წინაღობის სიდიდე დამოკიდებულია სარელსო სამაგრების კონსტრუქციაზე. ომბოხური მიმაგრების შემთხვევაში ეს წინაღობა გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე განცალკევებული მიმაგრების შემთხვევაში.

შპალების გადაადგილებისადმი წინაღობა დამოკიდებულია ბალისტიკის სახეობაზე, დატკეპნის ხარისხზე და შპალების ეპიურაზე. მაგალითისათვის ღორღის ბალისტიკის შემთხვევაში ერთი შპალის გადაადგილებისადმი წინააღმდეგობა ლიანდაგის გრძივი მიმართულებით დაახლოებით 700 კგ-ს ტოლია.

ლიანდაგის წინაღობას გადაადგილებისადმი განიხილავებენ:

პირაპირის კონსტრუქციის წინაღობა;

ლიანდაგის პორიზონტალური სიგრძივი წინაღობა.

პირაპირის წინაღობა დამოკიდებულია პირაპირის კონსტრუქციის მოწყობილობაზე (ზეესადებიანი ან გამაწონასწორებელ მოწყობილობიანი). პირაპირის წინაღობის განზომილებაა კგ/პირაპირზე. მატარებლების გაედლისას პირაპირების შერყევისას პირაპირის წინაღობა შეიძლება 40 - 50%-ით შემცირდეს

პორიზონტალური სიგრძივი წინაღობა წარმოადგენს ლიანდაგის გრძივ ერთეულის წინაღობას და გაიზომება კგ/სმ ერთი სარელსო ძაფისათვის.

პირაპირის წინაღობა კონსტრუქციისათვის ზესადებით და ჭანჭიკებით ტოლია

$$P_{\lambda} = \frac{4 f_{\lambda} n A}{\sin \alpha} \quad (5.18)$$

სადაც  $f_{\lambda}$  - ზესადების საკონტაქტო ფართობის ხახუნის კოეფიციენტი რელსებთან,

ან,  $f_{\lambda} = 0,2$ ;

$\alpha$  ზესადის საკონტაქტო ფართობის პორიზონტისადმი დახრის კუთხე;

$2n$  ჭანჭიკების რიცხვი პირაპირში;

$A$  თითოეულ ჭანჭიკზე ქანჩის მოჭერის ძალა.

$$A = \frac{M}{1g(\gamma + \rho') \frac{d_{\text{სა}}}{2} + \frac{1}{3} f_{\lambda} \frac{D_0^3 - d_0^3}{D_0^2 - d_0^2}} \quad (5.19)$$

სადაც  $M$  - ქანის მომჭერი მომენტია (ქანის გასაღებით ხელით მოჭერის შემთხვევაში 2500-3000 კგსმ; შურუპის ქანის გასაღებით ШГК-2 და ШГК-3 -ით მოჭერის შემთხვევაში 1200 კგსმ, რომელიც არასაკმარისია ქანის საბოლოოდ მოჭერისათვის; 1200-4500 კგსმ ელექტროშურუპომოჭერის შემთხვევაში;

$\gamma$  - ხრახნის აღმასვლის კუთხე,

$$\rho' = \arctg \frac{f_{\text{სა}}}{\cos \beta} \quad (5.20)$$

სადაც  $f_{\text{სა}}$  - ჩვეულებრივ ზაფხულის პირობებში ხრახნში ხახუნის კოეფიციენტი,

$$f_{\text{სა}} = 0,2;$$

$\beta$  - ხრახნის წამახვილების კუთხის ნახევარი;

$f_{\text{ჰა}}$  - ჩვეულებრივ ზაფხულის პირობებში ქანის ტორსზე ხახუნის ძალა,

$$f_{\text{ჰა}} = 0,2;$$

$d_{\text{სა}}$  - ჭანჭიკის საშუალო დიამეტრი;

$D_0$  - ქანის ტორსის საყრდენი წრიული ფართობის გარეოა დიამეტრი;

$d_0$  - ქანის ტორსის საყრდენი წრიული ფართობის შიგა დიამეტრი.

გამაწონასწორებელი მოწყობილობების სიგრძივი წინაღობა დაახლოებით 8 - 10-ჯერ ნაკლებია შესაბამისი პირაპირის წინაღობაზე.

პირაპირის წინაღობის გამო ტემპერატურის ცვალებადობისას რელსებში აღიძვრება ძაბვები

$$\sigma = \frac{P_{\text{კ}}}{F} \quad (5.21)$$

ხოლო რელსებში აღძვრული ძაბვების შესაბამისი ტემპერატურა ტოლია

$$t_{\text{კ}} = \frac{\sigma_{\text{კ}}}{E\alpha} = \frac{\sigma_{\text{კ}}}{25} \quad (5.22)$$

პირაპირის წინაღობის გამო რელსის არშემდგარი წაგრძელება

$$\lambda_{\text{კ}} = \alpha_{\text{კ}} l \quad (5.23)$$

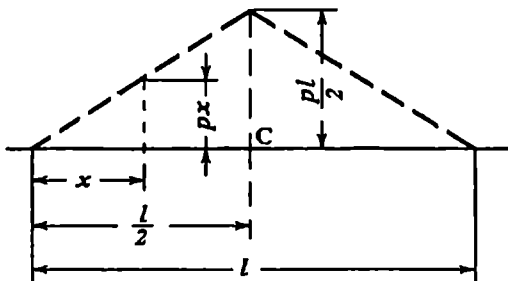
ლიანდაგის სიგრძივი  $p$  წინაღობა რელსების გრძივი გადაადგილებისადმი, წარმოიშობა შუალედური სამაგრების მოჭერის ძალით

$$p = \frac{RN}{200000} \quad (5.24)$$

სადაც  $R$  - თითოეული შპალის წინაღობაა ლიანდაგის გრძივი გადაადგილებისადმი;

$N$  - შპალების რაოდენობა 1 კმ-ზე.

განვიხილოთ ლიანდაგის სიგრძივი წინაღობა რელსის სიგრძის ცვალებადობი-  
სადმი (ნახ.53). ტემპერატურის ცვალებადობის გამო რელსის  $x$  სიგრძის უბანზე,  
რომ შეიცვალოს თავისი სიგრძე, საჭიროა დაძლეულ იქნას ლიანდაგის სიგრძივი  
წინაღობა ანუ დაძლიოს გრძივი ძალა  $px$ .



ნახ.53. ლიანდაგის სიგრძივი წინაღობის სქემა

$P_x = px$  ძალის მაქსიმალურ მნიშვნელობას ადგილი ექნება, როცა  $x = \frac{l}{2}$  (ნახ.53),

მაშინ

$$P_{\text{სოფ}} = \frac{pl}{2} \quad (5.25)$$

ტემპერატურის ცვალებადობის  $t_x$  სიდიდე, რომელიც საჭიროა სიგრძივი წინა-  
აღმდეგობის დასაძლევად  $x$  სიგრძის უბანზე ტოლი იქნება

$$\sigma_x = \frac{px}{F} = E\alpha t_x \quad (5.26)$$

ანუ

$$t_x = \frac{px}{FE\alpha} = \frac{px}{25F} \quad (5.27)$$

როცა  $t_x = t_n$ , მაშინ

$$t_n = \frac{pl}{2FE\alpha} = \frac{pl}{50F} = \frac{P_{\text{სოფ}}}{25F} \quad (5.28)$$

ტემპერატურის ცვალებადობის შედეგად რელსის სიგრძის ცვალებადობის სი-  
დიდე  $d\lambda'_x$ ,  $dx$  სიგრძის უბანზე პუკის კანონის მიხედვით განისაზღვრება შემდეგი  
განტოლების საფუძველზე

$$\sigma = E \frac{d\lambda'_x}{dx} = E\alpha t_n \quad (5.29)$$



ამიტომ

$$d\lambda'_i = \alpha_i dx \quad (5.30)$$

რელსის სიგრძის ცვალებადობის მაქსიმალური სიდიდე

$$\lambda'_i = \int \alpha_i dx \quad (5.31)$$

სიგრძივი წინააღმდეგობის არ არსებობისას, რელსის სიგრძის მთლიანი თავისუფალი ცვალებადობა ტოლი იქნებოდა

$$\lambda_{\text{თ}} = \alpha_i x \quad (5.32)$$

მისი რელსის სიგრძის ფაქტორული ცვალებადობა

$$\lambda_i = \lambda_{\text{თ}} - \lambda'_i = \alpha_i x - \int \alpha_i dx \quad (5.33)$$

განტოლების ნაწილებად ინტეგრირებით მივიღებთ

$$\lambda_i = \int dx \alpha_i \quad (5.34)$$

შეიქმნათ (5.33) და (5.34) ფორმულა (5.28)-ში, გაეანტიგრირალოთ და მივიღებთ

$$\lambda_i = \lambda'_i = \frac{2px^3}{2EF} = \frac{EF\alpha}{2p} l_i^2 = \frac{1}{2} \alpha x l_i = \frac{1}{2} \lambda_{\text{თ}} \quad (5.35)$$

$\lambda'_i$  და  $\lambda_i$  სიდიდეები იცვლება  $x$ -ისა და  $l_i$ -ის მიხედვით კვადრატული პარაბოლის კანონით და არ არის დამოკიდებული სიგრძეზე წინააღმდეგობის სიდიდის ნახევრის ტოლია რელსის თავისუფალი წაგრძელების სიდიდის ნახევრის.

რელსის მთელი სიგრძის ცვალებადობის სიდიდე სიგრძივი წინააღმდეგობის დაძლევის შემთხვევაში ტოლია

$$\lambda_{\text{თ}} = \lambda'_{\text{თ}} = 2\lambda_i = 2 \left[ \frac{1}{2} \alpha \frac{l_i}{2} l_{\text{თ}} \right] = \frac{1}{2} \alpha l_{\text{თ}} \quad (5.36)$$

ზოგ შემთხვევაში, როდესაც სიგრძივი ძალების ერთობლივი ზემოქმედება აჭარბებს ლიანდაგის წინააღმდეგობას, ადგილი აქვს ლიანდაგის წაძვრას. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ლიანდაგის წაძვრა რთული მოვლენაა და სიგრძივი ძალების აბსოლუტური მნიშვნელობების გარდა დამოკიდებულია კიდევ მრავალ ფაქტორზე.

მოძრაობის პირობებში ეკიპაჟის თვლები და რელსები ხახუნის ძალების ზემოქმედებით ცდილობენ წაძვრან რელსები მოძრაობის მიმართულებით, ხოლო წამყვანი თვლები წვეის რევიშში მუშაობისას ცდილობენ რელსები აითრიონ მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

პირაპირებში თვლის დაჯახებისას რელსის ბოლოზე პირაპირებისა და სიგრძივი წინააღმდეგობა ეცემა, რის გამოც რელსებში ტემპერატურის ცვალებადობით

დაგროვებული პოტენციური ენერჯიის ნაწილი გადადის კინეტიკურში და, რადგანაც რელსის ერთი ბოლო უჭირავს მასზე შეგროვებულ თეაღს იგი იძულებულია გადაადგილდეს მოძრაობის მიმართულებით.

მოძრაეი შემადგენლობის დატვირთვის ქვეშ რელსების ჩაღუნვის გამო და სა-  
მუხრუჟო ძალების შემოქმედებით წაძერის ძალების სიდიდე მკვეთრად იზრდება.

თუ განვიხილავთ შემთხვევას, როცა სარელსო საფუძველს გაანინა დრეკადო-  
ბა მხოლოდ ვერტიკალურ და არა ჰორიზონტალურ სიბრტყეში და რელსის დრეკა-  
დი ჩაღუნვა გამოწვეულია მხოლოდ ვერტიკალური ძალების შემოქმედებით, მაშინ  
დრეკადი ჩაღუნვის მახასიათებელი  $y$  განისაზღვრება ცნობილი ფორმულით

$$y = \frac{k}{2U} \sum P e^{-kx} (\cos kx + \sin kx) = \frac{k}{2U} \sum P \eta \quad (5.37)$$

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{k^2}{U} \sum P e^{-kx} \sin kx \quad (5.38)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{k^3}{U} \sum P e^{-kx} (\cos kx - \sin kx) = \frac{k^3}{U} \sum P \eta \quad (5.39)$$

ხახუნის სიგრძივი ძალა  $f$  განისაზღვრება ფორმულით

$$f = \phi U y = \frac{1}{2} P e^{-kx} (\cos kx - \sin kx) = \frac{1}{2} \phi k \sum P \eta \quad (5.40)$$

სადაც  $\phi$  - რელსის ქვედთან ხახუნის კოეფიციენტი;

$U$  - სარელსო საფუძველის დრეკადობის მოდული;

$y$  - რელსის დრეკადი ჩაღუნვა.

დრეკადი ჩაღუნვის ეპიურის II ზონაში (ნახ.5.4) ხახუნის  $f$  ძალა მიმართულია  
მოძრაობის თანხედრილად, ხოლო I და III ზონაში მოძრაობის საწინააღმდეგოდ,  
მაშინ ხახუნის ჯამური სიგრძივი ძალა  $F$  ტოლი იქნება

$$F = \phi U \left[ \int_{\frac{x}{4l}}^{\frac{x}{4l}} y dx - \int_{\frac{x}{4l}}^{\frac{x}{4l}} y dx - \int_{\frac{x}{4l}}^{\frac{x}{4l}} y dx \right] = \phi U (\Omega_{II} - \Omega_I - \Omega_{III}) \quad (5.41)$$

ცალკეული თელის დატვირთვისათვის  $\phi = 0,30$ , მაშინ

$$F = 0,288 \phi P \quad (5.42)$$

პროფ. ვალბრეხტის მონაცემებით ხახუნის სიგრძივი ძალა  $F$  ტოლია წაძერის  
სიგრძივი  $P_f$  ძალისა, მაშინ დრეკადი ჩაღუნვის შედეგად რელსის განივი კეუთის  
 $\phi$  კუთხით შემობრუნების გამო მისი ფუძე გადაადგილდება  $l$ , სიდიდით

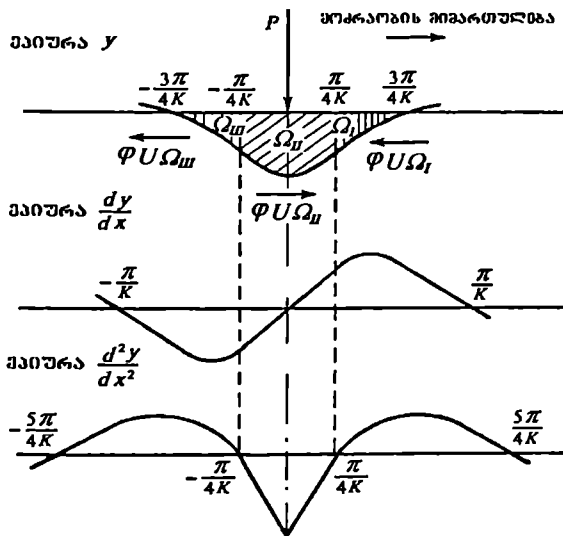
$$l_s = h \frac{dy}{dx} = -\frac{hk^2}{2U} \sum P e^{-kx} \sin kx \quad (5.43)$$

სადაც  $h$  მანძილია ნეიტრალური ღერძიდან რელსის ყუქმდვ. მიხედვით რელსის სიმაღლის ნახევრის ტოლია.

მიჩნეულია, რომ დრეკადი სიგრძივი ძალა  $\omega$  ტოლია

$$\omega = -m\omega, \quad (5.44)$$

სადაც  $m$  - სიგრძივი დრეკადობის მოდულია.



ნახ. 5.4.  $y$ ,  $\frac{dy}{dx}$ ,  $\frac{d^2y}{dx^2}$  - ის ეპიურები

თუ  $\omega < f$ , მაშინ სიგრძივი დრეკად ძალთა ჯამი ნულის ტოლია და წაძვრის ძალაც ნულის ტოლია. თუ  $\omega > f$ , მაშინ რელსის დრეკადი ჩაღუნვის ტალღების შემოქმედებით რელსისა და სარელსო საფუძვლის დრეკადი კავშირი ირღვევა და ადგილი აქვს ლიანდაგის წაძვრას.

ომბოხური მიმადრების შემთხვევაში ოთხღერძიანი ვაგონების მოძრაობისას, ლიანდაგის წაძვრის დრეკადი სიგრძივი ძალა, დამოკიდებული ლიანდაგის კონსტრუქციასთან ტოლია  $P_{წლ} = 2.2 - 2.75$  კგ/სმ ერთი სარელსო ძაფისათვის.

დამუხრუჭებით გამოწვეული წაძვრის ძალა  $P_{\text{წ}}^{\text{გ}}$  განისაზღვრება დამუხრუჭების  $B_{\text{წ}}$  ძალის სიდიდის მიხედვით.

დამუხრუჭების ძალა სინქარის ცვალებადობისათვის  $v_{\text{წწ}}$ -დან  $v_{\text{წწ}}$ -მდე გამოიყვანება ფორმულით

$$B_{\text{წ}} = Q \left[ \frac{(1 + \gamma)}{2g} \times \frac{(v_{\text{წწ}}^2 - v_{\text{წწ}}^2)}{L_{\text{წ}}} + i - \omega_{\text{წწ}} \right] \quad (5.45)$$

სადაც  $Q$  - მატარებლის წონაა;

$i$  - ლიანდაგის კანობი;

$\omega_{\text{წწ}}$  - მატარებლის ხეიდრითი წინაღობა;

$L_{\text{წ}}$  - სამუხრუჭე უბნის სიგრძე;

$g$  - სიმძიმის ძალის აჩქარება;

$\gamma$  - მატარებლის კინეტიკური ენერჯის კარგების კოეფიციენტი (ოთხედიანი ეავანებისათვის  $\gamma = 0,01$ ).

დამუხრუჭების საშუალო სიგრძივი ძალა ტოლია

$$P_{\text{წ}}^{\text{გ}} = \frac{B_{\text{წ}}}{2L_{\text{წ}}} \quad (5.46)$$

სადაც  $L_{\text{წ}}$  - მატარებლის სიგრძეა.

ჩვეულებრივად  $P_{\text{წ}}^{\text{გ}} \leq 1,2 + 1,6$  კგ/სმ ერთი სარელსო ძაფისათვის.

გრძელ გატვირთვებულ დაღმართებზე თანაბარი სინქარის შენარჩუნებისათვის მემინქანე მიმართავს წვეტილ დამუხრუჭებას. ასეთ შემთხვევაში

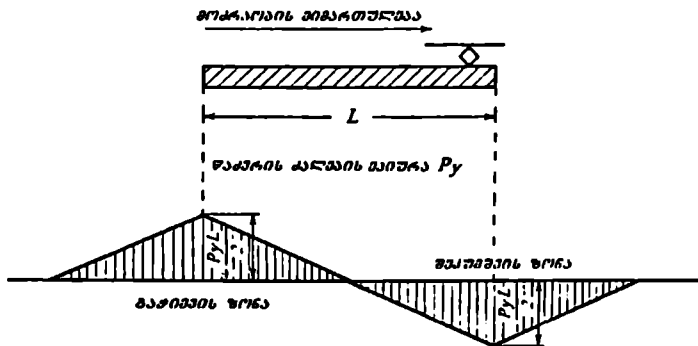
$$B_{\text{წ}} = Q(i - \omega_{\text{წწ}} + f_{\text{წ}}) \quad (5.47)$$

სადაც:  $f_{\text{წ}}$  - არათანაბარი დამუხრუჭების კოეფიციენტი, დამოკიდებულია დაღმართის კანობზე, როცა  $i = 6 - 10 \%$ , მაშინ  $f_{\text{წ}} = 0,018$ .

მთლიანი სიგრძივი წაძვრის ძალა გამოწვეული მატარებლის დამუხრუჭებით ტოლია

$$P_{\text{წ}}^{\text{ს}} = P_{\text{წ}}^{\text{დ}} + P_{\text{წ}}^{\text{გ}} \quad (5.48)$$

წაძვრის წინააღობის თვალსაზრისით ყველაზე არახელსაყრელ უბნებს წარმოადგენს მოძრავი შემაღლებლობის დატვირთვისაგან თავისუფალი მონაკვეთები, რომლებზეც ვრცელდება წაძვრის ძალების ზემოქმედება (ნახ. 5.5).



ნახ. 5.5. წაძვრის ძალების ეპიურა

წაძვრის  $P_{\Sigma}$  ძალა უნდა გაწონასწორდეს ძვრაწინაღობის ძალით. ძვრაწინაღობის რაოდენობა და მათი განლაგების სქემა შეირჩევა წაძვრის  $P_{\Sigma}$  ძალის მნიშვნელობის მიხედვით. წინასწარ უცდით, რა თითოეული ძვრაწინაღობის ძალის სიდიდე.

თაში 6. ლიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე ბაანგარიშების პრაქტიკული მეთოდები

6.1. ლიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე გაანგარიშება

ლიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის თავდაპირველად უნდა განისაზღვროს მასზე მოქმედი ყველა ვერტიკალური ძალების ტოლქმედის საშუალო მნიშვნელობა.

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma 0} + P_{\Sigma}^{\text{სა}} \quad (6.1)$$

სადაც  $P_{\Sigma 0}$  – თელიდან რელსზე გადაცემული სტატიკური დატვირთვაა, (დანართი, ცხრილი 2).

$P_{\Sigma}^{\text{სა}}$  – რესორების რხევით გამოწვეული დამატებითი ინერციული ძალის საშუალო მნიშვნელობა საანგარიშო კვეთში.

რელსებზე მოდებული დინამიკური მომენტის  $M_{\Sigma}$  შიშალებზე გადაცემული დინამიკური დატვირთვის  $Q_{\Sigma}$  და რელსების დრეკადი დინამიკური ჩაღუნვის  $\gamma_{\Sigma}$  მნიშვნელობათა განსაზღვრისათვის საჭიროა განისაზღვროს უქვევალენტური დინამიკური ძალების  $P_{\Sigma}^I$  და  $P_{\Sigma}^{II}$  სიდიდეები. ამისათვის აუცილებელია განისაზღვროს ლიანდაგზე მოქმედი ყველა დამატებითი დინამიკური ინერციული ძალებისა და მათი საშუალო კვადრატული გადახრის მნიშვნელობები.

რესორების რხევით გამოწვეული დამატებითი დინამიკური ძალა  $P_{\Sigma}$  განისაზღვრება რესორების დრეკადი ჩაღუნვის მაქსიმალური სიდიდისა და რესორის სიხისტესთან დამოკიდებულების მიხედვით

$$P_{\Sigma} = \mathcal{K} z_{\Sigma} \quad (6.2)$$

სადაც  $\mathcal{K}$  – რესორის სიხისტეა, (დანართი, (ცხრილი 2);

$z_{\Sigma}$  – რესორის დრეკადი ჩაღუნვის მაქსიმალური სიდიდე,

$$z_{\Sigma} = a_{\Sigma} + b_{\Sigma} v^2 \quad (6.3)$$

სადაც  $a_{\Sigma}$  და  $b_{\Sigma}$  – ცდებით დადგენილი პარამეტრებია, (ცხრილი 12);

$v$  – მოძრაობის მაქსიმალური სიჩქარე.

უკმაველებისათვის და თბომავლებისათვის სავალის ნაწილების ორსაფეხურიანი ჩამოკიდების (БЛ10, БЛ60, 4С1, 4С2, 4С3, ТЕН60), რესორების რხევით გამოწვეული დინამიკური ძალა  $P_{\Sigma}$  განისაზღვრება ფორმულით:

$$P_{\Sigma} = K_{\Sigma} (P_{\Sigma 0} - q) \quad (6.4)$$

სადაც  $q$  - დაურესორებელი მასის წონა მოსული ერთ თვალზე;

$K_{\text{კვ}} -$  დაურესორებელი მასის დინამიკურობის კოეფიციენტი.

$$K_{\text{კვ}} = 0,1 + 0,2 \frac{v}{f_{\text{სფ}}} \quad (6.5)$$

სადაც  $v$  - მოძრაობის სიჩქარეა;

$f_{\text{სფ}}$  - სარესორო ჩამოკიდების სრული სტატიკური ჩაღუნვა, ორსაფეხურიანი ჩამოკიდების შემთხვევაში, მმ.

$$f_{\text{სფ}} = f_I + f_{II} \quad (6.6)$$

სადაც  $f_I$  - ჩამოკიდების პირველი საფეხურის (ურიკასა და ბუქსებს შორის) სტატიკური ჩაღუნვის სიდიდეა;

$f_{II}$  - ჩამოკიდების მეორე საფეხურის (ძარასა და ურიკას შორის) სტატიკური ჩაღუნვის სიდიდე.

სტატიკური ჩაღუნვის სიდიდე БЛ10 და ТЭ160 ლოკომოტივებისათვის ტოლია  $f_{\text{სფ}} = 104$  მმ, 4С1 და 4С3 ელმავლებისათვის -  $f_{\text{სფ}} = 90$  მმ, БЛ60 ელმავლისათვის -  $f_{\text{სფ}} = 5$  მმ, ხოლო 4С2 ელმავლისათვის -  $f_{\text{სფ}} = 123$  მმ.

რესორების რხევით გამოწვეული დამატებითი დინამიკური ძაღის საშუალო მნიშვნეღობა აიღება  $P_{\text{კ}}$  ძაღის 75%.

$$P_{\text{კ}}^{\text{სშ}} = 0,75 P_{\text{კ}} \quad (6.7)$$

ხოლო  $P_{\text{კ}}^{\text{სშ}}$  - ძაღის საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე ტოღია

$$S_{\text{კ}} = 0,08 P_{\text{კ}} \quad (6.8)$$

ღიანდაღის უსწორობით გამოწვეული დამატებითი დინამიკური ძაღის მნიშვნეღობა დამოკიდებუღია უსწორობის გეომეტრიულ ფორმალზე. ე.ი. მისი მხების უღიდეს კუთხურ მნიშვნეღობალზე. უღიდესი კუთხური მნიშვნეღობა გააღნია სინუსოიდური ფორმის უსწორობის მრუღის მხებ სწორ ხალს. ასეთი სწოროს განტოღების მიხედვით, ღიანდაღის უსწორობისაღან გამოწვეული დამატებითი დინამიკური, ინერტიული ძაღის მნიშვნეღობა გაღისასღერება ფორმულით:

$$P_{\text{ღკ}} = 0,8 \times 10^{-4} \beta \gamma P_{\text{კ}} \nu \sqrt{\frac{U}{k}} \sqrt{g} \quad (6.9)$$

სადაც 0,8 - ღიანდაღის უსწორობის ფორმის გამასაშუალოებელი კოეფიციენტი;

$\beta$  - რელსის ტიპის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი;

$\delta$  - ბალასტის სახეობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი;

$l$  - შაღღების ღერძებს შორის მანძიღი;

- $P_{\Sigma}$  – თვალზე მოსული საშუალო სიდიდის დატვირთვა;  
 $q$  – დაურესორბელი მასის წონა, მოსული ერთ თვალზე;  
 $v$  – მოძრაობის საანგარიშო სიჩქარე;  
 $U$  – სარელსო საფუძვლის დრეკადობის მიღწული.

$\beta$  კოეფიციენტის მნიშვნელობები რელსების ტიპის მიხედვით:

$P65$ – 0,85	$Ia$ – 1,15
$P50$ – 1,00	$IIa$ – 1,20
$P43$ – 1,10	$IIIa$ – 1,30

$\delta$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები ბალასტის სახეობის მიხედვით:

ლორდი, დახარისხებული ხრეში	– 1,0
კარიერის ხრეში, ნივარა	– 1,1
ქვიშა	– 1,5

შპალების ღერძებს შორის  $l$  მანძილი, შპალების ეპიურის მიხედვით:

1320 ც/კმ	– 75 სმ;	1840 ც/კმ	– 55 სმ;
1400 ც/კმ	– 72 სმ;	1920 ც/კმ	– 52 სმ;
1600 ც/კმ	– 63 სმ;	2000 ც/კმ	– 50 სმ.

ლიანდაგის უსწორობისაგან წარმოქმნილი დამატებითი ინერციული დინამიკური ძალის საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე ხის შპალების შემთხვევაში ტოლია:

$$S_{\Sigma} = 0,707 P_{\Sigma} = 0,565 \times 10^{-4} \beta \delta P_{\Sigma} v \sqrt{\frac{m}{k}} \sqrt{q} \quad (6.10)$$

რკინაბეტონის შპალებისათვის კი:

$$S_{\Sigma} = \frac{9,1 \times 10^{-3} P_{\Sigma} v \sqrt{q}}{(EI)^{1/4} U^{3/4}} = \frac{9,1 \times 10^{-3} P_{\Sigma} v \sqrt{q}}{\sqrt[4]{EI \times U^3}} \quad (6.11)$$

თვლებზე არსებული უსწორობებისაგან გამოწვეული დამატებითი ინერციული ძალების განსაზღვრისას უნდა გაითვალისწინოთ შემდეგი გარემოებები:

როგორც ცნობილია თვლებს გააჩნიათ უწყვეტი და იზოლირებული უსწორობები.

ყველაზე ფართოდ გავრცელებულია თვლებზე არსებული უწყვეტი უსწორობები, როგორებიცაა თელის გორვის ზედაპირის არათანაბარი ცვეთა, თვლის ოვალუ-



რობა და სხვა. გაანგარიშებებში დაშვებულია, რომ შემადგენლობის თვლების საერთო რიცხვის 95%-ს უწყვეტი უსწორობები გააჩნიათ.

გაცილებით ნაკლებადაა გაერცვლებული თვლების იზოლირებული უსწორობები (ადგილობრივი გაძლიერებული ცვეთა, ამოფხენა, ცოციები და სხვა). ასეთი უსწორობის სიგრძე 20 სმ-ს არ აღემატება, ხოლო მაქსიმალური სიღრმე  $a_1 = 0,065$  სმ.

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ თვლებზე არსებული უსწორობებისაგან გამოწვეული დამატებითი ინერციული დინამიკური ძალების ზემოქმედებით რელსის მაქსიმალური დრეკადი ჩაღუნვა  $\gamma_{\text{max}}$  დამოკიდებულია ფარდობა'სე

$$\frac{T_0}{T_v} \tag{6.12}$$

სადაც  $T_0$  - თვლის მიერ უსწორობის გაელის დრო;

$T_v$  - სისტემის „თვალი-რელსი“ რხევის საკუთარი პერიოდი;

რხეების თეორიის საფუძველზე დადგენილია შემდეგი დამოკიდებულება

$$\frac{\gamma_{\text{max}}}{a_1} = f\left(\frac{T_0}{T_v}\right) \tag{6.13}$$

„თვალი-რელსი“ სისტემის საკუთარი რხევის პერიოდი განისაზღვრება ფორმულით

$$T_v = 5,56 \sqrt{\frac{kq}{Ug}} \tag{6.14}$$

სადაც  $g = 981$  სმ/წმ<sup>2</sup> - სიმძიმის ძალის აჩქარებაა.

თვლის მიერ უსწორობის გაელის დრო  $T_0$  განისაზღვრება ფორმულით

$$T_0 = \frac{l_0}{v} \tag{6.15}$$

თუ (6.15) ფორმულაში შევიტანთ უსწორობის  $l_0$  სიგრძეს სმ-ში და ზოძრაობის  $v$  სინქარეს კმ/სთ-ში, მაშინ

$$T_0' = 0,036 \frac{l_0}{v} \tag{6.16}$$

ისოლირებული უსწორობის შემთხვევაში, როცა  $l_0' = 20$  სმ, უსწორობის გაელის დრო

$$T_0' = 0,036 \frac{20}{v} \tag{6.17}$$

უწყვეტი უსწორობის შემთხვევაში, როცა უსწორობის სიგრძე  $l'_0 = \frac{\pi d}{\nu}$ , უწყვეტი უსწორობის გაელის დრო

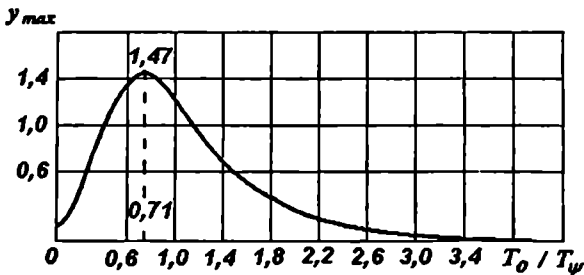
$$T'_0 = 0,036 \frac{\pi d}{\nu} \quad (6.18)$$

ს დაც  $\nu$  – მოძრავი უშმადგენლობის თქლის ღიაჩეტრია (დანართი, ცსრილი 2).  
თუ მივიღეთ, რომ ფარდობა

$$\frac{T'_0}{T_\nu} < 0,71 < \frac{T'_0}{T_\nu} \quad (6.19)$$

მაშინ  $y_{\max} = 1,47$  სმ.

სხვა შემთხვევაში  $y_{\max}$  -ის მნიშვნელობა აიღება გრაფიკიდან (ნახ. 6.1).



ნახ. 6.1.  $y_{\max}$  -ის  $\frac{T_0}{T_p}$  სიდიდესთან დამოკიდებულების გრაფიკი

შემდეგ შეგვიძლია განვსაზღვროთ თვლებზე არსებული იზოლირებული უსწორობებისაგან გამოწვეული დამატებითი ინერციული ძალა

$$P_{\text{დატ}} = y_{\max} \frac{2U}{k} a_1 \quad (6.20)$$

ხოლო ამ ძალის საშუალო კვადრატული გადასრა ტოლი იქნება

$$S_{\text{დატ}} = 0,25 y_{\max} \frac{2U}{k} a_1 = 0,5 y_{\max} \frac{U}{k} a_1 \quad (6.21)$$

დამატებითი ინერციული ძალების ტოლქმედის საანგარიშო ფორმულაში შეიტანება  $S_{\text{დატ}}$ , სიდიდის 5%.

თვლებზე არსებული უწყვეტი უსწორობისაგან გამოწვეული დამატებითი ინერციული ძალის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით

$$P_{\text{დატ}} = \frac{K_0 \nu^2 \sqrt{q}}{d^2 \sqrt{kU - 3,26k^1 q}} \quad (6.22)$$

ხოლო  $P_{\text{კა}} -$  ძალის საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე კი

$$S_{\text{კა}} = \frac{K_1 U v^2 \sqrt{q}}{d^2 \sqrt{kU - 3,26k^2 q}} \quad (6.23)$$

სადაც  $K_1 = 0,225 K_0 -$  სხვადასხვა ტიპის მოძრავი შემადგენლობის თვლების უწყვეტი უსწორობის დამახასიათებელი კოეფიციენტი.  $K_1 = 0,052$  ელმეულების, თბომეულების და ვაგონების თვლებისათვის.

დამატებითი დინამიკურ ძალთა ტოლქმედის საანგარიშო ფორმულაში შეიტანება  $S_{\text{კა}}$  სიდიდის 95%.

ეციით, რა ღიანდაგზე მოქმედი ყველა დამატებითი ინერციული ძალების საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე ცალ-ცალკე, შეიძლება გამოვთვალოთ ამ ძალთა საშუალო კვადრატული გადახრის ტოლქმედის მნიშვნელობა.

ყველა დამატებითი დინამიკური ინერციული ძალების ტოლქმედის საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით

$$S = \sqrt{S_n^2 + S_{\text{კა}}^2 + \frac{q_1}{100} S_{\text{კა}}^2 + \left(1 - \frac{q_1}{100}\right) S_{\text{კა}}^2} \quad (6.24)$$

სადაც  $q_1 -$  მორავი შემადგენლობის იმ თვლების პროცენტული შემადგენლობაა, რომლებსაც გაანჩნით ისოლირებული უსწორობები. მიღებულია, რომ  $q_1 = 5\%$ .

გამოვთვალოთ ღიანდაგზე მოქმედი ექვივალენტური დინამიკური ძალების მნიშვნელობები:

$$P_{\text{მზ}}^I = (P_{\text{კა}} + 2,5S + \sum P_{\text{კა}\mu}) \quad (6.25)$$

$$P_{\text{მზ}}^{II} = (P_{\text{კა}} + 2,5S + \sum P_{\text{კა}\eta}) \quad (6.26)$$

სადაც  $\sum P_{\text{კა}\mu} -$  მესობელი თვლების გაელენა საანგარიშო კვეთზე, მღუნავი დინამიკური მომენტის განსაზღვრის შემთხვევაში;

$\sum P_{\text{კა}\eta} -$  მესობელი თვლების გაელენა საანგარიშო კვეთზე, შპალეებზე გადაცემული დატვირთვისა და რელსის დრეკადი ჩაღუნვის შემთხვევაში.

$\mu -$  დინამიკური მომენტის გაელენის ხაზის ორდინატა;

$\eta -$  შპალეებზე დინამიკური დატვირთვისა და რელსის დრეკადი ჩაღუნვის გაელენის ხაზის ორდინატა.

$\mu$  და  $\eta$  სიდიდეები განისაზღვრება მოძრავი შემადგენლობის ღერძებს შორის მანძილის  $l_1 = x$ , სარელსო საფუძვლისა და რელსის ფარდობითი სიხისტის კოეფიციენტის ნამრავლის  $kx$  მიხედვით, (დანართი, ცხრილი 8).

მაშინ, დინამიკური მღუნავი მომენტი აღძრული რელსში  $P_{\Sigma}^I$  ეკვივალენტური ძალისაგან ტოლი იქნება:

$$M_{\Sigma} = \frac{f}{4k} P_{\Sigma}^I = \frac{f}{4k} (P_{\Sigma} + 2,5S + \sum P_{\Sigma} \mu) \quad (6.27)$$

ხოლო ძაბვა რელსის ფუძის წიბოში:

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{M_{\Sigma}}{W} = \frac{f}{4kW} (P_{\Sigma} + 2,5S + \sum P_{\Sigma} \mu) \quad (6.28)$$

სადაც  $f$  - განივი პორიზონტალური ძალების უემოქმედების და ვერტიკალური ძალების ექსცენტრული მოდების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი, (დანართი, ცხრილი 1).

$W$  - რელსის წინაღობის მომენტი მაქსიმალური დასაშვები ცვეთის გათვალისწინებით, (დანართი, ცხრილი 7).

რელსის ფუძის წიბოში ძაბვის საანგარიშო მნიშვნელობა  $\sigma_{\Sigma}$  უნდა შედარდეს დასაშვებ მნიშვნელობას  $[\sigma_{\Sigma}]$ -ს.

$$\sigma_{\Sigma} \leq [\sigma_{\Sigma}] \quad (6.29)$$

შპალებზე გადაცემული დინამიკური დატვირთვა კი ტოლია

$$Q_{\Sigma} = \frac{kl}{2} P_{\Sigma}^II = \frac{kl}{2} (P_{\Sigma} + 2,5S + \sum P_{\Sigma} \eta) \quad (6.30)$$

ხოლო თელის ძაბვის მნიშვნელობა შპალზე ქვედის ქვეშ ტოლია

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{Q_{\Sigma}}{\omega} = \frac{kl}{2\omega} (P_{\Sigma} + 2,5S + \sum P_{\Sigma} \eta) \quad (6.31)$$

$$\sigma_{\Sigma} \leq [\sigma_{\Sigma}] \quad (6.32)$$

სადაც  $\omega$  - ქვესაღების ფართობია, (დანართი, ცხრილი 5).

ბალასტის შრეში მაქსიმალური სიდიდის ძაბვები აღიძვრება შპალის ქვეშ და გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{Q_{\Sigma}}{\Omega} = \frac{kl}{2\Omega} (P_{\Sigma} + 2,5S + \sum P_{\Sigma} \eta) \quad (6.32)$$

$$\sigma_{\Sigma} \leq [\sigma_{\Sigma}] \quad (6.33)$$

სადაც  $\Omega$  - ნახევარშპალის ფართობია, (დანართი, ცხრილი 6).

რელსის დრეკადი ჩაღუნვა გამოითვლება ფორმულით:

$$y_{\text{გოგ}} = \frac{k}{2U} (P_{\text{სა}} + 2.5S + \sum P_{\text{სა}i}) \quad (6.34)$$

განესახდურით ძაბვის მნიშვნელობა რელსის თავის წიბოში. იგი გამოითქლება ფორმულით:

$$\sigma_{\text{გოგ}} = \frac{\sigma_{\text{არ}}}{f} \left[ \frac{z_n}{z_{\text{ფ}}} + \frac{(f-1)}{(1-\lambda)} \times \frac{b_n}{b_{\text{ფ}}} \left[ 1 + \lambda \frac{h_1}{h_2} \right] \right] \quad (6.35)$$

სადაც  $\sigma_{\text{გოგ}}$  - ძაბვა რელსის თავის შიგა წიბოში;

$z_n$  და  $z_{\text{ფ}}$  - შესაბამისად მანძილები რელსის სიმძიმის ცენტრში გამაველი პორიზონტალური ღერძიდან, მისი თავისა და ფუძის ყველაზე დაშორებულ ბოჭკომდე;

$b_n$  და  $b_{\text{ფ}}$  - შესაბამისად რელსის თავისა და ფუძის სიგანე;

$h_1$  და  $h_2$  - შესაბამისად მანძილი რელსის თავიდან და ფუძიდან რელსის განივი კვეთის გრეხის ცენტრამდე. (დანართი, ცხრილი 7)

კოეფიციენტი  $\lambda$  დამოკიდებულია  $\frac{\sigma_{\text{გოგ}}}{\sigma_{\text{პოგ}}}$  უარდობაზე, ე.ი.

$$\lambda = \frac{\sigma_{\text{გოგ}}}{\sigma_{\text{პოგ}}} \quad (6.36)$$

სადაც  $\sigma_{\text{პოგ}}$  - გრეხის ძაბვის მნიშვნელობა რელსის ფუძის წიბოში;

$\sigma_{\text{პოგ}}$  - პორიზონტალური ძალებისაგან გამოწვეული ძაბვის მნიშვნელობა რელსის ფუძეში.

$\lambda$  კოეფიციენტის სიდიდეები რეკომენდებულია მივიღოთ:

სწორ უბნებში და მრუდებში  $R > 1200$  მ - 0,10 - 0,15

მრუდებში  $R = 1200 + 800$  მ - 0,15 - 0,25

მრუდებში  $R = 800 + 300$  მ - 0,25 - 0,50

საანგარიშო ძაბვების სიდიდეები რელსის თავის შიგა წიბოში უნდა შედარდეს დასაშვები ძაბვის შესაბამის მნიშვნელობას

$$\sigma_{\text{გოგ}} \leq [\sigma_{\text{გოგ}}] \quad (6.37)$$

6.2 უპირაპირო ლიანდაგის გაანგარიშება სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე

ლიანდაგი ჩამაგრების შემდეგ რელსებში ტემპერატურის შემდგომი ცვალებადობა მისში ძაბვების წარმოქმნას იწვევს, რომელთა სიდიდე დამოკიდებულია ტემპერატურის ცვალებადობის მნიშვნელობაზე.

ტემპერატურის მატების შემთხვევაში წარმოიქმნება კუმშვის ძაბვები, რაც ლიანდაგის გავლების (კამრუდების) საფრთხეს ქმნის. ტემპერატურის კლების დროს კი რელსებში წარმოიქმნება გაშვითი ძაბვები, რაც წარმოქმნის სარეღოს ძაბვის გაწვევების საშიშროებას.

ძაბვები, რომლებიც რელსებში აღიძვებიან მატარებლებიდან გადაცემული დატვირთვებისა და ტემპერატურული ძალების ერთობლივი ზემოქმედებით, მარაგის კოეფიციენტის გათვალისწინებით, არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებ მნიშვნელობას.

როგორც ცნობილია უპირაპირო ლიანდაგი თავისი მუშაობის პირობების მიხედვით არსებობს: ტემპერატურულად დაძაბული უპირაპირო ლიანდაგი – ტემპერატურული განმუხტვის გარეშე და უპირაპირო ლიანდაგი სენსონური ტემპერატურულ განმუხტვებით, გაზაფხულზე და შემოდგომაზე.

უპირაპირო ლიანდაგის მუშაობის პირობების დადგენა დამოკიდებულია გარემოს ტემპერატურის ცვალებადობის წლიურ  $T_{\text{გ.წ}}$  ამპლიტუდაზე და რელსების ტემპერატურის ცვალებადობის დასაშვებ მნიშვნელობაზე [T].

გარემოს ტემპერატურის წლიური ამპლიტუდა  $T_{\text{გ.წ}}$  გამოითვლება ფორმულით:

$$T_{\text{გ.წ}} = t_{\text{max}} - t_{\text{min}} \quad (6.38)$$

სადაც  $t_{\text{max}}$  – გარემოს ტემპერატურის წლიური მაქსიმუმი საფხეულის პერიოდში;

$t_{\text{min}}$  – გარემოს ტემპერატურის წლიური მინიმუმი ზამთრის პერიოდში.

უპირაპირო ლიანდაგის გაანგარიშების მთავარ თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ რელსის ფუძის სიმტკიცე უნდა შემოწმდეს გამჭიმავ  $\sigma_{\text{ჩ}}$  ძაბვებზე ზამთრის პირობებისათვის, ხოლო რელსის თავის სიმტკიცე მკუმშავ  $\sigma_{\text{კ}}$  ძაბვებზე საფხეულის პირობებისათვის, როგორც სწორი, ისე მრუდე უბნებისათვის.

გამჭიმავი ძაბვების საანგარიშო სიდიდე რელსის ფუძეში ლიანდაგის სწორ და მრუდე უბნებში ტოლია:

$$\sigma_{\text{ჩ}}^{\text{წ}} = [\sigma_{\text{აწ}}] - K\sigma_{\text{წ}}^{\text{წ}} = [\sigma_{\text{აწ}}] - 1,3\sigma_{\text{წ}}^{\text{წ}} \quad (6.39)$$

$$\sigma_{\text{ჩ}}^{\text{მ}} = [\sigma_{\text{აწ}}] - K\sigma_{\text{წ}}^{\text{მ}} = [\sigma_{\text{აწ}}] - 1,3\sigma_{\text{წ}}^{\text{მ}} \quad (6.40)$$

მკეშაუი ძაბუების საანგარიშო სიდიდე რელსის თავში ლიანდაგის სწორ და მრუდე უბნებში ტოლია:

$$\sigma_{ij}^{LF} = [\sigma_{\alpha\alpha}] - K\sigma_{\alpha\alpha}^{LF} = [\sigma_{\alpha\alpha}] - 1,3\sigma_{\alpha\alpha}^{LF} \quad (6.41)$$

$$\sigma_{ij}^{M} = [\sigma_{\alpha\alpha}] - K\sigma_{\alpha\alpha}^{M} = [\sigma_{\alpha\alpha}] - 1,3\sigma_{\alpha\alpha}^{M} \quad (6.42)$$

უნდა განისაზღვროს რელსებში ტემპერატურის ცვალებადობის მაქსიმალური დასაშვები სიდიდე  $C^0$ , როგორც ტემპერატურის მატების, ისე მისი კლების დროს ლიანდაგის სწორ და მრუდე უბნებში:

ტემპერატურის მატების პირობებში, ლიანდაგის სწორ და მრუდე უბნებში:

$$\Delta t_{\alpha\beta}^{LF} = \frac{\sigma_{ij}^{LF}}{25} \quad (6.43)$$

$$\Delta t_{\alpha\beta}^{M} = \frac{\sigma_{ij}^{M}}{25} \quad (6.44)$$

ტემპერატურის კლების პირობებში, ლიანდაგის სწორ და მრუდე უბნებში:

$$\Delta t_{\alpha\beta}^{LF} = \frac{\sigma_{ij}^{LF}}{25} \quad (6.45)$$

$$\Delta t_{\alpha\beta}^{M} = \frac{\sigma_{ij}^{M}}{25} \quad (6.46)$$

უნდა გამოეთვალათ ტემპერატურული ცვალებადობით გამოწვეული გრძივი კრიტიკული ძალის მნიშვნელობა. კრიტიკული ძალა ეწოდება ტემპერატურული გრძივი ძალის ისეთ ზღურულ მნიშვნელობას, რომლის სიდიდის გადაჭარბება გამოიწვევს ლიანდაგის გაგდებას ან სარელსო ძაფის გაწყვეტას. გრძივი ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელსაც შეუძლია გამოიწვიოს ლიანდაგის მდგრადობის დარღვევა ტოლია:

$$P_0 = \frac{A}{i_0} K_1 K_2 K_3 K_4 \quad (6.47)$$

სადაც  $i_0$  - ლიანდაგის საწყისი უსწორობის ქანობა, სწორი უბნებისათვის  $i_0 =$

2‰; მრუდე უბნებისათვის  $i_0 = 2,5 - 3\%$ ;

$A$  და  $\alpha$  - რელსების ტიპისა და ლიანდაგის გემის გამათვალისწინებელი პარამეტრი, (ცხრილი 6.1).

$K_1$  - ლიანდაგის საწყისი უსწორობის ფორმის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი,  $K_1 = 1$  - ლიანდაგის ერთტალღიანი იზოლირებული უსწორობის შემთხვევაში;  $K_1 = 1,1$  - ლიანდაგის უსწორობათა სერიიდან გამოყოფილი ერთტალღიანი ცალკეული უსწორობის შემთხვევაში;

მრუდის რადიუსი	რელსების ტიპი			
	P50		P65	
	A	$\alpha$	A	$\alpha$
400	238	0.300	248	0.232
600	295	0.365	315	0.335
800	332	0.410	361	0.385
1000	360	0.450	383	0.410
სწორი	517	0.600	583	0.585

$K_2$  - ბალასტის მდგომარეობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი, დამოკიდებული ბალასტის დატკეპნის  $C_c$  კოეფიციენტზე:

$$C_c = 0 \quad - \quad K_2 = 0,28; \quad C_c = 450 \quad - \quad K_2 = 1,00;$$

$$C_c = 225 \quad K_2 = 0,71; \quad C_c = 600 \quad - \quad K_2 = 1,17.$$

$K_3$  - შპალების ეპიურის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი:

$$1600 \text{ ც/კმ} \quad - \quad K_3 = 0,91; \quad 1920 \text{ ც/კმ} \quad K_3 = 1,12;$$

$$1840 \text{ ც/კმ} \quad - \quad K_3 = 1,00; \quad 2000 \text{ ც/კმ} \quad K_3 = 1,17.$$

$K_4$  - საპირაპირო ტანტიკების მოჭერის ძალისა და შპალების მასალის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი:

$$K_4 = \beta_1 \left[ \frac{m_1}{20000} \left( \frac{1}{\beta_1} - 1 \right) + 1 \right] \quad (6.48)$$

სადაც  $m_1$  - შუალედური სამაგრების მოჭერის ძალისა და შპალების მასალის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი.  $m_1 = 13200 \div 26100$  კგ/სმ (კლემების II + 33 კგმ მომენტის სიდიდით მოჭერის შემთხვევაში);

$\beta_1$  - სანაგარიშო პარამეტრი დამოკიდებული უსწორობის ქანობის სიდიდეზე.

$$i_0 = 2\% \quad - \quad \beta_1 = 0,795;$$

$$i_0 = 3\% \quad - \quad \beta_1 = 0,820;$$

$$i_0 = 4\% \quad - \quad \beta_1 = 0,840.$$



ტემპერატურული ცვალებადობის გრძივი მაქსიმალური ძალის მნიშვნელობის მიხედვით და მარაგის კოეფიციენტის გათვალისწინებით უნდა განისაზღვროს კრიტიკული ძალის სიდიდე, რომელიც უზრუნველყოფს ღიანდაგის მდგრადობის პირობას

$$P_{\text{კ}} = \frac{P_0}{1,5} \quad (6.49)$$

სადაც  $1,5$  – მარაგის კოეფიციენტი;

$P_0$  და  $P_{\text{კ}}$  ძალების მნიშვნელობები გამოითვლება, როგორც სწორი ისე მრუდე უბნებისათვის.

ამის შემდეგ შეგვიძლია განესაზღვროთ ძაბვების მნიშვნელობები აღძრული რელსებში კრიტიკული ძალის მიერ, ღიანდაგის სწორ და მრუდე უბნებში:

$$\sigma^{\text{ს}} = \frac{P_{\text{კ}}}{2F} \quad (6.50)$$

$$\sigma^{\text{მ}} = \frac{P_{\text{კ}}}{2F} \quad (6.51)$$

სადაც  $F$  – რელსის განივი კვეთის ფართობია, (დანართი, ცხრილი 7).

რელსებში აღძრული ძაბვების შემდეგ შეგვიძლია გამოეთვალათ რელსებში ტემპერატურის ცვალებადობის დასაშვები სიდიდე.

$$\Delta t^{\text{ს}} = \frac{\sigma^{\text{ს}}}{25} \quad (6.52)$$

$$\Delta t^{\text{მ}} = \frac{\sigma^{\text{მ}}}{25} \quad (6.53)$$

საჭიროა განისაზღვროს რელსების ტემპერატურის ცვალებადობის დასაშვები სიდიდეები მათი ღიანდაგში ჩაგების ტემპერატურასთან შედარებით, როგორც ტემპერატურის მატების  $\Delta t_1$ , ისე კლების მხარეს  $\Delta t_2$ .

ტემპერატურის კლების შემთხვევაში:

$$\Delta t_2^{\text{ს}} = \Delta t_{\text{გ}}^{\text{ს}} \quad (6.54)$$

$$\Delta t_2^{\text{მ}} = \Delta t_{\text{გ}}^{\text{მ}} \quad (6.55)$$

ტემპერატურის მატების შემთხვევაში:

$$\Delta t_1^{\text{ს}} = \Delta t_{\text{გ}}^{\text{ს}} + 6^{\circ} \quad \text{თუ} \quad \Delta t_{\text{გ}}^{\text{ს}} + 6^{\circ} \leq t_1^{\text{ს}} \quad (6.56)$$

$$\Delta t_1^{\text{მ}} = \Delta t_{\text{გ}}^{\text{მ}} + 6^{\circ} \quad \text{თუ} \quad \Delta t_{\text{გ}}^{\text{მ}} + 6^{\circ} \leq t_1^{\text{მ}} \quad (6.57)$$

და

$$\Delta t_j^{NF} = \Delta t_j^{NF} \quad \text{თუ} \quad \Delta t_{\Sigma}^{NF} + \theta^0 > t_j^{NF} \quad (6.58)$$

$$\Delta t_j^{MA} = \Delta t_j^{MA} \quad \text{თუ} \quad \Delta t_{\Sigma}^{MA} + \theta^0 > t_j^{MA} \quad (6.59)$$

სადაც  $\Delta t_j$  - რელსებში ტემპერატურის ცვალებადობის დასაშვები სიდიდეა;

$\theta^0$  - რელსებში ტემპერატურის ცვალებადობის დასაშვები სიდიდის გადაჯარბების მნიშვნელობა.

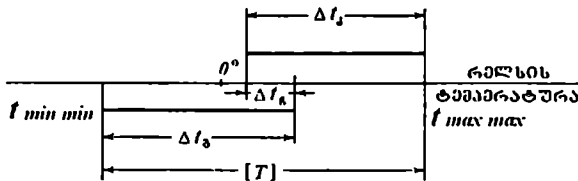
განესაზღვროთ რელსებში ტემპერატურის ცვალებადობის დასაშვები ამპლიტუდა  $[T]$  ლიანდაგის სწორი და მრუდე უბნებისათვის, ტემპერატურულად დაძაბული ლიანდაგის შემთხვევაში:

$$[T]^{NF} = \Delta t_j^{NF} + \Delta t_{\Sigma}^{NF} - [\Delta t_{\Sigma}] \quad (6.60)$$

$$[T]^{MA} = \Delta t_j^{MA} + \Delta t_{\Sigma}^{MA} - [\Delta t_{\Sigma}] \quad (6.61)$$

სადაც  $[\Delta t_{\Sigma}]$  - ტემპერატურის ინტერვალი, რომელიც საჭიროა რელსების ლიანდაგში ჩამაგრების სამუშაოების ჩასატარებლად,  $[\Delta t_{\Sigma}] = 10^{\circ}\text{C}$ .

თუ აღმოჩნდა, რომ  $T_{\Sigma} \leq [T]$ , მაშინ უპირაპირო ლიანდაგი იმუშავებს ტემპერატურულად დაძაბულად, სეზონური ტემპერატურული განმუხტვების გარეშე. (ნახ. 6.2).



ნახ.6.2 ტემპერატურულად დაძაბული უპირაპირო ლიანდაგის მუშაობის ტემპერატურული დიაგრამა

მაშინ შეგვიძლია დავადგინოთ ლიანდაგში რელსების ჩამაგრების ტემპერატურული ინტერვალის ზედა და ქვედა საზღვრები.

სწორი უბნებისათვის:

$$\text{ზედა ზღვარი} \quad \max t_{\Sigma}^{NF} = \Delta t_{\Sigma}^{NF} + t_{\min \min} \quad (6.62)$$

$$\text{ქვედა ზღვარი} \quad \min t_{\Sigma}^{NF} = t_{\max \max} - \Delta t_{\Sigma}^{NF} \quad (6.63)$$

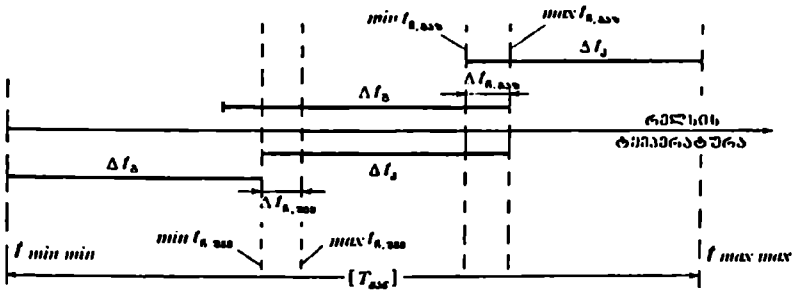
მრუდე უბნებისათვის:

$$\text{ზედა ზღვარი:} \quad \max t_{\Sigma}^{MA} = \Delta t_{\Sigma}^{MA} + t_{\min \min} \quad (6.64)$$

$$\text{ქვედა ზღვარი:} \quad \min t_{\Sigma}^{MA} = t_{\max \max} - \Delta t_{\Sigma}^{MA} \quad (6.65)$$

თუ აღმოჩნდა, რომ  $T_{\text{გ.კ}} > [T_{\text{გ.კ}}]$ , მაშინ საჭიროა ლიანდაგში სეზონური ტემპერატურული განმუხტების ჩატარება.

ტემპერატურის ცვალებადობის დასაშვები ამპლიტუდა რეგულაციაში  $[T_{\text{გ.კ}}]$  ლიანდაგის სწორ და მრუდე უბნებში, სეზონური განმუხტების საჭიროების შემთხვევაში ტოლი იქნება (ნახ.6.3):



ნახ. 6.3. უპირაქრო ლიანდაგის მუშაობის ტემპერატურული დიაგრამა, ტემპერატურული ძაბვების სეზონურად (გაზაფხულზე და შემოდგომაზე) განმუხტება

$$[T_{\text{გ.კ}}]^{\text{წ}} = \Delta t_{\text{გ}}^{\text{წ}} + 2\Delta t_{\text{გ}}^{\text{წ}} - \sum \Delta t_{\text{კ}} - 12^{\circ} \quad (6.66)$$

$$[T_{\text{გ.კ}}]^{\text{შ}} = \Delta t_{\text{გ}}^{\text{შ}} + 2\Delta t_{\text{გ}}^{\text{შ}} - \sum \Delta t_{\text{კ}} - 12^{\circ} \quad (6.67)$$

სადაც  $\sum \Delta t_{\text{კ}}$  - გაზაფხულზე და შემოდგომაზე ლიანდაგში რეგულაციის ჩამატების საშუალების შესრულებისათვის საჭირო ტემპერატურული ინტერვალების ჯამი.  $\sum t_{\text{გ}} = \Delta t_{\text{გ,კ,კ}} + \Delta t_{\text{გ,კ}}$ .  $\Delta t_{\text{გ,კ,კ}} = 15^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta t_{\text{გ,კ}} = 10^{\circ}\text{C}$  მაშინ  $\sum \Delta t_{\text{გ}} = 25^{\circ}\text{C}$ .

$12^{\circ}\text{C}$  - ტემპერატურის ინტერვალის მარაგი, რეგულაციაში ნარჩენი ძაბვების დარტყმითი მეთოდებით განმუხტვის შემთხვევაში თუ სარკლსო გადაბების ლიანდაგში ჩაყენება სრულდება გორგოლატების საშუალებით, მაშინ  $12^{\circ}\text{C}$  -ანი მარაგი არ გაითვალისწინება.

სარკლსო გადაბმებში საშემოდგომო ტემპერატურული განმუხტვის ამპლიტუდის სედა და ქვედა ზღვარი გამოითვლება ფორმულით:

სედა ზღვარი:

$$\max t_{\text{გ,კ}}^{\text{წ}} = t_{\text{გ,კ}}^{\text{წ}} + \Delta t_{\text{გ}}^{\text{წ}} - 4^{\circ} \quad (6.68)$$

$$\max I_{\text{კვებ}}^{\text{ზო}} = I_{\text{max}} + \Delta I_{\text{ბ}}^{\text{ზო}} - 4^{\circ} \quad (6.69)$$

ქვედა ზღვარი:

$$\min I_{\text{კვებ}}^{\text{ზო}} = \max I_{\text{კვებ}}^{\text{ზო}} - \Delta I_{\text{კვებ}} \quad (6.70)$$

$$\min I_{\text{კვებ}}^{\text{ზო}} = \max I_{\text{კვებ}}^{\text{ზო}} - \Delta I_{\text{კვებ}} \quad (6.71)$$

შესაბამისად სარელსო გადაბმების საგაზაფხულო ტემპერატურული განმუხტვის ამპლიტუდის ზედა და ქვედა ზღვარი ტოლი იქნება:

ზედა ზღვარი:

$$\max I_{\text{კვებ}}^{\text{ზო}} = I_{\text{max}} + \Delta I_{\text{ბ}}^{\text{ზო}} + \Delta I_{\text{კ}}^{\text{ზო}} - \Delta I_{\text{გაზ.}} - 8^{\circ} \quad (6.72)$$

$$\max I_{\text{კვებ}}^{\text{ზო}} = I_{\text{max}} + \Delta I_{\text{ბ}}^{\text{ზო}} + \Delta I_{\text{კ}}^{\text{ზო}} - \Delta I_{\text{გაზ.}} - 8^{\circ} \quad (6.73)$$

ქვედა ზღვარი:

$$\min I_{\text{კვებ}}^{\text{ზო}} = I_{\text{max}} + \Delta I_{\text{კ}}^{\text{ზო}} + 4^{\circ} \quad (6.74)$$

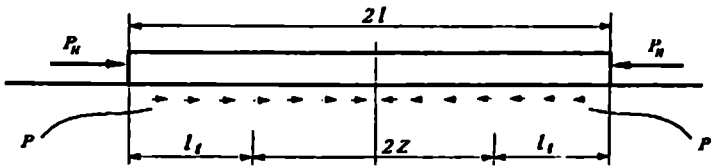
$$\min I_{\text{კვებ}}^{\text{ზო}} = I_{\text{max}} + \Delta I_{\text{კ}}^{\text{ზო}} + 4^{\circ} \quad (6.75)$$

სადაც  $4^{\circ}\text{C}$  და  $8^{\circ}\text{C}$  – ტემპერატურის მარაგია ტემპერატურული განმუხტვის შემდეგ რელსებში ნარჩენი ძაბვების არსებობის გასათვალისწინებლად.

იმ შემთხვევაში, როდესაც  $[T_{\text{გაზ.}}] < T_{\text{გაზ.}}$ , მაშინ უპირაპირო ლიანდაგის მოწყობა საერთოდ შეუძლებელია.

### 6.3 უპირაპირო სარელსო გადაბმების სიგრძის განსაზღვრა

უპირაპირო სარელსო გადაბმების სიგრძის ზღვრული მნიშვნელობების (მაქსიმალური და მინიმალური) დადგენისათვის განვიხილოთ სარელსო გადაბმების მაღლიმიტირებელი მოთხოვნების კომპლექსი. ცნობილია, რომ უპირაპირო სარელსო გადაბმის სიგრძით  $2l$ , გააჩნია შუა ნაწილში უძრავი მონაკვეთი სიგრძით  $2Z$  და ბოლოებში მოძრავი ორი მონაკვეთი თითოეული სიგრძით  $l$ , (ნახ.6.4)



ნახ.6.4. რელსის ტემპერატურული წაგრძელებისადმი წინააღმდეგობის საანგარიშო სქემა

ცხადია, რომ

$$\left. \begin{aligned} 2Z &= 2l - 2l_f \\ Z &= l - l_f \end{aligned} \right\} \quad (6.76)$$

სარელსო გადაბმა ითვლება უპირაპიროდ იმ შემთხვევაში, როცა კმაყოფილება პირობა

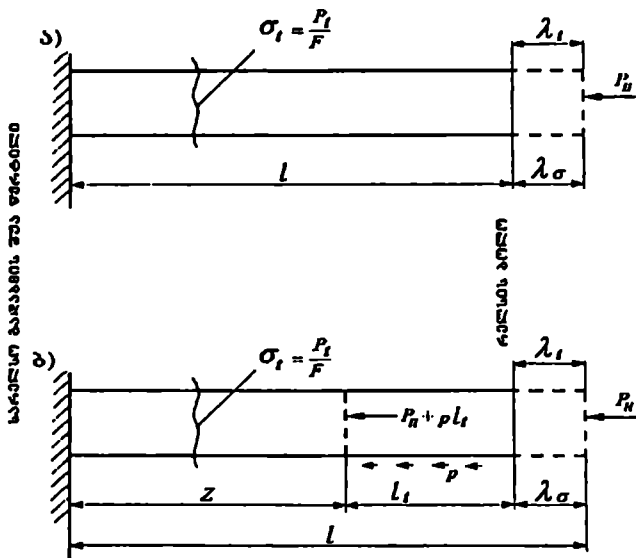
$$0 < Z < l \quad (6.77)$$

იმისათვის, რომ დაეადგინოთ სარელსო გადაბმის ( $2l$ ) სიგრძის, ტემპერატურის ( $\Delta t$ ) ცვალებადობის და წინააღმდეგობის ( $P_H$  და  $p$ ) ძალების რა დაშოკიდებულების დროს არის სამართლიანი (6.77) უტოლობა, განვიხილოთ ნეიტრალურ ტემპერატურაზე ნამაგრებული რელსის გაცხელების პროცესი. დაუშვათ, რომ რელსის გაცხელება განხორციელდა  $\Delta t_1 = t_1 - t_0$  ტემპერატურის შედეგად. ცხადია, რომ სიმეტრიულობის გამო რელსის შუა წერტილი ყველა შემთხვევაში უძრავ მდგომარეობაში დარჩება. ამიტომ შეიძლება განვიხილოთ შუა წერტილში პირობით ნამაგრებული სარელსო გადაბმის სიგრძის ნახევარის  $l$ -ის დაძაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობა (ნახ.6.5). გაცხელების შემთხვევაში რელსი ცდილობს დაგრძელდეს, რასაც ეწინააღმდეგება წინააღმდეგობის ძალა  $P_H$ . რელსის ტემპერატურის ცვალებადობის  $\Delta t$  ზრდასთან ერთად, მასში გაიზრდება ტემპერატურული  $P$ , ძალის სიდიდე და რელსი დარჩება უძრავ მდგომარეობაში მანამ, სანამ  $P$ , ძალის სიდიდე არ გაოლაგარბებს საპირაპირო სამაგრების წინააღმდეგობის  $P_H$  ძალას.

ამრიგად განიხილება მასალათა გამძლეობის მარტივი ამოცანა, სწორხაზოვანი ლეროს დაძაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობა ღერძული მკუმშავი  $P_H$  ძალის სერიოზულობის შედეგად. სანამ რელსი რჩება უძრავ მდგომარეობაში, მისი საყრდენების სიგრძივი წინააღმდეგობა დაძვრისადმი მობილიზებული არ არის, ე.ი.  $p=0$ . ამასთან დაკავშირებით პირობითად თუ მივიღებთ, რომ პირაპირების წინააღმდეგობა არ არსებობს ე.ი.  $P_H=0$  (საპირაპირო ჭანჭიკებზე ქანჩები სრულიად მოშვე-

ბულია), მაშინ სარელსო გადაბმის სიგრძის ნახევარი  $l$ ,  $\Delta l$ . ტემპერატურის ზემოქმედებით თავისუფლად წაგრძელებოდა  $\lambda$  სიდიდით. (ნახ. 6.5-ა)

$$\lambda = \alpha \Delta t, \quad (6.78)$$



ნახ.6.5. სარელსო რგოლების დაძაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობის განსაზღვრის საანგარიშო სქემები:

ა) სარელსო გადაბმა უძრავია მთელ სიგრძეზე; ბ) სარელსო გადაბმის ბოლოებში ტემპერატურულად მოძრავი უბნებით.

სინამდვილეში რელსის წაგრძელება არ შედეგება რელსში მკუმშიაეი  $P_H$  ძალის ზემოქმედების შედეგად  $\lambda_s$  სიდიდით. რელსის სიგრძის არშემდგარი წაგრძელება  $\lambda_s$  განისაზღვრება პუკის კანონით

$$\lambda_s = \frac{P_H l}{EF} \quad (6.79)$$

თუ გაეუტოლებთ  $\lambda_t = \lambda_s$  (ნახ. 6.5-ა) მივიღებთ

$$\alpha \Delta t = \frac{P_H l}{EF} \quad (6.80)$$

აქედან

$$\Delta l_1 = \frac{P_H}{\alpha E F} \quad (6.81)$$

სადაც  $\alpha$  - სარელსო ფოლადის წაგრძელების კოეფიციენტი,  $\alpha = 0,0000118$ ;

$E$  - სარელსო ფოლადის სიხისტის კოეფიციენტი,  $E = 2,1 \times 10^4$  კგ/სმ<sup>2</sup>;

$F$  - რელსის განივი კვეთის ფართობი.

ამრიგად რელსის ტემპერატურის ცვალებადობის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც რელსი მოელ მის სიგრძესე ჯერ კიდევ რჩება უძრავად ტოლი უქნება.

$$\Delta l = \Delta l_1 = l_1 - l_0 = \frac{P_H}{\alpha E F} \quad (6.82)$$

ცხადია ამ დროს  $l_1 = 0$  და  $Z = l$  (ნახ.6.5).

უძრავ მდგომარეობაში მყოფი რელსის გაცხელება  $\Delta l_1$  ტემპერატურით, იწვევს მის შეკუმშვას  $P_1$  ძალით, რომლის მაქსიმალური მნიშვნელობა ტოლი იქნება პირაპირების წინალობისა, ე.ი.  $P_1 = P_H$ . ამ შემთხვევაში უძრავ მდგომარეობაში მყოფი რელსში ტემპერატურული შეკუმშვა იქნება  $\Delta l_1$  (6.82) ფორმულის მიხედვით ტოლი იქნება

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{P_1}{F} = \frac{P_H}{F} \\ \sigma_1 &= \alpha E \Delta l \end{aligned} \right\} \quad (6.83)$$

ამ ამოცანაში საყურადღებოა შემთხვევა, როცა  $l_1 > 0$  და  $Z < l$ , რასაც ადგილი უქნება მაშინ, როდესაც  $\Delta l > \Delta l_1 = \frac{P_H}{\alpha E F}$ .

ამის შემდეგ რელსების კიდევ უფრო გაცხელებისას ტემპერატურით  $\Delta l_2 = l_1 - l_0$  პირაპირებში ხახუნის ძალა  $P_H$  დაძლეული იქნება და სარელსო გადაბმების ბოლოებში შეიქმნება ტემპერატურულად დაძაბული უბნები  $l$ , სიგრძით, ხოლო სარელსო გადაბმის შუა ნაწილში რელსი  $2Z$  სიგრძით ჯერ კიდევ უძრავ მდგომარეობაში რჩება (ნახ. 6.5-ბ). ტემპერატურის უფრო მეტად ცვალებადობის შემთხვევაში  $l$ , იზრდება ფარგლებში 0-დან  $l$ -მდე, ხოლო  $Z$  მანძილის სიგრძე მცირდება  $l$ -დან 0-მდე.

რელსების წაგრძელებას ეწინააღმდეგება პირაპირებში ხახუნის  $P_H$  ძალა და ლიანდაგის სიგრძივი წინალობის  $p_l$  ძალა, მობილიზებული  $l$ , სიგრძის უბანზე (ნახ. 6.5-ბ).

თუ პირობით უგულებელყოფთ წინააღობის ( $P_H + p l_1$ ) ძალებს, მაშინ რელსის შესაძლოა, მაგრამ არაშემდგარი წაგრძელება თავისუფალ  $Z$  სიგრძის უბანზე ტოლი იქნება

$$\lambda = \alpha Z (l_2 - l_0) \quad (6.84)$$

იმავე უბანზე დამოკლება წინააღობის იმავე ( $P_H + p l_1$ ) ძალების ზემოქმედებით იქნება

$$\lambda_0 = \frac{(P_H + p l_1) Z}{EF} \quad (6.85)$$

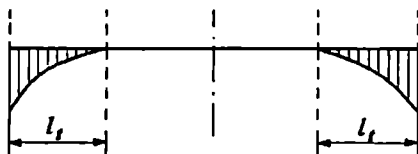
გაეუტოლოთ ერთმანეთს  $\lambda = \lambda_0$ , მაშინ

$$\alpha Z (l_2 - l_0) = \frac{(P_H + p l_1) Z}{EF} \quad (6.86)$$

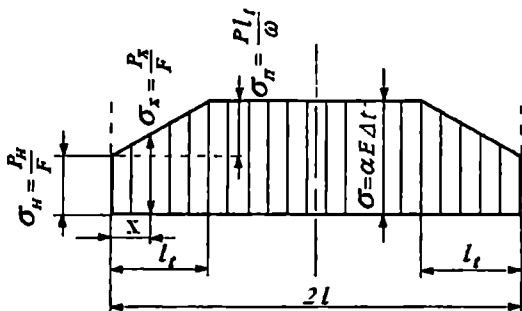
აქედან

$$\Delta l_1 = l_2 - l_0 = \frac{P_H + p l_1}{\alpha EF} \quad (6.87)$$

ა) ბრძივი დეფორმაციების ეპიურა



ბ) ტემპერატურული ძაბვების ეპიურა



ნ.ხ.ჩ.რ. ტემპერატურული დაძაბულობები და დეფორმაციები უპირაპირო სარელსო გადაბმებში: ა) გრძივი დეფორმაციების ეპიურა; ბ) ტემპერატურული ძაბვების ეპიურა



ცხადია, რომ ზღურულ მდგომარეობას ადგილი ექნება, როცა  $l_1 = l$  ( $Z = 0$ ), ეი წინაღობა დაძლეული იქნება მთელ უბანზე და უძრავი რჩება სარელსო გადაბმის მხოლოდ შუა წერტილი. მაშინ ასეთ მდგომარეობაში ტემპერატურის ცვალებადობის სიდიდე ტოლი იქნება

$$\Delta t = \frac{P_H + p l_1}{\alpha E F} \quad (6.88)$$

იმისათვის, რომ სარელსო გადაბმის ფარგლებში არსებობდეს უძრავი ნაწილი ე.ი.  $l_1 < l$ ,  $Z > 0$ , (ნახ. 6.6-ა), უნდა დაკმაყოფილდეს შემდეგი უტოლობა

$$\Delta t < \frac{P_H + p l_1}{\alpha E F} \quad (6.89)$$

თუ გავერთიანებთ (6.83) და (6.89) პირობებს მივიღებთ, რომ უპირაპირო სარელსო გადაბმის შუა ნაწილი დარჩება უძრავი მაშინ, როდესაც

$$\frac{P_H}{\alpha E F} < \Delta t < \frac{P_H + p l_1}{\alpha E F} \quad (6.90)$$

ანუ

$$t_H < \Delta t < t_H + t_n \quad (6.91)$$

სადაც  $t_H$  - ტემპერატურის ცვალებადობის სიდიდეა, რომელიც შეესაბამება პირაპირების წინააღმდეგობის დაძლევას  $t_H = \frac{P_H}{\alpha E F}$ ;

$t_n$  - ტემპერატურის ცვალებადობის სიდიდე, რომელიც შეესაბამება ლიანდაგის სიგრძივი წინაღობის დაძლევას, სარელსო გადაბმის სიგრძის ნახევარზე  $t_n = \frac{p l}{\alpha E F}$ .

ამის შემდეგ შეიძლება განესაზღვროთ სარელსო გადაბმის მინიმალური სიგრძე, რომელიც ექვემდებარება უპირაპირო ლიანდაგის მუშაობის პრინციპს. ძირითადი პირობაა, რომ  $Z > 0$ .

სარელსო გადაბმის სიგრძის ნახევრის  $l$  სიდიდე განისაზღვრება (6.89) გამოსახულებიდან

$$l > \frac{\alpha E F \Delta t - P_H}{p} \quad (6.92)$$

ხოლო სარელსო გადაბმის მთელი  $2l$  სიგრძე ტოლი იქნება

$$2l > 2 \frac{\alpha E F \Delta t - P_H}{p} \quad (6.93)$$

(6.93) ფორმულაში ტემპერატურის ცვლუბადობის სიდიდე უნდა შეეცანოს მაქსიმალური აღებული რაიონისათვის, ხოლო საპირაპირო  $P_H$  და ლიანდაგის სიგრძივი წინაღობა ზაფხულის პერიოდში  $p$ - მინიმალური დასაშვები, ექსპლუატაციის ნორმალური პირობებისათვის.

ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ უპირაპირო სარეულსო გადაბმების ბოლო მოძრავი უბნების სიგრძე სხვადასხვა პირობებში იცვლება  $l_1 = 50-75$  მეტრის ფარგლებში და მხოლოდ ცალკეულ შემთხვევებში შუალედური სამაგრების ქანების არასაკმარისი მომენტით მოჭერის შემთხვევაში აღწევს 100 მეტრს. აქედან გამომდინარე უპირაპირო სარეულსო გადაბმის მინიმალური სიგრძე ნორმალურ პირობებში ტოლია არანაკლებ 150 მეტრისა.

“უპირაპირო ლიანდაგის დაგებისა და მოკლა-შენახვის ტექნიკური პირობების” მოთხოვნით უპირაპირო სარეულსო გადაბმის მინიმალური სიგრძე ჩვეულებრივ პირობებში 250 მეტრზე, ხოლო შესაძლებელ პირობებში 150 მეტრზე ნაკლები არ დაიშვება.

განვიხილოთ მოთხოვნათა კომპლექსი, რომლებიც სივრცეში უპირაპირო სარეულსო გადაბმების მაქსიმალურ სიგრძეს, ესენია:

1. სუბციალური მოძრავი შემადგენლობით უპირაპირო სარეულსო გადაბმების მაქსიმალური სიგრძე იზღუდება 800 მეტრამდე, სადგურის მიმდებარე-გამგზავნი ლიანდაგების სასარგებლო სიგრძიდან გამომდინარე;
2. დეფექტების აღმოფხვრის მიზნით სარეულსო გადაბმების სიგრძის აღდგენის შესაძლებლობა ლიანდაგში, გადასატანი რელს-შემდუღებელი მანქანის შესაძლებლობიდან გამომდინარე;
3. სარეულსო გადაბმებში ტემპერატურული დაძაბულობის განმუხტვის შესაძლებლობა სარეულსო გადაბმის სიგრძის მთლიანობის შენარჩუნებით. ეს მოთხოვნა სარეულსო გადაბმის სიგრძეს ზღუდავს 800 - 950 მეტრამდე.
4. რელს-შემდუღებელ მატარებელში შემდუღებელი ტექნოლოგიური ხაზების სიგრძე (არა უმეტეს 400 მ).
5. ადგილობრივი შესღუღებები: ისრული გადაწყვეანები, გადასაგალები, ღლითონის დიდი ხიდები, ავტობლოკირებულ უბნებზე იზოლირებული პირაპირები.
6. მუშაობის თანაბარი პირობები რელსების თანაბარი ცვეთის უზრუნველყოფის პირობით, რომ არ იქნას დაშვებული უპირაპირო სარეულსო გადაბმის ცალკეული ნაწილების შეცვლა მაქსიმალური გვერდითი ცვეთის პირობით.

ზემოთ მოტანილი მოთხოვნების გათვალისწინების საფუძველზე “უპირაპირო ლიანდაგის დაგებისა და მოვლა-შენახვის ტექნიკური პირობების” მოთხოვნების მიხედვით, უპირაპირო სარელსო გადაბმების მაქსიმალური სიგრძე დაშვებულია 500 – 520 მეტრის ფარგლებში.

დაკვირვებებით დადგენილია, რომ უპირაპირო სარელსო გადაბმებს შორის გამაწონასწორებელი უბნების რელსების ცვეთა 4-6-ჯერ აღემატება სარელსო გადაბმების რელსების ცვეთას, ხოლო შუალედური სამაგრების მოშეება შესაბამისად ორჯერ მეტია. სარელსო გადაბმების სიგრძის ზრდა მინიმუმამდე ამცირებს გამაწონასწორებელი უბნების რაოდენობას.

ამ თვალსაზრისით მსოფლიოს მთელი რიგი ქვეყნების რკინიგზებზე ამჟამად ექსპერიმენტის სახით დაგებულია 1,5 კმ-დან მთელი გადასარბენის სიგრძის ტოლი უპირაპირო სარელსო გადაბმები. ასეთი სიგრძის სარელსო გადაბმები იქნება სტანდარტული სიგრძის სარელსო გადაბმების ლიანდაგში შედუღების გზით.

7.1 მიმბართველი, გვერდითი და ჩარჩო ძალების განსაზღვრა

ლიანდაგის განგარბშებისას ხშირად საჭირო ხდება, მრუდებში მოძრაობისას ერთველ მოძრავე შემადგენლობასზე მოქმედი მიმბართველი, გვერდითი და ჩარჩო ძალების სიდიდების განსაზღვრა.

ამ ძალების განსაზღვრის თეორიული საუვექედები და პრაქტიკული განგარბშებები ზემოთ იყო განხილული.

ეკიპაქვე მოქმედი ცენტრიდანული ძალა ცალკეულ კონკრეტულ შემთხვევაში მრუდის რადიუსთან, მოძრაობის სინქარებთან და გარე რელსის შემაღლების ფაქტიურ სიდიდებთან დამოკიდებულებით განისაზღვრება

$$I = \frac{mv^2}{R} \tag{7.1}$$

ცენტრისკენული ძალა კი ტოლია

$$H = mg \frac{h}{S_1} \tag{7.2}$$

სადა:  $g$  - ეკიპაქვის მასაა;

$g$  - სიმძიმის ძალის ანქარება;

$h$  - გარე რელსის შემაღლება;

$S_1$  - რელსების დერძებს შორის მანძილი,  $S_1 = 1,6$  მ.

ამრიგად მოძრავე შემადგენლობის ერთველზე მოქმედი გარე რელსის შემადლებით გამოწვეული გაუბათილებელი ძალა ტოლი იქნება

$$I - H = m \left( \frac{v^2}{R} - g \frac{h}{S_1} \right) \tag{7.3}$$

(7.3) განტოლების მარჯვენა მხარეს ფრჩხილებში მოთავსებული გამოსახულება გაუბათილებელ ანქარებას წარმოადგენს, ეი

$$a_{\text{გაუბათილებელი}} = \frac{v^2}{R \times 3,6^2} - \frac{g}{S_1} h \tag{7.4}$$

მნიშვნელში რიცხვითი კოეფიციენტი 3,6 უზრუნველყოფს ფორმულაში სინქარის კმ/სთ განზომილებით ჩასმის დროს ანქარების სიდიდის მ/წმწ-ში მიღებას.

არსებული მოქმედი ტექნიკური ნორმების შესაბამისად 100 კმ/სთ-ზე მეტი სინქარების შემთხვევაში

$$a_{\text{გაუბათილებელი}} = \frac{v^2}{R \times 3,6^2} - \frac{g}{S_1} (h - \Delta h) \tag{7.5}$$

სადაც  $\Delta h=20$  მმ, როცა  $\nu=101 - 140$  კმ/სთ;

$\Delta h=30$  მმ, როცა  $\nu=141 - 160$  კმ/სთ.

მრუდებში ცალკეული სახეობის მოძრავ შემადგენლობაზე მოქმედი განივი ორიონორტალური ძალების განსაზღვრის პროფ. ო. ერშკოვისეული მიახლოებითი ყორმულები მოცემულია (დანართში, ცხრილი 9)

დანართის ცხრილ 9-ის მეოთხე სვეტში მოცემულია დემიფირული მომენტები საქუსლებებში და სრიალებში. მხოლოდ საქუსლებებში ხახუნის შეშთხვევაში დემიფირული მომენტის სიდიდე უნდა მივიღოთ  $m_0 = 390$  (ოთხეკუთხიანი და ექვსეკუთხიანი ვაგონებისათვის); ძარის დაყრდნობისას არა მარტო საქუსლებებზე, არამედ გვერდით სრიალებზე, უნდა ავიღოთ მაქსიმალური სიდიდის დემიფირული მომენტი.

## 7.2 ლიანდაგის მდგრადობა განივი გადაადგილებისადმი

თანამედროვე შუალედური სარელსო სამაგრების კონსტრუქცია საკმაოდ მტკიცეა, რომ არ დაუშვას სარელსო საფუძვლის მიმართ რელსების განივად გადაადგილება. რელსების მცირე სიდიდით გადაადგილება შეიძინევა განუყოფელი და შერეული ობობხური მიმაგრების შემთხვევაში. ხის შპალებში ნარჩენი დეფორმაციების, ან თვით სარელსო სამაგრების ელემენტების ცვეთის ხარჯზე რელსების, შპალების მიმართ მცირე ზომის განივი გადაადგილებები ძლიერ ნელი ტემპით მიმდინარეობს და მათი აღმოფხვრა ხორციელდება ლიანდაგის გადაკრეით მიმდინარე მსიკლა-შენახვის სამუშაოების შესრულების დროს.

რელსების შპალების მიმართ განივი გადაადგილებისადმი განსაკუთრებით მდგრადია განცალკევებული შუალედური სამაგრები მოზამბარე კლემებით (მაგ. Pandrol-ის ტიპის, რომლებიც მთლიანად გამოირიცხავს ლიანდაგის გადაკრეის აუცილებლობას.

თუ ხახუნისაგან და თელის რელსთან მიბჯენის განივი ძალა გარკვეულ სიდიდემდე გაიზრდება მანამ, სანამ დაიწყება სამაგრი კვანძების დანგრევა, მოხდება თვლის ჩამოსვლა რელსებიდან, ქიმის რელსის თავზე შეგორების მიზეზით ან სარელსო რგოლების განივად გადაადგილება ბალასტში.

განვიხილოთ ლიანდაგის მდგრადობის პირობები განივად გადაადგილების მიმართ. ამ პირობების გამოკვლევის დროს მხედველობაშია მსიკლული, რომ სარელსო რგოლების განივი მდგრადობის გაანგარიშებისას, განივი ძალის შესაძლო მაქ-

სიმაღური მნიშვნელობის შემთხვევაში, ვერტიკალური დატვირთვები საშუალო მნიშვნელობისაა. ე.ი.  $P_1 = P_2 = P_{\text{ს.ა}}$ , აქედან  $P_{\text{აი}} = P_{\text{აე}} = P_{\text{ა}}$

რელსის შპალზე ვერტიკალური  $P_{\text{ა}}$  დაწოლა დამოკიდებულია რელსზე თელიდან გადაცემულ  $P_{\text{ს.ა}}$  დატვირთვაზე

$$P_{\text{ა}} = \frac{kl}{2} P_{\text{ს.ა}} \quad (7.6)$$

$$P_{\text{ს.ა}} = P_{\text{ს.ა}} + 0,75 P_{\text{ა}} \quad (7.7)$$

რელსის შპალზე ვერტიკალური  $P_{\text{ა}}$  დაწოლა შესაძლებელია განისაზღვროს ღიანდაგის სიმტიცეზე გაანგარიშებებში მიღებული ფორმულით

$$P_{\text{ა}} = \frac{kl}{2} \sum P_{\text{ს.ა}n} \quad (7.8)$$

სადაც  $k$  - სარელსო საფუძელისა და რელსის ფარდობითი სიხისტის კოეფიციენტი;

$l$  - შპალების ღერძებს შორის მანძილი;

$P_{\text{ს.ა}}$  - თელიდან რელსზე გადაცემული ვერტიკალური სტატიკური დატვირთვა;

$P_{\text{ა}}$  - რესორების რხევისაგან რელსზე გადაცემული დამატებითი ვერტიკალური ინერციული ძალა;

$\sum P_{\text{ს.ა}n}$  - მესობელი თელების დაწოლის გაელენა საანგარიშო კეფში.

მიღებულია აგრეთვე, რომ შპალების ბალასტში გადაადგილების  $T$  წინააღმდეგობა ტოლია საწყისი  $C_0$  წინააღმდეგობისა, ვერტიკალური ნულოვანი დატვირთვისას და ორთავე სარელსო ძაფის ვერტიკალური დატვირთვის  $2P_{\text{ა}}$  ჯამისა, გამრავლებული შპალის საფუძელის ბალასტთან ხახუნის  $f_{\text{ა}}$  კოეფიციენტზე.

ღიანდაგზე სრული პორიზონტალური დატვირთვა ტოლია

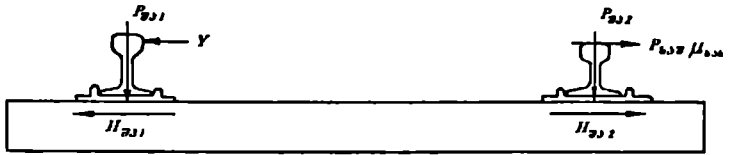
$$H_1 = Y \pm P_{\text{ს.ა}} \mu_{\text{ს.ა}} \quad (7.9)$$

სადაც  $\mu_{\text{ს.ა}}$  - თელის რელსთან ხახუნის კოეფიციენტი.

რაიორც წესი გვერდითი ძალების მაქსიმალური მნიშვნელობები რელსებს გადაეცემა პირველი მიმართველი თელიდან, როცა მიმართველი წყვილთვადი განლაგებულია მობრუნების პოლუსის წინ. ამიტომ (7.9) ფორმულაში მეორე წევრს მიწუს ნიშანი ექნება (ნახ. 7.1).

შპალის დამპერელი ძალა გადაცემული მიმართველი რელსისაგან ტოლია

$$H_{\text{ა1}} = Y \frac{k \cdot l}{2} \quad (7.10)$$



ნახ.7.1 ძალების გადაცემის სქემა მოძრავი შემადგენლობის თვლიდან რელსზე და რელსიდან თვალზე

ხოლო შპალის დამბერელი ძალა გადაცემული მოპირდაპირე რელსისაგან, იმავე წივლითვალის შემოქმედებით

$$H_{\text{ა2}} = -P_{\text{ა2}} \mu_{\text{ა2}} \frac{k \cdot l}{2} \quad (7.11)$$

მაშასადამე შპალის დამბერელი ჯამური ძალა ტოლი იქნება

$$H_{\text{ა}} = H_{\text{ა1}} + H_{\text{ა2}} = (Y - P_{\text{ა2}} \mu_{\text{ა2}}) \frac{k \cdot l}{2} \quad (7.12)$$

შპალის დამბერი ძალა კი ტოლია

$$T = C_0 + 2P_{\text{ა}} f_{\text{ა}} = C_0 + 2P_{\text{ა2}} \frac{kl}{2} f_{\text{ა}} \quad (7.13)$$

სადაც  $f_{\text{ა}}$  შპალის საფუძელის ბლასტთან ხახუნის კოეფიციენტი.

დამბერი ძალის ფარდობა დამბერულ ძალასთან იძლევა მდგრადობის კოეფიციენტს დაბერის საწინააღმდეგოდ

$$n = \frac{T}{H_{\text{ა}}} = \frac{C_0 + 2P_{\text{ა2}} \frac{kl}{2} f_{\text{ა}}}{(Y - P_{\text{ა2}} \mu_{\text{ა2}}) \frac{k \cdot l}{2}} \quad (7.14)$$

1/2 ხიდის შეკვეცის შემდეგ

$$n = \frac{2C_0 + 2P_{\text{ა2}} f_{\text{ა}} k}{(Y - P_{\text{ა2}} \mu_{\text{ა2}}) k} \quad (7.15)$$

განვიხილოთ ზღვრული წონასწორობის შემთხვევა, ე.ი., როცა მდგრადობის კოეფიციენტი  $n = 1$ . (7.15) ფორმულიდან მივიღებთ შემდეგ დამოკიდებულებას

$$\frac{2C_0}{l} + 2P_{\text{ა2}} f_{\text{ა}} k = (Y - P_{\text{ა2}} \mu_{\text{ა2}}) k \quad (7.16)$$

აქედან

$$Y = \frac{2C_0}{lk_z} + 2P_{\text{სა}} f_{\text{ა}} \frac{k}{k_z} + P_{\text{სა}} \mu_{\text{სა}} \quad (7.17)$$

(7.17) განტოლების მარჯვენა და მარცხენა მხარეების  $P_{\text{სა}}$  ძალაზე გაყოფის შემდეგ მივიღებთ განივი ძალის ევრტიკალურ ძალასთან ფარდობის მაქსიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობას, რომელიც ლიანდაგის განივ გადაადგილებაზე მდგრადობის უზრუნველყოფის პირობას წარმოადგენს, ე.ი.

$$\frac{Y}{P_{\text{სა}}} = \frac{2C_0}{P_{\text{სა}} lk_z} + 2f_{\text{ა}} \frac{k}{k_z} + \mu_{\text{სა}} \quad (7.18)$$

ეს განტოლება საანგარიშო ფორმულას წარმოადგენს.

$Y$  და  $P_{\text{სა}}$  ძალები ექსპერიმენტულ გაზომვებს ძნელად ექვემდებარებიან ამიტომ რეკომენდებულია, რომ ლიანდაგის მდგრადობის ხარისხი განივი გადაადგილებისადმი განისაზღვროს არა  $Y/P_{\text{სა}}$ , არამედ  $H_{\text{აი}}/P_{\text{ა}}$  ფარდობით.

(7.8), (7.10 და (7.18) განტოლებებიდან მივიღებთ, რომ

$$\frac{H_{\text{აი}}}{P_{\text{ა}}} = \frac{Y \frac{k_z l}{2}}{P_{\text{სა}} \frac{kl}{2}} = \frac{Y}{P_{\text{სა}}} \times \frac{k_z}{k} \quad (7.19)$$

(7.19) ფორმულაში შევიტანოთ  $\frac{Y}{P_{\text{სა}}}$  სიდიდე (7.18) ფორმულის მიხედვით და გა-

ეთოვალისწინოთ, რომ  $\frac{Pkl}{2} = P_{\text{ა}}$  [(7.8) ფორმულიდან] მივიღებთ:

$$\frac{H_{\text{აი}}}{P_{\text{ა}}} = 2f_{\text{ა}} + \frac{C_0}{P_{\text{ა}}} + \mu_{\text{სა}} \frac{k_z}{k} \quad (7.20)$$

ეს ფორმულა ასახავს პირობას, როცა მდგრადობის კოეფიციენტი 1-ის ტოლია, ე.ი. განტოლების მარჯვენა მხარე წარმოადგენს შპალებზე პორიზონტალური დატვირთვის ევრტიკალურ დატვირთვისთან ფარდობის მაქსიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობას, მაშინ

$$\frac{H_{\text{აი}}}{P_{\text{ა}}} \leq 2f_{\text{ა}} + \frac{C_0}{P_{\text{ა}}} + \mu_{\text{სა}} \frac{k_z}{k} \quad (7.21)$$

გაანგარიშებებში პრაქტიკულად (7.21) ფორმულას იყენებენ.

მრავალრიცხოვანი ცდების შედეგად დადგენილია და გაანგარიშებებში გამო-  
საყენებლად რეკომენდებულია, რომ  $C_0/P_{\text{ა}} = 0,1$

შპალის საფუძვლის ბალასტთან ხახუნის კოეფიციენტი მიიღება:

ის შპალების ღორღის ბალასტთან  $f_{\text{ა}} = 0,45 + 0,6;$



ხის შპალებს ქვიშისა და ხრეშის ბალასტთან  $f_{\text{ჰ}} = 0,30 + 0,45$ ;

საკლავის რელსთან ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu_{\text{სკ}} = 0,25$ .

ამ სიდიდეების გათვალისწინებით (7.21) ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს: ღორღის ბალასტისათვის

$$\frac{H_{\text{ჰ}}}{P_{\text{ჰ}}} \leq 1,0 + 0,25 \frac{k_z}{k} \quad (7.22)$$

ქვიშისა და ხრეშის ბალასტისათვის

$$\frac{H_{\text{ჰ}}}{P_{\text{ჰ}}} \leq 0,7 + 0,25 \frac{k_z}{k} \quad (7.23)$$

(7.22) და (7.23) ფორმულებით მიღებულ მნიშვნელობებზე  $Y/P_{\text{ჰ}}$  ან  $H_{\text{ჰ}}/P_{\text{ჰ}}$  ფარდობების ნაკლები მნიშვნელობისას ღიანდაგის განივი გადაადგილების ნარჩენი დუქორმაციების დაგროვებას აღვიღო არ ექნება.

(7.21), (7.22) და (7.23) ფორმულების მარჯვენა მხარის ზღვრული დასაშვები სიდიდეების გამოთვლა ღიანდაგის სხეულის სხვა კონსტრუქციებისათვის სირთულეს არ წარმოადგენს, თუ ცნობილია  $k$ , და  $k$  სიდიდეები (ცხრილი 7.1).

ცხრილი 7.1

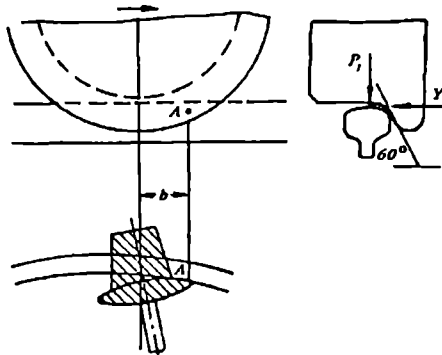
რელსების ტიპი და შპალების ესურა (ცალი/კმ-ზე)	ღიანდაგის საანგარიშო მახასიათებლები						$H_{\text{ჰ}}/P_{\text{ჰ}}$ ფარდობის ზღვრული მნიშვნელობა	
	ღორღის ბალასტი			ქვიშისა და ხრეშის ბალასტი			ღორღისათვის $f_{\text{ჰ}} = 0,45$	ქვიშისა და ხრეშისათვის $f_{\text{ჰ}} = 0,30$
	$k_z$ სმ <sup>-1</sup>	$k$ სმ <sup>-1</sup>	$\frac{k_z}{k}$	$k_z$ სმ <sup>-1</sup>	$k$ სმ <sup>-1</sup>	$\frac{k_z}{k}$		
P 65; 1840	0,01440	0,00966	1,50	0,01440	0,00916	1,57	1,37	1,07
P 65; 2000	0,01510	0,00993	1,52	0,01510	0,00993	1,61	1,38	1,10
P 50; 1840	0,01610	0,01115	1,44	0,01610	0,01115	1,52	1,36	1,08
P 50; 2000	0,01680	0,01146	1,47	0,01680	0,01146	1,56	1,37	1,09
P 43; 1600	0,01720	0,01165	1,47	0,01720	0,01165	1,57	1,37	1,09
P 43; 1840	0,01760	0,01204	1,47	0,01760	0,01204	1,54	1,36	1,08
P 43; 2000	0,01840	0,01234	1,49	0,01840	0,01234	1,58	1,37	1,10

ცხრილი 7.1 მონაცემების მიხედვით ცხადია, რომ ღიანდაგის მდგრადობა განივი გადაადგილებისადმი უსრუნიველყოფილი იქნება თუ ღორღის ბალასტის შემთხვევაში ფარდობა  $H_{\text{ჰ}}/P_{\text{ჰ}} \leq 1,4$ , ხოლო ქვიშისა და ხრეშის ბალასტისათვის  $H_{\text{ჰ}}/P_{\text{ჰ}} \leq 1,1$ .

### 7.3 მოძრავი შემადგენლობის მდგრადობა თელის ქიმის რელსის თავზე

#### შეუგორებლობის პირობით

თელის ქიმის რელსის თავზე შეგორება და შემდგომში მისი რელსიდან ჩამოსვლა შეიძლება მოხდეს ისეთ შემთხვევაში, როცა თელის ქიმის რელსის თავზე გვერდითი მიჭერის  $Y$  ძალა, ე.ი. თელის ქიმის რელსთან ხახუნის ძალა იმდენად იზრდება, რომ თელიდან რელსზე გადაცემული ვერტიკალური  $P_1$  ძალა ვერ ძლევა ხახუნის ძალას და თვალი იწყებს რელსის თავზე შეგორებას (ნახ. 7.2)



ნახ.7.2. თელის ქიმის რელსის თავზე შეგორების საწყისი სტადია

ასეთ შემთხვევებში რელსიდან თელის ჩამოსვლა არ ხდება, რადგან გვერდითი და ვერტიკალური ძალების არახელსაყრელი ფარდობა მეტად მცირე დროში მოქმედებს, ან ვერტიკალური  $P_1$  ძალა სწრაფად იზრდება ან გვერდითი  $Y$  ძალა მცირდება.

იმის გამო, რომ უკიბაის პირველი მიმმართველი წვეტილთვალის მრუდის რადიუსის ნორმალის მიმართ გარკვეული კუთხით მოძრაობს, გარე რელსზე მოძრავი თელის ქიმი მიეჯახება რელსს (ნახ.7.2). რაც მეტია ფარდობა  $Y_1/P_1$ , მით უფრო მეტია თელის რელსიდან ჩამოსვლის ალბათობა. თელის რელსიდან ჩამოსვლის ალბათობა იზრდება განივი ბიძგების წარმოქმნის შედეგად, გეგმაში მრუდების ცუდი მოქალაქეობის გამო. განსაკუთრებით ისეთ შემთხვევებში, როცა განივი ბიძგები ემთხვევა ვერტიკალური დატვირთვისაგან რელსის ნაწილობრივ განტვირთვისას, გამოწვეულს უსწორობების არსებობით ლიანდაგის პროფილში.

თელის ქიმის რელსის თავზე შეგორებას ხელს უწყობს აგრეთვე მოძრავი შემადგენლობის სავალი ნაწილების უსწორობები, მაგალითად ცოციებში გაზრდილი

ხახუნის ძალა, საჭქუსლეების ჩაჭქედვა. გვერდითი ძალის ძლიერი ზრდის მიზეზია, აგრეთვე დამაბრუნებელი მოჭქქობილობების გაუმართაობა, ხოლო სხვადასხვა ტიპის რესორების არსებობა იჭქვევს ვერტიკალური ძალის შემჭქირებას.

განესაზღვროთ მრუდში მოძრაობის პირობებში ერთეულ-ორღვურძიან მოძრავ შემადგენლობაზე მოჭქქმედი ძალები.

აღღნიშნოთ ერთ თეაღლზე მოსუღლი ვერტიკალური დატვირთვის ძაღა აღღრულოი კიკსაღის ბრუტო წონისაღან  $P_{\Sigma}$ -ით, მიწისაღღამე ერთეუღლი ეკიკსაღსაღან ღღიანდაღზე გადაცემუღლი მთღღიან დატვირთეა ტოღლი იჭქნება  $8P_{\Sigma}$ , ხოლო ერთ წყეღღლიაღლზე  $2P_{\Sigma}$ .

მრუღებში გარე რეღსის შემადღღების შეღვეაღ, ეკიკსაღის დახრის გაღო მასზე მოჭქქმეღებს მისი წონის ნორმაღური მღღენღლი  $N = 8P_{\Sigma} \cos \alpha$ . კუთხის სიმჭქირის გაღო შეიძღღება მიეღღოთ, რომ  $\cos \alpha \approx 1$ . ამ დაშეღების გაოვეღღისწინებოთ მრუღებში ყოვეღღ თეაღლზე მოღღის  $P_{\Sigma}$  დატვირთეა.

გარდა ვერტიკალური დატვირთვისა ერთეულ მოძრავ შემადგენლობაზე მოჭქქმეღებს გვერდითი ძაღები, რომღებოც მიმართუღღია ღღიანდაღის განიეაღ, მისი ღღრძის პერპენდიკულარუღღად, ესენიი: ცენტრიდანუღლი ძაღა, ცენტრისკენუღლი ძაღა და ქარის დაწოღღის ძაღა.

გამოეითეაღღოთ ამ ძაღღების მნიშენღღობები ცაღღ-ცაღღკე მოძრავი შემადგენლობის ურიკებისა და ძარისათვის.

ცენტრიდანუღლი ძაღა, რომეღლიც მოჭქქმეღებს ძარაზე და მოღღებუღღია მისი სიმძიღის ცენტრში ტოღღია:

$$I_d = \frac{mv^2}{R_0} \quad (724)$$

მიწისაღღამე

$$I_d = \frac{P_d v^2}{gR_0 3,6^2} \quad (725)$$

საღაღ  $v$  - ეაკონის სიჩქარეა;

$g$  - სიმძიღის ძაღღის აჩქარება;

$3,6^2$ -განზომიღღების დამცავი კოეფიციენტი, რამღენდაღ სიჩქარე აიღღება კმ/სოთ-ში და აჩქარება მ/წმ<sup>2</sup>-ში.

აღღნიშნოთ ერთი ურიკის წონა  $P_{\Sigma}$ , მიწის

$$P_d = 8P_{\Sigma} - 2P_{\Sigma} \quad (726)$$

სადაც  $P_s$  - ძარის წონაა ტვირთით.

ძარის წონის ლიანდაგის პარალელური მდგენელი, გარე რელსის შემადგენის შედეგად ძარის დახრის გათვალისწინებით ტოლია:

$$H_s = \frac{P_s h_{\text{სარგ}}}{S_1} \quad (7.27)$$

სადაც  $S_1$  - წვეილთვალის თელების გორების ცენტრებს შორის მანძილია,  $S_1 = 1,6$  მ;

$h_{\text{სარგ}}$  - გარე რელსის შემადგენა.

ქარის დაწოლა, მოდებული "საქარე" ფართობის გეომეტრულ ცენტრში

$$W_s = p_s F_s \quad (7.28)$$

სადაც  $p_s$  - ქარის ხედრითი დაწოლაა  $1\text{მ}^2$  ფართობზე,  $\text{კგ/მ}^2$ ,  $p_s = 30-100$   $\text{კგ/მ}^2$  ადგილობრივი პირობების გათვალისწინებით;

$F_s$  - ძარის პროექციის ფართობი ვაგონის ღერძის ვერტიკალურ სიბრტყეზე ("საქარე" ფართობი).

ცენტრიდანული ძალა, რომელიც მოქმედებს ურიკებზე და მოდებულია ურიკების სიმძიმის ცენტრების სიბრტყეში

$$I_{\text{ურ}} = \frac{P_{\text{ურ}} v^2}{g R_0 3,6^2} \quad (7.29)$$

სადაც  $P_{\text{ურ}}$  - ერთი ურიკის წონაა;

$R_0$  - მრუდის რადიუსი.

გარე რელსის შემადგენის შედეგად ძარის დახრის გამო წარმოქმნილი ურიკის წონის ცენტრისკენული მდგენელი განისაზღვრება ფორმულით

$$H_{\text{ურ}} = \frac{P_{\text{ურ}} h_{\text{სარგ}}}{S_1} \quad (7.30)$$

ურიკაზე ქარის დაწოლა ტოლია

$$W_{\text{ურ}} = p_s F_{\text{ურ}} \quad (7.31)$$

სადაც  $F_{\text{ურ}}$  - ურიკის გვერდითი "საქარე" ფართობია, რომელიც გამოითვლება, როგორც ოთხკუთხედის ფართობი, რომლის სიმაღლე თელის დიამეტრის, ხოლო სიგრძე ურიკის ბაზას დამატებული თელის დიამეტრის ტოლია.

ლიანდაგის სიბრტყის პარალელური ჯამური განივი ძალა, მოსული ერთ ურიკაზე განისაზღვრება ფორმულით

$$H_{\text{მკვ}} = \frac{I_{\text{კვ}} + W_{\text{კვ}} - H_{\text{კვ}}}{2} + I_{\text{კვ}} + W_{\text{კვ}} - T_{\text{კვ}} \quad (7.32)$$

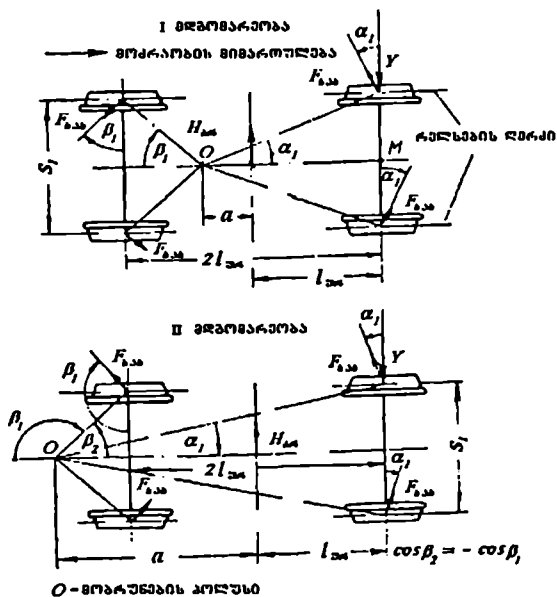
ცნობილია, რომ ერთეული მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობა მრუდში წარმოადგენს ორი სახის, გადატანითი და ბრუნვითი მოძრაობების ჯამს. ამასთან გადატანითი მოძრაობა ამ შემთხვევაში მრუდის ცენტრის გასწვრივ მოძრაობას წარმოადგენს.

ამდენად მრუდში მოძრაობისას იკრიბება ორი სახის ბრუნვითი მოძრაობა, როგორებიცაა:

ეკიპაჟის მობრუნების ცენტრის გადატანითი მოძრაობა რადიუსის ბოლოზე მრუდის ცენტრის ირგვლივ;

ეკიპაჟის ბრუნვა მობრუნების  $O$  ცენტრის მიმართ, რომელიც მდებარეობს ეკიპაჟის გრძივ ღერძზე.  $O$  წერტილს მობრუნების პოლუსსაც უწოდებენ.

მობრუნების პოლუსის მდებარეობა ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში დამოკიდებულია: ხისტი ბაზის სიგრძეზე, ურიკებში ღერძების რაოდენობაზე და განლაგებაზე, მოძრაობის სინქარეზე, გარე რელსის შემადგენლობაზე.



ნახ.73 ურიკაზე მოქმედი პორიზონტალური ძალები

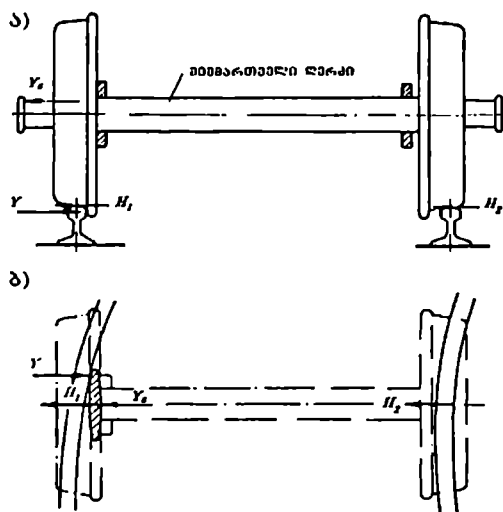
მობრუნების პოლუსის მდებარეობასთან დამოკიდებულებით ხისტი ბაზა განლაგდება I ან II მდგომარეობაში (ნახ.7.3). როცა მობრუნების  $O$  პოლუსი განლაგდება უკანა ღერძის უკან, კერძო შემთხვევას წარმოადგენს.

თვალსა და რელსის შორის ხახუნის ძალა  $F_{\text{ხ.ს}}$  ტოლია რელსზე თვლის ეკრტიკალური დაწოლის  $P_{\text{ხ}}$  ძალა გამრავლებული ხახუნის  $\mu_{\text{ხ.ს}}$  კოეფიციენტზე, ე.ი.

$$F_{\text{ხ.ს}} = P_{\text{ხ}} \mu_{\text{ხ.ს}} \quad (7.33)$$

თვლის რელსის თავზე შეუტარებლობის პირობით ეკიპაჟის მდგრადობის გაანგარიშებისას მიღებულია, რომ  $\mu_{\text{ხ.ს}} = 0,25$ .

ნახ.7.4-ზე გამოსახულია მრუდებში მიმმართველ წვეილთვალზე მოქმედი ძალები და ამ ძალების განლაგების სქემა.



ნახ. 7.4. მიმმართველ წვეილთვალზე მოქმედი ძალების მოდების სქემა:  $Y$  - მიმმართველი ძალა,  $Y_s$  - წარჩო ძალა,  $H_1$  და  $H_2$  - თვლის რელსზე ხახუნის ძალის პროექცია თვლის რელსთან კონტაქტის წერტილში გატარებულ სწორზე: ა) უერთკალურ სიბრტყეზე; ბ) პორიზონტალურ სიბრტყეზე.

მრუდებში ქიმისა და რელსის კონტაქტის წერტილში მისაბჯენი ძაფის დაწოლის ძალას მიმმართველი თვლის ქიმზე მიმმართველი  $Y$  ძალა ეწოდება.  $H_1$  და

$H_2$  ხახუნის ძალის პროექცია თელისა და რელსის ხახუნის სიბრტყეზე გატარებული სწორზე.  $Y_4$  - მიმართველ წვეილთეაღზე წარწოს დაწოლის ძალა. წარწო ძალა მოდებუღია მიმწართეულ თეაღზე.

გეგმაში  $Y$  ძალა მოდებუღია  $H_1$ ,  $H_2$  და  $Y_4$  ძაღების მოდებიდან რამდენადმე წინ (წინსწრების  $b$  მანძიღით) ნახ.7.4-ბ და ნახ.7.2.

თელის რელსზე ჯამური დაწოღა, ეწ. გეერდითი  $Y$  ძალა, მიმწართეული ძალღისა რა თეაღსა და რელსს შორის ხახუნის ძალის აღგებრული ჯამის ტოღია. თუ ეკიღაღის მობრუნების პოღუსი მოთაღსებუღია უკანა ღერძის უკან, მაშინ მისაბჯენი ძაღის რელსზე დაწოღის გეერდითი ძალა ტოღია  $Y - H_1$ . თუ ეკიღაღის მობრუნების პოღუსი მოთაღსებუღია უკანა ღერძის წინ, მაშინ გეერდითი ძალა ტოღია  $Y + H_1$ .

მოცემული ეაგონის ტიღის, მრუღის რადიუსის, მოძრაობის სინქარის და ხახუნის კოეფიციენტის მწიშენღღობების შემთხვევაში უნდა გინისასღეროს მობრუნების პოღუსის მღებარეობა, რომეღიც დამოკიდებუღია  $a$  მანსიღზე. ხისტი ბაზის ცენტრიდან მობრუნების პოღუსამღე. მოცემული ურიკის ხისტი ბაზის შემთხვევაში თაღის მსრივე მობრუნების პოღუსის მღებარეობა განსაზღერავს  $\alpha_1$  და  $\beta_1$  კუთხეებისა და მიმწართეული  $Y$  ძაღის სიღიღებს.

ამ ორი უცნობის განსაზღერისათღის დავწეროთ ორი განტოღება: პირეული, ურიკაზე მოქმედი ეეღლა პორიზონტაღური ძაღების პროექციის ჯამი პირეული წეეღღთეაღის პროექციაზე გაეუტოღოთ ნულს; მეორე, ამ ძაღების მომენტების ჯამი  $M$  წერტიღის მიმართ (ნახ.7.3) აგრეევე გაეუტოღოთ ნულს.

მაშასადამე პირეული პირობის მიხედეით მიეღღებთ განტოღებას

$$2F_{\text{სა}}(\cos \beta_1 - \cos \alpha_1) - H_{\text{სა}} + Y = 0 \quad (7.34)$$

მეორე პირობით

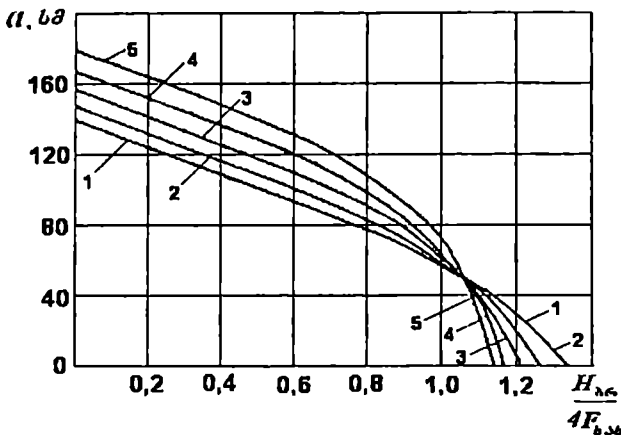
$$2F_{\text{სა}} \left( 2l_{\text{სა}} \cos \beta_1 + \frac{S_1}{2} \sin \beta_1 + \frac{S_1}{2} \sin \alpha_1 \right) - H_{\text{სა}} l_{\text{სა}} = 0 \quad (7.35)$$

სადაც  $\alpha_1$  და  $\beta_1$  - ხისტი ბაზის გრძივე ღერძისა და მობრუნების პოღუსისა და თოთეული თელის რელსთან კონტაქტის წერტიღების შემავრობეღ რადიუსეექტორებს შორის კუთხეებღია;

$l_{\text{სა}}$  - ხისტი ბაზის სიგრძის ნახევართ.

(7.34) და (7.35) განტოღებების ამოხსნა შრომატეევე გაანგარიშებებს მოითხოვის თანღათანობითი მიახღღების მეთოღით,  $a$  სიღიღის ცეღის შეღევეად. გაანგარიშებების გამარტივეების მიწინით სარგებღოზენ ინჟ. ა. პროსკურნეღის მიერ შეღევე

ნილი გრაფიკებით (ნახ.7.5, ნახ.7.6). ნახ.7.5-ის მიხედვით  $H_{\lambda, \gamma}$  და ხახუნის ძალის ფარდობით, ე.ი.  $H_{\lambda, \gamma} / 4F_{\lambda, \kappa}$  ფარდობით განისაზღვრება მობრუნების პოლუსიდან  $a$  მანძილი.



ნახ.7.5. მობრუნების პოლუსიდან ურთიკის ბაზის შუა წერტილამდე  $a$  მანძილის დამოკიდებულება  $H_{\lambda, \gamma} / 4F_{\lambda, \kappa}$  სიდიდესთან, როცა ურთიკის ბაზა  $2l_{\gamma}$  ტოლია:  
 1 - 180 სმ; 2 - 210 სმ; 3 - 240 სმ; 4 - 270 სმ; 5 - 300 სმ.

მეორე გრაფიკით (ნახ.7.6), პირველი გრაფიკიდან განსაზღვრული  $a$  მანძილის მიხედვით დადგინდება ფარდობა  $Y/4F_{\lambda, \kappa}$ . რადგან  $4F_{\lambda, \kappa}$  სიდიდე ცნობილია, განსაზღვრება  $Y$  ძალის მნიშვნელობა.

ნახ.7.3-დან ჩანს, რომ

$$H_1 = F_{\lambda, \kappa} \cos \alpha_1 \quad (736)$$

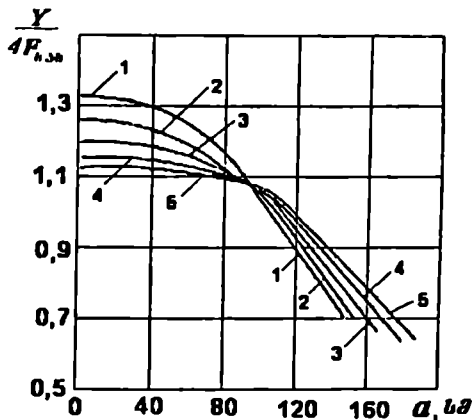
და

$$\cos \alpha_1 = \frac{l_{\gamma} + a}{\sqrt{\left(\frac{S_1}{2}\right)^2 + (l_{\gamma} + a)^2}} \quad (737)$$

ნახ.7.4-დან მივიღებთ

$$Y_b = Y - 2H_1 \quad (738)$$





ნახ.7.6. მობრუნების პოლუსიდან ურიკის ბაზის შუა წერტილამდე  $a$  მანძილის დაშოკიდებულება  $Y/4F_{h,ab}$  სიდიდესთან, როცა ურიკის ბაზა  $2l_{\text{კ}}$  ტოლია:  
 1 - 180 სმ; 2 - 210 სმ; 3 - 240 სმ; 4 - 270 სმ; 5 - 300 სმ

თელის ქიმიის რეელსის თავისუფალი შეგორების საწინააღმდეგოდ მდგრადობის გაანგარიშების დროს, აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნას წვეილთეალის ღერძის ევლსე და მაშასადამე რელსებზე, პორიზონტალური ძალების ზემოქმედების შედეგად, ვერტიკალური დატვირთვების გადანაწილება.

გაანგარიშებების გასამართლებლად, პრაქტიკულად საკმარისი სისუსტის შერარჩუნებით, მივიღოთ შემდეგი დაშვებები:

1. ურიკებზე მოქმედი განივი ძალების გადამანაწილებელ ზემოქმედებას უგულვებელყოფთ,  $Y_{\text{კ}}$ ,  $H_{\text{კ}}$  და  $W_{\text{კ}}$  ძალების სიდიდეების სიმცირის გამო, ვიეთვლით, რომ მრუდებში ურიკის დაწოლის ვერტიკალური მდგენელი მისაბჯენ და შიგა სარელსო ძაფზე თანაბარია, როგორც სწორ უბნებში და ტოლია  $P_{\text{კ}}/4$ ;
2. ეთვლით, რომ ერთ მიმმართებელ ღერძზე ვერტიკალური ბრუნეითი დატვირთვა ტოლია  $2P_{\text{კ}}$ , თუმცა ამ სიდიდისათვის უნდა გამოითვალეთ ურთი წვეილთეალის წონა. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ზემოთ მოტანილი ორი დაშვების შედეგებს სხვადასხვა ნიშნები გააჩნიათ, რაც კიდევ უფრო ამცირებს გაანგარიშებების შედეგების უსუსტობის ხარისხს.

3. ეოელით, რომ  $2P_{\text{კ}}$  ძალა მოდებულია ძარის სიმძიმის ცენტრში, ნაცვლად მთელი ვაგონის სიმძიმის ცენტრისა, რადგანაც ამ დაშეების შედეგად გაანგარიშების სიზუსტეზე მეტად მცირე პროცენტით იცვლება.

რელსის რეაქციის  $H_1$  და  $H_2$ , პორიზონტალური მდგენელების მსარი ნულის ტოლია, ამიტომ ისინი გაანგარიშებებში არ მონაწილეობენ.

კუთხეების სიმციროს გამო მიღებულია, რომ  $\cos \alpha \approx 1$ .

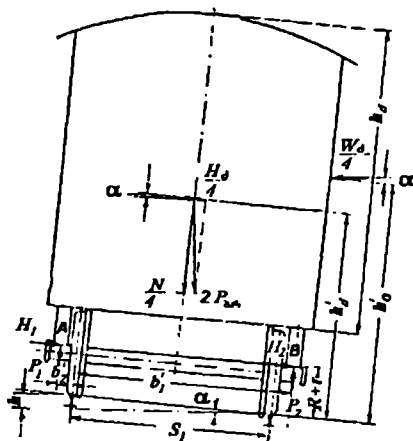
ამიტომ ძარის წონის ლიანდაგის მიმართ ნორმალური მდგენელი  $N \approx 2P_{\text{კ}}$ ;

$$\frac{I_x}{4} \cos \alpha \approx \frac{I_x}{4}; \quad (7.39)$$

$$\frac{W_x}{4} \cos \alpha \approx \frac{W_x}{4}. \quad (7.40)$$

პირველ რიგში უნდა გათვალისწინებულ იქნას დერძის ყელზე ვერტიკალური დატვირთვების გადაწარმელება, პორიზონტალური  $I_x$ ,  $H_x$  და  $W_x$  ძალების გაგლეწის შედეგად და ვიპოვოთ  $P'_1$  და  $P'_2$  ძალების მნიშვნელობები, შემდეგ რესორების რხევის გათვალისწინებით განეხაზუროთ  $P_1$  და  $P_2$  ძალების სიდიდეები.

თუ  $B$  წერტილის მიმართ ყველა ძალების მომენტებს გაეუტოლებოთ ნულს, მაშინ შეიძლება დაეწეროს (ნახ.7.7)



ნახ.7.7 ერთეული მოძრავი შემადგენლობის ერთ წვეილთვალზე მოქმედი ძალები

$$P_1' = P_{\Sigma} + \frac{(I_1 - H_1)}{4} \times \frac{(h_1' - R - r)}{(b_1' + b_1')} + \frac{W_1}{4} \times \frac{(h_1' - R - r)}{(b_1' + b_1')} \quad (7.41)$$

თუ  $A$  წერტილის მიმართ ყველა ძალების მომენტებს გაეუტოლებოთ ნულის, მაშინ

$$P_2' = P_{\Sigma} - \frac{(I_2 - H_2)}{4} \times \frac{(h_2' - R - r)}{(b_1' + b_2')} - \frac{W_2}{4} \times \frac{(h_2' - R - r)}{(b_1' + b_2')} \quad (7.42)$$

სადაც  $b_1'$  - მიმართველი თელის მხრიდან (წვეილთეალის ლიანდში სიმეტრიული განლაგებისას) წვეილთეალის ღერძის ყელის შუა წერტილიდან რელსის ღერძამდე მანძილია;

$b_2'$  - მანძილი წვეილთეალის ღერძის ყელის შუა წერტილიდან მიმართველი რელსის ღერძამდე მიმართველი თელის მოპირდაპირე თელის მხრიდან;

$R$  - მრუდის რადიუსი;

წვეილთეალის ღერძის რადიუსი;

$h_1'$  - სიმაღლე რელსის თავიდან ქარის დაწოლის სიმიმის ცენტრამდე;

$h_2'$  - სიმაღლე რელსის თავიდან ძარაზე ქარის დაწოლის ცენტრამდე და გაითვალისწინება ფორმულათ:

$$h_2' = 2R + \frac{h_1}{2} \quad (7.43)$$

სადაც  $h_1$  - ძარის "საქარე" ფართობის სიმაღლეა.

თუ შევკრებთ (7.41) და (7.42) განტოლებებს მივიღებთ

$$P_1' + P_2' = 2P_{\Sigma} \quad (7.44)$$

$P_1'$  - (7.41) ფორმულის საშუალებით სიდიდის განსასაზღვრის შემდეგ (7.42) ფორმულის დახმარებით განვსაზღვროთ  $P_2'$ .

რადგანაც ძალების ჯამი ( $H_1 + H_2$ )  $P_1$  და  $P_2$  ვერტიკალური რეაქციის ძალების გადანაწილების შედეგად არ იცვლება, ამიტომ

$$H_1 + H_2 = P_1' \mu_{\Sigma} \cos \alpha_1 + P_2' \mu_{\Sigma} \cos \alpha_1 = (P_1' + P_2') \mu_{\Sigma} \cos \alpha_1 = 2P_{\Sigma} \mu_{\Sigma} \cos \alpha \quad (7.45)$$

ამიტომ  $Y$  ძალის სიდიდის გადაანგარიშება საჭირო არ არის. საჭიროა აგრეთვე მხედველობაში იქნას მიღებული მისაბჯენ და შიგა სარელსო ძაფზე თელის ვერტიკალური დაწოლის ზრდა და შემცირება მოძრაობის პირობებში ეკიპაჟის დარუსობის მისის რხევის შედეგად.

თელის ამ დატვირთვებით განტვირთვა და გადაშტერითა ხასიათდება სარესორო ჩამოკიდების ვერტიკალური დინამიკურობის  $K_{\Sigma}$  კოეფიციენტი.  $K_{\Sigma}$  კოეფიციენტი განისაზღვრება გაანგარიშებით, უფრო ზუსტად კი ექსპერიმენტული გზით.

$K_{\Sigma}$  კოეფიციენტი შეიძლება აგრეთვე განისაზღვროს ლიანდაგის სიმპტიცეზე გაანგარიშების დროს გამოყენებული ფორმულით

$$K_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Sigma} - q} \quad (7.46)$$

სადაც  $P_{\Sigma}$  - რესორების რხევით გამოწვეული დამატებითი ვერტიკალური ძალაა;

$P_{\Sigma}$  - თელის რელსზე ვერტიკალური სტატიკური დაწოლა;

$q$  - ერთ თვალზე მოსული დაურესორებელი მასის წონა.

ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით დინამიკურობის  $K_{\Sigma}$  კოეფიციენტი ტოლია

$$K_{\Sigma} = 0,1 + 0,2 \frac{v}{f_{\Sigma}} \quad (7.47)$$

სადაც  $v$  - მოძრაობის სიჩქარეა;

$f_{\Sigma} = f_I + f_{II}$  - სარესორო ჩამოკიდების საერთო სტატიკური ჩაღუნვა.

ლიანდაგის დამაკმაყოფილებელი და კარგი მდგომარეობის პირობებში დინამიკურობის  $K_{\Sigma}$  კოეფიციენტების მაქსიმალური მნიშვნელობები, მოცემულია ცხრილში 7.2

ცხრილი 7.2

ურიკების ტიპი	ლიანდაგის ბავშა	ვერტიკალური დინამიკურობის $K_{\Sigma}$ კოეფიციენტები მოძრაობის სიჩქარეების $v$ კმ/სთ მიხედვით						
		60	70	80	90	100	110	120
MT - 50	სწორში	0,33	0,46	0,81	0,92	1,00	-	-
MT - 40	მრუდეში	0,25	0,40	0,76	0,92	0,95	-	-
ЦНИИ - X3	სწორში	0,28	0,35	0,43	0,52	0,57	0,61	0,66
ЦНИИ - X3	მრუდეში	0,28	0,35	0,43	0,52	0,60	0,61	0,63

საანგარიშოდ უნდა მივიღოთ მდგომარეობა, როცა ვაგონის რხევების შედეგად მცირდება  $P_1$  ძალის სიდიდე და მასისადავე იზრდება  $P_2$  ძალა. ასეთი შემთხვევა თელის ქიმის რელსის თავზე შეგორების ხელსაყრელ პირობებს ქმნის. აქვე უნდა

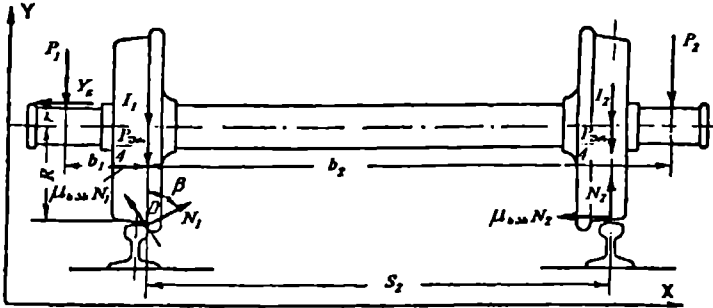
გაეითეალისწინოთ, რომ დინამიკურობის  $K_{\text{კვ}}$  კოეფიციენტის სიდიდე ვაგონის ეკვლა სახის რხევების (განივი რყევა, დაოთხილი სელა, ხტუნაობა) ჯამური შედეგია. ცდებით დადგენილია, რომ დინამიკურობის  $K_{\text{კვ}}$  კოეფიციენტის მთელი სიდიდის 30 - 50% განივი რყევის შედეგია.

რეკომენდებულია, რომ პრაქტიკულ გაანგარიშებებში  $P_1$  ძალის შემცირება განისაზღვროს დინამიკურობის  $K_{\text{კვ}}$  კოეფიციენტის მთელი სიდიდის შესაბამისად და  $P_2$  ძალის სიდიდე დაეტოვოს იგივე, რადგანაც  $P_2$  ძალის ზრდა განივი რყევის შედეგად იმავე სიდიდისაა, რაც მისი შემცირება დაოთხილი და ხტუნაობით სელის შემთხვევაში. მაშასადამე

$$P_1 = P_1' - (P_{\text{ტ}} - q)K_{\text{კვ}} \tag{7.48}$$

$$P_2 = P_2' \tag{7.49}$$

ლიანდაგში და თვლებზე არსებული უსწორობებისაგან წარმოქმნილი ვერტიკალური ინერციული ძალები  $I_1$  და  $I_2$  (ნახ.7.8) გაანგარიშების დროს მიმართული უნდა იყენენ ზემოდან ქვემოთ. ამ ძალების შეყვანა გაანგარიშებებში 100 - 110 კმ/სთ-ზე ნაკლები სიჩქარეების შემთხვევაში საერთოდ საჭირო არ არის, რადგანაც მათი მოქმედების პიკის ხანგრძლივობა იმდენად მცირეა (წამის მეათედები), რომ თვალის ვერ ასწრებს რელსის თავის შეგორებას.



ნახ.7.8 მიმმართველი თვლის რელსის თავზე შეგორების საწინააღმდეგოდ მდგრადობის საანგარიშო სქემა

თვლის ქიმის მდგრადობა რელსის თავზე შეგორების დაუშეებლობის პირობით განისაზღვრება შემდეგი უტოლობით, (ნახ.7.8)

$$\frac{Y_n}{P_1} \leq \frac{\mu_{\text{სა}} b_1 + (S_2 + b_1) g (\beta - \varphi)}{S_2 - (r + R) [g (\beta - \varphi) + \mu_{\text{სა}}]} - \frac{P_2}{P_1} \times \frac{[\mu_{\text{სა}} b_2 - (S_2 - b_2) g (\beta - \varphi)]}{P_1 [S_2 - (r + R) [g (\beta - \varphi) + \mu_{\text{სა}}]]} \quad (7.50)$$

$$- \frac{S_2 [I_2 \mu_{\text{სა}} - I_1 g (\beta - \varphi) + P/4 [\mu_{\text{სა}} - g (\beta - \varphi)]]}{P_1 [S_2 - (r + R) [g (\beta - \varphi) + \mu_{\text{სა}}]]}$$

სადაც  $b_1$  - ღერძის ყელის შუა წერტილიდან ქიმაზე ( $O$  წერტილი) მანძილია მიმართული თელის მხრიდან;

$b_2$  - მანძილი მოპირდაპირე თელის ღერძის ყელიდან მიმართული თელის ქიმის მუშა წახნაგამდე;

$S_2$  - მანძილი მიმართული თელის ქიმის მუშა წახნაგიდან მრუდის შიგა რელსის ღერძამდე;

$Y_n$  ჩარჩო ძალა;

$\varphi$  ხახუნის კუთხე, როცა  $\mu_{\text{სა}} = 0,25$ , ხახუნის კუთხე  $\varphi = 14^{\circ}03'$ ;

$\beta$  თელის ქიმის მუშა წახნაგის პორიზონტისადმი დახრის კუთხე,  
 $\beta_{\text{კა}} = 60^{\circ}$  ,  $\beta_{\text{ლკ}} = 60^{\circ}$

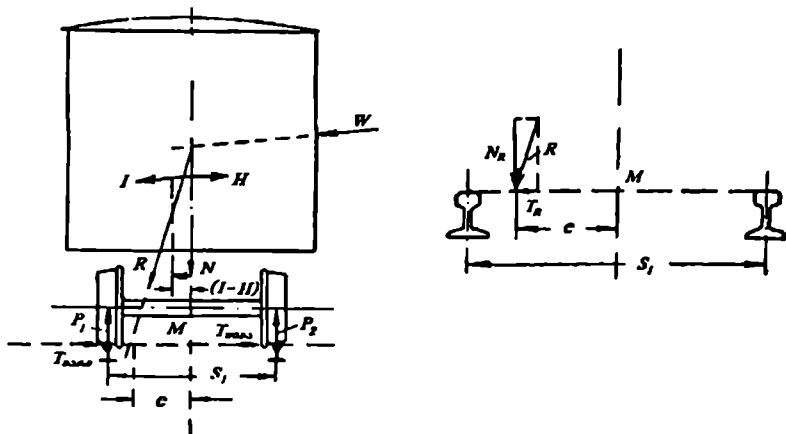
თუ (7.50) უტოლობის მარჯვენა მხარეს გაეყოფთ მარცხენა მხარეზე მივიღებთ მდგრადობის კოეფიციენტს, თელის ქიმის რელსის თავზე შეგორებლობის პირობით. თუ  $n_{\text{შეგ}} < 1$ , მაშინ თელის ქიმი შეცოცდება რელსის თავზე; თუ  $n_{\text{შეგ}} = 1$ , მაშინ ადგილი აქვს ზღერული წონასწორობის პირობას, თუ  $n_{\text{შეგ}} > 1$ , მაშინ თელის ქიმის რელსის თავზე შეუგორებლობის მდგრადობის პირობა დაკმაყოფილებულია. პრაქტიკულად მიღებულია, რომ  $n_{\text{შეგ}} \geq 1,5$ .

#### 7.4 მოძრავი შემადგენლობის გადაყირაებაზე მდგრადობის გაანგარიშება

მოძრავი შემადგენლობის მდგრადობის გაანგარიშებისათვის გადაყირაებაზე უნდა შევიჩინოთ ყველაზე არახელსაყრელი შემთხვევა. ასეთ შემთხვევას ადგილი აქვს მრუდებში გარე რელსის შემადგენლისა და ცენტრიდანული და ცენტრისკენული ძალების სხვაობის ზემოქმედების გამო.

ერთეული მოძრავი შემადგენლობის მდგრადობა გადაყირაებაზე დამოკიდებულია, რა მანძილზე გადის ლიანდაგის ღერძიდან ( $M$  წერტილი) ყველა ძალის (წო-

ნის, ცენტრიდანული, ქარის) ტოლქმედის მიმართულების ხაზი, ანუ  $e$  ექსცენტრისიტეტის სიდიდეს (ნახ.7.9).



ნახ.7.9. ეკიაჟის გადაჟირაჟების საწინააღმდეგოდ მდგრადობის საანგარიშო სჟემა

ძალები სჟერება დასაშეგბია, როგორც გრაჟიკული ისე ანალიზური მეთოდით.

როდესაც  $e < S_1/2$ , ცხადია, რომ ეკიაჟი მით უფრო მდგრადია რამდენადაც ნაკლებია ექსცენტრისიტეტის სიდიდე.

თუ  $e = S_1/2$ , მაშინ ეკიაჟი იმჟოყება ზღერული წონასწორობის მდგომარეობაში.

თუ  $e > S_1/2$ , მაშინ ეკიაჟი არამდგრადია და იგი შეიძლება გადაჟირაჟდეს.

ამგეარად  $S_1/2$  ფარდობა ექსცენტრისიტეტთან წარმოადგენს მდგრადობის კოეფიციენტს, ე.ი.

$$n = \frac{S_1}{2e} \quad (7.51)$$

ტოლქმედი  $R$  ძალა, რომელიც შეიძლება დაიშალოს ღიანდაგის მიმართ ნორმალურ  $N$  და პორიზონტალურ  $H$  მდგენელებად. წონასწორდება რელსების რეაქციის ძალით. წინასწარ ვიცით რა რელსების რეაქციის ძალის მიმართულება, ისინიც დაეშაღოთ ღიანდაგისადმი ნორმალურ  $P_1$  და  $P_2$  და პორიზონტალურ  $T_{shaft}$  და  $T_{bearing}$  მდგენელებად.

ძალთა მომენტების განტოლება  $M$  წერტილის მიმართ ტოლი იქნება

$$N_R e = P_1 \frac{S_1}{2} - P_2 \frac{S_2}{2} \quad (7.52)$$

აქედან

$$e = \frac{(P_1 - P_2) S_1}{2(P_1 + P_2)} \quad (7.53)$$

(7.51) და (7.53) ფორმულებიდან მივიღებთ:

$$n = \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \quad (7.54)$$

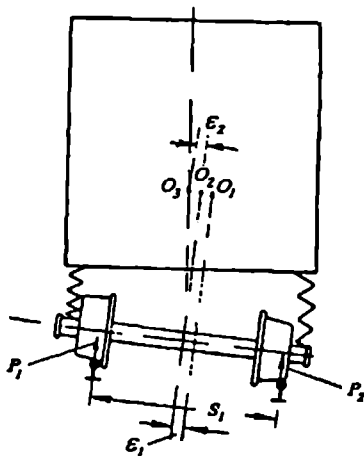
სადაც  $S_1$  - რელსების ღერძებს შორის მანძილია,  $S_1 = 1600$  მმ.

უნდა გაეთვალისწინოთ, რომ ეკიპაჟის გადაყირაგებისაღმე მდგრადობისათვის ექველასე არახელსაყრელ შემთხვევას ადგილი აქვს, როდესაც ეკიპაჟის ვერტიკალური ღერძი არ ემთხვევა ლიანდაგის ღერძს და გადაწეულია რელსსა და თელის ქიმის შორის მაქსიმალური დასაშვები ღრენოს სიდიდის ნახევარით

$$e_1 = \delta_{\max} / 2 \quad (7.55)$$

სადაც  $\delta_{\max}$  - თელის ქიმისა და რელსის შუშა წახნაგებს შორის ღრენოს მაქსიმალური სიდიდეა და დამრგვალებით მიიღება  $e_1 = 30$  მმ.

გარდა ამისა გათვალისწინებულ უნდა იქნეს ეკიპაჟის ძარის შესაძლო  $e_2$  გადახრა გამოწვეული რესორების ჩაღუნების გადახრით (ნახ. 7.10).



ნახ. 7.10 ეკიპაჟის სიმძიმის ცენტრის აცდენა ლიანდაგის ღერძიდან



მოძრავი შემადგენლობის ეკიპაჟის გადაყირაუებისადმი მდგრადობაზე გაელენ-  
ას ახდენს აგრეთვე მთელი რიგი სხვა ძალებიც (წუეის ძალა, ეკიპაჟის რხევის აჩქ-  
არების ეერტიკალური და პორიზონტალური მდგენელები, წარმოქმნილი ღიანდაგ-  
ისა და თელებ'ზე არსებული უსწორობებისაგან და სხვა). ამიტომ გაანგარიშებუბის  
ზედმეტად გართულებების თავიდან აცილების მიზნით, ამ ძალების ზემოქმედება გა-  
თვალისწინებულია მდგრადობის კოეფიციენტის მარაგში, რისთვისაც ყოველთვის  
მიიღება, რომ  $\mu > 1,15$ .

8.1 ამტანობის მახასიათებლები

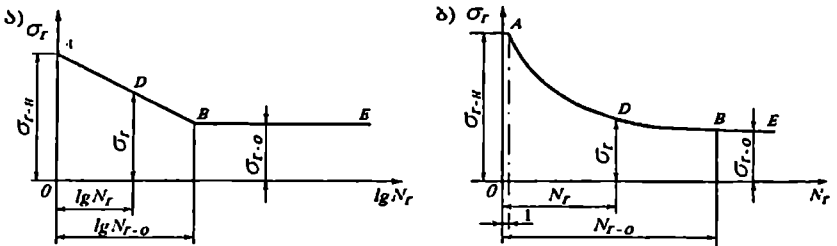
დიდი სიდიდის დატვირთვების მრავალჯერადმა მოღებამ და მოხსნამ, ნიშანცვლადი ძაბვების ზემოქმედებამ, შეიძლება გამოიწვიოს დაღლილობითი პროცესების განვითარება და ძაბვების ახალი კონცენტრატორების წარმოქმნა რელსებისა და თელების ფოლადში. ხარულსო ფოლადის სიმტკიცეს ამცირებს და ძაბვების ახალ კონცენტრატორებს წარმოქმნის აგრეთვე კოროზიული პროცესები.

უნია აღინიშნოს, რომ რელსებში არსებული დეფექტების ზრდა-განვითარების პროცესები ლიანდაგში რელსების მუშაობის ხანგრძლივობის შემცირების პირდაპირპროპორციულია.

მასალაზე მრავალჯერადი ცვლადი დატვირთვების მოხსნა-მოღების შედეგად, მასში დეფექტების თანდათანობით დაგროვებას, მასალის დაღლილობა ეწოდება.

მასალის კოროზიული დაღლილობა წარმოიქმნება მრავალჯერადი ცვლებებით დატვირთვისა და კოროზიული პროცესების ერთობლივი ზემოქმედებით.

დაღლილობითი პროცესების განვითარებისადმი წინააღობას მასალის ამტანობა ეწოდება. ცნობილია მასალის შესლედული და ხანგრძლივი ამტანობა.



ნახ. 8.1. ამტანობის მრუდები:

ა) ნახევრადლოგარითმულ კოორდინატთა სისტემაში; ბ) დეკარტის სისტემაში.

ნახ.8.1-ზე გამოსახულია ამტანობის მრუდები: ა) ნახევრადლოგარითმულ და ბ) დეკარტის კოორდინატთა სისტემაში. სადაც  $N$  - ციკლების რაოდენობის მიმდინარე მნიშვნელობაა, ძაბვების რაოდენობით აღებულ ციკლში, ასიმეტრიის  $r$  კოეფიციენტი. ყოველ ციკლში ძაბვების სიდიდე აღებულ წერტილში იცვლება  $\sigma_{max}$ -დან  $\sigma_{min}$ -მდე. სწორედ  $\sigma_{max}$ -ს აღნიშნავენ  $\sigma_r$ -ით. ამტანობის მრუდები აიკება ასიმეტრიის კოეფიციენტის  $r = \sigma_{min} / \sigma_{max}$  ყოველი მნიშვნელობებისათვის, მათი ცა-

ლაკუელი კონკრეტული მნიშვნელობებისათვის. ძაბვების  $\sigma_{\dots} = \sigma$ , მნიშვნელობებისას  $AB$  უბნის ფარგლებში ნაკეთობას შეუძლია აიტანოს მხოლოდ  $N$ , რაოდენობის ციკლი.  $N$ , რაოდენობის ციკლს, რომლის ატანა შეუძლია ნაკეთობას, ნაკეთობის ხანგრძლივი ამტანობა ეწოდება. ნახ. 8.1-ზე  $AB$  უბანი ნაკეთობის შესაძლებელ ამტანობის ზღვარს შეესაბამება.  $B$  წერტილის მარჯვენა მხარეს  $\sigma_r < \sigma_{r-1}$  მნიშვნელობის შემთხვევაში ნაკეთობას თეორიულად განუსაზღვრელი რაოდენობის ციკლის ატანა შეუძლია. ეს არის ხანგრძლივი ამტანობის უბანი. ციკლების  $N_{r-1}$  რაოდენობა შეესაბამება შესაძლებელი ამტანობის ზღვრიდან, ხანგრძლივი ამტანობის ზღვარში გარდამავალ ზონას. დიდი განივი კეჟის მქონე ნაკეთობების შემთხვევაში, რომლებსაც მსიკეთუნებთან რელსები ციკლების მიმდინარე რიცხვი იცვლება ფარგლებში  $10^4 \leq N_{r-1} \leq 10^7$ .

მცნება ზღვრული ამტანობა, რომლის დროსაც ნაკეთობას შეუძლია დატვირთვების სტატისტიკური ციკლის ატანა პირობითია. სათანადო თეორიული და პრაქტიკული კვლევებით დამტკიცებელია, რომ ნაკეთობა მთლიანად ამოწურავს ამტანობის რესურსს, როცა  $N_r \leq 10^4$ .

შესაძლებელი ამტანობის ზღვრებში ციკლების ზღვრული რიცხვი, ე.ი. როცა  $\sigma_r > \sigma_{r-1}$  და  $N_r > N_{r-1}$  განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} \text{ა) } \lg N_r &= (\sigma_{r-1} - \sigma_r) k, \\ k &= \frac{\sigma_{r-1} - \sigma_{r-2}}{\lg N_{r-2}} \\ \text{ბ) } N_r &= \left( \frac{\sigma_{r-1}}{\sigma_r} \right)^m N_{r-1} = A_r \sigma_r^{-m} \end{aligned} \right\} \quad (8.1)$$

(8.1-ა) ფორმულა შეესაბამება 8.1-ა ნახაზს, ხოლო (8.1-ბ) ფორმულა - 8.1-ბ ნახაზს.

სადაც  $\sigma_r$  და  $\sigma_{r-1}$  ერთჯერადი ( $N_r = 1$ ) ხანგრძლივი ამტანობაა ასიმეტრიის  $r$  კოეფიციენტის შემთხვევაში;

- $N_r$  - შესაძლებელი ამტანობის ზღვარის  $\sigma_r$ -ის შესაბამისი ხანმედეგობა;
- $N_{r-1}$  - ხანგრძლივი ამტანობის ბაზა.

$\sigma_{r-1}$ ,  $\sigma_r$ ,  $m$  და  $N_r$  პარამეტრების სიდიდეები დადგინდება ექსპერიმენტული ცდების მასალების სტატისტიკური დამუშავების გზით.

ფორმულა (8.1-ა) გამოიყენება ხანმდეგობის მთელ დიაპაზონში 1-დან  $N_0$ -მდე და მისი შედეგები ექსპერიმენტულ შედეგებთან მაღალი თანხმხვევადობით გამოირჩევა.

## 8.2 ხანგრძლივი სიმტკიცე

თუ ცნობილია ხანგრძლივი ამტანობის ზღვარის საშუალო მნიშვნელობა  $\sigma_{r0}$  და მისი საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე და  $\sigma_{r0}$ -ის მნიშვნელობას გაფრთხილებთ დასაშვები ძაბვის  $[\sigma]$  სიდიდეს, მაშინ ადვილად შეიძლება ეპოვოთ ხანგრძლივი სიმტკიცის პირობა.

დაეუშვათ კონსტრუქციაზე მოქმედი ძაბვაა  $\sigma_{\alpha\beta}$ , მაშინ სხვაობა დასაშვებ ძაბვასა და მოქმედ ძაბვას შორის ტოლია

$$\Delta = [\sigma] - \sigma_{\alpha\beta} \geq 0 \quad (8.2)$$

დასაშვები და მოქმედი ძაბვების მნიშვნელობები შემთხვევითი დამოუკიდებელი სიდიდეებია და მათი დამოკიდებულება გაუჩინის კანონს ექვემდებარება. ამ პირობებში

$$\bar{\Delta} = [\bar{\sigma}] - \bar{\sigma}_{\alpha\beta} \quad (8.3)$$

და

$$S_{\Delta}^2 = S_{[\sigma]}^2 + S_{\sigma_{\alpha\beta}}^2 \quad (8.4)$$

თუ  $\Delta_{\min}$ -ისათვის დაცული იქნება პირობა  $\Delta \geq 0$ , მაშინ მისი სხვა უფრო დიდი მნიშვნელობებისათვის პირობა ყველა შემთხვევაში იქნება დაცული.

განესაზღვროთ  $\phi$  ალბათობით  $\Delta_{\min}$ -ის მნიშვნელობა

$$\Delta_{\min} = \bar{\Delta} - \lambda_{\phi} S_{\Delta} \geq 0 \quad (8.5)$$

აქედან გამომდინარე

$$[\bar{\sigma}] - \sigma_{\alpha\beta} - \lambda_{\phi} \sqrt{S_{[\sigma]}^2 + S_{\sigma_{\alpha\beta}}^2} \geq 0 \quad (8.6)$$

ამ პირობიდან გამომდინარე ხანგრძლივი სიმტკიცის ფორმულას შემდეგი სახე ექნება

$$\bar{\sigma}_{\alpha\beta} + \lambda_{\phi} \sqrt{S_{[\sigma]}^2 + S_{\sigma_{\alpha\beta}}^2} \leq [\bar{\sigma}] \quad (8.7)$$

$$\max \sigma_{\alpha\beta} \leq \min \sigma_{r0} \quad (8.8)$$

სადაც  $\lambda_j$  - ნორმირებული მამრაველია, რომელიც უსრუნველყოფს  $\Phi$  ალბათობას.

(8.7) და (8.8) პირობა გამომდინარეობს შემდეგიდან, მოქმედი  $\max \sigma_{r,j}$  ძაბვის ექვივალენტი უდიდესი სიდიდე, რომელიც შეიძლება წარმოიქმნას ყველა ფაქტორების სიმომენტების, თეორიულად ყველაზე არასასურველი შეხამებისას, ძალზე იშვიათად გეხვება. იგი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ერთჯერადი დატვირთვის შედეგი, და მისი სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს  $\sigma_{r,j}$  თეორიულად ყველაზე უმცირეს მნიშვნელობას

$$\min \sigma_{r,j} = \sigma_{r,j} - 3S_{r,j} \quad (8.9)$$

(8.9) გამოსახულება ძაბვის გარანტირებულ მინიმუმს წარმოადგენს. (8.9) ფორმულაში  $\lambda_j = 3$ , რაც იძლევა  $\Phi = 0,99865$  ალბათობას, სხვაობა  $\Phi = 1 - \Phi = 0,99865$  იმდენად მცირეა, რომ იგი პრაქტიკული გაანგარიშების და ამოსავალი მონაცემების სიზუსტეზე ნაკლებიცაა და გარანტირებულ შედეგს იძლევა.

### 8.3 ხანმედეგობა და რესურსი

ლიანდაგის ბევრი ელემენტის და მათ შორის რელსების მუშაობის პირობები ხანგრძლივი ამტანობის ზღვარს გარეთ გამოდის. ამჟამად მიღებულია, რომ P50 ტიპის რელსმა უნდა გაატაროს 350 მლნ. ბრუტო ტონა, ხოლო P65 ტიპის რელსმა - 500 მლნ. ბრუტო ტონა ტვირთი. ეს ფაქტორი წარმოადგენს სწორედ რელსების ამტანობის რესურსის გამოყენებას.

ნიუსისმიერი  $\sigma_j$  ძაბვა, რომელიც გამოდის ხანგრძლივი ამტანობის ზღვრებიდან, მასალის სტრუქტურაში იწვევს გარკვეულ ცვლილებებს და მისი შემდგომი  $N_j$  - ჯერ განმეორების შემთხვევაში, შეუძლია გამოიწვიოს დადებითობით ხასიათის დეფექტების წარმოშობა, რის გამოც ნაკეთობა შეიძლება გამოვიდეს მწყობრიდან.

თუ ნაკეთობამ  $n_j$ -ჯერ ( $n_j > N_j$ ) განიცადა  $\sigma_j$  ძაბვის ზემოქმედება, მაშინ ამტანობის გამოყენების წილი შემდეგი ფარდობის ტოლი იქნება  $n_j/N_j$ .

ნაკეთობის ხანმედეგობის გაანგარიშებისას მიღებულია, რომ მისი ამტანობა სრულად იქნება გამოყენებული, როცა

$$\sum \frac{n_{r-j}}{N_{r-j}} = 1 \quad (8.10)$$

$$\int_0^{n_0} \frac{dn}{N_r} = 1 \quad (8.11)$$

როცა  $\sigma_{r-j} \leq \sigma_{r-0}$ ; ე.ი. ძაბვისათვის, რომელიც ამტანობის ზღვარზე ტოლი ან ნაკლებია  $N_{r-j} = \infty$ . (8.10) ფორმულაში  $n_0$  არის დატვირთვის ციკლის ზღვრული რიცხვი, რომლის გადაჭარბება გამოიწვევს ნაკეთობის ნგრევას. სიდიდე  $n_0$  ნაკეთობის ხანმედეგობას წარმოადგენს, მისინ ცხადია, რომ  $n_{r-j} = \Phi_{r-j}$ .  $n_0$  და (8.11) ფორმულა მიიღებს სახეს

$$n_0 \sum \frac{\Phi_{r-j}}{N_{r-j}} = 1 \quad (8.12)$$

|-ის, ანუ ამტანობის სრულად გამოყენების კოეფიციენტის ნაცვლად (8.12) ფორმულაში შევიტანოთ ამტანობის გამოყენების კოეფიციენტი (დაზიანებადობის კოეფიციენტი)  $\alpha \leq 1$ . დაზიანებადობის კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობა აუღნიშნოთ  $[\alpha]$ . (8.12) ფორმულაში შევიტანოთ აგრეთვე  $N_{r-j}$ -ის მნიშვნელობა ფორმულდან (8.1) და შესაბამისი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ ნაკეთობის ხანმედეგობის საანგარიშო გამოსახულებას:

$$\left. \begin{aligned} n_0 &= \frac{[\alpha]}{\sum \frac{\Phi_{r-j}}{N_{r-j}}} \\ n_0 &= \frac{[\alpha] N_{r-0} \sigma_{r-0}^m}{\sum \Phi_{r-j} \sigma_{r-j}^m} \end{aligned} \right\} \quad (8.13)$$

$[\alpha]=1$  მიხედვით განსაზღვრული ხანმედეგობა და რესურსი ზღვრული სიდიდისაა, ხოლო ხანმედეგობისა და რესურსის შესაბამისი საანგარიშო მნიშვნელობა ტოლი იქნება  $\alpha = [\sigma] < 1$ .

#### 8.4 ექვივალენტური ძაბვები და სიმტკიცის პირობითი მარაგი

პრაქტიკაში ხშირად საჭირო ხდება განისაზღვროს თუ სიმტკიცის რა მარაგი ექნება ნაგებობას მისი სამსახურის ვადის ბოლოს. ამისათვის უნდა შემოვიღოთ ექვივალენტური  $\sigma_{r-0}$  ძაბვების ცნება, რომელიც უნდა შევადაროთ ამტანობის ხანგრძლივ ზღვარს.

ექვივალენტური  $\sigma_{r,j}$ , ძაბვების მნიშვნელობები განისაზღვრება შემდეგი მეთოდით. (8.10) ფორმულაში  $N_{r,j}$ -ის ნაცვლად შეგვაქვს მისი მნიშვნელობა ფორმულიდან (8.1-ბ), მაშინ

$$\frac{\sum N_{r,j} \sigma_{r,j}^2}{N_{r,0} \sigma_{r,0}^2} = 1 \quad (8.14)$$

ჩაგებობის ამტანობის სრულად გამოყენების ეს გამოსახულება შეიძლება წარმოვიადგინოთ შემდეგი სახით

$$\sqrt{\frac{1}{N_{r,0}} \sum \sigma_{r,j}^2 n_{r,j}} = \sigma_{r,0} \quad (8.15)$$

თუ (8.15) ფორმულის მარცხენა მხარე ნაკლებია  $\sigma_{r,0}$ -ის მნიშვნელობაზე, მაშინ ამტანობის რესურსი მთლიანად არ არის გამოყენებული და რჩება გარკვეული მარაგი. (8.15) ფორმულის მარცხენა მხარეს ექვივალენტური ძაბვა ეწოდება, ხოლო სიმტკიცის პირობითი მარაგი ტოლია

$$k_{\text{მაგ}} = \frac{\sigma_{r,0}}{\sigma_{r,j}} \quad (8.16)$$

ხოლო

$$\sigma_{r,j} = \sqrt{\frac{1}{N_{r,0}} \sum \sigma_{r,j}^2 n_{r,j}} \quad (8.17)$$

ამ ფორმულაში  $\sigma_{r,j}$  წარმოადგენს ძაბვების მხოლოდ იმ მნიშვნელობებს, რომლებიც აღემატებიან ხანგრძლივი ამტანობის  $\sigma_{r,0}$  ზღვარს.

9.1. მოძრაობის სიჩქარეების გაზრდის ღონისძიებები გამყოფ პუნქტებზე

მატარებლების მოძრაობის სიჩქარეების განუხრელი ზრდა გადასარბენებზე მოითხოვს სიჩქარეების გაზრდას გამყოფ პუნქტებზედაც. ეს საკითხი განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს გაუჩერებელი აქციების ორგანიზაციისას და ყველა სხვა შემთხვევაში, როცა მატარებლები გამყოფ პუნქტს გაუჩერებლად გაივლინ.

მოძრაობის სიჩქარეების შესწავლა სადგურებში ავტომატურად იწვევს სინქარეების შესწავლას გადასარბენებზე. ცნობილია, რომ მატარებლების მოძრაობის სინქარის 100 კმ/სთ-დან 140 კმ/სთ-მდე ან 120 კმ/სთ-დან 160 კმ/სთ-მდე ასაწევად, ხელსაყრელი გრძივი პროფილის შემთხვევაშიც კი, საჭიროა სადგურებს შორის არსებულ მანძილზე მეტი მანძილი. ამიტომ სადგურებში სინქარის შესწავლისას 100–120 კმ/სთ-მდე, გადასარბენებზე 140–160 კმ/სთ სინქარის განვითარება პრაქტიკულად შეუძლებელია.

ცალკეულ სადგურებზე მატარებლების მოძრაობის სიჩქარეები იზღუდება იმ მიზეზით, რომ მთავარი ღიანდაგები მოწყობილია ცირერადიუსიანი მრუდებით და ისრული გადაყვანები მოთავსებულია მრუდ უბნებში. ასეთ შემთხვევებში სადგურებში მატარებლის მოძრაობის სიჩქარეების ზრდა შესაძლებელია სადგურების ყულის, ან მთლიანად სადგურების გადაკეობით.

უმეტეს შემთხვევაში, სადგურებში მოძრაობის სიჩქარეები, მთავარ და მიმდებარე ღიანდაგების ისრულ გადაყვანებში, მატარებლების მოძრაობის დასაშვები სიჩქარეებით იზღუდება.

გამყოფ პუნქტებზე მოძრაობის სიჩქარეების ზრდის ერთ-ერთ კარდინალურ ღონისძიებად მაღალმარკიანი და მოძრაველემენტებიანი (გულარები ან ულეაშა რულსები) ისრული გადაყვანების გამოყენება უნდა ჩაითვალოს. ასეთი ისრული გადაყვანები პირდაპირ ღიანდაგში მოძრაობისას სიჩქარეს პრაქტიკულად არ ზღუდავენ, ხოლო გვერდით ღიანდაგში 80–120 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობის საშუალება ას იძლევიან.

ამიტომ სადგურებზე მატარებლების მოძრაობის სინქარის ზრდა, პირველ რიგში ისრულ გადაყვანებში მოძრაობის დასაშვები სიჩქარეების გაზრდას მოითხოვს.

ისრულ გადაყვანებში მატარებლების მოძრაობის მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარეები შემდეგი პირობებით განისაზღვრება:

- თელის ქიმების დარტყმითი-დინამიკური ზემოქმედება ისრული გადაყვანის მიმართველ ელემენტზე (გვერდითი ღიანდაგის კალმები, კონტრრულსები და



ულვაშა რელსები, გადაწყვეანი მრუდის მიმართული რელსები) დასაშვებ სი-  
დიდეს არ უნდა აღემატებოდეს;

უსრუენელყოფილ უნდა იქნას ისრული გადაწყვეანის ფარგლებში მატარებლ-  
ების მდოერული მოძრაობა;

- უსრუენელყოფილ უნდა იქნას მდგრადობის პირობა თელის ქიმის მიმარ-  
თველ ელემენტებზე შეუგორებლობის პირობით;

ისრული გადაწყვეანის ელემენტებს უნდა გააჩნდეს საკმარისი სიმტკიცე.

9.2. მოძრაობის დასაშვები სიჩქარეების განსაზღვრა თელის ქიმის კალამთან  
და გადაწყვეან მრუდთან დარტყმითი ზემოქმედების შედეგად  
მასების შეჯახების შედეგად წარმოქმნილი კინეტიკური ენერგია განისაზღვრ-  
ება ცნობილი ფორმულის საშუალებით

$$E_{კმ} = \frac{m_{კმ} v_{კმ}^2}{2} \quad (9.1)$$

სადაც  $m_{კმ}$  - მოძრაეი შემადგენლობის შეჯახებაში მონაწილე დაყვეანილი მასაა;

$v_{კმ}$  - სიჩქარე დაჯახების წერტილში.

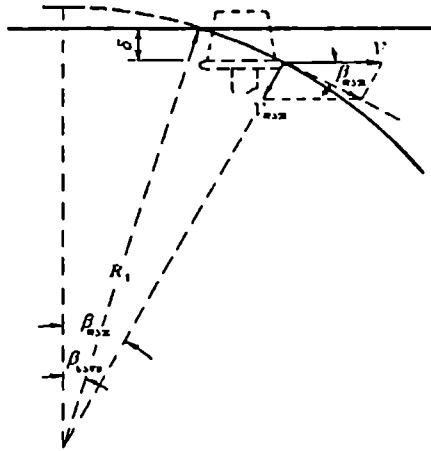
ნახ.9.1-ის მიხედვით მოძრაეი შემადგენლობის  $v$  სიჩქარისა და  $\beta_{კმ}$  დაჯახებ-  
ის კუთხის შემთხვევაში, დაჯახების  $v_{კმ}$  სიჩქარე განისაზღვრება შემდეგი დამოკი-  
დებულების მიხედვით

$$v_{კმ} = v \sin \beta_{კმ} \quad (9.2)$$

აქედან

$$E_{კმ} = \frac{m_{კმ} v^2 \sin^2 \beta_{კმ}}{2} \quad (9.3)$$

თელის ქიმის რელსის გვერდით წახნაგთან დაჯახების შედეგად წარმოიქმნება  
განიეი ძალა, რომელიც ცდილობს რელსის თავის გაღუნვას, იწვევს წყილთვალ-  
ის, რესორების და საერთოდ საეალი ნაწილების ეველა დრეკადი ელემენტების  
დრეკად განიე დეფორმაციას.



ნახ.9.1 თელის სიხარის ცვალებადობა ქიმის კაღმის მიმმართველ წახნაგ ზე დაჯახების შედეგად

თუ წარმოქმნილი განივი ძალის მაქსიმალურ მნიშვნელობას აელნიშნათ  $Y_{\text{მა}}$  -ით, ხოლო ურიკის ჯამურ განივ დრეკად დეფორმაციას  $S$ -ით, მაშინ გამომდინარე დახარჯული ენერჯისა და განივი ძალის მუშაობის ტოლობიდან მივიღებთ

$$\frac{m_{\text{გ.ა}} v^2 \sin^2 \beta_{\text{გ.ა}}}{2} = \frac{Y_{\text{მა}} S}{2} \quad (9.4)$$

აქედან მაქსიმალური განივი ძალა

$$Y_{\text{მა}} = \frac{m_{\text{გ.ა}} v^2 \sin^2 \beta_{\text{გ.ა}}}{S} \quad (9.5)$$

ფორმულაში (9.5) შემავეალი სიდიდეები  $m_{\text{გ.ა}}$  და  $S$  ძნელად განსასაზღვრადია, ამიტომ კანაგარიშებისას სარგებლობენ შედარებადი მეთოდით. (9.5) ფორმულაში შემავეალ  $v$  და  $\beta_{\text{გ.ა}}$  ცვალებად სიდიდეებად თელიან, ხოლო დანარსენ შედარებად სიდიდეებს მუდმივად. მაშინ დაჯახების ძალის პირობითი მახასიათებელი ორთავე შემთხვევაში ტოლია

$$\omega = v^2 \sin^2 \beta_{\text{გ.ა}} \quad (9.6)$$

საზღვარგარეთის რკინიგზების გამოცდილების საფუძველზე დაჯახების ძალის პირობითი მახასიათებელი  $\omega$  მიიღება ფარგლებში  $\omega_1 = 0,55 \div 0,8 \text{ კგ}^2/\text{სთ}^2$ , ჩვენს რკინიგზებზე მიღებულია  $\omega_1 = 0,8 \text{ კგ}^2/\text{სთ}^2$ , მაშინ (9.6) ფორმულის მიხედვით

$$\sin \beta_{\pi\alpha} = \frac{\sqrt{m_1}}{v} \quad (9.7)$$

ან დასაშვები სინქარე დაჯახების  $\beta_{\pi\alpha}$  კუთხის მოცემული სიდიდისას ტოლი იქნება

$$v = \frac{\sqrt{\omega_1}}{\sin \beta_{\pi\alpha}} \quad (9.8)$$

ნახ.9.1-დან

$$\sin \beta_{\pi\alpha} = \sqrt{\sin^2 \beta_{\alpha\pi} + \frac{2\delta}{R_1}} \quad (9.9)$$

სადაც  $R_1$  - კალმის სიწყის რადიუსია;

$\delta$  - ღრუოს მაქსიმალური მნიშვნელობა თელის ქიმისა და რელსის მუშა წახნაგებს შორის.

განვიხილოთ თელის ქიმის გადამყვანი მრუდის მიმართულ რელსთან დაჯახების პირობები. ამ შემთხვევაში თელის ქიმის დაჯახების კუთხე, როცა  $\beta_{\alpha\pi} = 0$  ტოლია

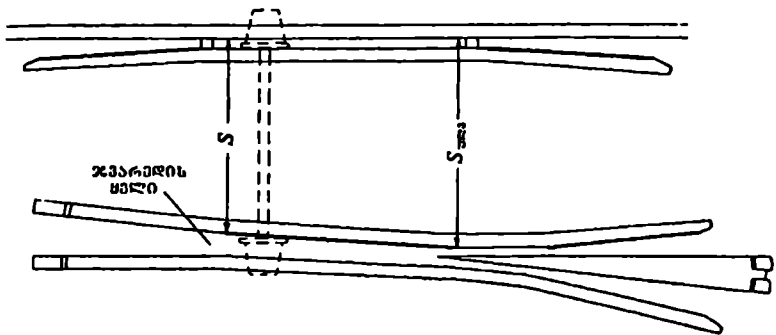
$$\sin \beta_{\pi\alpha} = \sqrt{\frac{2\delta}{R_1}} \quad (9.10)$$

სადაც  $R_2$  - გადამყვანი მრუდის რადიუსია.

ღრუოს  $\delta_{\text{მ}}$  მნიშვნელობა, რომელიც განისაზღვრება, როგორც ულვაშა რელსის მაქსიმალური სიდიდის  $\epsilon_{\text{მ}}$  ღარისა (დაშეების  $\epsilon = 2$  მმ გათვალისწინებით) და თელის ქიმის მინიმალური  $h_{\text{მ}}$  სიდიდის სხვაობა ტოლი იქნება

$$\delta_{\text{მ}} = \epsilon_{\text{მ}} - h_{\text{მ}} \quad (9.11)$$

9.3. მოძრაობის დასაშვები სინქარეების განსაზღვრა თელის ქიმის ჯვარედის კენძის მიმართულ ელემენტებთან ძალური ზემოქმედების შედეგად ისრული გადამყვანის ჯვარედის კენძში არსებობს ოთხი ელემენტი, რომლებიც მიმართავენ თელის ქიმებს შესაბამის ღარში (ნახ.9.2). ამ ელემენტებს წარმოადგენენ: კონტრრელსების შესასვლელები, რომლებიც მუშაობენ, როგორც ჯვარედისაკენ ისე ჯვარედისაგან მოძრაობისას; ულვაშა რელსების შესასვლელები, რომლებიც მუშაობენ ჯვარედისაკენ მოძრაობისას; ულვაშა რელსების უბანი ჯვარედის ელვადან გულარამდე, ჯვარედისაგან მოძრაობისას.



**ნახ.9.2** ჯვარედინის კვანძის სქემა (სქელი ხაზით ნაჩვენებია მიმართველი წახნაგები პირდაპირი მიმართულებით მოძრაობისას)

თელის ქიმის დაჯახებისას კალმის მიმართველ წიბოსთან გვერდით ლიანდაგში მოძრაობის დროს ეკიპაჟი მთლიანად შემობრუნდება დაჯახების კუთხით, ხოლო თელის ქიმის კონტრელსის კვანძის მიმართველ ელემენტებთან დაჯახებისას შემობრუნდება მხოლოდ ურიკა.

ამიტომ თელის ქიმის კალამთან დაჯახებით წყვილთეფალის განივი გადაადგილების საშუალო სიდიდე 7 მმ-ის ტოლია, ხოლო კონტრელსებთან დაჯახებისას წყვილთეფალის საშუალო განივი გადაადგილება ორჯერ ნაკლებია და 3,4 მმ-ს არ აღემატება.

დადგენილია, რომ თელის ქიმის კალამთან ან გადაამკვანი მრუდის მიმართველ ძაფთან დაჯახების დარტყმით-დინამიკურ პროცესში მონაწილეობს პირველი ურიკის მასა და დაახლოებით ვაგონის მასის ნახევარი, ხოლო კონტრელსებისა და უღელაშა რელსების მიმართველ ელემენტებთან დაჯახების დარტყმით-დინამიკურ პროცესში მონაწილეობს მხოლოდ ურიკის მასის ნახევარი ანუ 8-ჯერ ნაკლები, ვიდრე პირველ შემთხვევაში. აქედან გამომდინარე, რადგანაც კალამთან და გადაამკვანი მრუდის მიმართველ ძაფთან თელის ქიმის დაჯახების ძალის პირობითი მახასიათებელი  $\omega_1 = 0,55 + 0,8კგ^2/სმ^2$ , მაშინ თელის ქიმის კონტრელსებისა და უღელაშა რელსების მიმართველ ელემენტებთან დაჯახების ძალის პირობითი მახასიათებელი 8-ჯერ მეტი იქნება. ვიდრე პირველ შემთხვევაში და  $\omega_1 = 4,4 + 6,4 კგ^2/სმ^2$ .

ცნობილი (9.5) ფორმულიდან ჩანს, რომ დაჯახების მასის ერთიდაიგივე სიღრმის კონტეკური ენერჯის შემთხვევაში, თელის ქიმის დაჯახების ძალა ისრუ-

ლი გადამყვანის მიმართველ ელემენტებთან, მით უფრო მეტი იქნება, რაც მეტია მიმართველი ელემენტებისა და საეალი ნაწილების დრეკადი დეფორმაციის  $s$  სიდიდე.

თუ აელნიშნაეთ ეკიპებისა და ლიანდაგის განივ დაყვანილ ჯამურ სიხისტეს  $\mathcal{K}_{\text{კო}}$ , მაშინ ჯამური დრეკადი დეფორმაციის სიდიდე ტოლი იქნება

$$s = \frac{Y_{\text{სა}}}{\mathcal{K}_{\text{კო}}} \quad (9.12)$$

თუ ფორმულა (9.4)-ში შეიტანთ  $s$ -ის მნიშვნელობებს, მაშინ

$$\frac{m_{\text{კო}} v^3 \sin^2 \beta_{\text{კო}}}{2} = \frac{Y_{\text{სა}}^2}{2\mathcal{K}_{\text{კო}}} \quad (9.13)$$

აკვან

$$Y_{\text{სა}} = v \sin \beta_{\text{კო}} \sqrt{m_{\text{კო}} \mathcal{K}_{\text{კო}}} \quad (9.14)$$

თელის ქიშის ისრული გადაყვანის მიმართველ ელემენტებთან დაჯახების ძალის პირობითი მახასიათებლის ცვალებადობა მიზანშეწონილია მივიღოთ არა კვადრატული დამოკიდებულებით  $\omega = v^2 \sin^2 \beta_{\text{კო}}$ , არამედ ხაზობრივი დამოკიდებულებით  $W = v \sin \beta_{\text{კო}}$ .

ამით პრაქტიკულად გაანგარიშების შედეგები არ იცვლება, რადგანაც მოცემული სიჩარის შემთხვევაში

$$v^2 \sin^2 \beta_{\text{კო}} = (v \sin \beta_{\text{კო}})^2 = \omega \quad (9.15)$$

მაშასადამე

$$v \sin \beta_{\text{კო}} = \sqrt{\omega} \quad (9.16)$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ თუ მივიღებთ დაჯახების ძალის პირობითი მახასიათებლის ხაზობრივ დამოკიდებულებას სიჩარესთან,  $W = v \sin \beta_{\text{კო}}$ , მაშინ თელის ქიშის კალამთან და გადაყვანი მრუდის მიმართველ რელსთან დაჯახების ძალის პირობითი მახასიათებლის დასაშვები სიდიდე ტოლი იქნება  $W_1 = \sqrt{\omega_1} = 0,75 + 0,9 \text{ კმ/სთ}$ , ხოლო თელის ქიშის კონტრრელსებისა და ულევაშა რელსების მიმართველ ელემენტებთან დაჯახების ძალის პირობითი მახასიათებლის დასაშვები სიდიდე კი  $W_2 = \sqrt{\omega_2} = 3,75 \text{ კმ/სთ}$

9.4. ისრული გადაწყვეანის ფარგლებში მოძრაობის მდოერულობის უზრუნველყოფის გაანგარიშებები

გვერდით ლიანდაგში მოძრაობისას, ეკიპაჟე მოქმედი ცენტრიდანული ძალა ხასიათდება ცენტრიდანული  $a$  აჩქარებისა და აჩქარების დროის ერთეულში ცვალებადობის (აჩქარების ინტენსიუობა)  $\psi$  სიდიდეებით.

ცენტრიდანული აჩქარება გამოითვლება ფორმულით

$$a = \frac{v^2}{R} \quad (9.17)$$

თუ მოძრაობის სიჩქარის განსომილებას ავიღებთ კმ/სთ, მრუდის რადიუსს მეტრებში, მაშინ რიცხვითი კოეფიციენტის 12,96 შეტანიით (9.17) ფორმულაში, აჩქარების განსომილებას მივიღებთ მ/წმ<sup>2</sup>-ში

$$a = \frac{v^2 \times 1000^2}{R \times 3600} = \frac{v^2}{12,96R} \quad (9.18)$$

ისრული გადაწყვეანის ფარგლებში მოძრაობის დასაშეები სიჩქარე ცენტრიდანული აჩქარების დასაშეები სიდიდის პირობით (9.18) ფორმულიდან ტოლი იქნება

$$v = \sqrt{12,96a_{\text{კლ}}R} \quad (9.19)$$

ეკიპაჟის შესულისას ისრული გადაწყვეანის ფარგლებში, ცენტრიდანული აჩქარების სიდიდე ისრდება ნულიდან მაქსიმალურ  $a = \frac{v^2}{12,96R}$  სიდიდეში. იმ დროში, რომელიც სჭირდება ეკიპაჟს  $b$  მანძილის (მანძილი წინა და უკანა ურიკის ტაბიკებს შორის) გაელას  $v$  სიჩქარით. მაშინ ცენტრიდანული აჩქარების ინტენსიუობა ტოლი იქნება

$$\psi = \frac{v^3}{46,66Rb} \quad (9.20)$$

ხოლო ისრული გადაწყვეანის ფარგლებში მოძრაობის დასაშეები სიჩქარე ცენტრიდანული აჩქარების ინტენსიუობის დასაშეები სიდიდის მიხედვით ტოლია

$$v = 3,6\sqrt{Rb\psi_{\text{კლ}}} \quad (9.21)$$

ორრადიუსიანი კალმების შემთხვევაში ცენტრიდანული აჩქარების ინტენსიუობის სიდიდე უნდა შემოწმდეს რადიუსების შეერთების წერტილში. ცენტრიდანული აჩქარება პირველი რადიუსის ფარგლებში ტოლია  $\frac{v^2}{12,96R_1}$ , ხოლო მეორე რადიუსის

ფარგლებში  $\frac{v^2}{12,96R_2}$  და მათ შორის აჩქარების სიდიდე იცვლება  $\frac{b \times 3,6}{v}$  წმ

დროში მასის  $\frac{b \times 3,6}{v}$  დროში ცენტრიდანული აჩქარების ცვალებადობის სიდიდე ტოლი იქნება

$$\psi_{1-2} = \frac{\left( \frac{v^2}{12,96 R_2} - \frac{v^2}{12,96 R_1} \right) v}{3,6 \times b} = \frac{v^3 (R_1 - R_2)}{46,66 \times b R_1 R_2} \quad (9.22)$$

სეენის რკინიგზებზე ცენტრიდანული აჩქარების ნორმა, ეკიპაჟის დაურესორებელი მასის (ბუქსების) მიმართ მიიღება  $a_{\text{კაბ.}} = 0,8 + 1,0 \text{ მ/წმ}^2$ . ცენტრიდანული აჩქარების დროის ერთეულში ცვალებადობის დასაშვები ნორმა  $\psi_{\text{კაბ.}} = 0,8 + 0,9 \text{ მ/წმ}^3$ .

#### 9.5. თელის ქიმის მდგრადობის გაანგარიშება ისრული გადაძვეანის მიმართეულ ელემენტებზე შეუგორებლობის პირობით

კონტრელსების მიმართეულ წიბოზე დაჯახების შედეგად თელის ქიმის კონტრელსებზე შეუგორებლობის პირობის დაუშვებლობის გაანგარიშება არ ტარდება. რადგანაც თანამედროვე სპეციალური მაღალი პროფილის კონტრელსებზე თელის შეგორება პრაქტიკულად გამორიცხულია.

დანარჩენ მიმართეულ ელემენტებზე თელის შეუგორებლობაზე მდგრადობის პირობა იმავე მეთოდით გაიანგარიშება, როგორც მრუდებში გარე ძაფზე თელის შეუგორებლობის პირობა. სხვაობა მხოლოდ იმაში მდგომარეობს, რომ თელის ქიმის არასამუშაო წახნაგი აწეება უღეაში რელსის (ნახ.9.3). ამ სქემის თანახმად თელის მდგრადობა რელსის თავზე შეუგორებლობის პირობით გამოისახება უტოლობით

$$\frac{Y_E}{P_1} \leq \frac{\mu_{\text{სა}} b_1 - \text{I}g(\beta - \varphi)(S_2 + b_1)}{(R + r)(\text{I}g(\beta - \varphi) + \mu_{\text{სა}}) + S_2} - \frac{P_2}{P_1} \times \frac{\mu_{\text{სა}} b_2 - \text{I}g(\beta - \varphi)(S_2 - b_2)}{(R + r)(\text{I}g(\beta - \varphi) + \mu_{\text{სა}}) + S_2} \quad (9.23)$$

$$S_2 \left\{ \mu_{\text{სა}} \text{I} - \text{I} \text{I}g(\beta - \varphi) + \frac{\text{I}r}{4} [\mu_{\text{სა}} - \text{I}g(\beta - \varphi)] \right\}$$

$$\frac{\quad}{P_1 \{ (R + r)(\text{I}g(\beta - \varphi) + \mu_{\text{სა}}) + S_2 \}}$$

სადაც  $Y_1$  - პორიზონტალური ჩარჩო ძალაა;

$P_1$  - უღვაშა რელსზე მოძრავ თვალზე დატვირთვა;

$P_2$  - მოპირდაპირე თვალზე დატვირთვა;

$\mu_{\text{სა}}$  - თვალსა და რელსს შორის ხახუნის კოეფიციენტი;

$\varphi$  - კუთხე, რომლის ტანგენსი ტოლია  $\mu_{\text{სა}}$ ;

$\frac{P_{\text{ჭ}}}{4}$  - ურიკის წონის ნაწილი მოხული ერთ თვალზე;

$I_1, I_2$  - რელსებზე და თვლებზე არსებული უსწორობისაგან გამოწვეული ვერტიკალური ინერციული ძალები.

(ნახ.9.3-ბ)-დან

$$\cos \beta = \sin \gamma = \frac{h_{\text{რკ6}}}{r_{\text{რ}} + r_{\text{მკ}}} \quad (9.24)$$

სადაც  $h_{\text{რკ6}}$  - თელის ქიმის რელსთან კონტაქტის საანგარიშო მანძილია, ათვლილი რელსის თავის პორიზონტიდან,  $h_{\text{რკ6}} = 13$  მმ;

$r_{\text{რ}}$  - უღვაშა რელსის თავის მომრგვალების რადიუსი,  $r_{\text{რ}} = 13$  მმ;

$r_{\text{მკ}}$  - თელის ქიმის არასამუშაო წახნაგის მომრგვალების რადიუსი,  $r_{\text{მკ}} = 45$  მმ.

თანამედროვე ჯვარედების უღვაშა რელსებში ჯვარედის ყელამდე ზონაში  $h_{\text{რკ6}} = r_{\text{რ}} = 13$  მმ, ხოლო ყელის ზონაში  $h_{\text{რკ6}} = r_{\text{რ}} = 5$  მმ.

(9.23) ფორმულის საფუძველზე ჩატარებული გაანგარიშებების მიხედვით, პირდაპირ ლიანდაგში ჯვარედიდან მოძრაობის მიმართულებით, ჯვარედის ყელიდან მათემატიკურ ცენტრამდე ზონაში, თელის ქიმის უღვაშა რელსის თავზე შეუფორებლობის პირობა აისახება უტოლობით:

$$\frac{Y_1}{P_1} \leq 1,806 - 0,314 \frac{P_2}{P_1} + \frac{863}{P_1} \quad (9.25)$$

აქ

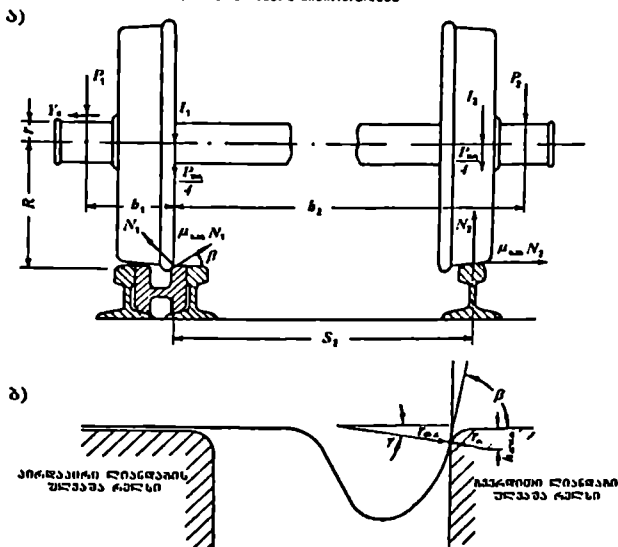
$$Y_1 = Y - 2H_1 \quad (9.26)$$

სადაც  $H_1$ ,  $F_{\text{სა}}$  ძალის ტოლია, ხოლო

$$F_{\text{სა}} = P_{\text{სა}} \mu_{\text{სა}} \quad (9.27)$$

$$P_{\text{სა}} = P_1 + P_2 + \frac{P_{\text{ჭ}}}{2} \quad (9.28)$$





ნახ.9.3 თელის ქიმის უღვაშა რელსის თავსე შეუგორებლობის საანგარიშო სქემა:  
 ა - ძალთა მოქმედების სქემა; ბ - ქიმის არასამუშაო წახნაგის შეხება უღვაშა რელსის მიმზარითველი წახნაგის მომრევალებასთან

პროფ. მ. ყერიგოს გამოკვლევების საფუძველზე მიმოქანებითი მოძრაობისას პირდაპირ ლიანდაგში თელის ქიმის უღვაშა რელსის თავთან დაჯახების  $Y$  განივი ძალა, დამოკიდებული მოძრაობის სიჩქარისა და მიჯახების კუთხის მნიშვნელობაზე ტოლია

$$Y = 21448v \sin \beta_{\text{რკ}} + 6875 \quad (9.29)$$

მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების შედეგების მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდით დამუშავების შედეგად დადგენილია, რომ

$$\frac{P_2}{P_1} = 1,37 \quad (9.30)$$

ამ პირობიდან გამომდინარე ნატარებული გაანგარიშებების შედეგად მიღებულია, რომ თელის მდგრადობა უღვაშა რელსის და გულარის თავსე შეუგორებლობის პირობით უზრუნველყოფილი იქნება, თუ

$$v \sin \beta_{\text{რკ}} \leq 2,71 \quad (9.31)$$

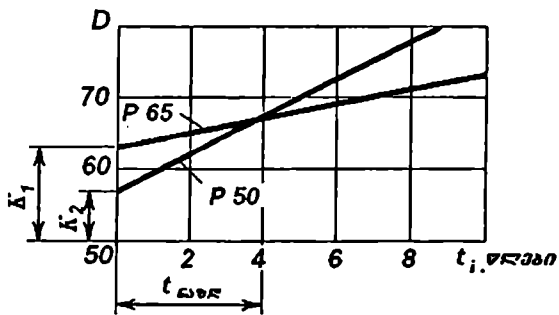
თავი 10. რკინიგზის ლიანდაგის ელემენტების შერჩევის ტექნიკურ-ეკონომიკური ბაზანბარის შემუშავება

10.1. ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების მეთოდები

ლიანდაგის ელემენტების ან მთლიანად ლიანდაგის მიზანშეწონილი კონსტრუქციის შერჩევა ხორციელდება შესაძლო ვარიანტების შედარების საფუძველზე. ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების შედეგად.

რკინიგზის ლიანდაგის და მისი ელემენტების დაპროექტების მეთოდები კაპიტალდაბანდების, ახალი ტექნიკისა და ტექნოლოგიების დანერგვის ეფექტიანობის მიღწევის პრობლემის ნაწილია.

ლიანდაგის და მისი ელემენტების ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების გრაფიკული ე.წ. „ხარჯების გათანაბრების“ მეთოდით, ანალიზურად განისაზღვრება  $D$  ხარჯები ვარიანტების მიხედვით, ნახ.10.1:



ნახ.10.1 ნაზღაურობის ვადის დამოკიდებულება ვარიანტების კაპიტალდაბანდებებთან

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= K_1 + \mathcal{A}_1 t \\ D_2 &= K_2 + \mathcal{A}_2 t \end{aligned} \right\} \quad (10.1)$$

სადაც:  $K_1, K_2$  - კაპიტალდაბანდებებია ვარიანტების მიხედვით;

$\mathcal{A}_1, \mathcal{A}_2$  - ვარიანტების ექსპლუატაციური ხარჯები  $t$  პერიოდში.

ხარჯები ვარიანტების მიხედვით გავუტოლოთ ერთმანეთს, მაშინ

$$K_1 + \mathcal{A}_1 t_{საზ} = K_2 + \mathcal{A}_2 t_{საზ} \quad (10.2)$$

აქედან ვარიანტის ნაზღაურობის ვადა ტოლი იქნება

$$t_{საზ} = \frac{K_1 - K_2}{\mathcal{A}_2 - \mathcal{A}_1} \quad (10.3)$$

როგორც წესი ვარიანტი, რომელისათვის კაპიტალდაბანდება მაქსიმალურია, ნაკლებ საექსპლუატაციო ხარჯებს მოითხოვს და პირიქით. გრაფიანალიზური მეთოდის ერთ-ერთი საუკეთესო თვისებაა, რომ ამ მეთოდით შეიძლება შედარებულ იქნეს არა მარტო ორი, არამედ პრაქტიკულად ნებისმიერი რაოდენობის ვარიანტი.

ტიპური დარგობრივი მეთოდის მიხედვით დადგენილია ზოგადი (აბსოლუტური) და ფარდობითი (შედარებითი) ეკონომიკური ეფექტიანობის მცნებები.

კაპიტალდაბანდებების ზოგადი (აბსოლუტური) ეკონომიკური ეფექტიანობა, უჩვენებს თუ რა ხარისხით მოქმედებს საწარმოო ხარჯები, ნაციონალური შემოსავლის, პროდუქციის მოცულობის და შოგების ზრდაზე.

ზოგადი (აბსოლუტური) ეკონომიკური ეფექტიანობის მიჩვენებელი უნდა გაინსახდეს დაგეგმვის ყველა დონისა და სტადიისათვის, აგრეთვე ცალკეული ობიექტების დაპროექტებისას ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშებების შედეგების შეუსებისათვის.

კაპიტალდაბანდებების ფარდობითი (შედარებითი) ეკონომიკური ეფექტიანობის გაანგარიშებები გამოიყენება საწარმოების განლაგების სამეურნეო და ტექნიკური გადაწყვეტილებების ვარიანტების შედარებისას, ახალი ტექნიკის და ტექნოლოგიების დანერგვისას, ურთიერთშემცველი პროდუქციის შერჩევისას, ახალი საწარმოების მშენებლობისას და არსებულის რეკონსტრუქციისას.

საუკეთესო ვარიანტის მიჩვენებელია მინიმალური დაყვანილი  $\Pi$ , ხარჯები, რომელიც ერთ განზომილებაში მოყვანილ მიმდინარე ხარჯების (თეთლირებულების) და კაპიტალდაბანდების ჯამს წარმოადგენს

$$\Pi = C_i + K, E_{\text{საწარმოო}} \quad (10.4)$$

სადაც  $C_i$  -  $i$ -ური ვარიანტის მიმდინარე ხარჯებია (თეთლირებულება);

$K$ , -  $i$ -ური ვარიანტის კაპიტალდაბანდები;

$E_{\text{საწარმოო}}$  - კაპიტალდაბანდების შედარებითი ეფექტიანობის ნორმატიული კოეფიციენტი.

დაყვანილი ხარჯები შეიძლება გამოითვალოს აგრეთვე შემდეგი ფორმულით

$$\Pi = K + C, T_{\text{საწარმოო}} \quad (10.5)$$

სადაც  $T_{\text{საწარმოო}}$  - დამატებითი კაპიტალდაბანდების ნაწლადურობის ნორმატიული ვადაა,

თეთლირებულების ეკონომიის ხარჯზე.

ვარიანტების შესწავლული რაოდენობის შემთხვევაში შესაძლებელია წყვილ-წყვილად მიმდინარეობით შედარება შემდეგი ფორმულების დახმარებით

$$E = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1} \quad (10.6)$$

$$T = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} \quad (10.7)$$

სადაც  $E$  - შედარებითი ეფექტიანობის კოეფიციენტი;

$T$  - დამატებითი კაპიტალდაბანდების ნაჰლაურობის ვადა;

$K_1, K_2$  - შესადარებელი ვარიანტების კაპიტალდაბანდებები;

$C_1, C_2$  - შესადარებელი ვარიანტების თვითღირებულება.

ამრიგად შედარებითი ეფექტიანობის  $E$  კოეფიციენტი ნაჰლაურობის ვადის შუბრუნებულ სიდიდეა

$$E = \frac{1}{T} \quad (10.8)$$

თუ  $E > E_{\text{საშ.}}$  ან  $T < T_{\text{საშ.}}$ , მაშინ უფრო მეტი კაპიტალდაბანდებიანი ვარიანტი და დამატებითი კაპიტალდაბანდების გაწევა ეფექტის მომცემია.

შედარებითი ეფექტიანობის კოეფიციენტი 0,08-0,10-ზე ნაკლები და 0,20-0,25-ზე მეტი არ უნდა იყოს. ტრანსპორტსა და სატრანსპორტო მშენებლობაში მიიღება  $E_{\text{საშ.}} = 0,10$ .

თუ შესადარებელი ვარიანტების კაპიტალდაბანდებები სორციულდება სხვადასხვა ვადებში, ხოლო მიმდინარე ხარჯები გაჭიმულია დროში, მაშინ ვარიანტებს ადარებენ. ადრინდელი წლების მიმდინარე მომენტისათვის დაყვანილი ხარჯების მიხედვით,  $E_{\text{საშ. დავ}}$  კოეფიციენტის გამოყენებით

$$B = \frac{1}{(1 + E_{\text{საშ. დავ}})} \quad (10.9)$$

სადაც  $E_{\text{საშ. დავ}}$  - ნორმატიული კოეფიციენტი სხვადასხვა ვადიანი ხარჯების დაყვანისათვის;

$t$  - დაყვანის დროის პერიოდი.

სხვადასხვა პერიოდის ხარჯების დაყვანა ხორციელდება მხოლოდ ეკონომიკური ეფექტიანობის განაგარიშებისათვის და იგი არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სახარჯთაღრიცხვო ღირებულების განსაზღვრისას.

საუკეთესოდ ითვლება ის ვარიანტი, რომლისთვისაც დაყვანილი ჯამური ხარჯები მთელი საანგარიშო პერიოდისათვის მინიმალურია, ე.ი.

$$\Pi_i = K_i + \sum_{n=1}^{n_{\text{საშ.}}} C_i \left( \frac{1}{(1 + E_{\text{საშ. დავ}})^n} \right) + \sum_{n=1}^{n_{\text{საშ.}}} \Theta_i \left( \frac{1}{(1 + E_{\text{საშ. დავ}})^n} \right) \quad (10.10)$$

სადაც  $i$  - მიმდინარე დროა;

$i_{\text{ხა}}$  - ვარიანტების ხარჯების საანგარიშო კერიოდი;

$C_i$  -  $i$ -ური ვარიანტის შეკეთების კერიოდული ხარჯები;

$\Theta_i$  -  $i$ -ური ვარიანტის საექსპლუატაციო ხარჯები.

10.2. ღიანდაგის ზედა ნაშენის ტიპის შერჩევა ძირითადი კრიტერიუმების მიხედვით რკინიგზების უაგარო და შეუფერხებელი მოძრაობის უზრუნველყოფის ერთ-ერთ უმთავრეს პირობას, მაღალი საექსპლუატაციო-ეკონომიკური შედეგების უზრუნველყოფით, ღიანდაგისა და მოძრავი შემადგენლობის მუშაობის ისეთი შესაბამისობის მიღწევა წარმოადგენს, რომლის დროსაც ღიანდაგისა და მოძრავი შემადგენლობის მუშაობის პირობები, ყველა ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩასიათებლების მიხედვით, ოპტიმალურ ფარგლებში თავსდება. ეს მოთხოვნები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მაღალი ტვირთდატანულობის რკინიგზებისათვის. ამ მოთხოვნებისაგან ყოველგვარი გადახრები აუცილებლად განაპირობებს გადაზიდვების პროცესის წარმადობის დაცემას და საექსპლუატაციო ხარჯების ზრდას.

ცხადია, რომ ექსპლუატაციური პირობების დიდ დიაპაზონში ცვალებადობის შემთხვევაში, ღიანდაგის ზედა ნაშენის ერთი ტიპის დაშეება, რომელიც თავისი სიმტკიცითა და მექანიკური მაჩასიათებლებით, რკინიგზის მთელ ქსელში დააკმაყოფილებს საექსპლუატაციო-ეკონომიკურ მოთხოვნებს, რა თქმა უნდა შეუძლებელია. ამიტომ რკინიგზებზე უნდა დადგინდეს ღიანდაგის ზედა ნაშენის შესაძლო მინიმალური რაოდენობის ტიპები, რომლებიც პირდაპირ უპასუხებს ამ თუ იმ საექსპლუატაციო პირობებს.

მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული აგრეთვე ის, რომ ღიანდაგის ზედა ნაშენის ტიპი, რაც ნაკლები რაოდენობისა გვექნება, მით უფრო იოლია და იაფია ღიანდაგის მოწყობა და მოვლა-შენახვა, იოლდება საღიანდაგო მეურნეობის გაძლიერება. სწორედ ამიტომ მსოფლიო პრაქტიკაში, ბოლო წლებში აღინიშნება რელსების ნაირტიპების რიცხვის შემცირება, რომელიც ძირითად კონსტრუქციულ ელემენტს წარმოადგენს, ღიანდაგის ზედა ნაშენის ტიპის დასადგენად.

ტიპისადაც დადგენისას საჭიროა მხედველობაში იქნას მიღებული ტექნიკურ-ეკონომიკური და ექსპლუატაციური მოთხოვნათა მრავალფეროვნება, რომლებიც წაყენება ღიანდაგის ზედა ნაშენს. ამ მოთხოვნების კომპლექსის გათვალისწინებისას

მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული უახლოესი პერსპექტივაც (არა ნაკლებ 15-20 წლის ფარგლებში), რომლებიც უცილობელ გაელენას ახდენენ ლიანდაგისა და მოძრაიი შემადგენლობის ურთიერთქმედებაზე. ეს ურთიერთქმედება კი თავის მხრივ გაელენას ახდენს ლიანდაგის სიმტკიცეს და მდგრადობაზე, საიმედოობასა და სტაბილურობაზე, მოძრაობის უწყვეტობაზე და უსყრობობაზე.

ლიანდაგის ზედა ნაშენის ოპტიმალური ტიპის დადგენის ძირითად, განმსაზღვრულ ფაქტორს და მისი ეკონომიკური მიზანშეწონილობის სფეროს, უბნის ტერიტორიადაბულობა წარმოადგენს.

გარკვეული ხარისხით ტერიტორიადაბულობაზე დამოკიდებული მოძრაიი შემადგენლობიდან ლიანდაგზე გადაცემული, ფაქტიური დატვირთვები და საშუალო საუბნო სინქარები, რადგანაც ტერიტორიადაბულ რკინიგზებზე მუშაობენ უფრო მძლეური ლოკომოტივები და დიდი ტვირთამწეობის ვაგონები.

ყველაზე მსუბუქი ტიპის ზედა ნაშენის დადგენისას გათვალისწინებული უნდა იქნას, რომ მას უნდა გაანდეს მსიდუნარიანობა, რომელიც საჭიროა თანამედროვე, მაღალი ტვირთამწეობის ვაგონების გატარებისათვის, სინქარის შეზღუდვის გარკვე.

სასადგურო მთავარ ლიანდაგებზე, ასაქცევებზე და გადასწრების პუნქტებზე, ასევე გაუჩერებელი აქცევის პუნქტებზე, ლიანდაგის ზედა ნაშენი იმავე ტიპის უნდა მოქცოს, როგორც გადასარბუნზე. დანარჩენ სასადგურო ლიანდაგებზე მიზანშეწონილია იმავე ტიპის ან უფრო მსუბუქი ძველვარგისი რკლსების გამოყენება.

სამგზავრო მატარებლების ჩქაროსნული მოძრაობის უბნებს უფრო მაღალი მოთხოვნები წაუყენებთ. უნდა გაძლიერდეს ლიანდაგის ზედა ნაშენის ელემენტები და გამკაცრდეს ლიანდაგის მოელაშენახვის ნორმები.

საერთოდ ნორმატივების მოთხოვნათა მკაცრად დაცვა, თითოეული ტიპის ზედა ნაშენისათვის მნიშვნელოვნად ამცირებს ლიანდაგის მოელაშენახვის და შეკეთების ხარჯებს, ზრდის შრომის ნაყოფიერებას, უბნის გამტარუნარიანობას და ლიანდაგის საიმედოობას.

### 10.3. რკლსების სიმძლავრის დადგენა ტერიტორიადაბულობის, დერძე მოსული დატვირთვისა და მოძრაობის სინქარის მიხედვით

კონკრეტულ შემთხვევაში ლიანდაგის ზედა ნაშენის ტიპი და კონსტრუქცია უნდა შეირჩეს დეტალური ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე. ამასთან გათვალისწინებულ უნდა იქნეს სხვადასხვა ქვეყნების რკინიგზების ექსპლუატაციისა და მეცნიერული კვლევის გამოცდილებები. კონკურენტუნარიანი ვარი-

ანტები შეირჩევა, რკინიგზების ექსპლუატაციური მუშაობის პარამეტრებისა და ადგილობრივი პირობების შეჯერებით.

ლიანდაგის ზედა ნაშენის ტიპის ძირითადად განსაზღვრავს მისი უმთავრესი ელემენტი – რელსი. რელსების სიმძლავრის განმსაზღვრავ სიდიდეს, როგორც ცნობილია წარმოადგენს მისი ერთი გრძივი მეტრის  $q$  კვ/გრძ.მ წონა. ჩვეულებრივ რელსის მასა განსაზღვრავს ზედა ნაშენის დანარჩენი ელემენტების მახასიათებლებს.

არსებობს მრავალრიცხოვანი მასალები რეკომენდებული რკინიგზების საერთაშორისო ასოციაციის კონგრესების, სამაშულო და საზღვარგარეთის ქვეყნების რკინიგზების გამოცდილებები, სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების შედეგები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან დაუდგინოთ მახლობლითი კავშირი, რელსის საჭირო წონასა და საექსპლუატაციო პირობებს შორის.

რკინიგზების საერთაშორისო ასოციაციის კაიროს კონგრესის (1938 წ.) რეკომენდაციების საფუძველზე ერთი გრძივი მეტრი რელსის წონა, ღერძზე მოსული დატვირთვების შესაბამისად, იანგარიშება მიახლოებითი, ემპირიული ფორმულით

$$q = 2,5P_{\text{max}} \quad (10.11)$$

პროფ. ო. ერშოვი, მსოფლიოს ქვეყნების რკინიგზების გამოცდილების საფუძველზე რეკომენდაციას იძლევა, ერთი გრძივი მეტრი რელსის წონა, მოძრაობის სიჩქარეებთან დამოკიდებულებით განისაზღვროს ფორმულით

$$q = \frac{v_{\text{max}}}{2,2} \quad (10.12)$$

ამჟამად უნდა აღინიშნოს, რომ მსოფლიოს უმრავლესი ქვეყნების რკინიგზების გამოცდილება გვინიშნებს, რომ შეეციბოდა მივიღოთ

$$q = \frac{v_{\text{max}}}{2,5} \quad (10.13)$$

პროფ. ე. შულგას გამოკვლევების თანახმად, ერთი გრძივი მეტრი რელსის წონა ტვირთდასაბულობის პირობით ტოლია

$$q = 31,0467v_{\text{max}} \quad (10.14)$$

სემოთ მოტანილი ფორმულები სამართლიანია საქციალური რკინიგზებისათვის. შერეული სატვირთო და სამგზავრო გადაზიდვების რკინიგზებისათვის, ძირითადად კრიტერიუმებთან დამოკიდებულებით, ერთი გრძივი მეტრი რელსის წონის მიახლოებითი მნიშვნელობების დასადგენად, ყველაზე ზუსტ შედეგს პროფ. გ. შახუნიაჩის ფორმულა იძლევა

$$q = \alpha \left( 1 + \frac{\sqrt{T_{\max}}}{\lambda} \right) \left[ (1 + 0,012v_{\max}) P_{\max} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10.15)$$

სადაც  $\alpha$  - მოძრაეი შემადგენლობის ტიპის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი,  $\alpha_{\text{ლუ}} = 1,13$  ლოკომოტივებისათვის,  $\alpha_{\text{ავ}} = 1,2$  ეავონებისათვის;

$\lambda$  - რელსების ხარისხის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი,  $\lambda = 1,5$  მოცულობითი ნაწრობი რელსებისათვის,  $\lambda = 1,0$  უწრობი რელსებისათვის.

რელსების წონის გაანგარიშებისას მხედველობაში უნდა მოვიღოთ, მისი ეფექტიანობის მარეგლამენტირებელი პარამეტრები  $A$ ,  $B$  და  $C$ . აღნიშნული პარამეტრების სიდიდეები მიღებულია მსოფლიოს რიგი ქვეყნების რკინიგზების ექსპლუატაციის გამოცდილების შედეგად. პარამეტრები  $A$  და  $B$  ითვალისწინებს რელსის სიმტკიცის პირობას, ხოლო პარამეტრი  $C$  ეკონომიკურობის პირობას.

$A$ ,  $B$  და  $C$  პარამეტრების სიდიდეები განისაზღვრება ფორმულებით:

$$A = \frac{q_{\text{საბ}}}{P_{\max}} \quad (10.16)$$

$$B = \frac{q_{\text{საბ}}}{v_{\max}} \quad (10.17)$$

$$C = \frac{q_{\text{საბ}}}{\sqrt{T_{\max}}/\lambda} \quad (10.18)$$

დადგენილია, რომ ამ პარამეტრების ოპტიმალური სიდიდეები უნდა იცვლებოდეს ფარგლებში

$$A = 0,2 + 0,3$$

$$B = 1,12 + 2,12$$

$$C = 24,4 + 31$$

#### 10.4. რელსების წონის შემოწმება მოძრაობის საჩქარეების ზრდის პერსპექტივების გათვალისწინებით

რკინიგზის ტრანსპორტზე ხიჩქარეების ზრდა მთელი რიგი კარდინალური ღონისძიებების განხორციელებას მოითხოვს, სატრანსპორტო მეურნეობის ყველა დარგში.

ამ ღონისძიებების განხორციელების ერთ-ერთ არეალს რკინიგზის სალიანდაგო მეურნეობა წარმოადგენს, რომლის ძირითადი შემადგენელი ნაწილია ლიანდაგის ზედა ნაშენის კონსტრუქცია.



მოძრაობის საჩქარეების ზრდა განსაკუთრებულ მთხოვნებს უყენებს ლიანდაგის კონსტრუქციას, მისი მდგრადობისა და მოქლა-შენახვის ხარისხს, რადგანაც საჭიროო მაჩარებლების მოძრაობის საჩქარეების 80-90 კმ/სთ-მდე და სამგზავრო მატარებლების 140-160 კმ/სთ-მდე გაზრდის შემთხვევაში ლიანდაგის ზედა ნაშენის ელემენტებში აღიქვებიან დამატებითი ძაბვები. ამიტომ ლიანდაგის ზედა ნაშენის კონსტრუქციის სიმტკიცის პირობის დაკმაყოფილებისათვის საჭირო ხდება მისი გაძლიერება.

ჩქაროსნული და ზენქაროსნული რკინიგზების დაპროექტებასა და მოწყობაში სადღეისოდ მსოფლიო პრაქტიკაში ორი ძირითადი მიმართულება აღინიშნება:

- ჩქაროსნული და ზენქაროსნული რკინიგზები მხოლოდ სამგზავრო დანიშნულებისათვის;

შერეული, სამგზავრო და სატვირთო გადაზიდვებისათვის.

მსოფლიოს ყველა ქვეყანაში თუილიან, რომ ლიანდაგის ზედა ნაშენის არსებული კონსტრუქცია საეხებით აკმაყოფილებს მოძრაობის პირობებს დადგენილი მაქსიმალური სიჩქარეებით. უფრო მეტიც, მთელ რიგ ქვეყნებში მიანიათ, რომ ლიანდაგის არსებული კონსტრუქცია, მისი გაძლიერების გარეშეც იძლევა მოძრაობის სიჩქარეების ზრდის საშუალებას.

ცნობილია, რომ ლიანდაგის ზედა ნაშენზე მოძრავი შემადგენლობის დინამიკური ზემოქმედების სიდიდე დამოკიდებულია ღერძზე მოსულ დატვირთვაზე და მოძრაობის სიჩქარეზე. ამავე დროს ლიანდაგის მუშაობა და ლიანდაგში სხვადასხვა უსწორობათა დაგროვება დამოკიდებულია არა მარტო მოძრავი შემადგენლობის დინამიკური ზემოქმედების ხარისხზე, არამედ ტვირთდაძაბულობაზეც.

მსოფლიოს ქვეყნების რკინიგზების ექსპლუატაციის გამოცდილების მიხედვით დადგენილია, რომ ჩქაროსნული მოძრაობის (140-160კმ/სთ) და საშუალო ტვირთდაძაბულობის (25 - 50 მლნ.ტბრ.კმ/კმ წ.) პირობებში მძიმე ტიპის ზედა ნაშენი P65 ტიპის რელსებით, საეხებით აკმაყოფილებს მოძრაობის უსაფრთხოების პირობებს და ოპტიმალურ ტიპს წარმოადგენს. ნორმალური ტიპის ზედა ნაშენი P50 ტიპის რელსებით 120 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობის უზრუნველყოფის საშუალებას იძლევა.

რადგანაც ლიანდაგის კონსტრუქციის უმთავრესი მსიდი ელემენტი რელსია, ამიტომ ლიანდაგის გაძლიერების ყველაზე ეფექტურ საშუალებას რელსის წონის გაზრდა წარმოადგენს.

მსოფლიოს რიგი ქვეყნების რკინიგზებზე, სამგზავრო მატარებლების ჩქაროსნული მოძრაობის პირობებში, გამოიყენება რელსები, რომელთა ერთი გრძივი მეტ-

რის წონა 50 კგ/გრძ.მ-ზე მეტია. გამონაკლისს წარმოადგენს რელსები წონით 38 - 49 კგ/გრძ.მ.

120 კმ/სთ და მეტი სიჩქარეების რეალიზაციის შემთხვევაში სხვადასხვა ქვეყნებში გამოიყენებული რელსების წონა მოცემულია ცხრილში 10.1.

ცხრილი 10.1

ქვეყნების დასახელება	ერთი გრძივი მეტრი რელსის წონა, კგ/გრძ.მ.
ყოფილი საბჭოთა კავშირის ქვეყნები	51,67; 64,72; 74,41
სეხუთი და სლოვაკია	49,70; 51,67
საყრანგეთი	46,00; 50,00; 62,00
გერმანია	49,40; 64,00
ინგლისი	54,00
იტალია	46,00; 50,00; 60,00
ბელგია	50,00
აშშ	55,60; 65,50;; 74,00; 76,00
იაპონია	50,00; 53,00

რელსების სიმძლავრის ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობა განისაზღვრება მოძრაობის მაქსიმალური სიჩქარის უარდობით ერთი გრძივი მეტრი რელსის წონასთან, (ცხრილი 10.2)

თუ უარდობა  $v_{max}/q \leq 2,5$ , მაშინ ასეთი რელსების გამოყენება ადებული სიჩქარის შემთხვევაში მიზანშეწონილად ითვლება.

ცხრილი 10.2

$v_{max}$ კმ/სთ	$v_{max}/q$	
	$q = 50$ კგ/გრძ.მ	$q = 65$ კგ/გრძ.მ
160	3,2	2,46
140	2,8	2,16
120	2,4	1,85
100	2,0	1,54

ര ഛ ട ഛ ഴ ത റ

*ქ კოეფიციენტის მნიშვნელობები მიმართული ღერძებისათვის*

ლოკომოტივის სერია	სწორ უბანში	მრუდებში რადიუსით R, მ									
		1000	800	700	600	500	400	350	300	250	200
<i>ელმაკელები</i>											
ВЛ60, ВЛ60 <sup>1</sup> , ВЛ60 <sup>к</sup>	1,13	1,33	1,37	1,41	1,45	1,53	1,62	1,66	1,69	1,72	—
ВЛ180, ВЛ180 <sup>к</sup>	1,08	1,30	1,34	1,36	1,38	1,40	1,41	1,42	1,44	1,45	—
ЧС4	1,26	1,38	1,42	1,44	1,46	1,52	1,60	1,65	1,72	1,80	—
ფ <sup>1</sup>	1,13	1,60	1,66	1,73	1,80	1,89	1,99	2,04	2,07	2,10	—
რ	1,10	1,38	1,50	1,58	1,69	1,85	2,07	2,23	2,35	2,45	—
К	1,11	1,38	1,42	1,45	1,48	1,53	1,57	1,62	1,66	1,70	—
ВЛ41	1,17	1,30	1,35	1,38	1,41	1,45	1,50	1,53	1,59	1,68	—
ЧС2 <sup>М</sup>	1,10	1,40	1,45	1,51	1,55	1,62	1,69	1,77	1,80	1,85	—
ЧС1, ЧС3	1,12	1,24	1,26	1,29	1,32	1,35	1,42	1,45	1,51	1,59	—
ВЛ10	1,25	1,27	1,28	1,30	1,33	1,37	1,41	1,43	1,49	1,56	—
ВЛ8	1,10	1,18	1,22	1,25	1,29	1,37	1,45	1,51	1,53	1,57	—
ВЛ22, ВЛ22 <sup>М</sup>	1,42	1,45	1,46	1,48	1,49	1,50	1,54	1,59	1,66	1,73	—
ВЛ-23	1,17	1,22	1,24	1,26	1,30	1,35	1,46	1,51	1,62	1,73	—
<i>თბომაკელები და აირტურბომაკელები</i>											
ТЭП60, ТГП50, ГП1	1,13	1,34	1,39	1,44	1,47	1,55	1,65	1,72	1,78	1,83	—
ТЭП10, ТЭП10Л	1,20	1,33	1,40	1,44	1,49	1,54	1,60	1,64	1,68	1,73	—
ТЭ7	1,20	1,36	1,43	1,47	1,52	1,58	1,65	1,68	1,74	1,80	—
ТЭ3, ТЭ10Л, ТЭ10	1,20	1,33	1,40	1,44	1,49	1,54	1,60	1,64	1,68	1,73	—
ТЭ2	1,11	1,12	1,13	1,15	1,16	1,24	1,34	1,41	1,47	1,55	—
ТЭ1 Д <sup>а</sup>	1,17	1,24	1,25	1,27	1,30	1,39	1,50	1,58	1,65	1,73	—
ТГ102	1,10	1,31	1,36	1,39	1,43	1,48	1,53	1,56	1,59	1,63	—
ТГ106	1,15	1,39	1,44	1,48	1,53	1,59	1,68	1,73	1,77	1,80	—
Г1	1,12	1,38	1,46	1,50	1,53	1,57	1,62	1,65	1,67	1,72	—
ТЭМ1, ТГМ 10	1,20	1,35	1,42	1,46	1,52	1,57	1,63	1,67	1,72	1,77	1,84
ТГМ2, ТГМ3 ТГМ5	1,11	1,23	1,30	1,33	1,36	1,40	1,43	1,47	1,51	1,58	1,66
<i>ვაგონები</i>											
ოთხღერძიანი სატვირთო ვაგონი ЦНИИ-ХЗ-0 ურიკებით	1,18	1,26	1,28	1,30	1,33	1,39	1,49	1,55	1,65	1,78	—
ჩექელღერძიანი სატვირთო ვაგონი УВЗ-9 <sup>м</sup> ურიკებით	1,13	1,35	1,41	1,44	1,46	1,49	1,53	1,56	1,60	1,66	—
რვაღერძიანი ნახევარვაგონი ЦНИИ-ХЗ-0 ურიკებით	1,18	1,28	1,31	1,33	1,37	1,42	1,49	1,54	1,62	1,72	—

## ვაგონებისა და ლოკომოტივების საანგარიშო მახასიათებლები

ვაგონების ტიპი და თვლების ფორმულა	კონსტრუქციული სიჩქარე V კმ/სთ	ერთ თვალსე მოსული			სარესორო ჩამოკიდების სიხისტე ჯ. კმ/მმ.	სარესორო ჩამოკიდების სტატისკური ჩაღუნვა წკ. მმ.	თვლის ღამეტრი ძ. სმ.	ღერძებს შორის მანძილი მიღვევობით I, სმ.	თვლების იზოლირებული უსწრობის საანგარიშო სიღრმე ჰ. სმ.
		რელსებზე გადაცემული სტატისკური დატვირთვა	დაუკსოვრებელი ნაწილის წონა ღ. კმ.	სარესორო ჩამოკიდების სიხისტე ჯ. კმ/მმ.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ოთხღერძიანი სატვირთო ვაგონი ЦНИИ-ХЗ-0 ურიკებით	100	10500	975	200	48	95	185-675-185	0,047	
ექვსღერძიანი სატვირთო ვაგონი УВЗ-9 <sup>м</sup> ურიკებით	100	10700	1070	195	50	95	175-175-694-175-175	0,047	
რეალღერძიანი ნახევარვაგონი ЦНИИ-ХЗ-0 ურიკებით	100	10550	975	200	48	95	185-135-185-702-185-135-185	0,047	
სამგზავრო ვაგონი ЦМВ	120	8100	710	76	145	105	270-1420-270	0,047	
სამგზავრო ვაგონი КВЗ-ЦНИИ ურიკებით	160	7125	710	57	155	105	240-1460-240	0,047	
<i>ცვლადი ღერძის ელმავლები</i>									
ВЛ 60 <sup>п</sup> 3 <sub>с</sub> -3 <sub>с</sub>	120	11000	2550	78	108,6	125	230-230-380-230-230	0,047	
ВЛ160, ВЛ160 <sup>к</sup> 3 <sub>с</sub> -3 <sub>с</sub>	100	11500	3080	142	59,6	125	230-230-380-230-230	0,047	
ВЛ180, ВЛ180 <sup>к</sup> 2 <sub>с</sub> -2 <sub>с</sub> -2 <sub>с</sub> -2 <sub>с</sub>	110	11500	2760	152	108,0	125	300-450-300-572-450-300	0,047	
Ф <sup>п</sup> 3 <sub>с</sub> -3 <sub>с</sub>	160	10900	1530	100	93,5	125	233,5-251-766,5-251-233,5	0,047	
Ф 3 <sub>с</sub> -3 <sub>с</sub>	110	11500	2640	96,5	91,8	125	233,5-233,5-801,5-233,5-233,5	0,047	
ЧС4 3 <sub>с</sub> -3 <sub>с</sub>	160	10500	1850	87	140,0	125	230-230-500-230-230	0,047	
К 3 <sub>с</sub> -3 <sub>с</sub>	100	11500	1600	144,6	127,6	125	235-260-434-260-235	0,047	
ВЛ80 <sup>т</sup> 2(2 <sub>с</sub> -2 <sub>с</sub> )	110	11500	2925	91	73,5	125	300-450-300-572-300-450-300	0,047	
ВЛ80 <sup>р</sup> 2(2 <sub>с</sub> -2 <sub>с</sub> )	110	12000	2925	152	108,0	125	300-450-300-572-300-450-300	0,047	
ВЛ82 2(2 <sub>с</sub> -2 <sub>с</sub> )	110	12000	2970	140	108,0	125	300	0,047	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>მუდმივი დენის ელმაკლები</i>									
4C2 <sup>M</sup>	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	160	10250	1925	135	120	125	240-220-380-220-240	0,047
4C3	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>	120	10625	1925	192,2	102,2	125	333-484-333	0,047
4C1	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>	120	10625	1925	192	102,2	125	333-484-333	0,047
ВЛ23	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	100	11500	3170	142	59	120	220-220-380-220-220	0,047
ВЛ10	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> 2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>	110	11500	3055	101	116,2	125	300-400-300-466,5-300-400-300	0,047
ВЛ 8	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> 2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>	80	11500	3170	118	70	120	320-380-320-210-320-380-320	0,047
ВЛ19	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	85	9750	2750	108	62	125	200-250-380-250-200	0,047
4C2T	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	160	10500	1925	135	120	125	240-220-380-220-240	0,047
4C4T	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	160	10500	1850	135	140	125	230-230-500-230-230	0,047
<i>თბომაკლები</i>									
ТЭП60	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	160	10500	1415	94	96,5	105	220-240-580-240-220	0,047
ТЭП10	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	140	10750	2175	71	121	105	210-210-500-210-210	0,047
ТЭ7	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	140	10500	2330	131	62,3	105	210-210-500-210-210	0,047
ТЭ10	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	100	10750	2175	130	71	105	210-210-500-210-210	0,047
2ТЭ10Л	2(3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub> )	100	10650	2240	119	69	105	210-210-500-210-210	0,047
ТЭ3, ТЭ30	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	100	10500	2330	143	57	105	210-210-440-210-210	0,047
ТЭ2	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>	95	10625	1225	152	41	105	225-395-225	0,065
ТЭ1	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	95	10325	1750	162	27	105	152,5-190,5-503-190,5-152,5	0,065
2ТЭ116	2(3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub> )	120	11250	4260	130	101	105	185-185	0,047
2ТЭ121	2(3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub> )	120	12500	3700	120	150	105	220-220	0,047
2ТЭ10В	2(3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub> )	100	11500	4260	119	100	105	185-185	0,047
4ТЭ130	4(3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub> )	100	11500	4260	186	100	105	185-185	0,047
ТЭП70	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	160	10750	3080	125	180	125	200-230	0,047
ТЭП75	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	160	11500	3150	125	180	125	200-230	0,047
<i>მაგისტრალური თბომაკლები პილორგადაკემით</i>									
ТГП50	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	140	11270	1525		154,6	105	220-240-795-240-220	0,047
ТГ106	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	100	11500	1950		135	105	190,5-180-853-180-190,5	0,047
ТГ102К	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>	120	10500	2165	103	77,5	105	250-240-250	0,047
<i>სამანქარო თბომაკლები</i>									
ТЭМ 1	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	100	10000	2330	143	54	105	210-210-440-210-210	0,047
ТГМ10	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	80	10000	1800		62,6	105	210-210-440-210-210	0,047

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
TGM 5	2 <sub>0-2<sub>0</sub></sub>	80	11000	1900		67,5	105	210-510-210	0,047
TGM 2	2 <sub>0-2<sub>0</sub></sub>	60	8500	2000			105	180-390-180	0,047
TGM 3	2 <sub>0-2<sub>0</sub></sub>	60	8500	1550	118	30	105	210-190-210	0,047
<i>აირტურობაელები</i>									
IT1	3 <sub>0-3<sub>0</sub></sub>	160	10700	1415	96,5	94,3	105	220-240-580-240-220	0,047
Γ1	3 <sub>0-3<sub>0</sub></sub>	100	11800	2275		103	105	220-220-220-220-220	0,047
4M33	3 <sub>0-3<sub>0</sub></sub>	95	10250	1940	157	52	105	200-200-460-200-200	0,047

*ცხრილი 3*

*U და k კოეფიციენტების მნიშვნელობები ხის შპალებისა და ლორღის ბალასტიკისათვის*

რელსის ტიპი	შპალების ტიპი	შპალების ეპიურა ცალკე	U, კგ/სმ <sup>2</sup>	k, სმ <sup>-1</sup> , რელსის თავის დაეჯანლი ცეუთის შესაბამისად			
				0	3 მმ	6 მმ	9 მმ
P65	IA, IB	1600	230	0,00937	0,00947	0,00961	0,00978
		1840	270	0,00976	0,00986	0,01000	0,01018
		2000	295	0,00997	0,01008	0,01023	0,01040
	IIA, IIB	1600	230	0,00937	0,00947	0,00961	0,00978
		1840	260	0,00966	0,00976	0,00991	0,01008
		2000	290	0,00993	0,01003	0,01018	0,01036
P50	IA, IB	1600	230	0,01081	0,01093	0,01110	0,01131
		1840	270	0,01125	0,01137	0,01155	0,01177
		2000	295	0,01150	0,01163	0,01181	0,01203
	IIA, IIB	1600	230	0,01081	0,01093	0,01110	0,01131
		1840	260	0,01115	0,01126	0,01145	0,01165
		2000	290	0,01146	0,01158	0,01176	0,01198

*ცხრილი 4*

*U და k კოეფიციენტების მნიშვნელობები რკინაბეტონის შპალებისა და ლორღის ბალასტიკისათვის*

რელსის ტიპი	შუასადებების ტიპი	შპალების ეპიურა ცალკე	U, კგ/სმ <sup>2</sup>	k, სმ <sup>-1</sup> , რელსის თავის დაეჯანლი ცეუთის შესაბამისად	
				6 მმ	9 მმ
P65	ტიპური, სისქით 5 - 6 მმ	1840	1500	0,01536	0,01562
		2000	1670	0,01578	0,01604
	მალალი დრეკადობის	1840	1000	0,01388	0,01412
		2000	1100	0,01421	0,01446
P50	ტიპური, სისქით 5 - 6 მმ	1840	1500	0,01772	0,01804
		2000	1670	0,01820	0,01853
	მალალი დრეკადობის	1840	1000	0,01600	0,01630
		2000	1100	0,01638	0,01669

## ქვესადგებების საყრდენი ფართობები

შუალედური სამაგრების ტიპი	რელსის ტიპი	ქვესადგების ფართობი ა, სმ <sup>2</sup>	შუალედური სამაგრების ტიპი	რელსის ტიპი	ქვესადგების ფართობი ა, სმ <sup>2</sup>
განუყოფელი	P65 P50* P50**	594 496 596	განცალკევებული: K-4 KE-რკინაბეტონის შუალეგებისათვის	P50 P65	560 481

შენიშვნა: \* - ლიანდაგის სწორი უბნებისათვის.

\*\* - ლიანდაგის მრუდე უბნებისათვის.

## ცხრილი 6

α და Ω პარამეტრების მნიშვნელობები შპალისა და ბალასტის მასალის მიხედვით

პარამეტრები	ბალასტის სახეობა	ხის შპალები		რკინაბეტონის შპალები
		I A, I B	II A, II B	
შპალების გაღუნვის α კოეფიციენტი	ღორღი	0,83	0,78	0,85
	ხრეში	0,85	0,81	0,90
ნახევარშპალის ფართობი გაღუნვის გათვალისწინებით $\Omega = \frac{a}{b} \alpha$ , სმ <sup>2</sup>	ღორღი	2853	2466	2975
	ხრეში	2920	2561	3150

## ცხრილი 7

რელსის განივი კვეთის მახასიათებლები

რელსის ტიპი	დაყვანილი ცვეთა, მმ.	F, სმ <sup>2</sup>	$\frac{b_1}{b_0}$ , სმ	I <sub>1</sub> , სმ <sup>4</sup>	I <sub>0</sub> , სმ <sup>4</sup>	W <sub>1</sub> , სმ <sup>3</sup>	W <sub>0</sub> , სმ <sup>3</sup>	z <sub>0</sub> , სმ	z <sub>1</sub> , სმ	h <sub>1</sub> , სმ	h <sub>2</sub> , სმ
P65	0	82,56		3548	569	436	359	8,13	9,87	13,6	4,4
	6	78,24	7,5	3208	550	417	330	7,69	9,71	13,4	4,0
	9	76,08	15,0	2998	541	404	310	7,42	9,68	13,2	3,9
P50	0	65,93	7,2	2018	375	286	248	7,05	7,15	10,7	4,5
	6	61,73		1813	359	273	227	6,64	7,96	10,5	4,1
	9	59,63	13,2	1685	349	264	213	6,38	7,92	10,3	4,0



$\mu$  და  $\eta$  ეპიურის ორდინატების მნიშვნელობები

$$\mu = e^{-kx}(\cos kx - \sin kx); \quad \eta = e^{-kx}(\cos kx + \sin kx)$$

$kx$	$\mu$	$\eta$	$kx$	$\mu$	$\eta$
0,50	0,2415	0,8231	0,90	-0,1617	1,4049
0,51	0,2309	0,8172	0,91	-0,1758	1,4033
0,52	0,2205	0,8113	0,92	-0,1898	1,4014
0,53	0,2103	0,8054	0,93	-0,2038	1,3995
0,54	0,2002	0,7994	0,94	-0,2178	1,3974
0,55	0,1903	0,7934	0,95	-0,2317	1,3951
0,56	0,1805	0,7874	0,96	-0,2457	1,3927
0,57	0,1709	0,7813	0,97	-0,2596	1,3902
0,58	0,1615	0,7752	0,98	-0,2735	1,3875
0,59	0,1522	0,7690	0,99	-0,2873	1,3847
0,60	0,1431	0,7628	1,00	-0,3012	1,3818
0,61	0,1341	0,7566	1,01	-0,3150	1,3787
0,62	0,1253	0,7504	1,02	-0,3287	1,3755
0,63	0,1166	0,7441	1,03	-0,3425	1,3721
0,64	0,1080	0,7378	1,04	-0,3562	1,3686
0,65	0,0997	0,7315	1,05	-0,3699	1,3650
0,66	0,0914	0,7252	1,06	-0,3835	1,3612
0,67	0,0833	0,7189	1,07	-0,3971	1,3573
0,68	0,0754	0,7125	1,08	-0,4106	1,3533
0,69	0,0676	0,7061	1,09	-0,4241	1,3491
0,70	0,0599	0,6997	1,10	-0,4376	1,3448
0,71	0,0524	0,6933	1,11	-0,4510	1,3404
0,72	0,0450	0,6869	1,12	-0,4644	1,3358
0,73	0,0377	0,6805	1,13	-0,4778	1,3311
0,74	0,0306	0,6741	1,14	-0,4910	1,3262
0,75	0,0236	0,6676	1,15	-0,5043	1,3213
0,76	0,0168	0,6618	1,16	-0,5175	1,3161
0,77	0,0101	0,6547	1,17	-0,5306	1,3109
0,78	0,0035	0,6483	1,18	-0,5437	1,3055
0,79	-0,0030	0,6418	1,19	-0,5567	1,3000
0,80	-0,0093	0,6354	1,20	-0,5697	1,2944
0,81	-0,0155	0,6289	1,21	-0,5826	1,2886
0,82	-0,0215	0,6225	1,22	-0,5955	1,2828
0,83	-0,0275	0,6161	1,23	-0,6083	1,2767
0,84	-0,0333	0,6096	1,24	-0,6211	1,2706
0,85	-0,0390	0,6032	1,25	-0,6337	1,2643
0,86	-0,0446	0,5968	1,26	-0,6463	1,2579
0,87	-0,0501	0,5904	1,27	-0,6588	1,2514
0,88	-0,0554	0,5840	1,28	-0,6713	1,2447
0,89	-0,0606	0,5776	1,29	-0,6837	1,2380

$kx$	$\mu$	$\eta$	$kx$	$\mu$	$\eta$
1,30	-0,1897	0,3355	1,75	-0,2020	0,1400
1,31	-0,1911	0,3303	1,76	-0,2013	0,1366
1,32	-0,1925	0,3251	1,77	-0,2007	0,1333
1,33	-0,1938	0,3199	1,78	-0,2000	0,1299
1,34	-0,1950	0,3148	1,79	-0,1993	0,1267
1,35	-0,1962	0,3097	1,80	-0,1985	0,1234
1,36	-0,1973	0,3047	1,81	-0,1978	0,1202
1,37	-0,1983	0,2997	1,82	-0,1970	0,1171
1,38	-0,1993	0,2947	1,83	-0,1962	0,1139
1,39	-0,2002	0,2898	1,84	-0,1953	0,1109
1,40	-0,2011	0,2849	1,85	-0,1945	0,1078
1,41	-0,2019	0,2801	1,86	-0,1936	0,1048
1,42	-0,2027	0,2753	1,87	-0,1927	0,1019
1,43	-0,2034	0,2705	1,88	-0,1918	0,0989
1,44	-0,2040	0,2658	1,89	-0,1908	0,0960
1,45	-0,2046	0,2611	1,90	-0,1899	0,0932
1,46	-0,2051	0,2565	1,91	-0,1889	0,0904
1,47	-0,2056	0,2519	1,92	-0,1879	0,0876
1,48	-0,2061	0,2473	1,93	-0,1869	0,0849
1,49	-0,2064	0,2428	1,94	-0,1859	0,0822
1,50	-0,2068	0,2384	1,95	-0,1848	0,0795
1,51	-0,2071	0,2339	1,96	-0,1838	0,0769
1,52	-0,2073	0,2295	1,97	-0,1827	0,0743
1,53	-0,2075	0,2252	1,98	-0,1816	0,0717
1,54	-0,2077	0,2209	1,99	-0,1805	0,0692
1,55	-0,2078	0,2166	2,00	-0,1794	0,0667
1,56	-0,2079	0,2124	2,01	-0,1782	0,0643
1,57	-0,2079	0,2082	2,02	-0,1771	0,0619
1,58	-0,2079	0,2041	2,03	-0,1759	0,0595
1,59	-0,2078	0,2000	2,04	-0,1748	0,0572
1,60	-0,2077	0,1959	2,05	-0,1736	0,0549
1,61	-0,2076	0,1919	2,06	-0,1724	0,0526
1,62	-0,2074	0,1879	2,07	-0,1712	0,0504
1,63	-0,2072	0,1840	2,08	-0,1700	0,0482
1,64	-0,2069	0,1801	2,09	-0,1688	0,0460
1,65	-0,2066	0,1763	2,10	-0,1675	0,0439
1,66	-0,2063	0,1724	2,11	-0,1663	0,0418
1,67	-0,2060	0,1687	2,12	-0,1650	0,0397
1,68	-0,2056	0,1650	2,13	-0,1638	0,0377
1,69	-0,2052	0,1613	2,14	-0,1625	0,0357
1,70	-0,2047	0,1576	2,15	-0,1612	0,0337
1,71	-0,2042	0,1540	2,16	-0,1600	0,0318
1,72	-0,2037	0,1505	2,17	-0,1587	0,0299
1,73	-0,2031	0,1469	2,18	-0,1574	0,0280
1,74	-0,2026	0,1435	2,19	-0,1561	0,0262

κx	μ	η	κx	μ	η
2,20	-0,1548	0,0244	2,65	-0,0956	-0,0289
2,21	-0,1535	0,0226	2,66	-0,0944	-0,0296
2,22	-0,1522	0,0209	2,67	-0,0932	-0,0302
2,23	-0,1509	0,0191	2,68	-0,0919	-0,0309
2,24	-0,1495	0,0175	2,69	-0,0907	-0,0315
2,25	-0,1482	0,0158	2,70	-0,0895	-0,0320
2,26	-0,1469	0,0142	2,71	-0,0883	-0,0326
2,27	-0,1456	0,0126	2,72	-0,0871	-0,0331
2,28	-0,1442	0,0110	2,73	-0,0859	-0,0337
2,29	-0,1429	0,0095	2,74	-0,0847	-0,0342
2,30	-0,1416	0,0080	2,75	-0,0835	-0,0347
2,31	-0,1402	0,0065	2,76	-0,0823	-0,0352
2,32	-0,1389	0,0050	2,77	-0,0811	-0,0356
2,33	-0,1375	0,0036	2,78	-0,0800	-0,0361
2,34	-0,1362	0,0022	2,79	-0,0788	-0,0365
2,35	-0,1349	0,0008	2,80	-0,0777	-0,0369
2,36	-0,1335	-0,0005	2,81	-0,0765	-0,0373
2,37	-0,1322	-0,0018	2,82	-0,0754	-0,0377
2,38	-0,1308	-0,0031	2,83	-0,0743	-0,0381
2,39	-0,1295	-0,0044	2,84	-0,0731	-0,0384
2,40	-0,1282	-0,0056	2,85	-0,0720	-0,0388
2,41	-0,1268	-0,0068	2,86	-0,0709	-0,0391
2,42	-0,1255	-0,0080	2,87	-0,0698	-0,0394
2,43	-0,1242	-0,0092	2,88	-0,0687	-0,0397
2,44	-0,1228	-0,0103	2,89	-0,0677	-0,0400
2,45	-0,1215	-0,0114	2,90	-0,0666	-0,0403
2,46	-0,1202	-0,0125	2,91	-0,0655	-0,0405
2,47	-0,1188	-0,0136	2,92	-0,0645	-0,0408
2,48	-0,1175	-0,0146	2,93	-0,0634	-0,0410
2,49	-0,1162	-0,0156	2,94	-0,0624	-0,0412
2,50	-0,1149	-0,0166	2,95	-0,0613	-0,0414
2,51	-0,1136	-0,0176	2,96	-0,0603	-0,0416
2,52	-0,1123	-0,0186	2,97	-0,0593	-0,0418
2,53	-0,1111	-0,0195	2,98	-0,0583	-0,0420
2,54	-0,1097	-0,0204	2,99	-0,0573	-0,0421
2,55	-0,1084	-0,0213	3,00	-0,0563	-0,0423
2,56	-0,1071	-0,0221	3,01	-0,0553	-0,0424
2,57	-0,1058	-0,0230	3,02	-0,0544	-0,0425
2,58	-0,1045	-0,0238	3,03	-0,0534	-0,0426
2,59	-0,1032	-0,0246	3,04	-0,0524	-0,0427
2,60	-0,1019	-0,0254	3,05	-0,0515	-0,0428
2,61	-0,1007	-0,0261	3,06	-0,0506	-0,0429
2,62	-0,0994	-0,0268	3,07	-0,0496	-0,0430
2,63	-0,0981	-0,0276	3,08	-0,0487	-0,0430
2,64	-0,0969	-0,0283	3,09	-0,0478	-0,0431

κ	μ	η	κ	μ	η
3,10	-0,0469	-0,0431	3,55	-0,0150	-0,0378
3,11	-0,0460	-0,0432	3,56	-0,0144	-0,0375
3,12	-0,0451	-0,0432	3,57	-0,0139	-0,0373
3,13	-0,0442	-0,0432	3,58	-0,0134	-0,0371
3,14	-0,0434	-0,0432	3,59	-0,0129	-0,0368
3,15	-0,0425	-0,0432	3,60	-0,0124	-0,0366
3,16	-0,0416	-0,0432	3,61	-0,0119	-0,0364
3,17	-0,0408	-0,0432	3,62	-0,0114	-0,0361
3,18	-0,0400	-0,0432	3,63	-0,0110	-0,0359
3,19	-0,0391	-0,0431	3,64	-0,0105	-0,0356
3,20	-0,0383	-0,0431	3,65	-0,0101	-0,0354
3,21	-0,0375	-0,0430	3,66	-0,0096	-0,0351
3,22	-0,0367	-0,0430	3,67	-0,0092	-0,0348
3,23	-0,0359	-0,0429	3,68	-0,0087	-0,0346
3,24	-0,0351	-0,0428	3,69	-0,0083	-0,0343
3,25	-0,0344	-0,0427	3,70	-0,0079	-0,0341
3,26	-0,0336	-0,0427	3,71	-0,0075	-0,0338
3,27	-0,0328	-0,0426	3,72	-0,0070	-0,0335
3,28	-0,0321	-0,0425	3,73	-0,0066	-0,0333
3,29	-0,0313	-0,0424	3,74	-0,0062	-0,0330
3,30	-0,0306	-0,0422	3,75	-0,0059	-0,0327
3,31	-0,0299	-0,0421	3,76	-0,0055	-0,0325
3,32	-0,0292	-0,0420	3,77	-0,0051	-0,0322
3,33	-0,0285	-0,0419	3,78	-0,0047	-0,0319
3,34	-0,0278	-0,0417	3,79	-0,0044	-0,0317
3,35	-0,0271	-0,0416	3,80	-0,0040	-0,0314
3,36	-0,0264	-0,0414	3,81	-0,0037	-0,0311
3,37	-0,0257	-0,0413	3,82	-0,0033	-0,0308
3,38	-0,025	-0,0411	3,83	-0,0030	-0,0306
3,39	-0,0244	-0,0410	3,84	-0,0026	-0,0303
3,40	-0,0237	-0,0408	3,85	-0,0023	-0,0300
3,41	-0,0231	-0,0406	3,86	-0,0020	-0,0297
3,42	-0,0225	-0,0404	3,87	-0,0017	-0,0295
3,43	-0,0218	-0,0403	3,88	-0,0014	-0,0292
3,44	-0,0212	-0,0401	3,89	-0,0011	-0,0289
3,45	-0,0206	-0,0399	3,90	-0,0008	-0,0286
3,46	-0,0200	-0,0397	3,91	-0,0005	-0,0283
3,47	-0,0194	-0,0395	3,92	-0,0002	-0,0281
3,48	-0,0188	-0,0393	3,93	0,0001	-0,0278
3,49	-0,0183	-0,0391	3,94	0,0004	-0,0275
3,50	-0,0177	-0,0389	3,95	0,0006	-0,0272
3,51	-0,0171	-0,0387	3,96	0,0009	-0,0269
3,52	-0,0166	-0,0384	3,97	0,0012	-0,0267
3,53	-0,0160	-0,0382	3,98	0,0014	-0,0264
3,54	-0,0155	-0,0380	3,99	0,0017	-0,0261

$kx$	$\mu$	$\eta$	$kx$	$\mu$	$\eta$
4,00	0,0019	-0,0258	4,45	0,0083	-0,0143
4,01	0,0021	-0,0256	4,46	0,0083	-0,0141
4,02	0,0024	-0,0253	4,47	0,0084	-0,0139
4,03	0,0026	-0,0250	4,48	0,0084	-0,0136
4,04	0,0028	-0,0247	4,49	0,0085	-0,0134
4,05	0,0030	-0,0245	4,50	0,0085	-0,0132
4,06	0,0032	-0,0242	4,51	0,0086	-0,0130
4,07	0,0034	-0,0239	4,52	0,0086	-0,0128
4,08	0,0036	-0,0236	4,53	0,0087	-0,0126
4,09	0,0038	-0,0234	4,54	0,0087	-0,0123
4,10	0,0040	-0,0231	4,55	0,0087	-0,0121
4,11	0,0042	-0,0228	4,56	0,0088	-0,0119
4,12	0,0044	-0,0225	4,57	0,0088	-0,0117
4,13	0,0046	-0,0223	4,58	0,0088	-0,0115
4,14	0,0048	-0,0220	4,59	0,0088	-0,0113
4,15	0,0049	-0,0217	4,60	0,0089	-0,0111
4,16	0,0051	-0,0215	4,61	0,0089	-0,0109
4,17	0,0053	-0,0212	4,62	0,0089	-0,0107
4,18	0,0054	-0,0209	4,63	0,0089	-0,0105
4,19	0,0056	-0,0207	4,64	0,0089	-0,0103
4,20	0,0057	-0,0204	4,65	0,0090	-0,0101
4,21	0,0059	-0,0202	4,66	0,0090	-0,0099
4,22	0,0060	-0,0199	4,67	0,0090	-0,0098
4,23	0,0061	-0,0196	4,68	0,0090	-0,0096
4,24	0,0063	-0,0194	4,69	0,0090	-0,0094
4,25	0,0064	-0,0191	4,70	0,0090	-0,0092
4,26	0,0065	-0,0189	4,71	0,0090	-0,0090
4,27	0,0067	-0,0186	4,72	0,0090	-0,0088
4,28	0,0068	-0,0184	4,73	0,0090	-0,0087
4,29	0,0069	-0,0181	4,74	0,0090	-0,0085
4,30	0,0070	-0,0179	4,75	0,0090	-0,0083
4,31	0,0071	-0,0176	4,76	0,0090	-0,0081
4,32	0,0072	-0,0174	4,77	0,0090	-0,0080
4,33	0,0073	-0,0171	4,78	0,0089	-0,0078
4,34	0,0074	-0,0169	4,79	0,0089	-0,0076
4,35	0,0075	-0,0166	4,80	0,0089	-0,0075
4,36	0,0076	-0,0164	4,81	0,0089	-0,0073
4,37	0,0077	-0,0162	4,82	0,0089	-0,0072
4,38	0,0078	-0,0159	4,83	0,0089	-0,0070
4,39	0,0078	-0,0157	4,84	0,0089	-0,0068
4,40	0,0079	-0,0155	4,85	0,0088	-0,0067
4,41	0,0080	-0,0152	4,86	0,0088	-0,0065
4,42	0,0081	-0,0150	4,87	0,0088	-0,0064
4,43	0,0081	-0,0148	4,88	0,0088	-0,0062
4,44	0,0082	-0,0145	4,89	0,0087	-0,0061

$kx$	$\mu$	$\eta$	$kx$	$\mu$	$\eta$
4,90	0,0087	-0,0059	5,20	0,0075	-0,0023
4,91	0,0087	-0,0058	5,21	0,0074	-0,0022
4,92	0,0087	-0,0056	5,22	0,0074	-0,0021
4,93	0,0086	-0,0055	5,23	0,0073	-0,0020
4,94	0,0086	-0,0054	5,24	0,0073	-0,0019
4,95	0,0086	-0,0052	5,25	0,0072	-0,0018
4,96	0,0085	-0,0051	5,26	0,0071	-0,0017
4,97	0,0085	-0,0049	5,27	0,0071	-0,0016
4,98	0,0085	-0,0048	5,28	0,0070	-0,0016
4,99	0,0084	-0,0047	5,29	0,0070	-0,0015
5,00	0,0084	-0,0045	5,30	0,0069	-0,0014
5,01	0,0083	-0,0044	5,31	0,0069	-0,0013
5,02	0,0083	-0,0043	5,32	0,0068	-0,0012
5,03	0,0083	-0,0042	5,33	0,0068	-0,0011
5,04	0,0082	-0,0040	5,34	0,0067	-0,0011
5,05	0,0082	-0,0039	5,35	0,0066	-0,0010
5,06	0,0081	-0,0038	5,36	0,0066	-0,0009
5,07	0,0081	-0,0037	5,37	0,0065	-0,0008
5,08	0,0080	-0,0036	5,38	0,0065	-0,0008
5,09	0,0080	-0,0035	5,39	0,0064	-0,0007
5,10	0,0080	-0,0033	5,40	0,0064	-0,0006
5,11	0,0079	-0,0032	5,41	0,0063	-0,0006
5,12	0,0079	-0,0031	5,42	0,0062	-0,0005
5,13	0,0078	-0,0030	5,43	0,0062	-0,0004
5,14	0,0078	-0,0029	5,44	0,0061	-0,0004
5,15	0,0077	-0,0028	5,45	0,0061	-0,0003
5,16	0,0077	-0,0027	5,46	0,0060	-0,0002
5,17	0,0076	-0,0026	5,47	0,0060	-0,0002
5,18	0,0076	-0,0025	5,48	0,0059	-0,0001
5,19	0,0075	-0,0024	5,49	0,0058	0,0000

შპს: არიკელ, გვერდითი და ჩარჩო ძაღვების საპ. იარაღი წარმოშობა

პროდუქტის აღწერა	შპს: არიკელის განყოფილება	რეალური ღირებულება	მარკა	მარკის უნიკალური იდენტიფიკაციის კოდი	მარკის უნიკალური იდენტიფიკაციის კოდი	განვი ჩაღვების საპ. იარაღი	
						შპს: არიკელის განყოფილება	შპს: არიკელის განყოფილება
1	2	3	4	5	6	7	
ოთხღერძიანი სატვირთო ვაგონი LKH1-X3-0 ურიკებით	1,85	10500	390 1300	7870+2500 ა. 8200+2500 ა.	5030+2450 ა. 5400+2500 ა.	2800+2600 ა. 3150+2600 ა.	
მძვინვარებადი სატვირთო ვაგონი საბ. ღერძიანი ურიკებით	3,50	10700	390 1300	9850+2900 ა. 10120+2900 ა.	6500+2800 ა. 6700+2800 ა.	4600+3100 ა. 4800+3100 ა.	
სამგზაგრო ვაგონი LMB ურიკებით	3,50	10700	390 1300	7170+3500 ა. 7430+3500 ა.	4300+3000 ა. 4500+3000 ა.	1950+1500 ა. 2200+3500 ა.	
სამგზაგრო ვაგონი LMB ურიკებით	2,70	8100	900	5490+1950 ა.	3400+1750 ა.	1600+1950 ა.	
სამგზაგრო ვაგონი KB3-LKH1 ურიკებით	2,40	7100	2000	5540+1700 ა.	3650+1450 ა.	2100+1700 ა.	
ელმანქანა B180	3,00	11500	2780	8150+2500 ა.	5100+2250 ა.	2500+2500 ა.	
ელმანქანა B160 (შპს ღერძის წაღვების ღერძიანი)	3,00	11500	2780	6250+2100 ა.	3400+2000 ა.	750+2200 ა.	
თხრობიანი ტექნიკა (შპს ღერძის წაღვების ღერძიანი)	4,60	11500	3450	7900+2800 ა.	4800+2600 ა.	2200+2800 ა.	
თხრობიანი ტექნიკა (შპს ღერძის წაღვების ღერძიანი)	4,60	10500	4560	6800+3500 ა.	4250+3500 ა.	1700+3500 ა.	
თხრობიანი ტექნიკა (შპს ღერძის წაღვების ღერძიანი)	4,20	10500	4500	10500+3500 ა.	7950+3500 ა.	5200+3500 ა.	
ელექტრომობილური ვეიკლი	2,75	10813	3770	8700+2400 ა.	5800+2200 ა.	3500+2400 ა.	
ელექტრომობილური ვეიკლი	2,42	9050	1210	6700+2100 ა.	4300+1900 ა.	2350+2000 ა.	

შენიშვნები: 1 - ფორმულაში მიღებულია თვლის ქმისა და რეალური სპეციფიკაციის კოეფიციენტისათვის  $K_{\text{კ}} = 0,25$ ; ფორმულაში გამოყენების სტეპი არ ვლება  $a_{\text{კ}} = 0,5$  - 1,0 მმ-ზე ფარგლებში;

2 - ვეიკლით ჩაღვების განსაზღვრულია ჩარჩო ძაღვებისგან გადატვირთვის გათვალისწინებით;

3 - დოკუმენტაციისათვის შეწყვეტილი ურიკებით ფორმულაში მისაღებად მიღებულია საშუალო რადიუსისათვის 1000 მმ-იანი (750 მმ-იანი) 1250 მმ-იანი; შეწყვეტილი ურიკების შემთხვევაში ფორმულაში არ არის დამატებული შრეული რადიუსის საღებავი

### ლიტერატურა:

1. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь М.: Транспорт, 1987. 480 с..
2. Яковлева Т.Г., Шульга С.В., Амелин С.В. и др.; Под ред. Амелина С.В. Основы устройства и расчёв железнодорожного пути, М.: Транспорт, 1990. 367 с.
3. Чернышев М.А. Практические методы расчёта пути, М.: Транспорт, 1967. 235 с.
4. МПС Главное управление пути Технические указания по укладке и содержанию бесстыкового пути, М.: Транспорт, 1982. 166 с.
5. Под редакцией Альбрехта В.Г., Бромберга Е.М. Бесстыковой путь, М.: Транспорт, 1982. 206 с.
6. Амелин С.В., Бассарский М.П. и др.; Под ред. Басилова В.В.и Чернышева М.А. Т. 1 Справочник инженера – путейца, М.: Транспорт, 1972. 768 с.
7. Фришман М.А. Как работает путь под поездами, М.: Транспорт, 1983. 168 с.



სარჩევი

	ბმ.
<b>თავი 1 მოძრაობი შემადგენლოვის ზემოქმედება ლინდდაგზე (ლიანდაგისა და მოძრაობი შემადგენლოვის ურთიერთქმედება)</b>	<b>3</b>
1.1 ზოგადი ცნობები	3
1.2 ლიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე გაანგარიშება ვერტიკალური ძალების ზემოქმედებაზე	6
1.2.1 ძირითადი წინაპირობები და მახასიათებლები	6
1.2.2 მოძრაობი შემადგენლობიდან გადმოცემული სტატიკური დატვირთვები და მათი ჯერსებზე გადანაწილება	6
1.2.3 მოძრაობი შემადგენლობის თვლების დისბალანსი	8
1.2.4 მოძრაობი შემადგენლობის თვლებისა და ლიანდაგის უსწორობებით გამოწვეული ინერციული ძალები	12
1.2.5 ეკიპაჟის დარესორებული მასის (ძარის) რხევით გამოწვეული დინამიკური (ინერციული) ძალა	16
1.2.6 საკუთარი რხევების შედეგად წარმოშობილი დინამიკური ძალა	17
<b>თავი 2 ლინდდაგზე ბუნებრივი შაქტორებისა და კონსტრუქციის საკუთარი ზემოქმედება</b>	<b>19</b>
2.1 ლიანდაგზე ბუნებრივი, კლიმატური ფაქტორების ზემოქმედება	19
2.2 ლიანდაგის კონსტრუქციის საკუთარი ზემოქმედება	21
<b>თავი 3 ვერტიკალური ძალების ზემოქმედება ლინდდაგზე</b>	<b>23</b>
3.1 ძირითადი წინამძღვრები და დაშვებები ლიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე გაანგარიშების დროს	23
3.2 სარელსო საფუძვლის დრეკადობის მოდული	25
3.3 ლიანდაგზე ძალთა ზემოქმედების ალბათობითი ხასიათი	27
3.4 ლიანდაგის სიმტკიცეზე სტატიკური გაანგარიშების საფუძვლები ვერტიკალური ძალების ზემოქმედებაზე	31
3.5 ლიანდაგის დინამიკური გაანგარიშების საფუძვლები ვერტიკალური ძალების ზემოქმედებაზე	34
3.6 დასაშვები ძაბვების მნიშვნელობები ლიანდაგის ელემენტებში	36
<b>თავი 4 ადგილობრივი ძაბვები და თვლის მართებითი ზემოქმედება</b>	<b>39</b>
4.1 კონტაქტური ძაბვები	39

4.2	ადგილობრივი ძაბვები რელსის თავიდან ყელში გარდამავალ სონაში	48
4.3	ადგილობრივი ძაბვები რელსის ყელიდან ფუძეში გარდამავალ სონაში	52
4.4	ადგილობრივი ძაბვები საჭანჯიკე ნახერეტების სონაში	52
4.5	თელის დარტყმითი ზემოქმედება	53
<b>თავი 5</b>	<b>პორიზონტალური ძალების ზემოქმედება და ლინდაგის წინააღმდეგობა</b>	<b>56</b>
5.1	პორიზონტალური ძალები	56
5.2	განივი პორიზონტალური ძალები	56
5.3	გრძივი პორიზონტალური ძალები ლინდაგის წინააღობა	60
5.4	ლინდაგის სიგრძივი წინააღობა	62
<b>თავი 6</b>	<b>ლინდაგის ზედა ნაწილის სიმტკიცეზე ბაანბარის შიშის პრაქტიკული მეთოდები</b>	<b>70</b>
6.1	ლინდაგის ზედა ნაწილის სიმტკიცეზე გაანგარიშება	70
6.2	უპირაპირო ლინდაგის გაანგარიშება სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე	78
6.3	უპირაპირო სარელსო გადაბმების სიგრძის განსაზღვრა	84
<b>თავი 7</b>	<b>მომრავი შემადგენლობისა და ლინდაგის მდგრადობის ბაანბარის შიშის</b>	<b>92</b>
7.1	მიმართული, გვერდითი და ჩარჩო ძალების განსაზღვრა	92
7.2	ლინდაგის მდგრადობა განივი გადაადგილებისადმი	93
7.3	მომრავი შემადგენლობის მდგრადობა თელის ქიმის რელსის თავზე შეუგორებლობის პირობით	98
7.4	მომრავი შემადგენლობის გადაყირავებაზე მდგრადობის გაანგარიშება	110
<b>თავი 8</b>	<b>რელსების ამტანობისა და რესურსის ბაანბარის შიშის</b>	<b>114</b>
8.1	ამტანობის მახასიათებლები	114
8.2	ხანგრძლივი სიმტკიცე	116
8.3	ხანგრძლივობა და რესურსი	117
8.4	ექვივალენტური ძაბვები და სიმტკიცის პირობითი მარაგი	118

თავი 9	მოძრაობის დასაშვები სინქარეების დადგენა ისრულ ბადა- მეშენში	120
9.1	მოძრაობის სინქარეების გაზრდის ღონისძიებები გამყოფ პუნქ- ტებზე	120
9.2	მოძრაობის დასაშვები სინქარეების განსაზღვრა თელის ქიმის კალამთან და გადაიქვან მრუდთან დარტყმითი შემოქმედების შედეგად	121
9.3	მოძრაობის დასაშვები სინქარეების განსაზღვრა თელის ქიმის ჯვარედის კენახის ელემენტებთან ძალური შემოქმედების შედე- გად	123
9.4	ისრული გადაიქვანის ფარგლებში მოძრაობის მღოვრულობის უსრუნველყოფის გაანგარიშებები	126
9.5	თელის ქიმის მდგრადობის გაანგარიშება ისრული გადაიქვანის მიმართებულ ელემენტებზე შეეგორებლობის პირობით	127
თავი 10	რკინიგზის ღიანდაგის ელემენტების უპროპიის ტექნიკურ- ეკონომიკური გაანგარიშებები	130
10.1	ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების მეთოდები	130
10.2	ღიანდაგის ზედა ნაშენის ტიპის შერჩევა ძირითადი კრიტერიუ- მების მიხედვით	133
10.3	რელსების სიმძლავრის დადგენა ტვირთდატარებლობის, ღერძზე მოსული დატვირთვისა და მოძრაობის სინქარის მიხედვით	134
10.4	რელსების წონის შემოწმება მოძრაობის სინქარეების ზრდის პერსპექტივის გათვალისწინებით	136
	დანართი	139
	ლიტერატურა	152

**იბეჭდება ავტორთა მიერ წარმოდგენილი სახით**

გადაეცა წარმოებას 26.02.2009. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 01.04.2009. ქაღალდის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 10. ტირაჟი 100 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77

