

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ე. მოისწრაფიშვილი, ნ. რურუა, მ. მოისწრაფიშვილი

მეთოდური მითითებები
საკურსო სამუშაოსათვის საგანში
“რკინიგზის ლიანდაგი”

ლიანდაგის ზედა ნაშენის გაანგარიშებები



რეგისტრირებულია სტუ-ს
სარედაქციო საგამომცემლო
საბჭოს მიერ

თბილისი

2009

მეთოდურ მითითებებში განხილულია რკინიგზის ლიანდაგის სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე გაანგარიშების პრაქტიკული მეთოდები, ლიანდაგის ზედა ნაშენის ელემენტების შერჩევის პრინციპები და მათში დასაშვები ძაბვების განსაზღვრა.

მეთოდური მითითებები 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. მეთოდური მითითებები შედგენილია მოქმედი სტანდარტების დაცვით, კურიკულუმებისა და სილაბუსების შესაბამისად.

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

რეცენზენტი: ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,
ასოცირებული პროფესორი

გ.კვანტალიანი

შესავალი

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

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

მაგალითისათვის, რელსი ლიანდაგის კონსტრუქციის ერთ-ერთი მთავარი ელემენტი, ამავე დროს იგი წარმოადგენს ისეთ ნაწილს, რომელიც ცვდება მასზე უშუალოდ მგორავ მოძრავი შემადგენლობის თვლებისაგან. რელსის თავის ლითონში (მის კრისტალურ გისოსში) მოძრაობის შედეგად გროვდება დაღლილობითი ხასიათის დეფორმაციები.

ბალასტის შრე შპალის ქვეშ, ლიანდაგზე 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 საძირკვლის ქვეშ, როგორიც შპალია. თვით შპალებშიც, ქვესადების ქვეშ, ნარჩენი დეფორმაციები წარმოიშობა. ლიანდაგის კონსტრუქციის მუშაობის მთელ პერიოდში, რელსებისა და შპალებისაგან შემდგარ გისოსებში გროვდება ნარჩენი გადაწვეები, როგორც ბალასტის მიმართ, ისე საერთოდ გვემაში.

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

შედარებისათვის შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ მაგალითად, რკინიგზის ხიდის დაპროექტებისათვის საკმარისია განისაზღვროს ღერძზე მოსული დატვირთვები, მოძრაობის სიჩქარეები და ძალთა მოდების სქემა; ლიანდაგის ზედა ნაშენის დაპროექტების დროს აუცილებელია დამატებით განისაზღვროს ტვირთდაძაბულობა. ამასთანავე ტვირთდაძაბულობის გავლენა მით უფრო გადამწყვეტია, რაც მეტია მისი მოცულობა.

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

ტვირთდაბაზულობა წარმოადგენს ძირითად ფაქტორს, აგრეთვე ლიანდაგის ზედა ნაშენის ტიპიზაციის დადგენის დროსაც.

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

ლიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე გაანგარიშება ეფუძნება ღუნვის ისეთ თეორიას, რომლის მიხედვითაც რელსი განიხილება, როგორც უსასრულო სიგრძის უჭრი 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, რომლებიც წარმოიშობა მის ელემენტებში, ლიანდაგში მოქმედი ფაქტორებისა და საკუთარი ძაბვების ზემოქმედების გათვალისწინებით. შესაძლოა ამ ამოცანის დაყენება სხვანაირადაც: ტვირთდაბაზულობისა და გატარებული ტვირთების რაოდენობის გათვალისწინებით, განსაზღვროს ისეთი დატვირთვები და მოძრაობის სიჩქარის მნიშვნელობები, რომლის დროსაც ძაბვები და დეფორმაციები არ გადააჭარბებენ დასაშვებ სიდიდეებს, მაშასადამე ლიანდაგის სიმტკიცე და მდგრადობა უზრუნველყოფილი 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 ზემოქმედებათა მრავალჯერადობისა და ერთობლიობის გამომჟღავნების შესაძლო აღრიცხვით და ლიანდაგის წინააღობის ცვალებადობის გათვალისწინებით.

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

სწორ, თარზულ ლიანდაგზე უქარო ამინდში მდგარი ვაგონი ან ლოკომოტივი (გამორთული ძრავებით) მხოლოდ სტატიკურად ზემოქმედებს 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 ზემოქმედება ლიანდაგზე გაცილებით უფრო რთული ხასიათისაა. სტატიკურ მდგომარეობაში თანაბრად განაწილებული დატვირთვაც კი მოძრაობის დროს ღერძებს შორის არათანაბრად გადანაწილდება.

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; წაძვრის ძალები; ტემპერატურული ძალები და სხვა.

ლიანდაგზე მოქმედი ძალები ორ ძირითად ჯგუფად იყოფიან: ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ძალები. მაგრამ გაანგარიშებებში მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ აგრეთვე ირიბი სივრცითი ძალები და მგრეხი მომენტები. ამიტომ ლიანდაგის ზედა ნაშენის სივრცობრივი გაანგარიშება საერთო გაანგარიშებების ერთ-ერთი ნაწილია.

1. ლიანდაგის ზედა ნაწილის გაანგარიშება სიმტკიცეზე

1.1. ძირითადი დაშვებები და წანამძღვრები ლიანდაგის სიმტკიცეზე გაანგარიშების დროს

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

1. რელსი განიხილება, როგორც უსასრულო სიგრძის უჭრი კოჭი. პირაპირების გავლენის გამორიცხვის მიზნით საანგარიშო კვეთი აღებულ უნდა იქნას პირაპირიდან არა ნაკლებ 3,5 მეტრის დაშორებით. პირაპირის კონსტრუქცია კი ცალკე გაიანგარიშება;
2. რელსი, როგორც უსასრულო სიგრძის უჭრი კოჭი განიხილება მდებარე თანაბარდრეკად საფუძველზე. სინამდვილეში იგი დევს ურთიერთ ახლო განლაგებულ წერტილოვან საფუძველზე – შპალებზე. ამ დაშვების საფუძველს იძლევა რელსის დიდი სიხისტე და თანაბარდრეკად საფუძველზე – ბალასტზე განლაგებული შპალები, რომლებიც ერთმანეთთან იმდენად ახლოს მდებარეობს, რომ ვერტიკალური დატვირთვების დროს რელსების ჩაღუნვის სიდიდე შპალებს შორის და შპალების 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 $1/20$ მხედველობაში არ მიიღება. ჰორიზონტალური 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 ჰორიზონტალური ძალების ზემოქმედება განიხილება გარე რელსის მიმართ;
4. დაშვებულია, მოძრაობის დროს თვალი არ წყდება რელსს, ე.ი. მიღებულია, რომ თვლის დარტყმით ზემოქმედებას ადგილი არ აქვს. თვლის 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 ჰიპოთეზაზე;
 7. ლიანდაგის ელემენტებში ძაბვების განსაზღვრისას სტატიკური ფორმულები ძალაში რჩება დინამიკის დროსაც. ე.ი. არადრეკადი წინაღობების, რხევებისა და დეფორმაციათა გავრცელების სიჩქარეები 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 სავალი 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 გავლენა ძაბვების სიდიდეზე მეტად უმნიშვნელოა.
 11. ლიანდაგის ელემენტებში ვერტიკალური დინამიკური ძალებით გამოწვეული ძაბვების განსაზღვრისათვის მიღებულია, რომ საანგარიშო თვლიდან საანგარიშო კვეთს გადაეცემა მაქსიმალური რეალური დატვირთვა $\Phi = 0,994$ ალბათობით, ხოლო მეზობელი თვლებიდან საშუალო სიდიდის დატვირთვები.
- ასეთი დაშვება პრაქტიკულად მცირე ცდომილებას იწვევს, რადგანაც მეზობელი თვლების გავლენა საანგარიშო კვეთში ძაბვებისა და დრეკადი ჩაღუნვის სიდიდეებზე 20%-ს არ აღემატება. გარდა ამისა მეზობელი თვლებისაგან გადაცე-

მული დატვირთვები იწვევს კვეთის არა მარტო გადამეტვირთვას, არამედ ზოგჯერ განტვირთვას, რაც კიდევ უფრო ამცირებს საანგარიშო კვეთზე მეზობელი თვლების გაყვლების ხარისხს;

12. გაანგარიშებებით დადგინდება ლიანდაგის ელემენტებში დასაშვები ძაბვები და არა მათი სამსახურის ვადა რესურსების ამოწურვაზე.

12. 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 ხაზობრივი დამოკიდებულება. ამ დამოკიდებულების საფუძველზე შეიძლება დავწეროთ:

$$P = Cy \quad (1.1)$$

სადაც P – შპალის საწოლის 1მ^2 მოსული დატვირთვაა;

y – შპალის დრეკადი ჩაღუნვის სიდიდე;

C – შპალის საფუძვლის დრეკადობის მახასიათებელი, ე.წ. საფუძვლის დამყოლობის ანუ შპალის საწოლის კოეფიციენტი. დაწოლის ძალა, რომელიც იწვევს შპალის დრეკად ჩაღუნვას ერთეული სიდიდით, კგ/სმ² და ტოლია

$$C = \frac{P}{y} \quad (1.2)$$

როცა $y = 1$, მაშინ $C = P$.

შპალის საწოლის კოეფიციენტი C წარმოადგენს ლიანდაგის საფუძვლის დრეკადობის ხარისხის მახასიათებელს, დამოკიდებულს ბალასტის სახეობაზე, მისი გაჭუჭყიანების ხარისხზე, დატკეპნილობაზე, მიწის ვაკისის მდგომარეობაზე, წელიწადის დროზე. C კოეფიციენტის მნიშვნელობა გაყინული ბალასტისათვის გაცილებით მეტია, ვიდრე გაუყინავისათვის.

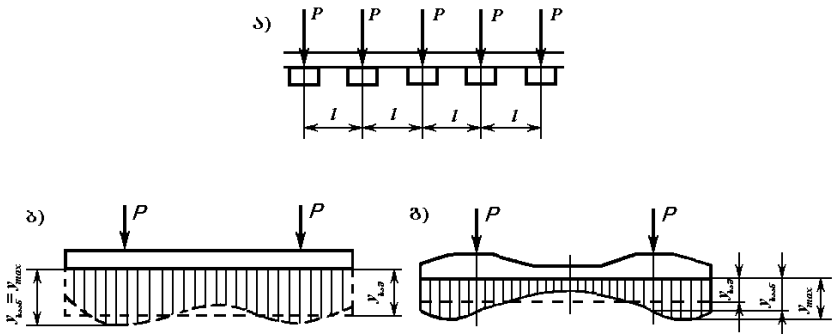
თუ დაუშვებთ, რომ შპალის მასალა აბსოლუტურად ხისტია და შპალზე თითოეული რელსიდან გადაეცემა $P_1 = P_2 = P$ ძალა, მაშინ შპალის დრეკადი საშუალო ჩაღუნვა ტოლი იქნება $y_{\text{საშ}}$ და შეგვიძლია დავწეროთ (ნახ. 1.1):

$$2P = Caby_{\text{საშ}} \quad (1.3)$$

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 $y_{\text{max}} = y_{\text{საშ}}$ რელსების ქვეშ აღწევს (ნახ. 1.1-ბ), ხოლო 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.1.1-გ).



ნახ.1.1 შპალებზე ძალების გადაცემის სქემა (ა); შპალების დრეკადი ჩაღუნვა დატვირთვის ქვეშ: (ბ) ხის შპალების და (გ) რკინაბეტონის შპალების.

შპალის საშუალო დრეკადი ჩაღუნვა ტოლია

$$y_{\text{საშ}} = \alpha y_{\text{საანგ}}, \quad (1.4)$$

მაშასადამე

$$2P = C\alpha aby_{\text{საანგ}}, \quad (1.5)$$

$$P = \frac{C\alpha ab}{2} y_{\text{საანგ}}. \quad (1.6)$$

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

$$P = \frac{C\alpha ab}{2} \quad (1.7)$$

სადაც α – შპალის დრეკადი გაღუნვის კოეფიციენტი, $\alpha = 0,7 \div 0,9$ ხის შპალებისათვის; $\alpha = 0,9$ რკინა-ბეტონის შპალებისათვის.

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

$$U = \frac{P}{l} \quad (1.8)$$

აქედან

$$P = Ul \quad (1.9)$$

ხოლო

$$U = \frac{C\alpha ab}{2l} \quad (1.10)$$

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

თანაბარდრეკადი საფუძვლის რეაქციის ძალა q_x თანაბრად განაწილებული ტვირთით დატვირთული რელსის საფუძველზე დაწოლის ინტენსივობის ტოლია, რომელიც იწვევს y სიდიდის დრეკად ჩაღუნვას.

$$q_x = Uy \quad (1.11)$$

ერთეული სიდიდით ჩაღუნვის შემთხვევაში, როცა $y = 1$

$$q_x = U \quad (1.12)$$

ხის შპალებისათვის ზაფხულის პერიოდში სარელსო საფუძვლის დრეკადობის მოდული იცვლება $U = 200 \div 300$ კგ/სმ² ფარგლებში, ხოლო ზამთრის პერიოდში $U = 450 \div 500$ კგ/სმ² ფარგლებში.

რკინაბეტონის შპალების სარელსო საფუძვლის დრეკადობის მოდულის სიდიდე გაცილებით მეტია, ვიდრე ხის შპალებისა და აღწევს $U = 1700 \div 2000$ კგ/სმ².

1.3 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 სინქარის დროს, რომელიმე მანქანის გამომუშავება და სხვა.

ვთქვათ 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

$$\overline{X}_{\text{საშ}} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1.13)$$

რაც მეტია დაკვირვებათა რიცხვი n მით უფრო მეტი სიზუსტით ახასიათებს საშუალო არითმეტიკული სიდიდე გამოსაკვლევ 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 $X_1=900$ კგ/სმ² და $X_2=700$ კგ/სმ², მაშინ მათი საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა ტოლი იქნება $\overline{X} = 800$ კგ/სმ².

მეორე შემთხვევაში დაკვირვებათა ცალკეული მნიშვნელობები შეიძლება იყოს $X_1=1200$ კგ/სმ² და $X_2=400$ კგ/სმ², ხოლო მათი საშუალო არითმეტიკული სიდიდე ტოლია $\overline{X} = 800$ კგ/სმ².

როგორც მაგალითებიდან ჩანს, საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა ორივე შემთხვევაში ერთნაირი სიდიდისაა, მაგრამ იგი სრულად ვერ ახასიათებს ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა აბსოლუტურ სიდიდეებს, როცა მაქსიმუმი ერთ შემთხვევაში

ტოლია $X_{\max} = 1200 \text{ კგ/სმ}^2$, მეორე შემთხვევაში $X_{\max} = 900 \text{ კგ/სმ}^2$, ასევე ამ მნიშვნელობათა მინიმუმი ერთ შემთხვევაში $X_{\min} = 700 \text{ კგ/სმ}^2$, ხოლო მეორე შემთხვევაში $X_{\min} = 400 \text{ კგ/სმ}^2$ ტოლია.

ბუნებრივია, ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა საშუალო არითმეტიკულის ნაცვლად ვიპოვოთ ისეთი მაჩვენებელი, 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 გაავოფოთ დაკვირვებათა რიცხვზე, ე.ი.

$$\frac{\sum(\bar{X} - X_i)}{n} \quad (1.14)$$

მაგრამ ეს სიდიდე თვით საშუალო არითმეტიკული სიდიდის ბუნებიდან გამომდინარე ნულის ტოლია. განხილული მაგალითის მიხედვით

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

ამიტომ ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა განთესვის ხარისხის გათვალისწინების მიზნით გამოთვლიან ამ მნიშვნელობათა საშუალო არითმეტიკულ სიდიდეს, შემდეგ გამოთვლიან საშუალო არითმეტიკულისა და თითოეულ ცალკე მნიშვნელობათა სხვაობას, აიყვანენ კვადრატში და ამოფესვავენ. ამით მიიღება საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე

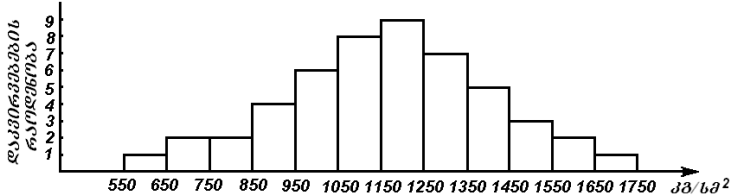
$$S = \sqrt{\frac{\sum(\bar{X} - X_i)^2}{n}} \quad (1.15)$$

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

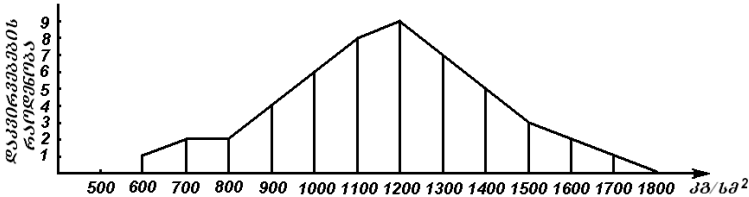
ლიანდავის ნებისმიერ საანგარიშო კვეთში მოქმედ მუდმივ და ცვალებად ძალთა ერთობლივი მოქმედების აღბათობითი ხასიათის გამო, ამ ძალების ტოლქმედი უნდა განისაზღვროს აღბათობის ისეთი ხარისხით, რომელიც უზრუნველყოფს კონსტრუქციის გამართულ მუშაობას ნებისმიერ საექსპლუატაციო პირობებში.

საერთოდ არსებობს ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა განაწილების სხვადასხვა კანონები, რომელთა მიხედვით აიგება განაწილების ალბათობის მრუდები. საინჟინრო პრაქტიკაში ფართოდ არის გავრცელებული ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა ნორმალური განაწილების, ანუ გაუსის მრუდები, (ნახ. 1.2).

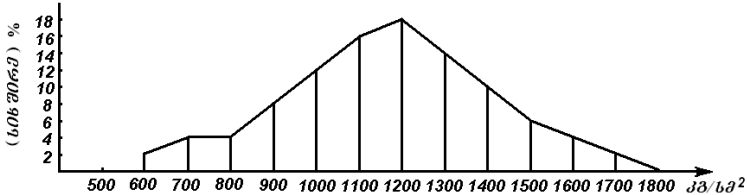
ა)



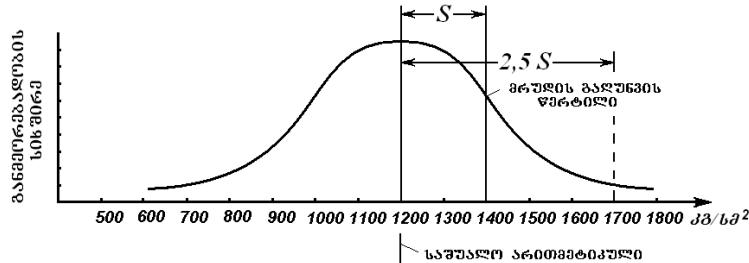
ბ)



გ)



დ)



ნახ. 1.2. კერძო მნიშვნელობათა განთესვის გრაფიკები:
 ა – განაწილების პისტოგრამა; ბ – განაწილების მრავალკუთხედი; გ – სიხშირეების პოლოგონი; დ – ნორმალური განაწილების (გაუსის) მრუდი.

მათემატიკური სტატისტიკის კანონების მიხედვით ცალკეულ კერძო მნიშვნელობათა ნორმალური განაწილების ალბათობის შემთხვევაში ცვალებად ძალთა ტოლქმედი, რომელიც გარკვეული ალბათობით უზრუნველყოფს კონსტრუქციის გამართულ მუშაობას ტოლია:

$$P_{\max} = \bar{P} + \lambda_{\phi} S \quad (1.16)$$

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

λ_{ϕ} – მანორმირებელი მამრავლი (კვანტილი), რომელიც უზრუნველყოფს $P_{\max}$ ძალის ისეთი მნიშვნელობას, რომელიც შეესაბამება ალბათობის ჩვენთვის მისაღებ Φ დონეს, ამოიღება ცხრილებიდან, (ცხრ.1.1). $\lambda_{\phi}=2,5$ ეს ისეთი მნიშვნელობაა, რომელიც უზრუნველყოფს ალბათობის სიზუსტეს 99,4%, ე.ი. შეიძლება დავწეროთ

$$P_{\max} = \bar{P} + 2,5S \quad (1.17)$$

ნახ.1.2–ის მიხედვით $\bar{P}=1200 \text{ კგ/სმ}^2$, $S=200 \text{ კგ/სმ}^2$, მაშასადამე
 $P_{\max} = 1200 + 2,5 \times 200 = 1700 \text{ კგ/სმ}^2$

ცხრილი 1.1.

λ_{ϕ}	0	1	2	2,5	3	4	5	6
$P_{\max} = \bar{P} + \lambda_{\phi} S$	$\bar{P}$	$\bar{P} \pm S$	$\bar{P} \pm 2S$	$\bar{P} \pm 2,5S$	$\bar{P} \pm 3S$	$\bar{P} \pm 4S$	$\bar{P} \pm 5S$	$\bar{P} \pm 6S$
Φ	0,500	0,84134	0,97725	0,99379	0,99865	0,999968	0,9999997	1,0000

14. ლიანდაგის სიმტკიცეზე სტატიკური გაანგარიშების საფუძველები ვერტიკალური ძალების ზემოქმედებაზე

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

ძირითადი საანგარიშო ფორმულების გამოსაყვანად სარგებლობენ მასალათა გამძლეობის კანონებით, კერძოდ შვენდლერ-ჟურავსკის თეორიით.

ცნობილია, რომ კოჭზე მოქმედი მღუნავი მომენტი ტოლია

$$M = -EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (1.18)$$

სადაც E – კოჭის მასალის დრეკადობის მოდულია. სარელსო

ფოლადისათვის $E = 2,1 \times 10^6$ კგ/სმ²;

I – რელსის ინერციის მომენტი;

EI – რელსის სიხისტე.

განივი ძალა კი ტოლია რელსის EI სიხისტისა და დრეკადი ჩაღუნვის მესამე რიგის წარმოებული ნამრავლის

$$Q = -EIY''' \quad (1.19)$$

ვიცით, რომ

$$q_x = -Uy \quad (1.20)$$

მაშინ

$$Uy = -EIy^{IV} \quad (1.21)$$

(1.21) გავეყოთ EI და გაგუტოლოთ y -ს:

$$y^{IV} + \frac{U}{EI} y = 0 \quad (1.22)$$

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

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

$$\frac{U}{EI} = 4k^4 \quad (1.23)$$

(1.23) ფორმულიდან

$$k = \sqrt[4]{\frac{U}{4EI}} \text{ სმ}^{-1} \quad (1.24)$$

როგორც ვხედავთ k სიდიდე დამოკიდებულია სარელსო საფუძვლის სიხისტის U მახასიათებელზე და რელსის სიხისტის EI სიდიდეთა ფარდობაზე, ამიტომ იგი წარმოადგენს სარელსო საფუძვლისა და რელსის სიხისტის ფარდობით კოეფიციენტს.

ძირითადი დიფერენციალური (1.22) განტოლების გაინტეგრაცი-
 ლებით, ცნობილი ($x = \infty, y = 0; x = 0, y' = 0; x = 0, Q = \frac{P}{2}$) ზღვრული
 პირობების ფარგლებში მივიღებთ ძირითად საანგარიშო ფორ-
 მულებს, რომლებითაც სარგებლობენ ლიანდაგის სიმტკიცეზე
 გაანგარიშების დროს
 მღუნავი მომენტი

$$M = \frac{P}{4k} \mu \quad (1.25)$$

რელსების დრეკადი ჩაღუნვის სიდიდე

$$y = \frac{Pk}{2U} \eta \quad (1.26)$$

შპალზე გადაცემული დატვირთვა (განივი ძალა) გამომდინა-
 რე იქედან, რომ რელსის ერთეულ სიგრძეზე რეაქციული
 უკუქცევა ტოლია q_x სიდიდის, ხოლო შპალების ღერძებს შორ-
 ის მანძილია l , ტოლი იქნება $Q = q_x l$, $q_x = Uy$, მაშინ

$$Q = Uy l = U \frac{Pk}{2U} \eta l = \frac{Pkl}{2} \eta \quad (1.27)$$

(1.25), (1.26) და (1.27) ფორმულებში $\frac{P}{4k}, \frac{Pk}{2U}$ და $\frac{Pkl}{2}$ მუდმივი
 სიდიდეები მრავლდება μ და η სიდიდეებზე.

სადაც μ – მღუნავი მომენტის გავლენის ხაზის ორდინატაა,
 (ნახ.1.3);

η – განივი ძალისა და რელსის დრეკადი ჩაღუნვის
 გავლენის ხაზის ორდინატები. (ნახ.1.4).

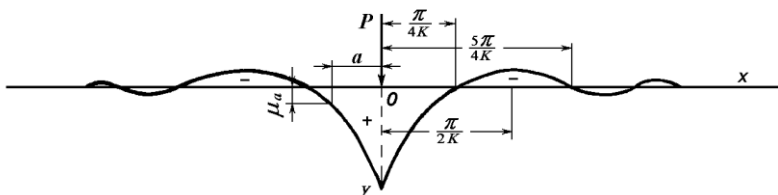
$$\mu = e^{-kx} (\cos kx - \sin kx) \quad (1.28)$$

$$\eta = e^{-kx} (\cos kx + \sin kx) \quad (1.29)$$

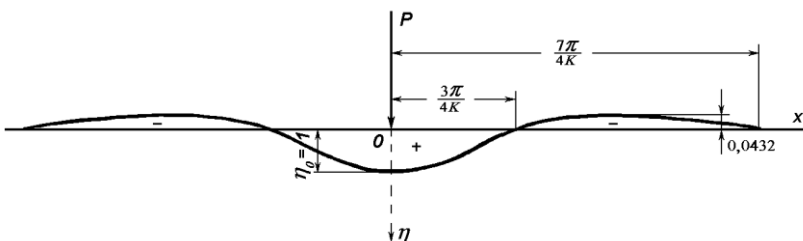
როგორც ვხედავთ μ და η სიდიდეები დამოკიდებულია kx
 ნამრავლის ფუნქციაზე. ფუნქცია kx საშუალებას იძლევა გამო-
 ვთვალოთ μ და η მნიშვნელობები x -ის ნებისმიერი მნიშვნელ-
 ობისათვის.

μ და η მნიშვნელობები საანგარიშო კვეთში, საანგარიშო
 თვლის ქვეშ მიიღება 1-ის ტოლი. საანგარიშო კვეთიდან დაშო-
 რების პროპორციულად მათი მნიშვნელობები მცირდება და შეი-
 ძლება მინუს ნიშნით აღმოჩნდეს. ამ ეპიურების ერთ-ერთი თავი-
 სებურებაა მათი გავლენის სწრაფად ჩაქრობა, ამიტომაც საან-

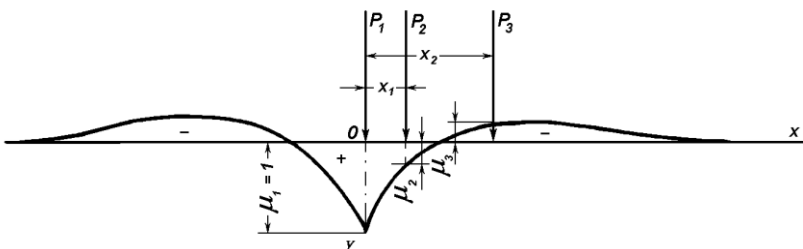
გარიშო კვეთიდან 3,5 მ-ზე მეტი დაშორების შემთხვევაში μ და η შეიძლება ნულს გავეუტოლოთ. რაც იმას ნიშნავს, რომ საანგარიშო თვლის გავლენა 3,5 მ-ს იქეთ პრაქტიკულად არ ვრცელდება.



ნახ.1.3. μ -ს ეპიურა P ძალის O კვეთში მოღების შემთხვევაში



ნახ. 1.4. η -ს ეპიურა P ძალის O კვეთში მოღების შემთხვევაში



ნახ. 1.5. მღუნავი მომენტის საანგარიშო სქემა O კვეთში ძალთა სისტემის მოღების შემთხვევაში (μ -ს ეპიურა)

დავეუშვათ, რომ რელსზე მოქმედებს რამდენიმე ძალა, მაგალითად P_1, P_2 და P_3 (ნახ.1.5), მაშინ ამ ძალების ზემოქმედებისა-

გან გამოწვეული მღუნავი მომენტი 0 წერტილის მიმართ ტოლი იქნება:

$$M = [P_1\mu_1 + P_2\mu_2 + P_2(-\mu_3)] \frac{1}{4k} \quad (1.32)$$

ანუ

$$M = \frac{1}{4k} \sum P_i \mu_i \quad (1.33)$$

ხოლო რელსის ფუძის წიბოში ძაბვა გამოწვეული მღუნავი მომენტისაგან ტოლი იქნება

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1}{4kW} \sum P_i \mu_i \quad (1.34)$$

ანალოგიური მსჯელობით შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$Q = \frac{kl}{2} \sum P_i \eta_i \quad (1.35)$$

და

$$y = \frac{k}{2U} \sum P_i \eta_i \quad (1.36)$$

1.5. 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 μ და η ეპიურები ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავდება, ამდენად ექვივალენტური დინამიკური ძალებიც შესაბამისად დამოკიდებულია μ და η სიდიდეებზე. მასაშადამე გაანგარიშებებში მონაწილეობს $P_{\text{აძა}}^I$ ძალა, რომლის მიხედვითაც გამოითვლება მღუნავი მომენტი და $P_{\text{აძა}}^{II}$ ძალა, რომელზედაც დამოკიდებულია რელსის დრეკადი ჩაღუნვა და შპალზე გადაცემული დატვირთვა.

ესარგებლობთ რა (1.33), (1.35) და (1.36) ფორმულებით შეგვიძლია დავწეროთ:

რელსზე მოქმედი დინამიკური მომენტი

$$M_{\text{ღოფ}} = \frac{1}{4k} P_{\text{მძვ}}^I \mu \quad (1.37)$$

რადგანაც საანგარიშო კვეთში $\mu=1$, მაშინ

$$M_{\text{ღოფ}} = \frac{1}{4k} P_{\text{მძვ}}^I \quad (1.38)$$

ხოლო, პორიზონტალური განივი ძალების და ვერტიკალური დატვირთვების ექსცენტრული მოდების გათვალისწინებით

$$M_{\text{ღოფ}} = \frac{f}{4k} P_{\text{მძვ}}^I \quad (1.39)$$

რელსის დრეკადი ჩაღუნვის სიდიდე საანგარიშო კვეთში, როცა $\eta=1$

$$y_{\text{ღოფ}} = \frac{k}{2U} P_{\text{მძვ}}^{II} \quad (1.40)$$

შპალებზე გადაცემული დატვირთვა საანგარიშო კვეთში, როცა $\eta=1$

$$Q_{\text{ღოფ}} = \frac{kl}{2} P_{\text{მძვ}}^{II} \quad (1.41)$$

$P_{\text{მძვ}}^I$ და $P_{\text{მძვ}}^{II}$ ექვივალენტური ძალები წარმოადგენენ ჯამურ ძალებს, რომლებიც შედგებიან ლიანდაგზე მოქმედი სხვადასხვა ძალებისაგან, რომელთაგან მხოლოდ სტატიკური დატვირთვა $P_{\text{სტ}}$ წარმოადგენს მუდმივი სიდიდის ძალას. დანარჩენი ძალები კი ცვალებადი სიდიდისაა და მათი სიდიდეები დამოკიდებულია მრავალ ობიექტურ და სუბიექტურ ფაქტორზე.

დამატებითი დინამიკური ძალების წარმოშობი ფაქტორებია: რესორების რხევა, ლიანდაგის უსწორობები, თვალზე არსებული იზოლირებული და უწყვეტი უსწორობები, სარელსო საფუძვლის არათანაბარდრეკადობა და სხვა.

ლიანდაგის გაანგარიშებისას მასზე მაქსიმალური ძალური ზემოქმედების გასათვალისწინებლად, თავდაპირველად უნდა განისაზღვროს ყველა დამატებითი ძალების ერთობლივი ზემოქმედების საშუალო მნიშვნელობა, მას დაემატოს დამატებითი დინამიკური ძალების ჯამური მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე გამრავლებული 2,5-ზე.

საანგარიშო კვეთში დატვირთვათა სისტემის მაქსიმალური ტოლქმედი ძალის გამოთვლისას, საანგარიშო თვლის დაწოლა აიღება მაქსიმალური მნიშვნელობით, ხოლო მეზობელი თვლების გავლენა საშუალო მნიშვნელობით. მაშინ

$$P_{\text{მძ}}^I = P_{\text{საშ}} + 2,5S + \sum P_{\text{საშ}}\mu \quad (142)$$

$$P_{\text{მძ}}^{II} = P_{\text{საშ}} + 2,5S + \sum P_{\text{საშ}}\eta \quad (143)$$

სადაც $\sum P_{\text{საშ}}\mu$ და $\sum P_{\text{საშ}}\eta$ მეზობელი თვლების დაწოლის გავლენაა საანგარიშო კვეთზე.

შევიტანოთ $P_{\text{მძ}}^I$ და $P_{\text{მძ}}^{II}$ (139), (140), (141) ფორმულებში, მაშინ

$$M_{\text{ღონ}} = \frac{f}{4k} (P_{\text{საშ}} + 2,5S + \sum P_{\text{საშ}}\mu) \quad (144)$$

$$Q_{\text{ღონ}} = \frac{kl}{2} (P_{\text{საშ}} + 2,5S + \sum P_{\text{საშ}}\eta) \quad (145)$$

$$y_{\text{ღონ}} = \frac{k}{2U} (P_{\text{საშ}} + 2,5S + \sum P_{\text{საშ}}\eta) \quad (146)$$

შესაბამისად ძაბვა რელსის ფუძის წიბოში, აღძრული დინამიკური მომენტსაგან ტოლი იქნება

$$\sigma_{\text{რ.ფ.}} = \frac{M_{\text{ღონ}}}{W} = \frac{f}{4kW} (P_{\text{საშ}} + 2,5S + \sum P_{\text{საშ}}\mu) \quad (147)$$

სადაც W – რელსის წინაღობის მომენტი, სმ³.

1.6. დასაშვები ძაბვების მნიშვნელობები ლიანდაგის ელემენტებში

ნებისმიერი კონსტრუქციის სიმტკიცისა და საიმედოობის უზრუნველყოფის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ის, რომ ამ კონსტრუქციაზე მოქმედ დატვირთვათა სისტემისაგან აღძრული ძაბვების სიდიდე, მარაგის სათანადო კოეფიციენტის გათვალისწინებით არ უნდა აღემატებოდეს ამ კონსტრუქციის სიმტკიცის ზღვარს.

კონსტრუქციის გაანგარიშებისათვის აუცილებელია დადგენილ იქნას საანგარიშო და დასაშვები ძაბვების მნიშვნელობები.

საანგარიშო ძაბვების მნიშვნელობა განისაზღვრება კონსტრუქციაზე მოქმედ დატვირთვათა სისტემის შესაძლო მაქსიმალური ზემოქმედების 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 $P43$ და უფრო მძიმე ტიპის რელსებისათვის, ფუძის წიბოში დასაშვები ძაბვის სიდიდე დადგენილი იყო სარელსო ფოლადის დენადობის მინიმალური ზღვრის მიხედვით $[\sigma_{\text{ფ.ფ.}}]=3500$ კგ/სმ², (350 მეგპა), I^a და უფრო მსუბუქი ტიპის რელსებისათვის $[\sigma_{\text{ფ.ფ.}}]=3000$ კგ/სმ² (300 მეგპა).

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

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე $P50$ და უფრო მძიმე ტიპის რელსებისათვის, სიგრძით 12,5 და 25 მ. რეკომენდებულია დასაშვები ძაბვების შემდეგი მნიშვნელობები, (ცხრილი 1.2).

ცხრილი 1.2

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

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

ხის შპალებში ქვესადების ქვეშ დასაშვები ძაბვების მნიშვნელობები დამოკიდებულია ზედა ნაშენის ტიპზე და მოძრავი შემადგენლობის სახეობაზე (ცხრილი 1.3).

ცხრილი 1.3.

მოძრავი შემადგენლობის სახეობა	დასაშვები ძაბვების მნიშვნელობები $[\sigma_a]$ კგ/სმ ² (მეგპა)	
	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 1.4).

ცხრილი 1.4.

ბალასტის სახეობა და ფრაქციების ზომები	დასაშვები ძაბვების მნიშვნელობები $[\sigma_a]$ კგ/სმ ² , (მეგპა)	
	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 გაგრძელებული თიხნარი გრუნტებისაგან, დასაშვები ძაბვების სიდიდე მიღებულია $[\sigma_{a,p}]=0,8$ კგ/სმ², (0,08 მეგპა).

საანგარიშო ძაბვების გადაჭარბება დასაშვები ძაბვების სიდიდეზე იმაზე მიუთითებს, რომ საჭიროა ღიანდაგის კონსტრუქციისა და მისი მოვლა-შენახვის სამუშაოების გაძლიერება. ამასთან ერთად უნდა გავითვალისწინოთ, რომ საანგარიშო ძაბვების გადაჭარბება შპალებში და ბალასტში დასაშვებთან შედარებით

არა უმეტეს 30%-ისა, არ მოითხოვს მოძრაობის სიჩქარის დაუ-
ყოვნებლივ შემცირების აუცილებლობას.

1.7. ღიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე გაანგარიშების პრაქტიკული მეთოდები

ღიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის
თავდაპირველად უნდა განისაზღვროს მასზე მოქმედი ყველა ვე-
რტიკალური ძალების ტოლქმედის საშუალო მნიშვნელობა.

$$P_{\text{საშ}} = P_{\text{სტ.}} + P_{\text{რ}}^{\text{საშ}} \quad (1.48)$$

სადაც $P_{\text{სტ.}}$ – თვლიდან რელსზე გადაცემული სტატიკური
დატვირთვაა, (დანართი, ცხრილი 2).

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

რელსებზე მოდებული დინამიკური მომენტის $M_{\text{ღონ}}$ შპალებ-
ზე გადაცემული დინამიკური დატვირთვის $Q_{\text{ღონ}}$ და რელსების
დრეკადი დინამიკური ჩაღუნვის $y_{\text{ღონ}}$ მნიშვნელობათა განსაზღვ-
რისათვის საჭიროა განისაზღვროს ექვივალენტური დინამიკური
ძალების $P_{\text{ექვ}}^I$ და $P_{\text{ექვ}}^{II}$ სიდიდეები. ამისათვის აუცილებელია განი-
საზღვროს ღიანდაგზე მოქმედი ყველა დამატებითი დინამიკური
ინერციული ძალებისა და მათი საშუალო კვადრატული გადახრ-
ის მნიშვნელობები.

რესორების რხევით გამოწვეული დამატებითი დინამიკური
ძალა $P_{\text{რ}}$ განისაზღვრება რესორების დრეკადი ჩაღუნვის მაქსი-
მალური სიდიდისა და რესორის სიხისტესთან დამოკიდებულებ-
ის მიხედვით

$$P_{\text{რ}} = \mathcal{K} z_{\text{max}} \quad (1.49)$$

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

z_{max} – რესორის დრეკადი ჩაღუნვის მაქსიმალური
სიდიდე,

$$z_{\text{max}} = a_{\text{რ}} + b_{\text{რ}} v^2 \quad (1.50)$$

სადაც a_{ϕ} და b_{ϕ} – ცდებით დადგენილი პარამეტრებია, (დანართი, ცხრილი 8);

v – მოძრაობის მაქსიმალური სიჩქარე.

ელმავლებისათვის და თბომავლებისათვის სავალის ნაწილების ორსაფეხურიანი ჩამოკიდებით (БЛ10, БЛ60, 4С1, 4С2, 4С3, ТЭП60), რესორების რხევით გამოწვეული დინამიკური ძალა P_{ϕ} განისაზღვრება ფორმულით:

$$P_{\phi} = K_{\text{გონ}} (P_{\text{სტ}} - q) \quad (1.51)$$

სადაც q – დაურესორებელი მასის წონა მოსული ერთ თვალზე;

$K_{\text{გონ}}$ – დაურესორებელი მასის დინამიკურობის კოეფიციენტი.

$$K_{\text{გონ}} = 0,1 + 0,2 \frac{v}{f_{\text{სტ}}} \quad (1.52)$$

სადაც v – მოძრაობის სიჩქარეა;

$f_{\text{სტ}}$ – სარესორო ჩამოკიდების სრული სტატიკური ჩალუნვა, ორსაფეხურიანი ჩამოკიდების შემთხვევაში, მმ.

$$f_{\text{სტ}} = f_I + f_{II} \quad (1.53)$$

სადაც f_I – ჩამოკიდების პირველი საფეხურის (ურიკასა და ბუქსებს შორის) სტატიკური ჩალუნვის სიდიდე;

f_{II} – ჩამოკიდების მეორე საფეხურის (ძარასა და ურიკას შორის) სტატიკური ჩალუნვის სიდიდე.

სტატიკური ჩალუნვის სიდიდე БЛ10 და ТЭП60 ლოკომოტივებისათვის ტოლია $f_{\text{სტ}}=104$ მმ, 4С1 და 4С3 ელმავლებისათვის – $f_{\text{სტ}} = 90$ მმ, БЛ60 ელმავლისათვის – $f_{\text{სტ}} = 5$ მმ, ხოლო 4С2 ელმავლისათვის – $f_{\text{სტ}}=123$ მმ.

რესორების რხევით გამოწვეული დამატებითი დინამიკური ძალის საშუალო მნიშვნელობა აიღება P_{ϕ} ძალის 75%.

$$P_{\phi}^{\text{საშ}} = 0,75 P_{\phi} \quad (1.54)$$

ხოლო $P_{\phi}^{\text{საშ}}$ – ძალის საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე ტოლია

$$S_{\phi} = 0,08 P_{\phi} \quad (1.55)$$

ლიანდაგის უსწორობით გამოწვეული დამატებითი დინამიკური ძალის მნიშვნელობა დამოკიდებულია უსწორობის გეომეტრიულ ფორმაზე. ე.ი. მისი მხების უდიდეს კუთხურ მნიშვნელობაზე. უდიდესი კუთხური მნიშვნელობა გააჩნია სინუსოიდური ფორმის უსწორობის მრუდის მხებ სწორ ხაზს. ასეთი სწორის განტოლების მიხედვით, ლიანდაგის უსწორობისაგან გამოწვეული დამატებითი დინამიკური, ინერციული ძალის მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$P_{\text{დ.უ.}} = 0,8 \times 10^{-8} \beta \gamma P_{\text{საშ}} v \sqrt{\frac{U}{k}} \sqrt{q} \quad (1.56)$$

სადაც 0,8 – ლიანდაგის უსწორობის ფორმის გამასაშუალოებული კოეფიციენტი;

β – რელსის ტიპის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი;

δ – ბალასტის სახეობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი;

l – შპალების დერძებს შორის მანძილი;

$P_{\text{საშ}}$ – თვალზე მოსული საშუალო სიდიდის დატვირთვა;

q – დაურესორებული მასის წონა, მოსული ერთ თვალზე;

v – მოძრაობის საანგარიშო სიჩქარე;

U – სარელსო საფუძვლის დრეკადობის მოდული.

β კოეფიციენტის მნიშვნელობები რელსების ტიპის მიხედვით:

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

δ კოეფიციენტის მნიშვნელობები ბალასტის სახეობის მიხედვით:

ღორღი, დახარისხებული ხრეში	– 1,0;
კარიერის ხრეში, ნიჟარა	– 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 ძაღის საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე ხის შპალების შემთხვევაში ტოლია:

$$S_{\text{ლ.უ.}} = 0,707 P_{\text{ლ.უ.}} = 0,565 \times 10^{-8} \beta \delta l P_{\text{საშ}} \nu \sqrt{\frac{u}{k}} \sqrt{q} \quad (1.57)$$

რკინაბეტონის შპალებისათვის კი:

$$S_{\text{ლ.უ.}} = \frac{9,1 \times 10^{-3} P_{\text{საშ}} \nu \sqrt{q}}{(EI)^{1/8} U^{3/8}} = \frac{9,1 \times 10^{-3} P_{\text{საშ}} \nu \sqrt{q}}{\sqrt[8]{EI \times U^3}} \quad (1.58)$$

თველებზე არსებული უსწორობებისაგან გამოწვეული დამატებითი ინერციული ძაღების განსაზღვრისას უნდა გავითვალისწინოთ შემდეგი გარემოებები:

როგორც ცნობილია თვეებს გააჩნიათ უწყვეტი და იზოლირებული უსწორობები.

ყველაზე ფართოდ გავრცელებულია თველებზე არსებული უწყვეტი უსწორობები, როგორებიცაა თვღის გორგის ზედაპირის არათანაბარი ცვეთა, თვღის ოვალურობა და სხვა. გაანგარიშებებში დაშვებულია, რომ შემადგენლობის თველების საერთო რიცხვის 95%-ს უწყვეტი უსწორობები გააჩნიათ.

გაცილებით ნაკლებადაა გავრცელებული თველების 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 თველებზე არსებული უსწორობებისაგან გამოწვეული დამატებითი ინერციული დინამიკური ძაღების ზემოქმედებით რეღსის მაქსიმალური დრეკადი ჩაღუნვა y_{max} დამოკიდებულია ფარდობაზე

$$\frac{T_0}{T_{\psi}} \quad (1.59)$$

სადაც T_0 – თვღის მიერ უსწორობის გავღის დროა;

T_{ψ} – სისტემის „თვალი-რელსი“ რხევის საკუთარი პერიოდი;
 რხევების თეორიის საფუძველზე დადგენილია შემდეგი დამოკიდებულება

$$\frac{y_{\max}}{a_1} = f\left(\frac{T_0}{T_{\psi}}\right) \quad (1.60)$$

„თვალი-რელსი“ სისტემის საკუთარი რხევის პერიოდი განისაზღვრება ფორმულით

$$T_{\psi} = 5,56 \sqrt{\frac{kq}{Ug}} \quad (1.61)$$

სადაც $g = 981 \text{ სმ/წმ}^2$ – სიმძიმის ძალის აჩქარებაა.

თვლის მიერ უსწორობის გავლის დრო T_0 განისაზღვრება ფორმულით

$$T_0 = \frac{l_0}{v} \quad (1.62)$$

თუ (1.62) ფორმულაში შევიტანთ უსწორობის l_0 სიგრძეს სმ-ში და მოძრაობის v სიჩქარეს კმ/სთ-ში, მაშინ

$$T'_0 = 0,036 \frac{l_0}{v} \quad (1.63)$$

იზოლირებული უსწორობის შემთხვევაში, როცა $l'_0 = 20$ სმ, უსწორობის გავლის დრო

$$T'_0 = 0,036 \frac{20}{v} \quad (1.64)$$

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

$$T''_0 = 0,036 \frac{\pi d}{v} \quad (1.65)$$

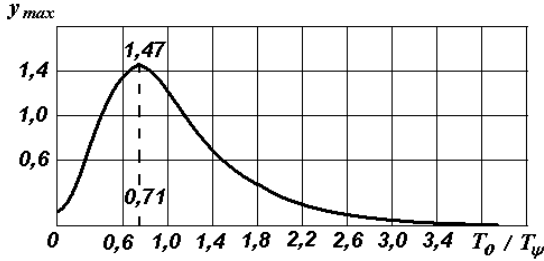
სადაც d – მოძრავი შემადგენლობის თვლის დიამეტრია (დანართი, ცხრილი 2).

თუ მივიღეთ, რომ ფარდობა

$$\frac{T'_0}{T_{\psi}} < 0,71 < \frac{T''_0}{T_{\psi}} \quad (1.66)$$

მაშინ $y_{\max} = 1,47$ სმ.

სხვა შემთხვევაში $y_{\max}$ -ის მნიშვნელობა აიღება გრაფიკიდან (ნახ. 1.6).



ნახ.1.6. $y_{\max}$ -ის $\frac{T_0}{T_\psi}$ სიდიდესთან დამოკიდებულების გრაფიკი

შემდეგ შეგვიძლია განვსაზღვროთ თვლებზე არსებული იზოლირებული უსწორობებისაგან გამოწვეული დამატებითი ინერციული ძალა

$$P_{\text{თ.ო.უ.}} = y_{\max} \frac{2U}{k} a_1 \quad (1.67)$$

ხოლო ამ ძალის საშუალო კვადრატული გადახრა ტოლი იქნება

$$S_{\text{თ.ო.უ.}} = 0,25 y_{\max} \frac{2U}{k} a_1 = 0,5 y_{\max} \frac{U}{k} a_1 \quad (1.68)$$

დამატებითი ინერციული ძალების ტოლქმედის საანგარიშო ფორმულაში შეიტანება $S_{\text{თ.ო.უ.}}$ სიდიდის 5%.

თვლებზე არსებული უწყვეტი უსწორობისაგან გამოწვეული დამატებითი ინერციული ძალის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით

$$P_{\text{თ.უ.უ.}} = \frac{K_0 U v^2 \sqrt{q}}{d^2 \sqrt{kU - 3,26k^2 q}} \quad (1.69)$$

ხოლო $P_{\text{თ.უ.უ.}}$ - ძალის საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე კი

$$S_{\text{თ.უ.უ.}} = \frac{K_1 U v^2 \sqrt{q}}{d^2 \sqrt{kU - 3,26k^2 q}} \quad (1.70)$$

სადაც $K_1=0,225 K_0$ – სხვადასხვა ტიპის მოძრავი შემადგენ-
 ლობის თვლების უწყვეტი უსწორობის
 დამახასიათებელი კოეფიციენტი. ელმ-
 ავლების, თბომავლების და ვაგონების
 თვლებისათვის $K_1=0,052$.

დამატებითი დინამიკურ ძალთა ტოლქმედის საანგარიშო ფო-
 რმულაში შეიტანება $S_{თ.უ.უ.}$ სიდიდის 95%.

ვიციტ, რა ღიანდაგზე მოქმედი ყველა დამატებითი ინერცი-
 ული ძალების საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე ცალ-
 ცალკე, შეიძლება გამოვთვალოთ ამ ძალთა საშუალო კვადრატ-
 ული გადახრის ტოლქმედის მნიშვნელობა.

ყველა დამატებითი დინამიკური ინერციული ძალების ტოლქ-
 მედის საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე გამოითვლება
 ფორმულით:

$$S = \sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\text{ლ.უ.}}^2 + \frac{q_1}{100} S_{\text{თ.ო.უ.}} + \left(1 - \frac{q_1}{100}\right) S_{\text{თ.უ.უ.}}^2} \quad (1.71)$$

სადაც q_1 – მოძრავი შემადგენლობის იმ თვლების პროცენ-
 ტული შემადგენლობაა, რომლებსაც გააჩნიათ
 იზოლირებული უსწორობები. მიღებულია, რომ
 $q_1=5\%$.

გამოვთვალოთ ღიანდაგზე მოქმედი ექვივალენტური დინამი-
 კური ძალების მნიშვნელობები:

$$P_{\text{ქმ}}^I = (P_{\text{საშ}} + 2,5S + \sum P_{\text{საშ}} \mu) \quad (1.72)$$

$$P_{\text{ქმ}}^{II} = (P_{\text{საშ}} + 2,5S + \sum P_{\text{საშ}} \eta) \quad (1.73)$$

სადაც $\sum P_{\text{საშ}} \mu$ – მეზობელი თვლების გავლენაა საანგარიშო
 კვეთზე, მღუნავი დინამიკური მომენტის
 განსაზღვრის შემთხვევაში;

$\sum P_{\text{საშ}} \eta$ – მეზობელი თვლების გავლენა საანგარიშო
 კვეთზე, შპალებზე გადაცემული დატვირ-
 თვისა და რელსის დრეკადი ჩაღუნვის შე-
 მთხვევაში.

μ – დინამიური მომენტის გავლენის ხაზის ორ-
 დინატა;

η – შპალებზე დინამიური დატვირთვისა და რე-
 ლსის დრეკადი ჩაღუნვის გავლენის ხაზის
 ორდინატა.

μ და η სიდიდეები განისაზღვრება მოძრავი შემადგენლობის ღერძებს შორის მანძილის $l_1 = x$, სარელსო საფუძვლისა და რელსის ფარდობითი სიხისტის კოეფიციენტის ნამრავლის kx მიხედვით, (დანართი, ცხრილი 9).

მაშინ, დინამიკური მღუნავი მომენტი აღძრული რელსში $P_{მმ}^I$ ექვივალენტური ძალისაგან ტოლი იქნება:

$$M_{ღონ} = \frac{f}{4k} P_{მმ}^I = \frac{f}{4k} (P_{საშ} + 2,5S + \sum P_{საშ} \mu) \quad (1.74)$$

ხოლო ძაბვა რელსის ფუძის წიბოში:

$$\sigma_{რ.ფ.} = \frac{M_{ღონ}}{W} = \frac{f}{4kW} (P_{საშ} + 2,5S + \sum P_{საშ} \mu) \quad (1.75)$$

სადაც f – განივი ჰორიზონტალური ძალების ზემოქმედების და ვერტიკალური ძალების ექსცენტრული მოდების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტია, (დანართი, ცხრილი 1).

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

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

$$\sigma_{რ.ფ.} \leq [\sigma_{რ.ფ.}] \quad (1.76)$$

შპალებზე გადაცემული დინამიკური დატვირთვა კი ტოლია:

$$Q_{ღონ} = \frac{kl}{2} P_{მმ}^{II} = \frac{kl}{2} (P_{საშ} + 2,5S + \sum P_{საშ} \eta) \quad (1.77)$$

ხოლო თელვის ძაბვის მნიშვნელობა შპალზე ქვედის ქვეშ ტოლია:

$$\sigma_{შ} = \frac{Q_{ღონ}}{\omega} = \frac{kl}{2\omega} (P_{საშ} + 2,5S + \sum P_{საშ} \eta) \quad (1.78)$$

$$\sigma_{შ} \leq [\sigma_{შ}] \quad (1.79)$$

სადაც ω - ქვესადების ფართობია, (დანართი, ცხრილი 5).

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

$$\sigma_{ბ.ღ} = \frac{Q_{ღონ}}{\Omega} = \frac{K\ell}{2\Omega} (P_{საშ} + 2,5S + \sum P_{საშ} \eta) \quad (1.80)$$

$$\sigma_{\text{ბაღ}} \leq [\sigma_{\text{ბაღ}}] \quad (1.81)$$

სადაც Ω – ნახევარშპალის ფართობია, (დანართი, ცხრილი 6).
რელსის დრეკადი ჩაღუნვა გამოითვლება ფორმულით:

$$y_{\text{ღიფ}} = \frac{k}{2U} (P_{\text{საშ}} + 2,5S + \Sigma P_{\text{საშ}} n) \quad (1.82)$$

განვსაზღვროთ ძაბვის მნიშვნელობა რელსის თავის წიბოში.
იგი გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma_{\text{რ.თ.}} = \frac{\sigma_{\text{რ.ფ.}}}{f} \left\{ \frac{z_{\text{თ.}}}{z_{\text{ფ.}}} + \frac{(f-1)}{(1-\lambda)} \times \frac{b_{\text{თ.}}}{b_{\text{ფ.}}} \left[1 + \lambda \frac{h_1}{h_2} \right] \right\} \quad (1.83)$$

სადაც $\sigma_{\text{რ.თ.}}$ – ძაბვაა რელსის თავის შიგა წიბოში;

$z_{\text{თ.}}$ და $z_{\text{ფ.}}$ – შესაბამისად მანძილები რელსის სიმიძის
ცენტრში გამავალი ჰორიზონტალური ღე-
რძიდან, მისი თავისა და ფუძის ყველაზე
დაშორებულ ბოჭკომდე;

$b_{\text{თ.}}$ 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 λ დამოკიდებულია $\frac{\sigma_{\text{გრ}}}{\sigma_{\text{პორ}}}$ ფარდობაზე, ე.ი.

$$\lambda = \frac{\sigma_{\text{გრ}}}{\sigma_{\text{პორ}}} \quad (1.84)$$

სადაც $\sigma_{\text{გრ}}$ - გრეხის ძაბვის მნიშვნელობაა რელსის ფუძის წიბოში;

$\sigma_{\text{პორ}}$ - ჰორიზონტალური ძაღებისაგან გამოწვეული ძაბვის
მნიშვნელობა რელსის ფუძეში.

λ კოეფიციენტის სიდიდეები რეკომენდებულია მივიღოთ:

სწორ უბნებში და მრუდებში $R > 1200$ მ	–	0,10 – 0,15;
მრუდებში $R = 1200 \div 800$ მ	–	0,15 – 0,25;
მრუდებში $R = 800 \div 300$ მ	–	0,25 – 0,50.

საანგარიშო ძაბვების სიდიდეები რელსის თავის შიგა წიბო-
ში უნდა შედარდეს დასაშვები ძაბვის შესაბამის მნიშვნელობას

$$\sigma_{\text{რ.თ.}} \leq [\sigma_{\text{რ.თ.}}] \quad (1.85)$$

2. ლიანდაგის ზედა ნაშენის ბაანბაროშება მდგრადობაზე

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

ტემპერატურის მატების შემთხვევაში წარმოიქმნება კუმშვის ძაბვები, რაც ლიანდაგის გაგდების (გამრუდების) საფრთხეს ქმნის. ტემპერატურის კლების დროს კი რელსებში წარმოიქმნება გაშლილ ძაბვები, რაც წარმოქმნის სარელსო ძაღის გაწყვეტის საშიშროებას.

ძაბვები, რომლებიც რელსებში აღიძვრებიან მატარებლებიდან გადაცემული დატვირთვებისა და ტემპერატურული ძაღების 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 სეზონური ტემპერატურული განმუხტვებით, გაზაფხულზე და შემოდგომაზე.

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

გარემოს ტემპერატურის წლიური ამპლიტუდა $T_{\text{გარ}}$ გამოითვლება ფორმულით:

$$T_{\text{გარ}} = t_{\text{maxmax}} - t_{\text{min min}} \quad (2.1)$$

სადაც t_{maxmax} – გარემოს ტემპერატურის წლიური მაქსიმუმი
ზაფხულის პერიოდში;

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

უპირაპირო ლიანდაგის გაანგარიშების მთავარ თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ რელსის ფუძის სიმტკიცე უნდა შემოწმდეს გამჭიმავ σ_{t_b} ძაბვებზე ზამთრის პირობებისათვის, ხოლო რელსის თავის სიმტკიცე მკუმშავ σ_{t_j} ძაბვებზე ზაფხულის პირობებისათვის, როგორც სწორი, ისე მრუდე უბნებისათვის.

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

$$\sigma_{t_b}^{\text{სწ}} = [\sigma_{\text{რ.ფ.}}] - K\sigma_{\text{რ.ფ.}}^{\text{სწ}} = [\sigma_{\text{რ.ფ.}}] - 1,3\sigma_{\text{რ.ფ.}}^{\text{სწ}} \quad (2.2)$$

$$\sigma_{t_b}^{\text{მრ}} = [\sigma_{\text{რ.ფ.}}] - K\sigma_{\text{რ.ფ.}}^{\text{მრ}} = [\sigma_{\text{რ.ფ.}}] - 1,3\sigma_{\text{რ.ფ.}}^{\text{მრ}} \quad (2.3)$$

მკუმშავი ძაბვების საანგარიშო სიდიდე რელსის თავში ლიანდაგის სწორ და მრუდე უბნებში ტოლია:

$$\sigma_{t_j}^{\text{სწ}} = [\sigma_{\text{რ.თ.}}] - K\sigma_{\text{რ.თ.}}^{\text{სწ}} = [\sigma_{\text{რ.თ.}}] - 1,3\sigma_{\text{რ.თ.}}^{\text{სწ}} \quad (2.4)$$

$$\sigma_{t_j}^{\text{მრ}} = [\sigma_{\text{რ.თ.}}] - K\sigma_{\text{რ.თ.}}^{\text{მრ}} = [\sigma_{\text{რ.თ.}}] - 1,3\sigma_{\text{რ.თ.}}^{\text{მრ}} \quad (2.5)$$

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:

$$\Delta t_{\text{თ.კ.}}^{\text{სწ}} = \frac{\sigma_{t_j}^{\text{სწ}}}{25} \quad (2.6)$$

$$\Delta t_{\text{თ.კ.}}^{\text{მრ}} = \frac{\sigma_{t_j}^{\text{მრ}}}{25} \quad (2.7)$$

ტემპერატურის კლების პირობებში, ლიანდაგის სწორ და მრუდე უბნებში:

$$\Delta t_{\text{ფ.ბ.}}^{\text{სწ}} = \frac{\sigma_{t_b}^{\text{სწ}}}{25} \quad (2.8)$$

$$\Delta t_{\text{ფ.ბ.}}^{\text{მრ}} = \frac{\sigma_{t_b}^{\text{მრ}}}{25} \quad (2.9)$$

უნდა გამოვთვალოთ ტემპერატურული ცვალებადობით გამოწვეული გრძივი კრიტიკული ძალის მნიშვნელობა. კრიტიკული

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

$$P_0 = \frac{A}{i_0^\alpha} K_1 K_2 K_3 K_4 \quad (2.10)$$

სადაც i_0 – ლიანდაგის საწყისი უსწორობის ქანობია, სწორი უბნებისათვის $i_0 = 2\%$; მრუდე უბნებისათვის $i_0 = 2,5 - 3\%$;

A და α – რელსების ტიპისა და ლიანდაგის გეგმის გამათვალისწინებელი პარამეტრი, (ცხრილი 2.1).

ცხრილი 2.1

მრუდის რადიუსი	რელსების ტიპი			
	P50		P65	
	A	α	A	α
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_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;

K_2 – ბალასტის მდგომარეობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი, დამოკიდებული ბალასტის დატკეპნის C_c კოეფიციენტზე;

$$\begin{array}{llll} C_c = 0 & - & K_2 = 0,28; & C_c = 450 & - & K_2 = 1,00; \\ C_c = 225 & - & K_2 = 0,71; & C_c = 600 & - & K_2 = 1,17. \end{array}$$

K_3 – შპალების ეპიურის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი:

$$\begin{array}{llll} 1600 \text{ ც/კმ} & - & K_3 = 0,91; & 1920 \text{ ც/კმ} & - & K_3 = 1,12; \\ 1840 \text{ ც/კმ} & - & K_3 = 1,00; & 2000 \text{ ც/კმ} & - & K_3 = 1,17. \end{array}$$

K_4 – საპირაპირო ჭანჭიკების მოჭერის ძალისა და შპალების მასალის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი:

$$K_4 = \beta_1 \left[\frac{m_c}{20000} \left(\frac{1}{\beta_1} - 1 \right) + 1 \right] \quad (2.11)$$

სადაც m_c – შუალედური სამაგრების მოჭერის ძალისა და შპალების მასალის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი. $m_c = 13200 \div 26100$ კგ/სმ (კლემების $11 \div 33$ კგმ მომენტის სიდიდით მოჭერის შემთხვევაში);

β_1 – საანგარიშო პარამეტრი დამოკიდებული უსწორობის ქანობის სიდიდეზე.

$$\begin{array}{lll} i_0 = 2 \text{ ‰} & - & \beta_1 = 0,795; \\ i_0 = 3 \text{ ‰} & - & \beta_1 = 0,820; \\ i_0 = 4 \text{ ‰} & - & \beta_1 = 0,840. \end{array}$$

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

$$P_{\text{კრ}} = \frac{P_0}{1,5} \quad (2.12)$$

სადაც $1,5$ – მარაგის კოეფიციენტი;

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

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

$$\sigma^{სწ} = \frac{P_{კრ}}{2F} \quad (2.13)$$

$$\sigma^{მრ} = \frac{P_{კრ}}{2F} \quad (2.14)$$

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

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

$$\Delta t_y^{სწ} = \frac{\sigma^{სწ}}{25} \quad (2.15)$$

$$\Delta t_y^{მრ} = \frac{\sigma^{მრ}}{25} \quad (2.16)$$

საჭიროა განისაზღვროს რელსების ტემპერატურის ცვალებადობის დასაშვები სიდიდეები მათი ლიანდაგში ჩაგების ტემპერატურასთან შედარებით, როგორც ტემპერატურის მატების Δt_{γ} , ისე კლების მხარეს Δt_{δ} .

ტემპერატურის კლების შემთხვევაში:

$$\Delta t_{\delta}^{სწ} = \Delta t_{ფ.გ.}^{სწ} \quad (2.17)$$

$$\Delta t_{\delta}^{მრ} = \Delta t_{ფ.გ.}^{მრ} \quad (2.18)$$

ტემპერატურის მატების შემთხვევაში:

$$\Delta t_{\gamma}^{სწ} = \Delta t_{\sigma, \gamma}^{სწ} + 6^0 \quad \text{თუ} \quad \Delta t_{\sigma, \gamma}^{სწ} + 6^0 \leq t_y^{სწ} \quad (2.19)$$

$$\Delta t_{\gamma}^{მრ} = \Delta t_{\sigma, \gamma}^{მრ} + 6^0 \quad \text{თუ} \quad \Delta t_{\sigma, \gamma}^{მრ} + 6^0 \leq t_y^{მრ} \quad (2.20)$$

და

$$\Delta t_{\gamma}^{სწ} = \Delta t_y^{სწ} \quad \text{თუ} \quad \Delta t_{\sigma, \gamma}^{სწ} + 6^0 > t_y^{სწ} \quad (2.21)$$

$$\Delta t_{\gamma}^{მრ} = \Delta t_y^{მრ} \quad \text{თუ} \quad \Delta t_{\sigma, \gamma}^{მრ} + 6^0 > t_y^{მრ} \quad (2.22)$$

სადაც Δt_y – რელსებში ტემპერატურის ცვალებადობის დასაშვები სიდიდეა;

6^0 – რელსებში ტემპერატურის ცვალებადობის დასაშვები სიდიდის გადაჭარბების მნიშვნელობა.

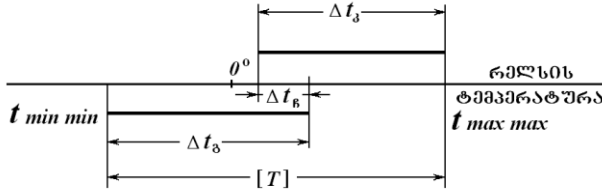
განვსაზღვროთ რელსებში ტემპერატურის ცვალებადობის დასაშვები ამპლიტუდა $[T]$ ლიანდაგის სწორი და მრუდე უბნებისათვის, ტემპერატურულად დაძაბული ლიანდაგის შემთხვევაში:

$$[T]_{\text{სწ}} = \Delta t_{\text{კ}}^{\text{სწ}} + \Delta t_{\text{გ}}^{\text{სწ}} - [\Delta t_{\text{ფ}}] \quad (2.23)$$

$$[T]_{\text{მრ}} = \Delta t_{\text{კ}}^{\text{მრ}} + \Delta t_{\text{გ}}^{\text{მრ}} - [\Delta t_{\text{ფ}}] \quad (2.24)$$

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

თუ აღმოჩნდა, რომ $T_{\text{გარ}} \leq [T]$, მაშინ უპირაპირო ლიანდაგი იმუშავებს ტემპერატურულად დაძაბულად, სეზონური ტემპერატურული განმუხტვების გარეშე, (ნახ. 2.2).



ნახ.2.2. ტემპერატურულად დაძაბული უპირაპირო ლიანდაგის მუშაობის ტემპერატურული დიაგრამა

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

სწორი უბნებისათვის:

$$\text{ზედა ზღვარი } \max t_{\text{ფ}}^{\text{სწ}} = \Delta t_{\text{გ}}^{\text{სწ}} + t_{\text{min min}} \quad (2.25)$$

$$\text{ქვედა ზღვარი } \min t_{\text{ფ}}^{\text{სწ}} = t_{\text{max max}} - \Delta t_{\text{კ}}^{\text{სწ}} \quad (2.26)$$

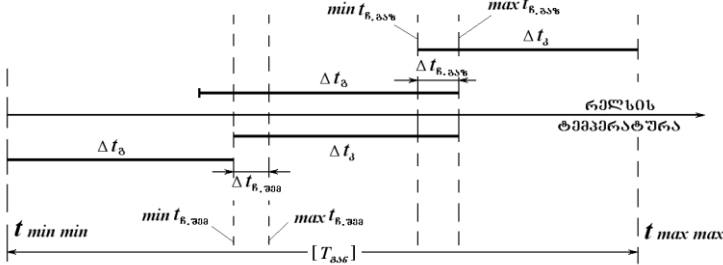
მრუდე უბნებისათვის:

$$\text{ზედა ზღვარი: } \max t_{\text{ფ}}^{\text{მრ}} = \Delta t_{\text{გ}}^{\text{მრ}} + t_{\text{min min}} \quad (2.27)$$

$$\text{ქვედა ზღვარი: } \min t_{\text{ფ}}^{\text{მრ}} = t_{\text{max max}} - \Delta t_{\text{კ}}^{\text{მრ}} \quad (2.28)$$

თუ აღმოჩნდა, რომ $T_{\text{გარ}} > [T]_{\text{ან}}$, მაშინ საჭიროა ლიანდაგში სეზონური ტემპერატურული განმუხტვების ჩატარება.

ტემპერატურის ცვალებადობის დასაშვები ამპლიტუდა რელსებში $[T_{\delta, \text{ნ}}]$ ლიანდაგის სწორ და მრუდე უბნებში, სეზონური განმუხტვების საჭიროების შემთხვევაში ტოლი იქნება (ნახ.2.3):



ნახ. 2.3. უპირაპირო ლიანდაგის მუშაობის ტემპერატურული დიაგრამა, ტემპერატურული ძაბვების სეზონურად (გაზაფხულზე და შემოდგომაზე) განმუხტვა

$$[T_{\delta, \text{ნ}}]_{\text{ნ}}^{\text{წ}} = \Delta t_{\text{გ}}^{\text{წ}} + 2\Delta t_{\delta}^{\text{წ}} - \sum \Delta t_{\text{გ}} - 12^{\circ} \quad (2.29)$$

$$[T_{\delta, \text{ნ}}]_{\text{რ}}^{\text{შ}} = \Delta t_{\text{გ}}^{\text{შ}} + 2\Delta t_{\delta}^{\text{შ}} - \sum \Delta t_{\text{გ}} - 12^{\circ} \quad (2.30)$$

სადაც $\sum \Delta t_{\text{გ}}$ – გაზაფხულზე და შემოდგომაზე ლიანდაგში რელსების ჩამაგრების სამუშაოების შესრულებისათვის საჭირო ტემპერატურული ინტერვალების ჯამი. $\sum t_{\text{გ}} = \Delta t_{\text{გ, ბაზ}} + \Delta t_{\text{გ, შებ}}$. $\Delta t_{\text{გ, ბაზ}} = 15^{\circ}\text{C}$, $\Delta t_{\text{გ, შებ}} = 10^{\circ}\text{C}$, მაშინ $\sum \Delta t_{\text{გ}} = 25^{\circ}\text{C}$.

12°C – ტემპერატურის ინტერვალის მარაგი, რელსებში ნარჩენი ძაბვების დარცმითი მეთოდებით განმუხტვის შემთხვევაში. თუ სარელსო გადაბმების ლიანდაგში ჩაყენება სრულდება გორგოლაჭების საშუალებით, მაშინ 12°C -ანი მარაგი არ გაითვალისწინება.

სარელსო გადაბმებში საშემოდგომო ტემპერატურული განმუხტვის ამპლიტუდის ზედა და ქვედა ზღვარი გამოითვლება ფორმულით:

ზედა ზღვარი:

$$\max t_{\text{გ, შებ}}^{\text{წ}} = t_{\text{min min}} + \Delta t_{\delta}^{\text{წ}} - 4^{\circ} \quad (2.31)$$

$$\max t_{\text{ფ.შემ}}^{\text{მრ}} = t_{\text{min min}} + \Delta t_{\delta}^{\text{მრ}} - 4^0 \quad (2.32)$$

ქვედა ზღვარი:

$$\min t_{\text{ფ.შემ}}^{\text{სწ}} = \max t_{\text{ფ.შემ}}^{\text{სწ}} - \Delta t_{\text{ფ.შემ}} \quad (2.33)$$

$$\min t_{\text{ფ.შემ}}^{\text{მრ}} = \max t_{\text{ფ.შემ}}^{\text{მრ}} - \Delta t_{\text{ფ.შემ}} \quad (2.34)$$

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

ზედა ზღვარი:

$$\max t_{\text{ფ.გაზ}}^{\text{სწ}} = t_{\text{min min}} + \Delta t_{\delta}^{\text{სწ}} + \Delta t_{\text{ქ}}^{\text{სწ}} - \Delta t_{\text{ფ.გაზ}} - 8^0 \quad (2.35)$$

$$\max t_{\text{ფ.გაზ}}^{\text{მრ}} = t_{\text{min min}} + \Delta t_{\delta}^{\text{მრ}} + \Delta t_{\text{ქ}}^{\text{მრ}} - \Delta t_{\text{ფ.გაზ}} - 8^0 \quad (2.36)$$

ქვედა ზღვარი:

$$\max t_{\text{ფ.გაზ}}^{\text{სწ}} = t_{\text{max max}} + \Delta t_{\text{ქ}}^{\text{სწ}} + 4^0 \quad (2.37)$$

$$\max t_{\text{ფ.გაზ}}^{\text{მრ}} = t_{\text{max max}} + \Delta t_{\text{ქ}}^{\text{მრ}} + 4^0 \quad (2.38)$$

სადაც $4^0 C$ და $8^0 C$ – 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.

၇၁၆၁၈၀၈

f კოეფიციენტის მნიშვნელობები მიმართველი ღერძებისათვის

ლოკომოტივის სერია	სწორ უბანში	მრუდებში რადიუსით R, მ									
		1000	800	700	600	500	400	350	300	250	200
ელმავლები											
ВЛ60, ВЛ60 ^П , ВЛ60 ^К	1,13	1,33	1,37	1,41	1,45	1,53	1,62	1,66	1,69	1,72	—
ВЛ80, ВЛ80 ^К	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	—
Ф ^П	1,13	1,60	1,66	1,73	1,80	1,89	1,99	2,04	2,07	2,10	—
Ф	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 ^М	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 ^М	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	—
თბომაველები და აირტურობომაველები											
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	—

ТЭЗ, 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 ^а	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	—
ექვსღერძიანი სატვირთო ვაგონი УВЗ-9 ^м 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

ეკიპაჟის ტიპი და თვლების ფორმულა	კონსტრუქციული სინქარე V კონსტ. კმ/სთ	ერთ თვალზე მოსული			სარესორო ჩამოკიდების სტატიკური ჩაღუნვა ჩტ, მმ.	თვლის დიამეტრი d, სმ.	ღერძებს შორის მანძილი მიმდევრობით 1, სმ.	თვლების იზოღერძული უსწორობის საანგარიშო სიღრმე a, სმ.
		რელსებზე გადაცემული სტატიკური დატვირთვა P _{ტვ.} კბ.	დაურესორობელი ნაწილის წონა q, კბ.	სარესორო ჩამოკიდების სიხისტე Ж, 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 ^м ურიკებით	100	10700	1070	195	50	95	175-175-694-175- 175	0,047
რვაღერძიანი 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 დენის ელემენტები</i>								
ВЛ 60 ^П 3 ₀ -3 ₀	120	11000	2550	78	108,6	125	230-230-380-230-230	0,047
ВЛ60, ВЛ60 ^К 3 ₀ -3 ₀	100	11500	3080	142	59,6	125	230-230-380-230-230	0,047
ВЛ80, ВЛ80 ^К 2 ₀ -2 ₀ -2 ₀ -2 ₀	110	11500	2760	152	108,0	125	300-450-300-572-450-300	0,047
Ф ^П 3 ₀ -3 ₀	160	10900	1530	100	93,5	125	233,5-251-766,5-251-233,5	0,047
Ф 3 ₀ -3 ₀	110	11500	2640	96,5	91,8	125	233,5-233,5-801,5-233,5-233,5	0,047
ЧС4 3 ₀ -3 ₀	160	10500	1850	87	140,0	125	230-230-500-230-230	0,047
К 3 ₀ -3 ₀	100	11500	1600	144,6	127,6	125	235-260-434-260-235	0,047
ВЛ80 ^Т 2(2 ₀ -2 ₀)	110	11500	2925	91	73,5	125	300-450-300-572-300-450-300	0,047
ВЛ80 ^Р 2(2 ₀ -2 ₀)	110	12000	2925	152	108,0	125	300-450-300-572-300-450-300	0,047
ВЛ82 2(2 ₀ -2 ₀)	110	12000	2970	140	108,0	125	300	0,047

<i>მუდმივი დენის ელმაგვლები</i>									
ყC2 ^M	3 ₀ -3 ₀	160	10250	1925	135	120	125	240-220-380-220-240	0,047
ყC3	2 ₀ -2 ₀	120	10625	1925	192,2	102,2	125	333-484-333	0,047
ყC1	2 ₀ -2 ₀	120	10625	1925	192	102,2	125	333-484-333	0,047
БЛ23	3 ₀ -3 ₀	100	11500	3170	142	59	120	220-220-380-220-220	0,047
БЛ10	2 ₀ -2 ₀ 2 ₀ -2 ₀	110	11500	3055	101	116,2	125	300-400-300-466,5-300-400-300	0,047
БЛ 8	2 ₀ -2 ₀ 2 ₀ -2 ₀	80	11500	3170	118	70	120	320-380-320-210-320-380-320	0,047
БЛ19	3 ₀ -3 ₀	85	9750	2750	108	62	125	200-250-380-250-200	0,047
ყC2T	3 ₀ -3 ₀	160	10500	1925	135	120	125	240-220-380-220-240	0,047
ყC4T	3 ₀ -3 ₀	160	10500	1850	135	140	125	230-230-500-230-230	0,047
<i>თბომაგვლები</i>									
ТЭП60	3 ₀ -3 ₀	160	10500	1415	94	96,5	105	220-240-580-240-220	0,047
ТЭП10	3 ₀ -3 ₀	140	10750	2175	71	121	105	210-210-500-210-210	0,047
ТЭ7	3 ₀ -3 ₀	140	10500	2330	131	62,3	105	210-210-500-210-	0,047

							210		
TЭ10	3 ₀ -3 ₀	100	10750	2175	130	71	105	210-210-500-210-210	0,047
2TЭ10Л	2(3 ₀ -3 ₀)	100	10650	2240	119	69	105	210-210-500-210-210	0,047
TЭ3, TЭ30	3 ₀ -3 ₀	100	10500	2330	143	57	105	210-210-440-210-210	0,047
TЭ2	2 ₀ -2 ₀	95	10625	1225	152	41	105	225-395-225	0,065
TЭ1	3 ₀ -3 ₀	95	10325	1750	162	27	105	152,5-190,5-503-190,5-152,5	0,065
2TЭ116	2(3 ₀ -3 ₀)	120	11250	4260	130	101	105	185-185	0,047
2TЭ121	2(3 ₀ -3 ₀)	120	12500	3700	120	150	105	220-220	0,047
2TЭ10B	2(3 ₀ -3 ₀)	100	11500	4260	119	100	105	185-185	0,047
4TЭ130	4(3 ₀ -3 ₀)	100	11500	4260	186	100	105	185-185	0,047
TЭП70	3 ₀ -3 ₀	160	10750	3080	125	180	125	200-230	0,047
TЭП75	3 ₀ -3 ₀	160	11500	3150	125	180	125	200-230	0,047
მაგისტრალური თბომავლები პიდროგადაცემით									
ТГП50	3 ₀ -3 ₀	140	11270	1525		154,6	105	220-240-795-240-220	0,047
ТГ106	3 ₀ -3 ₀	100	11500	1950		135	105	190,5-180-853-180-190,5	0,047
ТГ102K	2 ₀ -2 ₀	120	10500	2165	103	77,5	105	250-240-250	0,047
სამანევრო თბომავლები									
TЭМ 1	3 ₀ -3 ₀	100	10000	2330	143	54	105	210-210-440-210-210	0,047

TGM10	3 ₀ -3 ₀	80	10000	1800		62,6	105	210-210-440-210-210	0,047
TGM 5	2 ₀ -2 ₀	80	11000	1900		67,5	105	210-510-210	0,047
TGM 2	2 ₀ -2 ₀	60	8500	2000			105	180-390-180	0,047
TGM 3	2 ₀ -2 ₀	60	8500	1550	118	30	105	210-190-210	0,047
<i>აირტურბომავლები</i>									
ГП 1	3 ₀ -3 ₀	160	10700	1415	96,5	94,3	105	220-240-580-240-220	0,047
Г 1	3 ₀ -3 ₀	100	11800	2275		103	105	220-220-220-220-220	0,047
ჟმმ3	3 ₀ -3 ₀	95	10250	1940	157	52	105	200-200-460-200-200	0,047

ცხრილი 3

U და k კოეფიციენტების მნიშვნელობები ხის შპალებისა და ღორღის ბალასტისათვის

რელსის ტიპი	შპალების ტიპი	შპალების ეპიურა, ცალი/კმ	U , კვ/სმ ²	k , სმ ⁻¹ , რელსის თავის დაყვანილი ცვეთის 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 ღორღის ბალასტისათვის

რელსის ტიპი	შუასადებების ტიპი	შპალების ეპიურა ცალი/კმ	U , კგ/სმ ²	k , სმ ⁻¹ , რელსის თავის დაყვანილი ცვეთის შესაბამისად	
				6 მმ	9 მმ
P65	ტიპური, სისქით 5 – 6 მმ	1840	1500	0,01536	0,01562
		2000	1670	0,01578	0,01604
	მაღალი 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
	მაღალი დრეკადობის	1840	1000	0,01600	0,01630
		2000	1100	0,01638	0,01669

ცხრილი 5

ქვესადებების საყრდენი ფართობები

შუალედური სამაგრების ტიპი	რელსის ტიპი	ქვესადებების ფართობი ω , სმ ²	შუალედური სამაგრების ტიპი	რელსის ტიპი	ქვესადებების ფართობი ω , სმ ²
განუყოფელი	P65	594	განცალკევებული: K-4 KB-რკინაბეტონის შპალებისათვის	P50 P65	560
	P50 *	496			481
	P50 **	596			

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 Б	II A, II Б	
შპალების გაღუნვის α კოეფიციენტი	ლორდი ხრეში	0,83	0,78	0,85
		0,85	0,81	0,90
ნახევარშპალის ფართობი გაღუნვის გათვალისწინებით $\Omega = \frac{a}{b} \alpha$, სმ ²	ლორდი ხრეში	2853	2466	2975
		2920	2561	3150

ცხრილი 7

რელსის განივი ძველის მახასიათებლები

რელსის ტიპი	დაყვანილი ცვეთა, მმ.	F , სმ ²	$\frac{b_{\sigma}}{b_{\varphi}}$, სმ	I_{φ} , სმ ⁴	I_{σ} , სმ ⁴	W_{φ} , სმ ³	W_{σ} , სმ ³	z_{φ} , სმ	z_{σ} , სმ	h_1 , სმ	h_2 , სმ
P65	0	82,56	$\frac{7,5}{b_{\varphi}}$	3548	569	436	359	8,13	9,87	13,6	4,4
	6	78,24	$\frac{7,5}{b_{\varphi}}$	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	$\frac{7,2}{b_{\varphi}}$	2018	375	286	248	7,05	7,15	10,7	4,5
	6	61,73	$\frac{7,2}{b_{\varphi}}$	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

ცხრილი 8

მოძრავი შემადგენლობის ტიპი	a_{ϕ}	b_{ϕ}
ელექტრომაგვლები БЛ 23, БЛ 22 , БЛ 60 , БЛ 8 თბომაგვლები ТЭП 60, ТЭП 10, ТЭ 10, 2ТЭ 10Л	10,9	$9,6 \times 10^{-4}$
ТЭ 30, ТЭ 7, ТЭ 3, ТЭМ 1 აირტურობომაგვალი ГП1	7,9	$8,4 \times 10^{-4}$
რვაღერძიანი სატვირთო ვაგონები, ოთხღერძიანი 3200 მმ ხისტი ბაზიანი ურიკებით	9,5	$9,6 \times 10^{-4}$
ექვსღერძიანი სატვირთო ვაგონები УВЗ – 9 ^М ტიპის სამღერძიანი ურიკებით	6,0	16×10^{-4}
ექვსღერძიანი სატვირთო ვაგონები ВЗ – 1 ^М ტიპის სამღერძიანი ურიკებით	4,6	23×10^{-4}
ოთხღერძიანი სატვირთო ვაგონები ЦНИИ-ХЗ ურიკებით	10	16×10^{-4}
ოთხღერძიანი სატვირთო ვაგონები МТ-50 ურიკებით	3,5	14×10^{-4}

შენიშვნა: სხვა ელექტრომაგვლების, თბომაგვლების და
სამანევრო თბომაგვლებისათვის $z_{\max} = 15$ მმ.

μ და η ეპიურის ორდინატების მნიშვნელობები

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

kx	μ	η	kx	μ	η
0,50	0,2415	0,8231	0,84	-0,0333	0,6096
0,51	0,2309	0,8172	0,85	-0,0390	0,6032
0,52	0,2205	0,8113	0,86	-0,0446	0,5968
0,53	0,2103	0,8054	0,87	-0,0501	0,5904
0,54	0,2002	0,7994	0,88	-0,0554	0,5840
0,55	0,1903	0,7934	0,89	-0,0606	0,5776
0,56	0,1805	0,7874	0,90	-0,1617	1,4049
0,57	0,1709	0,7813	0,91	-0,1758	1,4033
0,58	0,1615	0,7752	0,92	-0,1898	1,4014
0,59	0,1522	0,7690	0,93	-0,2038	1,3995
0,60	0,1431	0,7628	0,94	-0,2178	1,3974
0,61	0,1341	0,7566	0,95	-0,2317	1,3951
0,62	0,1253	0,7504	0,96	-0,2457	1,3927
0,63	0,1166	0,7441	0,97	-0,2596	1,3902
0,64	0,1080	0,7378	0,98	-0,2735	1,3875
0,65	0,0997	0,7315	0,99	-0,2873	1,3847
0,66	0,0914	0,7252	1,00	-0,3012	1,3818
0,67	0,0833	0,7189	1,01	-0,3150	1,3787
0,68	0,0754	0,7125	1,02	-0,3287	1,3755
0,69	0,0676	0,7061	1,03	-0,3425	1,3721
0,70	0,0599	0,6997	1,04	-0,3562	1,3686
0,71	0,0524	0,6933	1,05	-0,3699	1,3650
0,72	0,0450	0,6869	1,06	-0,3835	1,3612
0,73	0,0377	0,6805	1,07	-0,3971	1,3573
0,74	0,0306	0,6741	1,08	-0,4106	1,3533
0,75	0,0236	0,6676	1,09	-0,4241	1,3491
0,76	0,0168	0,6618	1,10	-0,4376	1,3448
0,77	0,0101	0,6547	1,11	-0,4510	1,3404
0,78	0,0035	0,6483	1,12	-0,4644	1,3358
0,79	-0,0030	0,6418	1,13	-0,4778	1,3311
0,80	-0,0093	0,6354	1,14	-0,4910	1,3262
0,81	-0,0155	0,6289	1,15	-0,5043	1,3213
0,82	-0,0215	0,6225	1,16	-0,5175	1,3161
0,83	-0,0275	0,6161	1,17	-0,5306	1,3109

ცხრილი 9 (გაგრძელება)

kx	μ	η	kx	μ	η
1,18	-0,5437	1,3055	1,54	-0,2077	0,2209
1,19	-0,5567	1,3000	1,55	-0,2078	0,2166
1,20	-0,5697	1,2944	1,56	-0,2079	0,2124
1,21	-0,5826	1,2886	1,57	-0,2079	0,2082
1,22	-0,5955	1,2828	1,58	-0,2079	0,2041
1,23	-0,6083	1,2767	1,59	-0,2078	0,2000
1,24	-0,621	1,2706	1,60	-0,2077	0,1959
1,25	-0,6337	1,2643	1,61	-0,2076	0,1919
1,26	-0,6463	1,2579	1,62	-0,2074	0,1879
1,27	-0,6588	1,2514	1,63	-0,2072	0,1840
1,28	-0,6713	1,2447	1,64	-0,2069	0,1801
1,29	-0,6837	1,2380	1,65	-0,2066	0,1763
1,30	-0,1897	0,3355	1,66	-0,2063	0,1724
1,31	-0,1911	0,3303	1,67	-0,2060	0,1687
1,32	-0,1925	0,3251	1,68	-0,2056	0,1650
1,33	-0,1938	0,3199	1,69	-0,2052	0,1613
1,34	-0,1950	0,3148	1,70	-0,2047	0,1576
1,35	-0,1962	0,3097	1,71	-0,2042	0,1540
1,36	-0,1973	0,3047	1,72	-0,2037	0,1505
1,37	-0,1983	0,2997	1,73	-0,2031	0,1469
1,38	-0,1993	0,2947	1,74	-0,2026	0,1435
1,39	-0,2002	0,2898	1,75	-0,2020	0,1400
1,40	-0,2011	0,2849	1,76	-0,2013	0,1366
1,41	-0,2019	0,2801	1,77	-0,2007	0,1333
1,42	-0,2027	0,2753	1,78	-0,200	0,1299
1,43	-0,2034	0,2705	1,79	-0,1993	0,1267
1,44	-0,2040	0,2658	1,80	-0,1985	0,1234
1,45	-0,2046	0,2611	1,81	-0,1978	0,1202
1,46	-0,2051	0,2565	1,82	-0,1970	0,1171
1,47	-0,2056	0,2519	1,83	-0,1962	0,1139
1,48	-0,2061	0,2473	1,84	-0,1953	0,1109
1,49	-0,2064	0,2428	1,85	-0,1945	0,1078
1,50	-0,2068	0,2384	1,86	-0,1936	0,1048
1,51	-0,2071	0,2339	1,87	-0,1927	0,1019
1,52	-0,2073	0,2295	1,88	-0,1918	0,0989
1,53	-0,2075	0,2252	1,89	-0,1908	0,0960

ცხრილი 9 (გაგრძელება)

kx	μ	η	kx	μ	η
1,90	-0,1899	0,0932	2,26	-0,1469	0,0142
1,91	-0,1889	0,0904	2,27	-0,1456	0,0126
1,92	-0,1879	0,0876	2,28	-0,1442	0,0110
1,93	-0,1869	0,0849	2,29	-0,1429	0,0095
1,94	-0,1859	0,0822	2,30	-0,1416	0,0080
1,95	-0,1848	0,0795	2,31	-0,1402	0,0065
1,96	-0,1838	0,0769	2,32	-0,1389	0,0050
1,97	-0,1827	0,0743	2,33	-0,1375	0,0036
1,98	-0,1816	0,0717	2,34	-0,1362	0,0022
1,99	-0,1805	0,0692	2,35	-0,1349	0,0008
2,00	-0,1794	0,0667	2,36	-0,1335	-0,0005
2,01	-0,1782	0,0643	2,37	-0,1322	-0,0018
2,02	-0,1771	0,0619	2,38	-0,1308	-0,0031
2,03	-0,1759	0,0595	2,39	-0,1295	-0,0044
2,04	-0,1748	0,0572	2,40	-0,1282	-0,0056
2,05	-0,1736	0,0549	2,41	-0,1268	-0,0068
2,06	-0,1724	0,0526	2,42	-0,1255	-0,0080
2,07	-0,1712	0,0504	2,43	-0,1242	-0,0092
2,08	-0,1700	0,0482	2,44	-0,1228	-0,0103
2,09	-0,1688	0,0460	2,45	-0,1215	-0,0114
2,10	-0,1675	0,0439	2,46	-0,1202	-0,0125
2,11	-0,1663	0,0418	2,47	-0,1188	-0,0136
2,12	-0,1650	0,0397	2,48	-0,1175	-0,0146
2,13	-0,1638	0,0377	2,49	-0,1162	-0,0156
2,14	-0,1625	0,0357	2,50	-0,1149	-0,0166
2,15	-0,1612	0,0337	2,51	-0,1136	-0,0176
2,16	-0,1600	0,0318	2,52	-0,1123	-0,0186
2,17	-0,1587	0,0299	2,53	-0,111	-0,0195
2,18	-0,1574	0,0280	2,54	-0,1097	-0,0204
2,19	-0,1561	0,0262	2,55	-0,1084	-0,0213
2,20	-0,1548	0,0244	2,56	-0,1071	-0,0221
2,21	-0,1535	0,0226	2,57	-0,1058	-0,0230
2,22	-0,1522	0,0209	2,58	-0,1045	-0,0238
2,23	-0,1509	0,0191	2,59	-0,1032	-0,0246
2,24	-0,1495	0,0175	2,60	-0,1019	-0,0254
2,25	-0,1482	0,0158	2,61	-0,1007	-0,0261

ცხრილი 9 (გაგრძელება)

kx	μ	η	kx	μ	η
2,62	-0,0994	-0,0268	2,96	-0,0603	-0,0416
2,63	-0,0981	-0,0276	2,97	-0,0593	-0,0418
2,64	-0,0969	-0,0283	2,98	-0,0583	-0,0420
2,65	-0,0956	-0,0289	2,99	-0,0573	-0,0421
2,66	-0,0944	-0,0296	3,00	-0,0563	-0,0423
2,67	-0,0932	-0,0302	3,01	-0,0553	-0,0424
2,68	-0,0919	-0,0309	3,02	-0,0544	-0,0425
2,69	-0,0907	-0,0315	3,03	-0,0534	-0,0426
2,70	-0,0895	-0,0320	3,04	-0,0524	-0,0427
2,71	-0,0883	-0,0326	3,05	-0,0515	-0,0428
2,72	-0,0871	-0,0331	3,06	-0,0506	-0,0429
2,73	-0,0859	-0,0337	3,07	-0,0496	-0,0430
2,74	-0,0847	-0,0342	3,08	-0,0487	-0,0430
2,75	-0,0835	-0,0347	3,09	-0,0478	-0,0431
2,76	-0,0823	-0,0352	3,10	-0,0469	-0,0431
2,77	-0,0811	-0,0356	3,11	-0,0460	-0,0432
2,78	-0,0800	-0,0361	3,12	-0,0451	-0,0432
2,79	-0,0788	-0,0365	3,13	-0,0442	-0,0432
2,80	-0,0777	-0,0369	3,14	-0,0434	-0,0432
2,81	-0,0765	-0,0373	3,15	-0,0425	-0,0432
2,82	-0,0754	-0,0377	3,16	-0,0416	-0,0432
2,83	-0,0743	-0,0381	3,17	-0,0408	-0,0432
2,84	-0,0731	-0,0384	3,18	-0,0400	-0,0432
2,85	-0,0720	-0,0388	3,19	-0,0391	-0,0431
2,86	-0,0709	-0,0391	3,20	-0,0383	-0,0431
2,87	-0,0698	-0,0394	3,21	-0,0375	-0,0430
2,88	-0,0687	-0,0397	3,22	-0,0367	-0,0430
2,89	-0,0677	-0,0400	3,23	-0,0359	-0,0429
2,90	-0,0666	-0,0403	3,24	-0,0351	-0,0428
2,91	-0,0655	-0,0405	3,25	-0,0344	-0,0427
2,92	-0,0645	-0,0408	3,26	-0,0336	-0,0427
2,93	-0,0634	-0,0410	3,27	-0,0328	-0,0426
2,94	-0,0624	-0,0412	3,28	-0,0321	-0,0425
2,95	-0,0613	-0,0414	3,29	-0,0313	-0,0424

ცხრილი 9 (გაგრძელება)

kx	μ	η	kx	μ	η
3,30	-0,0306	-0,0422	3,65	-0,0101	-0,0354
3,31	-0,0299	-0,0421	3,66	-0,0096	-0,0351
3,32	-0,0292	-0,0420	3,67	-0,0092	-0,0348
3,33	-0,0285	-0,0419	3,68	-0,0087	-0,0346
3,34	-0,0278	-0,0417	3,69	-0,0083	-0,0343
3,35	-0,0271	-0,0416	3,70	-0,0079	-0,0341
3,36	-0,0264	-0,0414	3,71	-0,0075	-0,0338
3,37	-0,0257	-0,0413	3,72	-0,0070	-0,0335
3,38	-0,025	-0,0411	3,73	-0,0066	-0,0333
3,39	-0,0244	-0,0410	3,74	-0,0062	-0,0330
3,40	-0,0237	-0,0408	3,75	-0,0059	-0,0327
3,41	-0,0231	-0,0406	3,76	-0,0055	-0,0325
3,42	-0,0225	-0,0404	3,77	-0,0051	-0,0322
3,43	-0,0218	-0,0403	3,78	-0,0047	-0,0319
3,44	-0,0212	-0,0401	3,79	-0,0044	-0,0317
3,45	-0,0206	-0,0399	3,80	-0,0040	-0,0314
3,46	-0,0200	-0,0397	3,81	-0,0037	-0,0311
3,47	-0,0194	-0,0395	3,82	-0,0033	-0,0308
3,48	-0,0188	-0,0393	3,83	-0,0030	-0,0306
3,49	-0,0183	-0,0391	3,84	-0,0026	-0,0303
3,50	-0,0177	-0,0389	3,85	-0,0023	-0,0300
3,51	-0,0171	-0,0387	3,86	-0,0020	-0,0297
3,52	-0,0166	-0,0384	3,87	-0,0017	-0,0295
3,53	-0,0160	-0,0382	3,88	-0,0014	-0,0292
3,54	-0,0155	-0,0380	3,89	-0,0011	-0,0289
3,55	-0,0150	-0,0378	3,90	-0,0008	-0,0286
3,56	-0,0144	-0,0375	3,91	-0,0005	-0,0283
3,57	-0,0139	-0,0373	3,92	-0,0002	-0,0281
3,58	-0,0134	-0,0371	3,93	0,0001	-0,0278
3,59	-0,0129	-0,0368	3,94	0,0004	-0,0275
3,60	-0,0124	-0,0366	3,95	0,0006	-0,0272
3,61	-0,0119	-0,0364	3,96	0,0009	-0,0269
3,62	-0,0114	-0,0361	3,97	0,0012	-0,0267
3,63	-0,0110	-0,0359	3,98	0,0014	-0,0264
3,64	-0,0105	-0,0356	3,99	0,0017	-0,0261

ცხრილი 9 (გაგრძელება)

kx	μ	η	kx	μ	η
4,00	0,0019	-0,0258	4,34	0,0074	-0,0169
4,01	0,0021	-0,0256	4,35	0,0075	-0,0166
4,02	0,0024	-0,0253	4,36	0,0076	-0,0164
4,03	0,0026	-0,0250	4,37	0,0077	-0,0162
4,04	0,0028	-0,0247	4,38	0,0078	-0,0159
4,05	0,0030	-0,0245	4,39	0,0078	-0,0157
4,06	0,0032	-0,0242	4,40	0,0079	-0,0155
4,07	0,0034	-0,0239	4,41	0,0080	-0,0152
4,08	0,0036	-0,0236	4,42	0,0081	-0,0150
4,09	0,0038	-0,0234	4,43	0,0081	-0,0148
4,10	0,0040	-0,0231	4,44	0,0082	-0,0145
4,11	0,0042	-0,0228	4,45	0,0083	-0,0143
4,12	0,0044	-0,0225	4,46	0,0083	-0,0141
4,13	0,0046	-0,0223	4,47	0,0084	-0,0139
4,14	0,0048	-0,0220	4,48	0,0084	-0,0136
4,15	0,0049	-0,0217	4,49	0,0085	-0,0134
4,16	0,0051	-0,0215	4,50	0,0085	-0,0132
4,17	0,0053	-0,0212	4,51	0,0086	-0,0130
4,18	0,0054	-0,0209	4,52	0,0086	-0,0128
4,19	0,0056	-0,0207	4,53	0,0087	-0,0126
4,20	0,0057	-0,0204	4,54	0,0087	-0,0123
4,21	0,0059	-0,0202	4,55	0,0087	-0,0121
4,22	0,0060	-0,0199	4,56	0,0088	-0,0119
4,23	0,0061	-0,0196	4,57	0,0088	-0,0117
4,24	0,0063	-0,0194	4,58	0,0088	-0,0115
4,25	0,0064	-0,0191	4,59	0,0088	-0,0113
4,26	0,0065	-0,0189	4,60	0,0089	-0,0111
4,27	0,0067	-0,0186	4,61	0,0089	-0,0109
4,28	0,0068	-0,0184	4,62	0,0089	-0,0107
4,29	0,0069	-0,0181	4,63	0,0089	-0,0105
4,30	0,0070	-0,0179	4,64	0,0089	-0,0103
4,31	0,0071	-0,0176	4,65	0,0090	-0,0101
4,32	0,0072	-0,0174	4,66	0,0090	-0,0099
4,33	0,0073	-0,0171	4,67	0,0090	-0,0098

ცხრილი 9 (გაგრძელება)

kx	μ	η	kx	μ	η
4,68	0,0090	-0,0096	5,02	0,0083	-0,0043
4,69	0,0090	-0,0094	5,03	0,0083	-0,0042
4,70	0,0090	-0,0092	5,04	0,0082	-0,0040
4,71	0,0090	-0,0090	5,05	0,0082	-0,0039
4,72	0,0090	-0,0088	5,06	0,0081	-0,0038
4,73	0,0090	-0,0087	5,07	0,0081	-0,0037
4,74	0,0090	-0,0085	5,08	0,0080	-0,0036
4,75	0,0090	-0,0083	5,09	0,0080	-0,0035
4,76	0,0090	-0,0081	5,10	0,0080	-0,0033
4,77	0,0090	-0,0080	5,11	0,0079	-0,0032
4,78	0,0089	-0,0078	5,12	0,0079	-0,0031
4,79	0,0089	-0,0076	5,13	0,0078	-0,0030
4,80	0,0089	-0,0075	5,14	0,0078	-0,0029
4,81	0,0089	-0,0073	5,15	0,0077	-0,0028
4,82	0,0089	-0,0072	5,16	0,0077	-0,0027
4,83	0,0089	-0,0070	5,17	0,0076	-0,0026
4,84	0,0089	-0,0068	5,18	0,0076	-0,0025
4,85	0,0088	-0,0067	5,19	0,0075	-0,0024
4,86	0,0088	-0,0065	5,20	0,0075	-0,0023
4,87	0,0088	-0,0064	5,21	0,0074	-0,0022
4,88	0,0088	-0,0062	5,22	0,0074	-0,0021
4,89	0,0087	-0,0061	5,23	0,0073	-0,0020
4,90	0,0087	-0,0059	5,24	0,0073	-0,0019
4,91	0,0087	-0,0058	5,25	0,0072	-0,0018
4,92	0,0087	-0,0056	5,26	0,0071	-0,0017
4,93	0,0086	-0,0055	5,27	0,0071	-0,0016
4,94	0,0086	-0,0054	5,28	0,0070	-0,0016
4,95	0,0086	-0,0052	5,29	0,0070	-0,0015
4,96	0,0085	-0,0051	5,30	0,0069	-0,0014
4,97	0,0085	-0,0049	5,31	0,0069	-0,0013
4,98	0,0085	-0,0048	5,32	0,0068	-0,0012
4,99	0,0084	-0,0047	5,33	0,0068	-0,0011
5,00	0,0084	-0,0045	5,34	0,0067	-0,0011
5,01	0,0083	-0,0044	5,35	0,0066	-0,0010

ცხრილი 9 (გაგრძელება)

kx	μ	η	kx	μ	η
5,36	0,0066	-0,0009	5,43	0,0062	-0,0004
5,37	0,0065	-0,0008	5,44	0,0061	-0,0004
5,38	0,0065	-0,0008	5,45	0,0061	-0,0003
5,39	0,0064	-0,0007	5,46	0,0060	-0,0002
5,40	0,0064	-0,0006	5,47	0,0060	-0,0002
5,41	0,0063	-0,0006	5,48	0,0059	-0,0001
5,42	0,0062	-0,0005	5,49	0,0058	0,0000

ლიტერატურა:

1. Шахунянц 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 указание 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.

სარჩემი

	შესავალი	ბმ. 3
თაზი 1	ლიანდაგის ზედა ნაშენის გაანგარიშება სიმტკიცეზე	6
1.1	ძირითადი წანამძღვრები და დაშვებები ლიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე გაანგარიშების დროს	6
1.2	სარელსო საფუძვლის დრეკადობის მოდული	8
1.3	ლიანდაგზე ძალთა ზემოქმედების ალბათობითი ხასიათი	11
1.4	ლიანდაგის სიმტკიცეზე სტატიკური გაანგარიშების საფუძვლები ვერტიკალური ძალების ზემოქმედებაზე	14
1.5	ლიანდაგის დინამიკური გაანგარიშების საფუძვლები ვერტიკალური ძალების ზემოქმედებაზე	18
1.6	დასაშვები ძაბვების მნიშვნელობები ლიანდაგის ელემენტებში	20
1.7	ლიანდაგის ზედა ნაშენის სიმტკიცეზე გაანგარიშება	23
თაზი 2	უპირაპირო ლიანდაგის გაანგარიშება მდგრადობაზე	32
	დანართი	40
	ლიტერატურა	60