

გიორგი შავიძე

ვაგონების წყვილთვლების გაუმართაობათა კვლევა და
სისტემატიზაცია, მათი აღმოფხვრის მეთოდების
ოპტიმიზაცია საიმედოობის ამაღლებისათვის

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
მარტი, 2012 წელი

საავტორო უფლება © 2012 წელი, შავიძე გიორგი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით შავიძე გიორგის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ვაგონების წყვილთვლების გაუმართაობათა კვლევა და სისტემატიზაცია, მათი აღმოფხვრის მეთოდების ოპტიმიზაცია საიმედოობის ამალგებისათვის“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

მარტი, 2012 წელი

ხელმძღვანელი:

თამაზ გრიგორაშვილი

რეცენზენტი:

ნუგზარ რურუა

რეცენზენტი:

ნიკოლოზ თევდორაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
2012 წელი

ავტორი: შავიძე გიორგი
დასახელება: „ვაგონების წყვილთვლების გაუმართაობათა კვლევა და სისტემატიზაცია, მათი აღმოფხვრის მეთოდების ოპტიმიზაცია საიმედოობის ამაღლებისათვის”

ფაკულტეტი: სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის
ხარისხი: დოქტორი
სხდომა ჩატარდა: მარტი, 2012 წელი

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ვაგონი წარმოადგენს რკინიგზის მოძრავი შემადგენლობის ძირითად ერთეულს, რომლის დანიშნულებაა მგზავრების გადაყვანა და ტვირთების გადაზიდვა. მიუხედავად იმისა, რომ ვაგონები თავიანთი დანიშნულებით სხვადასხვა ტიპის და კონსტრუქციისაა მათი ძირითადი კვანძების პრინციპული მოწყობილობა თითქმის ერთნაირია, ეს კვანძებია: ვაგონის ჩარჩო, დამრტყმელ-საწვევი მოწყობილობა, სამუხრუჭე სისტემა, სავალი ნაწილები, რომელთა გამართულობას და საიმედოობას უმთავრესი მნიშვნელობა ენიჭება მატარებელთა უსაფრთხო მოძრაობის საკითხში. ჩამოთვლილი კვანძებიდან, მოცემული სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის ძირითად მიმართულებას წარმოადგენს ვაგონის სავალი ნაწილების, კერძოდ კი წვეილთვლები.

წვეილთვალი, რომელიც შედგება ღერძისა და მასზე ხისტად მოთავსებული ორი თვლისაგან, წარმოადგენს ვაგონის ერთ-ერთ მთავარ და საპასუხისმგებლო ნაწილს, რომლის დანიშნულებაა მიიღოს ვაგონის ძარის მიერ გადაცემული დატვირთვა და ვაგონს მოძრაობის დროს მისცეს სათანადო მიმართულება. წვეილთვლებს მუშაობა უხდებთ მძიმე პირობებში, მათ გადაეცემათ სტატიკური და დინამიკური დატვირთვები, რომლებიც წარმოიქმნება მატარებელთა მოძრაობისას, რის გამოც ისინი განიცდიან გარკვეულ ცვეთას და დაზიანებას.

აღსანიშნავია, რომ ამ საკითხის ირგვლივ, ანუ ვაგონების ექსპლუატაციისას წვეილთვლების ცვეთის, გაუმართაობების გამომწვევი მიზეზების შესწავლაზე და შესაბამისად, მათი შემცირების გზებზე მრავალი მეცნიერის მიერ ჩატარებულ იქნა კვლევები და მიღებულ იქნა შესაბამისი დასკვნებიც, თუ რა იწვევს ამ გაუმართაობათა წარმოქმნას, მათ გაზრდას და ა.შ. მაგრამ მეცნიერთა მხრიდან ვაგონების წვეილთვლების გაუმართაობების, ცვეთების შემცირების ირგვლივ შემოთავაზებული წინადადებებისა და რეკომენდაციების მიუხედავად, უნდა აღინიშნოს, რომ დღეისათვის საქართველოს რკინიგზაზე, მისი გეოგრაფიული მდებარეობიდან გამომდინარე, რის მიხედვითაც მთლიანი გზის საშუალოდ 30-35%-ს შეადგენს სხვადასხვა მცირე რადიუსიანი მრუდები და ხშირია ვაგონების მოძრაობა ამ მრუდებზე. ვაგონების წვეილთვლების ქიმების ინტენსიური ცვეთის პრობლემა ისევ აქტუალურია, რასაც მოწმობს ჩემს მიერ ჩატარებული კვლევებიც, კერძოდ:

1. ჩატარებული პრაქტიკული დაკვირვებებით, რომელიც მიმდინარეობდა გზის რთული პროფილეს მქონე მრუდ უბანზე მოძრავ ვაგონებზე გამოვლინდა, რომ თუ სწორ მონაკვეთებზე ვაგონების მოძრაობისას წვეილთვლების ქიმების ცვეთა ყოველ 20.000 კმ-ში შეადგენს საშუალოდ 1,2 მმ-ს, მცირე რადიუსიანი მრუდებში ექსპლუატაციისას ქიმების ცვეთამ 20.000 კმ-ის გაგლისას შეადგინა 2,5 მმ, რაც წარმოადგენს ერთობ უარყოფით მაჩვენებელს.

2. თბილისის, ხაშურის, ბათუმის, სამტრედიის სავაგონო დეპოებში სარემონტოდ შესული წვეილთვლების ანლიზმა აჩვენა, რომ იმ ძირითადი გაუმართაობებიდან, როგორცაა: დანადგული, ამოცვეთა, თანაბარი ცვეთა, წრიული დამუშავებანი, ამოტეხილობა, არათანაბარი

ცვეთა, თელის ადგილობრივი გაფართოება, ქიმის დამუშავება და სხვა, მათ შორის უმეტესობას, ანუ 70%-ს წარმოადგენს ქიმების ცვეთა და დაზიანება (მახვილი ქიმი და ქიმის დათხელება), რომლის ინსტრუქციით დადგენილ ნორმებში მოყვანისათვის (30-33 მმ), ზემოთ ჩამოთვლილ სხვა დეფექტებთან შედარებით საჭიროა გაცილებით მეტი სამუშაოების ჩატარება და ხარჯების გაწევა, კერძოდ: წყვილთვლის გორვის ზედაპირზე დანადურის ადგილობრივი გაფართოების და სხვა ამგვარი დაზიანების დროს გაუმართაობის აღმოსაფხვრელად საჭიროა მხოლოდ დადგენილი წესის შესაბამისად ზედაპირიდან მათი მოცილება, ეს კი ისე ხდება, რომ ამ შემთხვევაში რაიმე ზედმეტ დანაკრებს და ხაჯებს ადგილი არა აქვს, ხოლო გაცივებული ქიმის დროს, მაგალითად, თუ იგი არის უკვე 23 მმ, რაც იწვევს ვაგონების ლიანდაგიდან აცდენის საშიშროებას, გეგმიური შეკეთებიდან გამოსული წყვილთვლების ინსტრუქციული მოთხოვნების თანახმად მათი 30 მმ-მდე შევსებისათვის საჭიროა მოცემული ზომების სხვაობა (30-23), ანუ 7 მმ გავამრავლოთ 2-ზე და ამ რაოდენობის, ე.ი. 14 მმ ფერსოს სისქე ავიღოთ, ეს კი წარმოადგენს ერთობ დიდ დანაკარგს, რადგანაც დადგენილი ზღვარი, რომლის მიხედვითაც ყოველ 20.000 კმ-ში წყვილთვლების საშუალო ცვეთა შეადგენს 1 მმ-ს, 14 მმ სისქის ფერსოს საღი ზედაპირის ადებით ვკარგავთ 280.000 კმ-ის რესურსს, რომელიც შეიძლება გაიაროს წყვილთვალმა ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში, რაც კიდევ ერთ-ერთი დასტურია იმისა, რომ აღნიშნული პრობლემა მართლაც ძალზე აქტუალურია და, რომ ვაგონების ექსპლუატაციისას წყვილთვლების ქიმების ხშირი ცვეთის, დაზიანების გამომწვევი პროცესების საკითხები ჯერ კიდევ არ არის ბოლომდე შესწავლილი და მოითხოვს ამ მხრივ დამატებით კვლევას და მათი შემცირებისათვის გარკვეული რეკომენდაციების შემუშავებას.

ზემოთაღნიშნული პრობლემიდან გამომდინარე ჩვენ ვაწარმოვეთ აღნიშნული საკითხის შესწავლა, კერძოდ: ლიტერატურული წყაროებიდან არსებული ფორმულების ბაზაზე ჩვენს მიერ შემუშავებულ იქნა წყვილთვლების ქიმების ცვეთის მახასიათებლის საანგარიშო მათემატიკური ფორმულა, რის საფუძველზეც ჩატარდა გაანგარიშებები და მიღებულ იქნა ქიმის ცვეთის მახასიათებლის რიცხვითი მნიშვნელობები გზის სხვადასხვა რადიუსიან უბნებზე ვაგონების სხვადასხვა სიჩქარით მოძრაობისას და აგებულ იქნა ქიმების ცვეთის მახასიათებლის დამოკიდებულების გრაფიკები მატარებლის მოძრაობის სიჩქარის და ლიანდაგის სიმრუდის რადიუსის ცვალებადობაზე, ყოველივე ამან კი მოგვეცა საშუალება დაგვეჩვენა, თუ როგორ იცვლება (გაზრდის, ან შემცირებისაკენ) ქიმის ცვეთის მახასიათებლის სიდიდე გზის სხვადასხვა რადიუსიან მრუდებში მატარებლების სხვადასხვა სიჩქარით მოძრაობისას, კერძოდ: გრაფიკებიდან იკვეთება, რომ ქიმების ცვეთის მახასიათებლის განსაკუთრებული ზრდა ხდება 600-დან 100 მ-მდე რადიუსის მრუდებში ვაგონების მოძრაობისას, მათ შორის მკვეთრად 300 დან 100 მ რადიუსებზე, ხოლო 601-დან 1000 მ-მდე რადიუსის მრუდებში მოძრაობისას ქიმების ცვეთა კლებულობს, ასევე გამოიკვეთა, რომ მატარებლის სიჩქარის მომატებით და მრუდის რადიუსის შემცირებით ყველა შემთხვევაში ადგილი აქვს ქიმების ცვეთის ზრდას, ხოლო მრუდის რადიუსის გაზრდით და სიჩქარის შემცირებით ქიმის ცვეთის სიდიდე კლებულობს.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, რადგანაც ჩვენს მიერ დადგენილ იქნა, რომ ქიმების ინტენსიური ცვეთის ერთ-ერთ მთავარ მიზეზს წარმოადგენს, როგორც გზის მრუდი მონაკვეთები, ასევე მატარებელთა მოძრაობის სიჩქარე გაზრდილი ცვეთების შემცირების მიზნით ვიძლევიტ რეკომენდაციას, რომ გზის იმ მონაკვეთებზე ვაგონების მოძრაობისას, სადაც მნიშვნელოვნად იზრდება წყვილთვლების ქიმების ცვეთა, ანუ 600-დან 100 მ-მდე რადიუსიან მრუდეებში ვაწარმოთ მატარებლის მოძრაობის სიჩქარის შემცირება, კერძოდ: 300 დან 100 მ-მდე რადიუსიან მრუდეებში დადგენილი 40 კმ/სთ სიჩქარის ნაცვლად რეკომენდირებულია სატვირთო მატარებლებმა იმოძრაოს 30კმ/სთ სიჩქარით, ხოლო 600-დან 301 მ-მდე რადიუსიან მრუდეებში დადგენილი 60 კმ/სთ სიჩქარის ნაცვლად 50კმ/სთ სიჩქარით, რაც საერთო ჯამში გვაძლევს ვაგონის წყვილთვლების ქიმების ცვეთის 17%-ით შემცირების საშუალებას.

Summary

Carriage represents the basic unit of rolling stock, its purpose is to transport passengers and cargo. Despite the fact that carriages with their function are different types and construction, their principal device nodes are almost the same, these nodes are: carriage frame, shock-bascule device, brake system, auto parts, which reliability and functionality is the most important in the safe movement of trains. From the listed nodes, this thesis research is to focus on parts of the train traffic, in particular wheelsets.

Wheelset, which consists of the axis and two wheel placed it on a large scale, is one of the main and responsible part of the body of carriage, whose purpose is to take the transmitted strain by the body of carriage and to give the appropriate destination to the carriage during the movement. Wheelsets have to work in difficult conditions, they will be given to static and dynamic loads, which arise in carriers of the motion, which is why they suffer some depreciation and damage.

It should be noted, that around this issue, or Carriages operating wheelsets depreciation, to study the causes of failure and accordingly, their ways of reducing the number of studies have been carried out by scientists and adopted the conclusions about what causes this failure formation, their growth, etc., but despite the summary of proposals from the scientists about wheelsets failure, depreciation reduction over the proposed suggestions and recommendations, it should be noted that over the railway, its geographic location to which the whole of the road an average of 30-35% of all small radius curves and its frequent movement of carriages on this curves, its again actual the problem of wheelsets crests intensive depreciation, which is proved by my research as well, namely:

1. With the practical observations, which was in progress on the profile of a complex curve of the road section, detected on the moving carriages, that if in the moving of the correct sections of the carriages wheelsets crests depreciation in every 20.000 km is about 1.2 mm, in exploitation of minor radius curves crests depreciation reached to -2,5mm, that is very negative indicator.

2. Logged repair wheelsets analysis showed in the carriage depots of Tbilisi, Khashuri, Batumi, Samtredia, that from the major failure, as it is: weeding, depreciation out, equal depreciation, circular processing, break out, nonequal depreciation, local expansion of wheel, processing of the crest and others, between them most of all, 70% is crest depreciation, and damage (stress crest and thinness of the crest), for the regulations set standards for the cultivation (30-33 mm), other than the abovenamed defects its necessary to make many more works and make expenses, concretely: local expansion of weeding on the surface of wheelset roll and to eliminate failure at the time of other damages like that, is necessary their removal from the surface only according to the rull set, that happens so, that there isn't any more losses and expences, at the time of the spillway crest, for example, if it is already 23 mm, that causes the danger of carriages thrown from the rails, after the scheduled maintenance in accordance with the requirements of instructional wheelset its necessary to fill their 30 mm, distinction of the given sizes (30-23), or to multiply 7 mm on 2 and to take from this quantity, 14 mm thickness rim, this is large loss, because according to the margin in every 20.000 km average depreciation of wheelset consist 1 mm, we loss 280.000 km resource with the given of 14 mm thickness rim from the sober surface, which may pass wheelset in the conditions of normal exploitation, that is one of the confirmation, that marked problem is really

actual and that frequent depreciation of the wheelset crests during the exploitation of carriages, processes causing the damage is not yet fully explored and requires further research in the field and some recommendations for their reduction.

From the above-mentioned problem we have studied the marked issue, concretely: on the basis of the formulas from the literature sources, numerical meanings of the wheelset crests depreciation characteristic at the time of moving with various speeds on the various radius precincts and built schedules of the crests depreciation characteristic's dependence on the moving speed of train and radius variation of the rail-track, these things took us the possibility to show, how changes in size of the crest wear characteristic (increasing or decreasing) at the time of moving with various speeds in the various radius curves of the road, concretely: appears from the graphs that crest depreciation characteristic's special increase happens at the time of moving in from 600 to 100 m. radius curves, between them sharply on the radiuses from 300 to 100, and at the moving in the curves from 601 to 1000 radius crests depreciation decreases, also it's clear, that with the increase in speed of train and decrease of radius of curve in any case crest wear increases, and with increase of curve radius and with decrease of speed crest depreciation size decreases.

Based on the above, as determined by us, that the reason of the crests intensive depreciation is, as curve sections of road, also with the purpose of decrease of trains moving increase speed depreciations we give recommendation, that at the time of moving of carriages on this sections of road, where significantly increases wheelset crests depreciation, or make train moving speed decrease in the curves from 600 to 100 m. radius, concretely: instead of established speed 40 km/h in the curves from 300 to 100 m. radius it's recommended for trains to move with 30 km/h, and instead of established speed 60 km/h in the curves from 600 to 301 m. radius, that in sum gives us the possibility of decrease crest depreciation's 17% of carriage wheelsets.

შინაარსი

შესავალი	12
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	15
2. შედეგები და მათი განსჯა	38
2.1. ვაგონების წყვილთვლებისადმი წაყენებული მოთხოვნები ექსპლუატაციაში	38
2.2. წყვილთვლის საიმედოობის და მდგრადობის კრიტერიუმები	47
2.3. ვაგონების წყვილთვლებზე დაკვირვებებით გამოვლენილი გაუმართაობების სისტემატიზაცია და დისერტაციაში განსახილველი ამოცანის დასმა.....	61
2.4. დისერტაციაში დასმული განსახილველი ამოცანის გადაჭრის მეთოდი	71
2.4.1. ხახუნის და ცვეთის ზოგადი თეორია	71
2.4.2. ლიანდაგის სწორ უბანზე წყვილთვლების მოძრაობის თეორიული ანალიზი.....	82
2.4.3. ლიანდაგის მრუდ უბანზე წყვილთვლების მოძრაობის თეორიული ანალიზი.....	94
2.4.4. წყვილთვლების ექსპლუატაციისას ქიმების ცვეთის შემცირებისათვის შემუშავებული რეკომენდაციების მათემატიკური დასაბუთება	105
2.5. შემუშავებული რეკომენდაციების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტი	113
3. დასკვნა.....	116
გამოყენებული ლიტერატურა	118

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. ექსპლუატაციაში წყვილთვლის ელემენტების ცვეთის დასაშვები ზომები.....	41
ცხრილი 2. წყვილთვლების ქიმების ცვეთის ანალიზი	62
ცხრილი 3. წყვილთვლების გაუმართაობათა ანალიზი.....	63
ცხრილი 4. წყვილთვლების გაუმართაობათა ანალიზი	64
ცხრილი 5. წყვილთვლების გაუმართაობათა ანალიზი	64
ცხრილი 6. წყვილთვლების გაუმართაობათა ანალიზი	65
ცხრილი 7. წყვილთვლების გაუმართაობათა ანალიზი	65
ცხრილი 8. ქიმების ცვეთის მახასიათებლის სიდიდეები	108
ცხრილი 9. შემუშავებული რეკომენდაციების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტი.....	114
ცხრილი 10. შემუშავებული რეკომენდაციების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტი.....	115

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1.	სატვირთო ვაგონის ურიკა	16
ნახ. 2.	წყვილთვალა PY - 1	17
ნახ. 3.	წყვილთვალის ღერძი.....	18
ნახ. 4.	წყვილთვალის თვალი ჭრილში	19
ნახ. 5.	„ენიუტ“ - ის მიერ შემუშავებული წყვილთვალის გორვის ზედაპირის ახალი პროფილი	26
ნახ. 6.	„რ65ნ6კ“ ტიპის რელსი.....	31
ნახ. 7.	გაცვეთილი ქიმების აღდგენა დადუღების მეთოდით	35
ნახ. 8.	დამღები ღერძზე	45
ნახ. 9.	ურიკის საანგარიშო სქემა	48
ნახ. 10.	ქიმისა და რელსის თავის გვერდითი ზედაპირის ნახუნზე დახარჯული ენერგიის საანგარიშო სქემა	51
ნახ. 11.	ქიმისა და რელსის თავის კონტაქტის წერტილში მოქმედი ძალები	54
ნახ. 12.	ქიმის დახრის კუთხის დამოკიდებულების გრაფიკი ნახუნის კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის..	55
ნახ. 13.	წყვილთვალზე მოქმედი ძალები რელსზე ბორბლის შეხების მომენტისათვის	58
ნახ. 14.	წყვილთვალის ძირითადი გაუმართაობები	66
ნახ. 15.	ქიმის ცვეთა და დაზიანება.....	69
ნახ. 16.	თვლის გაუმართაობათა ანალიზი	70
ნახ. 17.	წინასწარი გადაადგილების და ტანგენციური ძალის დამოკიდებულების გრაფიკი	77
ნახ. 18.	წინასწარი გადაადგილების მრუდი	78
ნახ. 19.	ერთეული ბურთულის ჩაღრმავების სქემა	80
ნახ. 20.	წყვილთვალის ზიგზაგური მოძრაობის სქემა.....	85
ნახ. 21.	ჰორიზონტალური გვერდითი და ჩარჩო ძალების მოქმედების სქემა	95
ნახ. 22.	ურიკაზე გვერდითი ძალის მოქმედების სქემა.....	97
ნახ. 23.	გვერდითი ჰორიზონტალური ძალების საანგარიშო გარდაქმნილი სქემა	98
ნახ. 24.	საისრო გადამყვანებისათვის თვლის განივი ძალის საანგარიშო სქემა	104
ნახ. 25.	ქიმის ცვეთის მახასიათებლის დამოკიდებულების გრაფიკი სხვადასხვა მრუდის რადიუსზე და სიჩქარეზე	109
ნახ. 26.	ქიმის ცვეთის მახასიათებლის დამოკიდებულების გრაფიკი სხვადასხვა მრუდის რადიუსზე და სიჩქარეზე	110
ნახ. 27.	ქიმის ცვეთის მახასიათებლის დამოკიდებულების გრაფიკები სხვადასხვა მრუდის რადიუსზე და სიჩქარეზე	111

შესავალი

ტრანსპორტის არსებულ სახეობათა შორის განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს სარკინიგზო ტრანსპორტს, რომელიც ქვეყნის მეურნეობის უმნიშვნელოვანესი დარგია. მას მჭიდრო ტექნიკურ-ეკონომიკური ურთიერთობა აქვს მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობის საწარმოებთან, რომელიც გარკვეულ წილად მონაწილეობს წარმოებების კოპირებაში, ახალი ეკონომიკური რაიონების ათვისებასა და საწარმოო ძალთა რაციონალურ განლაგებაში. სარკინიგზო ტრანსპორტი ერთმანეთთან აკავშირებს ქვეყნის რაიონებს, მხარეებს, ცალკეულ რეგიონებს და სხვა. მისი მუშაობა მჭიდროდ ერწყმის წარმოებების მუშაობის ტექნოლოგიებს, და მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მოსახლეობის მატერიალურ-კულტურული დონის ამაღლებასა და სოციალური განვითარების დაჩქარებაში. რკინიგზის ტრანსპორტი მოწოდებულია მაქსიმალურად უზრუნველყოს თანამედროვე გაზრდილ მოთხოვნილებათა დაკმაყოფილება ტვირთზიდვისა და მგზავრების გადაყვანაზე. მას წამყვანი ადგილი უჭირავს ერთიან სატრანსპორტო სისტემაში, რომელიც მთელი ტვირთბრუნვისა და მგზავრნაკადის უდიდეს ნაწილს ასრულებს. ტრანსპორტის ეს სახეობა ასეთ პრიორიტეტულ და წამყვან მდგონარეობას მასობრივ გადაზიდვებში ჯერ კიდევ დიდხანს შეინარჩუნებს. ამასთან ერთად, ტრანსპორტის სხვა სახეობებთან შედარებით, რკინიგზა გადაზიდვებს ახორციელებს წლისა და დღე-ღამის ნებისმიერ დროს, ე.ი. ტრანსპორტირების პროცესი დამოკიდებული არ არის კლიმატურ პირობებზე.

ჩვენი ქვეყანა მტკიცედ დაადგა ეკონომიკური განვითარებისა და რეფორმების რეალური განხორციელების მიმართულებას. ასეთ პირობებში სერიოზული ამოცანები ისახება ტრანსპორტის, განსაკუთრებით კი რკინიგზის წინაშე. სრულიად ახალი მოთხოვნები წაყენება სარკინიგზო ტრანსპორტს და მის საექსპლუატაციო მუშაობას, რომლის მრავალფეროვანი და დაძაბული მუშაობა დამოკიდებულია მასში შემავალი ძირითადი დარგების ტექნიკურ სიმძლავრეზე, ე.ი. თანამედროვე ტექნიკით აღჭურვასა და ტექნოლოგიების გამოყენებაზე.

ეროვნული მეურნეობის შემდგომი განვითარება მოითხოვს რკინიგზის ქსელის სათანადო განვითარებას და გაძლიერებას. სახელდობრ: არსებული რკინიგზის სადგურების რეკონსტრუქცია-განვითარებას, თანამედროვე მოძრავი შემადგენლობებით სავაგონო და სალოკომოტივო პარკების შევსებას, ლიანდაგების და სალიანდაგო მეურნეობის მუშაობის სრულყოფას, შრომატევადი პროცესების მექანიზაციასა და ავტომატიზაციას, მოძრავი შემადგენლობის შემკეთებელი საწარმოების თანამედროვე ტექნოლოგიებით და მოწყობილობებით აღჭურვას და სხვა იმ ძირითად პროცესებს, რომლებზედაც რკინიგზის ტრანსპორტის ჯანსაღი მუშაობაა დამოკიდებული.

ჩვენს ქვეყანაში სარკინიგზო ტრანსპორტი ეროვნული მეურნეობის ერთადერთი დარგია, რომელსაც გააჩნია შესაბამისი შესაძლებლობები სტაბილურად და უსაფრთხოდ უზრუნველყოს ტვირთზიდვა და მგზავრთა გადაყვანა. საქართველოში მრეწველობისა და სოფლის მეურნეობის წინათ არსებული დონის აღდგენა და პერსპექტიული წინსვლის დასახული მიმართულებანი სატრანზიტო გადაზიდვების მაქსიმალური უზრუნველყოფა დიდ და სერიოზულ ამოცანებს უსახავს რკინიგზას და აუცილებელს ხდის მის შემდგომ განვითარებას, რაც ეპირველესად დამოკიდებულია მასში შემავალი სალოკომოტივო, სალიანდაგო, სავაგონო და სხვა ძირითადი დარგების განვითარებაზე.

სავაგონო მეურნეობა რკინიგზის ტრანსპორტის ერთ-ერთი წამყვანი დარგია, რომლის ტექნიკურ გამართულობასა და მუშაობის სწორ ორგანიზებაზე როგორც აღინიშნა დიდადაა დამოკიდებული, როგორც რკინიგზის ასევე სახალხო მეურნეობის განვითარებისა და ზრდის პერსპექტივები. სავაგონო პარკი ძირითადად იყოფა ორ ნაწილად: სატვირთო და სამგზავრო ვაგონების პარკად. სამგზავრო ვაგონების დანიშნულებაა მგზავრთა გადაყვანა, ხოლო სატვირთო ვაგონების ძირითად ამოცანას კი ტვირთების გადაზიდვა წარმოადგენს. მიუხედავად იმისა, რომ ვაგონები თავიანთი დანიშნულებით სხვადასხვა ტიპის და კონსტრუქციისაა, მათი ძირითადი კვანძების პრინციპული მოწყობილობა თითქმის ერთნაირია. ასეთ ელემენტებს მიეკუთვნებიან: ვაგონის ჩარჩო, დამრტყმელ-საწვეი მოწყობილობა, სამუხრუჭე სისტემა, სავალი ნაწილები (წყვილთვლები), რომელთა ტექნიკური გამართულობა და საიმედოობა უდიდეს გავლენას ახდენს მატარებელთა უსაფრთხო

მოძრაობაზე. სავაგონო დარგის წარმატებული მუშაობა მიიღწევა სავაგონო პარკის უკეთ გამოყენებით, მათი ბრუნვის (დატვირთვა-დაცლა) და შეკეთებაში ყოფნის დროის შემცირებით, ასევე ვაგონების ექსპლუატაციისას მისი კვანძების გაუმართაობათა გამომწვევი მიზეზების მაქსიმალური აღმოფხვრით და შესაბამისად მათი საექსპლუატაციო ვადების გახანგრძლივებით.

სწორედ ზემოთ აღნიშნული წარმოადგენს მოცემული სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიმართულებას, რომელიც შეეხება ვაგონის ერთ-ერთი საპასუხისმგებლო კვანძის, წყვილთვლების ექსპლუატაციისას წარმოქმნილ გაუმართაობათა კვლევას, ამ გაუმართაობების სისტემატიზაციას, აღმოფხვრის ოპტიმიზაციას და საიმედოობის ამაღლებას.

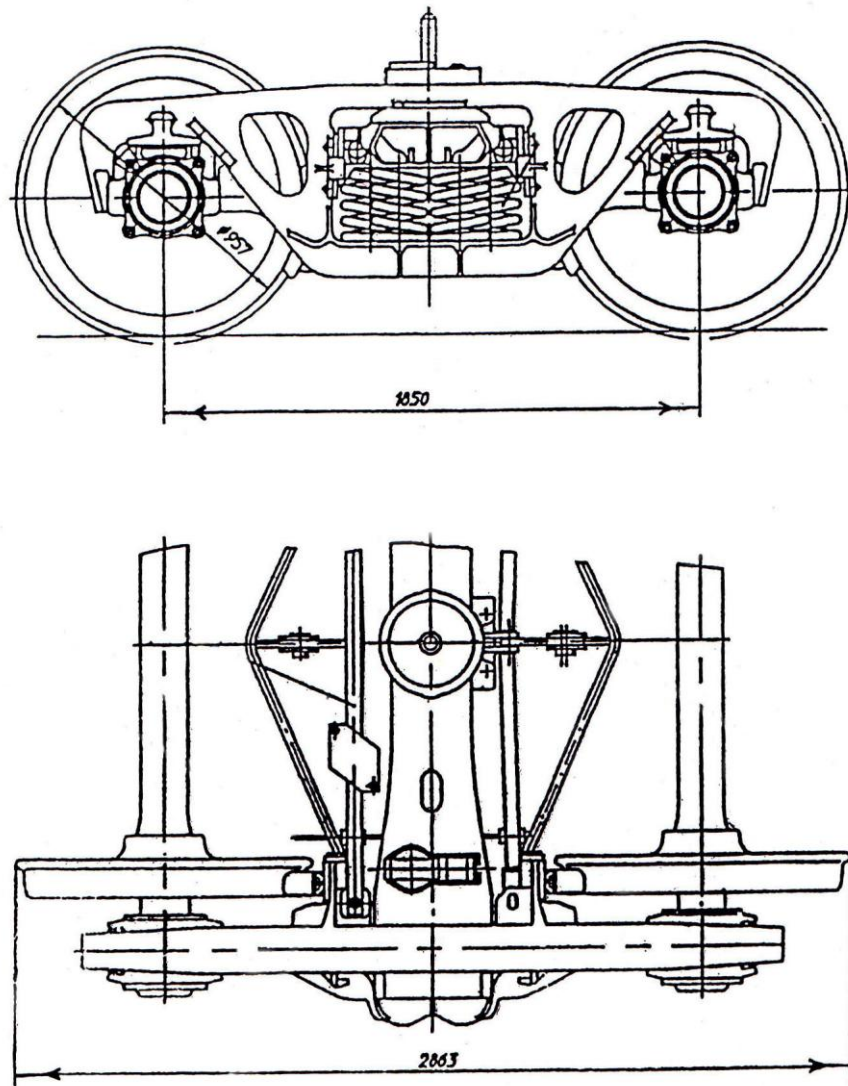
1. ლიტერატურის მიმოხილვა

სავალი ნაწილები მათ შორის წყვილთვლები ვაგონის ერთ-ერთი მთავარი და საპასუხისმგებლო კვანძია. წყვილთვალი შედგება ღერძისა და მასზე ხისტად მოთავსებული ორი თვლისაგან (ნახ. 1, 2, 3, 4), თვლები ძირითადად მზადდება მთლიანი უარტახო, ხოლო მოტორიანი ვაგონებისა და ლოკომოტივებისათვის, შედგენილი არტახიანი. ღერძები ერთმანეთისაგან განირჩევიან დასაშვები დატვირთვის სიდიდით, ღერძის ყელისა და განივი კვეთის ფორმით, გარდა კონსტრუქციულ ნიშანთა სხვაობისა, ღერძები იყოფა მასალისა და დამზადების მიხედვითაც. წყვილთვლების ტიპი განისაზღვრება ღერძის ტიპისა და თვლის დიამეტრით. დღეისათვის საქართველოს რკინიგზის არსებული სავაგონო პარკი აღჭურვილია შემდეგი ტიპის წყვილთვლებით:

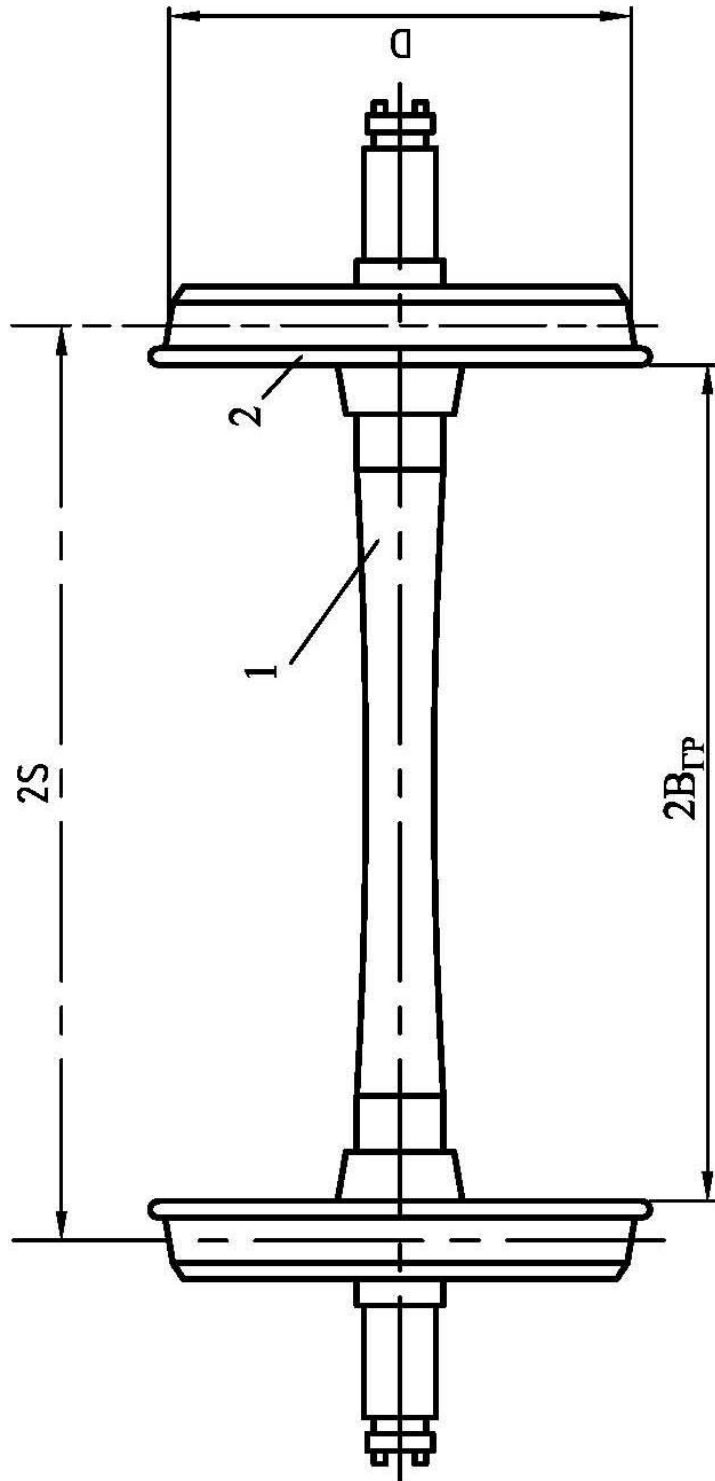
1. PY_1 950 ღერძის ტიპით PY_1 , თვლის დიამეტრით 950 მმ.
2. PY_1 III 950 ღერძის ტიპით PY_1 III, თვლის დიამეტრით 950 მმ.

„PY“ აღნიშნავს გორგოლაჭებიან უნიფიცირებულს, ე.ი. მათი გამოიყენება შესაძლებელია, როგორც სამგზავრო, ასევე სატვირთო ვაგონებისათვის. მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოება დიდად არის დამოკიდებული წყვილთვლების კონსტრუქციაზე, მასალაზე, დამზადების ტექნოლოგიასა და შეკეთების ხარისხზე, ასევე მათ სათანადო გასინვა-შემოწმებაზე. წყვილთვლების კონსტრუქცია და მათი გამართული მდგომარეობა ექსპლუატაციაში გავლენას ახდენს მატარებლის მდორე სვლაზე, წყვილთვლებსა და რელსებს შორის წარმოქმნილ ძალების სიდიდესა და მოძრაობის წინააღობაზე, რის გამოც წყვილთვლების კონსტრუქცია უნდა იყოს მტკიცე, საიმედო და ყოველთვის გამართულ მდგომარეობაში.

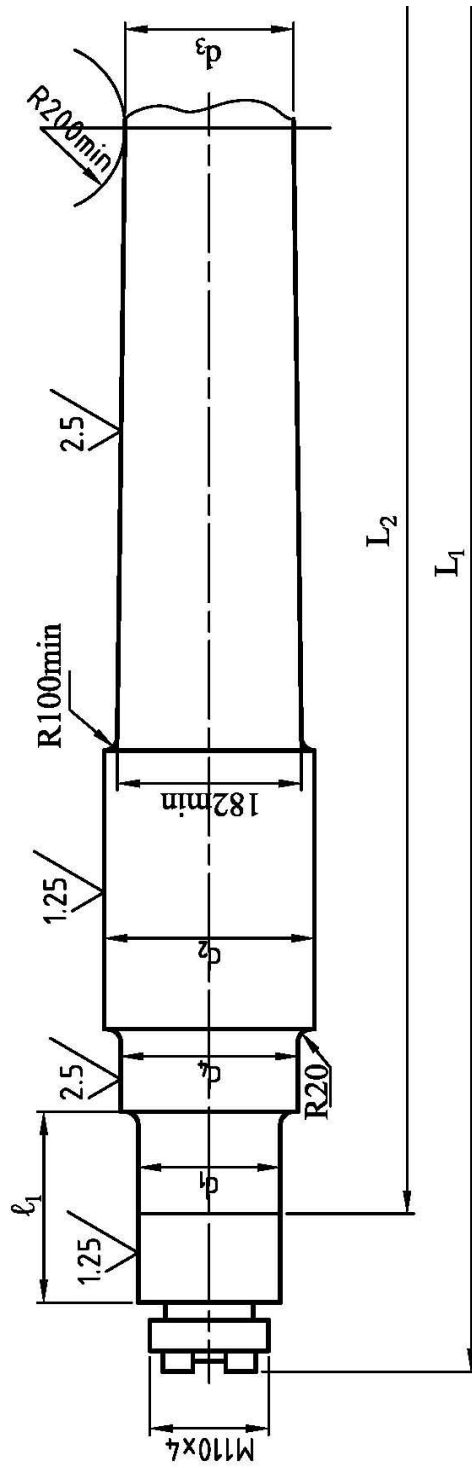
წყვილთვლებს მუშაობა უხდებათ მძიმე პირობებში, მათ გადაეცემათ სტატიკური და დინამიკური დატვირთვები, რომელიც წარმოიქმნება მატარებელთა მოძრაობის დროს. ამასთან, მრუდ უბნებზე გავლისას ღებულობენ დამატებით დატვირთვებს, რის გამოც ისინი განიცდიან გარკვეულ ცვეთას და დაზიანებას.



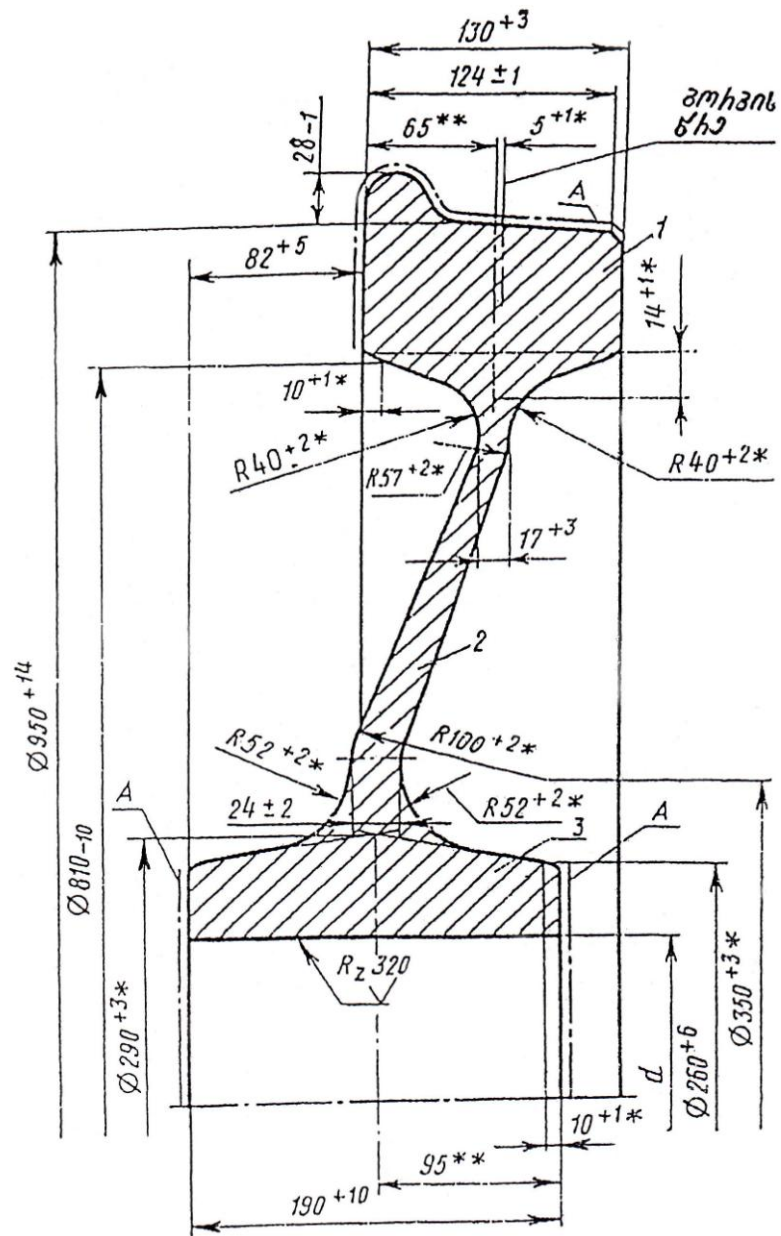
ნახ. 1. სატვირთო ვაგონის ურიკა



ნახ. 2. წვეილთეგალი PУ-1



ნახ. 3. წყველთვლის ღერძი



ნახ. 4. წყვილთვლის თვალი ჭრილში

სარკინიგზო ტრანსპორტის განვითარებისათვის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენს სწორედ ზემოთ აღნიშნული ვაგონის კვანძების, მათ შორის წყვილთვლების, როგორც კონსტრუქციულ, ასევე ექსპლუატაციურ საკითხებში წარმოქმნილი ნაკლოვანებების სრულყოფა. ამ მნიშვნელოვანი ამოცანის განხორციელებისათვის კი საჭიროა ვაგონების ექსპლუატაციის პროცესების შესწავლა, რომლის კვლევის ძირითადი მიზანია მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი მოძრავი შემადგენლობების და რკინიგზის კონსტრუქციებში აღძრული მავნე რხევები და დინამიკური ძალები.

არსებობს ვაგონების ექსპლუატაციის შესწავლის ორი მეთოდი: ექსპერიმენტული და ანალიზური. ექსპერიმენტული მეთოდი დამყარებულია უკვე არსებული ვაგონის ძალურ გამოცდაზე ლაბორატორიულ პირობებში, ხოლო ანალიზური მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია არა მარტო არსებული ვაგონის დინამიკური პარამეტრებისა და მახასიათებლების გამოკვლევა, არამედ დაგეგმარების პროცესში მყოფი ვაგონის ოპტიმალური დინამიკის დადგენაც. ანალიზური მეთოდი ძირითადია ვაგონის ექსპლუატაციის კვლევისას, ხოლო სხვა მეთოდები წარმოადგენს ანალიზური კვლევის შედეგების დამადასტურებელ საშუალებებს. კვლევების სრულყოფილად ჩატარებისათვის სასურველია გამოყენებულ და გაცნობილ იქნეს ამ მხრივ ადრე შესრულებული სამუშაოების შედეგები და უახლოესი მიღწევები ამ სფეროში.

უნდა აღინიშნოს, რომ არსებულმა შესრულებულმა სამეცნიერო-ტექნიკური სამუშაოების ანლიზმა აჩვენა, რომ დიდი წვლილი მოძრავი შემადგენლობის მათ შორის ვაგონების კვანძების სრულყოფის საკითხების გადაჭრაში ჩატარებულია რუსეთისა და სხვა უცხო ქვეყნების მეცნიერების მიერ, კერძოდ: ზოგადად სხეულთა ხახუნისა და ცვეთის ირგვლივ დრმა თეორიული და პრაქტიკული კვლევები ჩატარებული აქვს გამოჩენილ მეცნიერს ი. ვ. კრაგელს, მის მიერ დადასტურებულია, რომ ხახუნისათვის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს მოხახუნე ზედაპირების სიღრმეში მექანიკური თვისებების დადებითი გრადიენტების არსებობა, რაც უზრუნველყოფს მოხახუნე

სხეულების ურთიერთქმედების ლოკალიზაციას თხელ ზედაპირულ ფენაზე. [1], [2], [3].

გამოჩენილმა მეცნიერმა ნ. პ. პეტროვმა შეადგინა და ამოხსნა სარელსო გზებზე მოძრავი თვლების ცენტრის დიფერენციალური განტოლება და ამასთან ერთად განიხილა თვლებისა და გზის უთანაბრობის მოქმედების გავლენა რელსის დაძაბულობაზე. რკინიგზის ტრანსპორტის შექმნის შემდეგ მეცნიერებისა და ინჟინრების ყურადღებას იწვევდა მატარებლის მოძრაობის წინააღმდეგობის ძალების შესწავლა ნ. პ. პეტროვის გამოკვლევამდე მათ უპირატესად განსაზღვრავდნენ ემპირიული, გზით ნ. პ. პეტროვმა ეს ამოცანა გადაჭრა თეორიულად, რამაც საშუალება მისცა სწორად ჩატარებინა წვეის გაანგარიშებები, შეეფასებინა ვაგონების კონსტრუქციულობა და დინამიკა. მის მიერ შესრულებულია ღრმა გამოკვლევები მოძრავი შემადგენლობებისა და გზების ურთიერთქმედებაზე. მან პირველად შეიმუშავა არარესორული მასების ინერციის ძალთა თეორია, რომელმაც მიიღო საყოველთაო აღიარება. [4].

საინტერესო თეორიული სამუშაოები [5] ჩატარდა მოძრავი შემადგენლობის დინამიკაზე, რომელიც ეკუთვნის გამოჩენილ მეცნიერ ნ.ბ. ჟუკოვსკის, იგი გახლდათ თანამედროვე აეროდინამიკის ფუძემდებელი მან შეასრულა გამოკვლევები გრძივ დინამიკაში, მის მიერ შემოთავაზებულ იქნა ორი საანგარიშო სქემა: ა) მატარებელი ითვლება, როგორც მყარი ღერძი ტვირთით ერთ ბოლოში, ბ) მატარებელი ითვლება მყარი სხეულების სისტემად, რომლებიც შეერთებულნი არიან მჭიდრო კავშირებით, ასევე მის მიერ გამოკვლეულ იქნა მოძრავი შემადგენლობების თავისუფალი რხევები გრძივ, განივ და ვერტიკალურ სიბრტყეში და შემოთავაზებულ იქნა ამ რხევების ამპლიტუდების კოეფიციენტების განაწილებისა და სიხშირის განსაზღვრის მეთოდები.

მეცნიერ ი.ვ. ბირიუკოვის ნაშრომებში მოყვანილია ლოკომოტივებისა და ვაგონების ცალკეული შენაერთი ელემენტების და რესორული ჩამოკიდების კვანძების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები, როგორც ექპლუატაციაში, ასევე სპეციალურ სტენდებზე, რაც საბოლოოდ მიმართულია მათი სავალი ნაწილების გაუმჯობესებისა მისაღწევად [6].

მეცნიერებისა და ტექნიკის დამსახურებულმა მოღვაწემ, ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორმა პროფესორმა მ. ფ. ვერიგომ შეისწავლა რკინიგზასთან ვაგონების ზემოქმედების და პირველად განიხილა ისინი, როგორც სტოქასტიკური დინამიკური პროცესების პრობლემები, მან თეორიულად დაასაბუთა ალბათობის კანონები, რისთვისაც იყენებდა შემთხვევითი პროცესების თეორიას. მ. ფ. ვერიგომ შეიმუშავა ძალების განსაზღვრის გამოთვლის მეთოდები, რომლებიც უზრუნველყოფენ რელსზე წყვილთვლების ქიმების შესვლის შეუძლებლობას. ყველა ამ გამოკვლევების საფუძველზე მიმოსვლის გზათა სამინისტრომ (გმს-მა) 1962 წელს მიიღო ძირითადი მოთხოვნები, პროექტირებადი მოძრავი შემადგენლობების რკინიგზაზე ზემოქმედების საკითხში [7], [8].

პროფესორ თ. დ. გრიგორაშვილის მიერ გამოკვლეულ იქნა 20% მეტი ქანობის დახრილობის მქონე გზის მცირე რადიუსიან მრუდებში სამგზავრო ვაგონების მოძრაობისის წარმოქმნილი პრობლემური საკითხები და მის მიერ შემოთავაზებულია ამ პრობლემური საკითხების გადაჭრის მეთოდები. [9].

პროფესორ ს. მ. კუცენკოს ნაშრომებში გამოკვლეულ იქნა ვაგონების ჩარჩოების, ძარების და სავალი ნაწილების, მათ შორის წყვილთვლების, ურთიერთქმედების საკითხები [10].

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორმა, მოსკოვის ტრანსპორტის საინჟინრო ინსტიტუტის (მ.ი.ი.ტ.)-ის პროფესორმა ვ. ნ. ფილიპოვმა შეიმუშავა მრავალდერძიანი ვაგონების იძულებითი სივრცობრივი რხევების გამოკვლევების თეორიული მეთოდები და დაამტკიცა მათი სავალი ნაწილების მიზანშეწონილი პარამეტრები ძარიდან ურიკაზე ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დატვირთვების გადაცემის ცალკეული სქემებით, მის მიერ შეიმუშავებულ იქნა ავარიული რეჟიმებისას ვაგონების კონსტრუქციაზე დინამიკური ზემოქმედების მეთოდები, რომლებიც ექსპერიმენტალურად არის დამტკიცებული, ასევე ავარიული სიტუაციების დროს საშიში ტვირთების ცისტერნების ქვაბების დასაცავი მოწყობილობების კონსტრუქციები, რომლებიც შემდგომ განხორციელებული იქნა ვაგონმშენებელ ქარხნებში [11].

პირველი სამუშაოები თავისუფლად მოძრავი წყვილთვლების დინამიკაში ეკუთვნის პროფესორ ფ. ვ. კარტენს, მის ნაშრომებში

ძირითადი ყურადღება გამახვილებულია წყვილთვლების ზიგზაგურ მოძრაობის საკითხებზე [12].

მნიშვნელოვანი წვლილი მოძრავი შემადგენლობისა და ლიანდაგის ურთიერთქმედების საკითხებში ეკუთვნის გამოჩენის მეცნიერს გ. ვ. მარესს, მის ნაშრომებში საფუძვლიანად არის დამუშავებული წყვილთვლების რელსებზე სრიალის ჰიპოთეზა და გაშუქებულია ვაგონებისა და ლოკომოტივების რხევების ფიზიკური მხარეები [13].

მოძრავი შემადგენლობის გვერდითი რხევების საკითხები დამუშავებულია ა. ა. კოვალევის ნაშრომებშიც, მის მიერ განხილულია წყვილთვლების ზიგზაგური მოძრაობები რელსზე, როგორც ავტორხვევითი პროცესები, სადაც გარდამავალი ძალა დამჭერია მოძრაობისა, რომელიც წარმოიქმნება და იმართება თვითონ მოძრაობით. ავტორის მიერ, ასევე გამოკვლეულ იქნა წყვილთვლების რხევის გადამცემი ციკლები ქიმების რელსზე შეხების გათვალისწინებით იმ ეკიპაჟებისათვის, რომელთაც გააჩნიათ მაღალი და დაბალი სიმძიმის ცენტრები [14].

განსაკუთრებული წვლილი დინამიკის თეორიაში, ასევე მოძრავი შემადგენლობის სიმტკიცის საკითხების სრულყოფაში მიუძღვის ისეთ მეცნიერებს, როგორებიც იყვნენ: ე.პ. ბლოხინი, მ.ფ. ვერიგო, ს.ვ. ვერშინსკი, ლ.ა. კალნიცკი, ა.ა. კამაევი, ვ.ა. კამაევი, ვ.ნ. კორუტანოვი, მ.ლ. კოროტენკო, ვ.ა. ლაზარიანი, ვ.ვ. ლუკინი, გ.მ. შახუნიაძე, ლ.ა. შადური, ი.ი. ჩელნოკოვი და სხვები, ისინი გვაძლევს რიგ კანონზომიერებებს ვაგონების დინამიკური რხევების შესახებ, კერძოდ:

ვაგონების სწორხაზოვანი მოძრაობის საკითხები უფრო მეტად განხილულია. ვ.ა. ლაზარიანის [15], [16], მ. ლ. კოროტენკოს [17], [18] ნაშრომებში. მათ მიერ შესწავლილ იქნა წყვილთვლების გრძივი და განივი კავშირი ურიკის ჩარჩოსთან და შემოთავაზებულ იქნა ერთობ სერიოზული რეკომენდაციები, რომლებიც უზრუნველყოფენ დროის გარკვეულ ინტერვალში ვაგონების სიჩქარით მოძრაობას, ქიმების რელსებზე დარტყმის გარეშე.

გრძივი დინამიკის თეორიამ მნიშვნელოვანი განვითარება ჰპოვა უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსის, ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორის, პროფესორის, უკრაინის მეცნიერებათა

დამსახურებული მოღვაწის, უკრაინის სახელმწიფო პრემიის ლაურიატის ვ.ა. ლაზარიანის ნაშრომებში. მის კალამს ეკუთვნის 300-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომი. მან შექმნა მეცნიერ-მექანიკების სკოლა. ვ.ა. ლაზარიანი და მისი მიმდევრები დიდ მნიშვნელობას ანიჭებდნენ მატარებლის მოძრაობის რეჟიმებს და მათ გამოკვლევებს, ასეთ რეჟიმებს მიეკუთვნებიან: მატარებლის დაძვრა, დამუხრუჭება, გზის გარდატეხით მონაკვეთებზე მოძრაობა, შემადგენლობის გაშვება და ფორმირება. ვაგონმშენებლობის მეცნიერებასა და ტექნიკაში ვ. ა. ლაზარიანისა და მისი სკოლის ძირითად წვლილს წარმოადგენს მოძრავი შემადგენლობების ექსპლუატაციის გამოკვლევების მეცნიერულად დასაბუთებული მეთოდების დანერგვა და შემუშავება, ასევე ვაგონისა რელსების ურთიერთზემოქმედების პრობლემები, რომელთაც ისინი განიხილავდნენ, როგორც ერთიან დინამიკურ სისტემას, მისი ყველა ელემენტების ინერციული და დისიპატიური თვისებების გათვალისწინებით [19], [20], [21], [22].

პროფესორ ს. ვ. ვერშინსკის ნაშრომებში განიხილულია ვაგონის მრუდში მოძრაობის შემთხვევა გრძივი, გამჭიმავი ძალების ზემოქმედებით, რომლის გვერდითი მდგენელი ცდილობს გადაიყვანოს ვაგონი მრუდის შიგნით, ამ დროს განიხილება ისეთი პროცესი, როდესაც გარე თვალი განიტვირთება, ხოლო შიგა თვალი გასრიალდება მრუდის ცენტრიდან. ნაშრომის ავტორმა სხვა მეცნიერებთან ერთად ჩაატარა დიდი მასის მქონე მატარებლების ფართო შემოწმებები და მისი ანალიზის შედეგად მიღებული გრძივი ძალების გამეორებისა და სიდიდის წარმოშობის კანონზომიერებები შეტანილია ვაგონების პროექტირების ნორმებში. მან შეიმუშავა ფორმულა ვაგონების სიმტკიცის კოეფიციენტის განსასაზღვრავად, ასევე შეისწავლა ვაგონის სიმტკიცე გრძივი ძალების ზემოქმედებისას [23] [24].

მეცნიერ ვ. ი. დორონინის ნაშრომებში გამოკვლეულია რელსებზე წყვილთვლების რხევების ისეთი შემთხვევა, როდესაც ერთ-ერთი თვლის ქიმი მუდმივად მიჭერილია რელსზე, ასევე ნაჩვენებია, რომ წყვილთვლების ქანაობიდან გადასვლა ქიმის შეხებით ქანაობაში იწვევს წყვილთვლების კუთხური სიჩქარით სწრაფ გადახტომას [25].

სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის ვნიიუტ-ის (რუსეთის სარკინიგზო

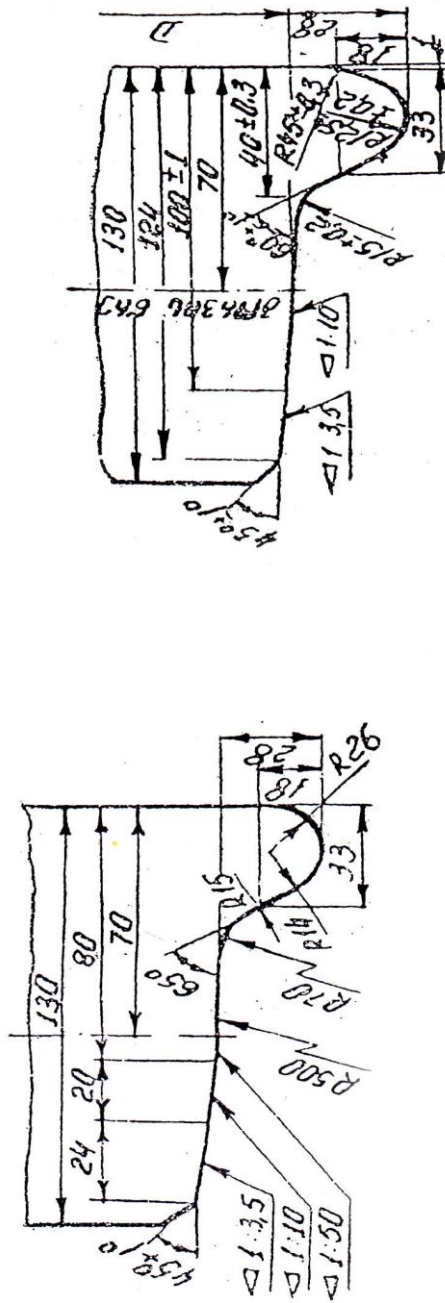
ტრანსპორტის სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტი) მიერ გასულ წლებში შემუშავებულ იქნა ვაგონების წყვილთვლების გორვის ზედაპირის ახალი პროფილი, (ნახ. 5) საექსპლუატაციო გამოცდებისა და ხანგრძლივი დაკვირვებების შედეგად დადგინდა, რომ ასეთი პროფილის თვლების ქიმების ცვეთა 1,5–2 ჯერ მცირდება სტანდარტულთან შედარებით. ქიმების გარეთა წახნაგის დახრის კუთხის 65°-მდე გაზრდამ გაზარდა თვლების ლიანდაგზე მდგრადობის კოეფიციენტი და მოძრაობის უსაფრთხოება. ასეთი პროფილის თვლებს ამზადებენ ევროპის მთელ რიგ ქვეყნებში. მატარებლების მდოვრე მოძრაობისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს თვლის გორვის ზედაპირის კონუსურობას. იაპონიასა და ევროპის მთელ რიგ ქვეყნებში ჩქაროსნული ვაგონის წყვილთვლების გორვის ზედაპირის 1:20 დახრის ნაცვლად ამზადებენ 1:40. ასეთი თვლები კარგ შედეგს იძლევა, ნაკლებად ცვდება და რხევებიც საგრძნობლად მცირდება [26].

მეცნიერ დ. ა. ბუკოკის მიერ გასულ წლებში გამოქვეყნებულ იქნა რიგი სამეცნიერო სტატიები, სადაც განხილულია ორღერძიანი ურიკის მქონე ვაგონების მდგრადობის საკითხი გზის რთული პროფილის მქონე უბნებზე მოძრაობისას [27].

პროფესორ ა. ა. დოლმატოვის ნაშრომებით დაადგენილია, რომ ვაგონების დრეკადი ჩამოკიდების კვანძების გვერდითი აჩქარების სიდიდის განსაზღვრისათვის მატარებელთა მაღალი სიჩქარეების დროს ძირითადად წარმოადგენს წყვილთვლების ინტენსიური კლაკლინი მოძრაობა [28], [29], [30].

პროფესორ ნ. ნ. კუდრიავცევის ნაშრომში დადასტურებულია, რომ ხახუნის ძალა თვლებსა და რელსს შორის დამოკიდებულია მოხახუნე ზედაპირების მდგომარეობაზე მათ შორის წარმოქმნილ ძაბვაზე, გვერდით ძალებზე, რომელიც გადაეცემა ურიკის ჩარჩოდან წყვილთვალს, დატვირთვის განაწილებაზე, გარე რელსის შემადგენლობაზე, მრუდის რადიუსზე, ასევე წყვილთვლის დაცილების მანძილზე ეკიპაჟის მრუდში მობრუნების პოლუსთან, წყვილთვლის მდგომარეობაზე, კერძოდ თავისუფლადაა ის თუ მასზედ მოქმედებს წვევისა და სამუხრუჭე ძალები [31].

პროფესორების ა.ა. დოლმატოვის და ბ. ფ. უკაშოვის ნაშრომებში



ნახ. 5. „ენიიუტ“ - ის მიერ შემუშავებული წყვილთვლის გორვის ზედაპირის ახალი პროფილი

დადასტურებულია, რომ მრუდ უბნებზე ვაგონების იოლად ჩაწერისათვის, ხოლო სწორ უბნებზე სათანადო სტანდარტული მოთხოვნების უზრუნველსაყოფად, წყვილთვლები ურიკის ჩარჩოსთან უნდა იმყოფებოდნენ გარკვეულ დრეკად კავშირში, რომლებიც უზრუნველყოფენ წყვილთვლების სწორ უბანზე თავისუფალ მოძრაობას, არბილებენ ჰორიზონტალურ დარტყმებს და ამცირებენ წყვილთვლების დარტყმით შერბენას რელსზე [32], [33].

პროფესორ ვ. დ. დანოვიჩის ნაშრომში განხილულია სამგზავრო ვაგონების მდგრადობის საკითხები, რომელთაც გააჩნიათ საბუქსე კვანძების ურიკის ჩარჩოსთან შეერთების სხვადასხვა კონსტრუქციები [34].

მეცნიერებისა და ტექნიკის დამსახურებულმა მოღვაწემ, ტექნიკურ მეცნიერების დოქტორმა, პროფესორმა ი. ი. ჩელნოკოვმა [35] განავითარა ვაგონის რესორული ჩამოკიდების კონსტრუქციების და გამოთვლის თეორია, შეიმუშავა ჰიდრაულიკური და ფრიქციული რხევის ჩამქრობების ახალი კონსტრუქციები. მისი ხელმძღვანელობით შექმნილია უნიკალური სტენდები ვაგონების რხევის ჩამქრობების და რესორული ჩამოკიდების გამოკვლევისათვის. იგი არის მრავალი სასწავლო სახელმძღვანელოების ავტორი. მის ერთ-ერთ კვლევებში ნაჩვენებია, რომ ვაგონის ძარისა და ურიკის მცოცხებს შორის ზომა ხახუნის დროს არ უნდა აღემატებოდეს დადგენილ ნორმებს, რაც აძნელებს ვაგონის მრუდში ჩაწერის საკითხებს და ზრდის წყვილთვლების ქიმის ცვეთას.

მოძრავი შემადგენლობის დინამიკის კვლევის საკითხები გზის, როგორც სწორ ასევე მრუდ პროფილზე განხილულია ა. ა. კამაევის [36], [37] ნაშრომებში. მის მიერ შემუშავებულ იქნა ეკიპაჟებისა და მრუდი უბნების ურთიერთქმედების ფიზიკური მოდელი, რის საფუძველზეც ჩამოაყალიბებულ იქნა ერთობ უნიკალური სტენდი, რომელიც იძლევა მოძრავი შემადგენლობების რესორული ჩამოკიდების ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევისა და ლიანდაგზე მათი ზემოქმედების მნიშვნელოვან რეკომენდაციებს.

პროფესორ გ. ა. დლინმანის ნაშრომებში საფუძვლიანადაა განხილული ლიანდაგებზე იმ ეკიპაჟების მოძრაობის საკითხი, რომელთაც გააჩნიათ

თვითმომწყობი წყვილთვლები, რაც უზრუნველყოფს მრუდში მოძრავი წყვილთვლების რადიალურ განლაგებას, წარმოქმნილი წინააღმდეგობის ძალების და რელსსა და წყვილთვალს შორის ცვეთის შემცირებას [38].

პროფესორ თ. პ. ერშკოვის მიერ შემუშავებულ იქნა გვერდითი, მიმართველი და ჩარჩოს ძალების გაანგარიშების მეთოდები, რომლის საშუალებითაც აგებულია ამ ძალების „გრაფიკ-პასპორტები“ განივი უქრობი აჩქარებების გათვალსწინებით [39].

პროფესორების: გ. მ. შახუნიაძის, ხ. ა. შენკის, გ. ნ. შეფოლის ნაშრომებით მიღებულია მათემატიკური მოდელი, რომელიც იძლევა საშუალებას განხილულ იქნეს ოთხღერძიანი ვაგონის რესორული ჩამოკიდების დინამიკური რხევების საკითხები [40], [41], [42].

პროფესორ ს. ვ. ვერშინსკის ნაშრომებით დადგენილია, რომ ვაგონების მრუდ უბნებზე მოძრაობისას ვაგონის თითოეული ურიკის ერთი, ან ორივე თვალი შეიძლება მიჭერილი იყოს მუდმივად რელსზე, რაც იწვევს ქიმების ინტენსიურ ცვეთას, აღნიშნული კი საბოლოოდ წარმოქმნის ქიმის ვერტიკალურ ჩაჭრას და მახვილ დაბოლოებიან ნაგორს, ასევე მისი კვლევებით დადასტურებულია, რომ ვაგონის მდორე მოძრაობისათვის აუცილებელია წყვილთვლების გეომეტრიული პარამეტრების სტანდარტული ნორმების დაცვა, წინააღმდეგ შემთხვევაში პარამეტრების ნორმებიდან გადახრა ვაგონის დინამიკური რხევების აღძვრის და მისი კვანძების ცვეთების დაჩქარების ძირითადი წყაროა. მაგალითად ბორბლის გორვის წრეების დიამეტრის დიდი სხვაობის დროს (დასაშვები 1მმ-მდე) ნაკლები დიამეტრის მქონე თვალი ლიანდაგის, როგორც სწორხაზოვან ასევე მრუდ უბანზე გავლისას მიაწვება რელსის თავის გვერდით ზედაპირს, რის შედეგადაც მცირედლიამეტრიანი ბორბლის ქიმი ინტენსიურად ცვეთება, ხოლო დიდი დიამეტრის მქონე ბორბლის გორვის ზედაპირზე წარმოიქმნება არაწესიერი ფორმის ნაგლინი და ე. წ. ცრუქიმი [43].

პროფესორ გ. ს. შარაშენიძის მიერ დამუშავებულ იქნა ვაგონის მოძრაობისას რხევითი პროცესების მათემატიკური და ფიზიკური მოდელირების საკითხები, სადაც აღნიშნულია, რომ ვაგონი-ლიანდაგი, როგორც რთული მექანიკური სისტემა შეიძლება შესწავლილ იქნეს ლაბორატორიულ პირობებში შესაბამისი მოდელის გამოყენებით.

მოდელი ეს რეალური, ნატურალური მოვლენის სახეცვლილებაა, ხოლო მოდელირება ნატურალურად არსებული მოვლენის შესწავლა სპეციალური მოდელის გამოყენებისას ლაბორატორიულ პირობებში. ვაგონების დინამიკის ძირითადი საკითხების გადასაწყვეტად მიღებულია მოდელირების ორი სახე: ფიზიკური და მათემატიკური. ფიზიკური მოდელირება გულისხმობს ისეთი მოდელის კვლევას, რომლის შემადგენლობა და ფუნქცია ისეთივეა, როგორც ნატურალური რეალური სისტემისა, მაგრამ განსხვავდება მისგან გეომეტრიული პარამეტრების მიხედვით. მათემატიკური მოდელირება კი მოდელირების ისეთი სახეა, რომლის დროსაც გამოსაკვლევ სისტემასა და მის შესაბამის მოდელს გააჩნია განსხვავებული ფიზიკური არსი, მაგრამ მიმდინარე პროცესის აღმწერ განტოლებებს აქვს ერთნაირი სახე და განსხვავდება მხოლოდ კოეფიციენტებითა და სიდიდეთა განზომილებებით. მოდელირება საშუალებას იძლევა ჯერ კიდევ ვაგონის დაგეგმარების ეტაპზე ვაგონის კონსტრუქციის შექმნამდე შევისწავლოთ მისი დინამიკური თვისებები და თუ საჭიროა მოდელირებით მიღებული შედეგების მიხედვით, შევისწავლოთ შესწორებანი პარამეტრების დადგენაში. მათემატიკურ მოდელირებას აქვს ორი ძირითადი მიმართულება: პირველი გულისხმობს მოდელის აგებას პირდაპირი მათემატიკური ანალოგის მიხედვით, როცა მოდელისა და რეალური სისტემის გამოსაკვლევ პროცესი სხვადასხვა ფიზიკური არსის პირობებში აღიწერება ერთნაირი მათემატიკური განტოლებებით. მექანიკური სისტემების დინამიკური კვლევის დროს დიდი გამოყენება ჰპოვა ელექტრულმა მამოდელირებელმა მოწყობილობებმა, რომელთათვისაც დალამბერისა და კირხჰოფის კანონებით შედგენილი დიფერენციალური განტოლებანი სავსებით იდენტურია. ამ პრინციპის მიხედვით იქნა აგებული ელექტროინტეგრატორი, რომლის დახმარებითაც შესაძლებელია მოვახდინოთ შემადგენლობაში მყოფი ვაგონის გრძივი რხევების მათემატიკური მოდელირება. მათემატიკური მოდელირების მეორე მიმართულება გულისხმობს სპეციალური გამომთვლელი მანქანის შექმნას, რომლის დახმარებითაც შესაძლებელია მათემატიკური განტოლებების მოდელირება [44].

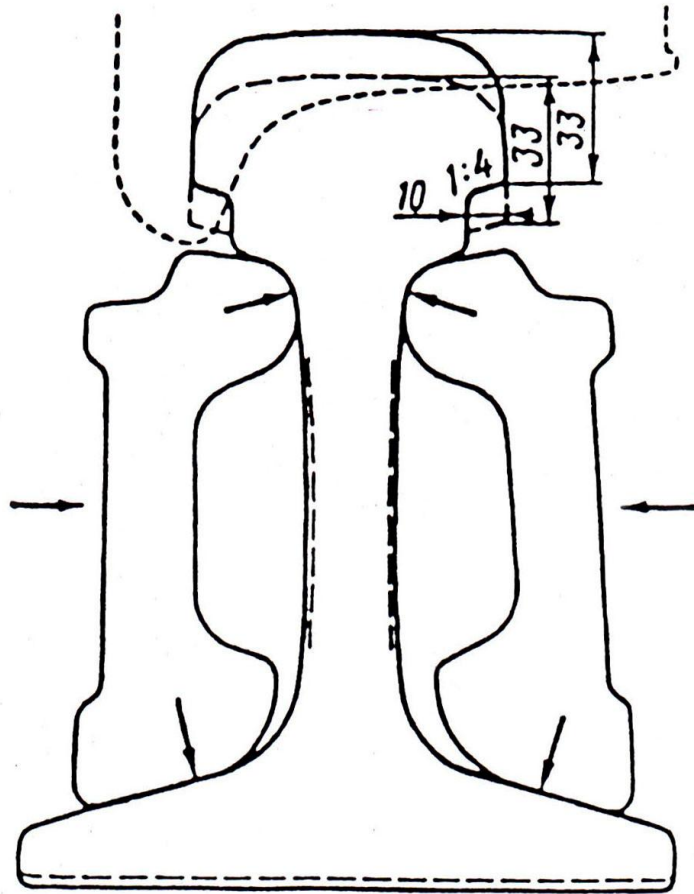
პროფესორ ვ. ს. ლისიუკის ნაშრომებში გაშუქებულია საკითხი, სადაც აღნიშნულია, რომ ვაგონის მრუდში მოძრაობისას ურიკებში აღძრული დამატებითი დარტყმითი ძალები, რომლებიც იწვევენ წყვილთვლების ქიმების ცვეთის გაზრდას გამოწვეულია შემადგენლობაში წარმოქმნილი გრძივი გამჭიმავი, კვაზისტენტური ძალების გაზრდით, ასევე მის ნაშრომებში ყურადღება გამახვილებულია სამეცნიერო ინსტიტუტის ვნიუტის მიერ შემოთავაზებული ახალი რ65ნ6 და რ75ნ6 ტიპის რელსების დადებით მხარეებზე (ნახ. 6), რომელიც იძლევა საშუალებას წყვილთვლების ექსპლუატაციისას ფაქტიურად გამოირიცხოს მახვილი ქიმების წარმოქმნა [45].

პროფესორ ნ.ნ. კუდრიაცკევის ნაშრომში განხილული საკითხი, რომელიც ეხება ვაგონების მოძრაობისას წყვილთვლებზე წარმოქმნილ როგორც გრძივ, ასევე განივ ძალებს და შემოთავაზებულია ამ ძალების გაზომვის მეთოდები სპეციალური ტენზორეზისტორების საშუალებით. ნაშრომის ავტორმა ვაგონების ბუქსების ვერტიკალური ტრაექტორიების გამოკვლევების საფუძველზე შეიმუშავა გზების არათანაბრობის კლასიფიკაცია, რამაც ფართო გამოყენება ჰპოვა ვაგონების დინამიკის თეორიული გამოკვლევებისას, მის მიერ შემუშავებულ იქნა ასევე სარელსო გზის და თვლების შესწავლის საანგარიშო სქემები და დინამიკური ექსპერიმენტალური გამოკვლევების და ვაგონების არარესორული ნაწილების გამძლეობის მეთოდები [46].

პროფესორ კ. ვ. მოტოვილოვას შემოთავაზებული აქვს მოხაზუნე ზედაპირების ცვეთების შემცირების მეთოდი მათი ქიმიურ-თერმული დამუშავებით (ცემენტაცია, აზოტირება, ფოსფორირება), ასევე ზედაპირების სითბური ენერგიით დამუშავება სპეციალური ლაზერული დასხივებით [47].

პროფესორ ვ. ა. მარტოვსკის ნაშრომებით შემუშავებულ იქნა, როგორც ვაგონების ასევე ლოკომოტივების ექსპლუატაციისას წყვილთვლების ქიმსა და რელსს შორის წარმოქმნილი ხახუნის ძალის შემცირების მეთოდი ლოკომოტივებზე ლიანდაგის სპეციალური საზეთი მოწყობილობის დაყენებით [48].

ურალის ვაგონმშენებელმა ქარხანამ 2004 წლიდან დაიწყო 18-578 ტიპის სატვირთო ურიკების დამზადება, რომელთაც გააჩნიათ



ნახ. 6. „რ65ნნკ“ ტიპის რელსი

მოდერნიზირებული დრეკად-მოძრავი ჰორიზონტალური მცოციები საექსპლუატაციო გამოცდებისა და ხანგრძლივი დაკვირვებების შედეგად დადგინდა, რომ ასეთი ტიპის მცოციები უზრუნველყოფენ ვაგონების მრუდში თავისუფლად მოძრაობას [49].

პროფესორ ვ. ნ. დანილოვის ნაშრომებში აღნიშნულია, რომ მატარებლების მდოვრე სვლის შესანარჩუნებლად, აგრეთვე გვერდითი ძალების შესამცირებლად, რაც უფრო საგრძნობია მატარებელთა მაღალი სიჩქარეებით მოძრაობისას, მიზანშეწონილია შექმნის-დაგვარად შემცირდეს წყვილთვლების განივი გადაადგილება რელსების მიმართ, ეს თავის მხრივ ამცირებს წყვილთვლების და ლიანდაგის ელემენტებს შორის ცვეთას, მოძრაობისადმი წინააღმდეგობას და ზრდის წყვილთვლების ლიანდაგზე მდგრადობას. ავტორის მიერ, ასევე გამოკვლეულ იქნა წყვილთვლებისა და რელსების ურთიერთქმედებები მათზე არასწორი ზედაპირების არსებობისას და შეიმუშავებულ იქნა რელსისა და წყვილთვლის ურთიერთხემოქმედების ძალთა გამოთვლის მეთოდები თვლების არათანაბარი ცვეთისას, ვაგონების ტეხილი მოძრაობისას, მრუდში შესვლისას, საისრე გადამყვანებში გადასვლისას [50].

ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორმა მ. ვ. ვინოკუროვმა ვრცლად შეისწავლა სატვირთო და სამგზავრო ვაგონების საკუთარი და იძულებითი რხევები, შეიმუშავა რეკომენდაციები ვაგონების რესორული ჩამოკიდების სრულყოფისათვის, მან დაადგინა თანაფარდობა ვაგონის ბაზის და ძარის ინერციის რადიუსს შორის, განსაზღვრა ვაგონის ცენტრის მდგომარეობა სიმტკიცის უზრუნველყოფის გათვალისწინებით. მეცნიერმა შეაფასა რესორული ჩამოკიდების არაწრფივობის ზემოქმედება ვაგონის სვლის სიმდოვრეზე, განსაზღვრა რელსზე წყვილთვლების მრუდში მოძრაობის ტალღების სიგრძე და კრიტიკული სიჩქარის მნიშვნელობა ვაგონის რხევების ცვლილებისას, მის მიერ შემოთავაზებული იყო ძარის დაყრდნობის იდეა გვერდით ჰორიზონტალურ სრიალებზე ვაგონის რხევების ცვალებადობის ჩასაქრობად [51].

ვაგონების გვერდითი რხევების თეორიაში მნიშვნელოვანი შენატანი გააკეთა ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორმა პროფესორმა ნ. ა. კოვალევმა, რომელმაც შეისწავლა რელსებისა და თვლების ქიმების

ურთიერთქმედების პროცესები არა მარტო დრეკადი სრიალების დარგში, არამედ ჩასოლვის დროსაც [52], [53].

პროფესორმა ა. ა. ლგოვმა გამოიკვლია ოთხ, ექვს და რვაღერძიანი ვაგონების რხებები, შეიმუშავა რესორული ჩამოკიდების პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდები, რომლის დროსაც ვაგონების მოძრაობა ხდება მყარი. მან თეორიულად და ექსპერიმენტალურად შეისწავლა ვაგონის რხევები მათი არასიმეტრიული დატვირთვისას, ასევე ჩაატარა კვლევათა კომპლექსი, ჩქაროსნული ვაგონების რაციონალური პარამეტრების გამოყენების შესაძლებლობებით [54].

პროფესორმა ლ. ა. შადურმა, განაზოგადა რა გამოკვლევები განსახილველ დარგში შეიმუშავა სატვირთო ვაგონების ძირითადი პარამეტრების ოპტიმიზაციისა და ტიპების არჩევის მეთოდი თანამედროვე გამოთვლითი ტექნიკის საფუძველზე. მისი ხელმძღვანელობით შემუშავდა ეფექტური მეთოდი და ალგორითმი, რომელიც იძლევა საშუალებას განისაზღვროს ვაგონების ოპტიმალურობა შესაბამისი კრიტერიუმებით. ალგორითმი ითვალისწინებს ვაგონის ტარის დაზუსტებული განსაზღვრის შესაძლებლობის პროექტირებას გზის ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ არასწორ უბნებზე. მან გააუმჯობესა სატვირთო ვაგონების ურიკების გვერდითი ჩარჩოების და რესორზედა ძელების გამოთვლის მეთოდები და მიაღწია მათი მასის შემცირებას. ლ. ა. შადურის ხელმძღვანელობით ჩატარებულია კომპლექსური გამოკვლევები, რომელიც მიმართული იყო სატვირთო ვაგონების დაპროექტების გასაუმჯობესებლად [55].

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორმა მ.ი.ი.ტ-ის პროფესორმა ვ. დ. ხუსიდოვმა, შეიმუშავა რვაღერძიანი ვაგონების არაწრფივი რხევების მათემატიკური მოდელები და მათი ანალიზის მეთოდები, მისი ხელმძღვანელობით შემუშავებულია გზის სწორ და მრუდ უბნებზე ვაგონების მოძრაობის მოდელირების სისტემა, რის მეშვეობითაც ირკვევა ვაგონის ჩავარდნისა და ავარიების მიზეზი იგი არის მონოგრაფიის და სახელმძღვანელოს თანაავტორი [56], [57].

შთანთქმელი აპარატების ძალური მახასიათებლები ენერგო მოცულობა და სხვა პარამეტრები არსებით გავლენას ახდენენ მატარებელთა მოძრაობაზე. ამ გამოკვლევაში უდიდესი წვლილი

მიუძღვის მეცნიერებისა და ტექნიკის დამსახურებულ მოღვაწეს, ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორს, პროფესორ ლ. ნ. ნიკოლსკის, მან არა სტაციონალური ხახუნისას ფრიქციული პროცესების გამოკვლევის შედეგად შექმნა ავტოსაბმის შთანთქმელი აპარატების პროექტირების და გამოთვლის სამეცნიერო შრომები. ნიკოლსკის მიერ შემუშავებული თეორიის საფუძველზე შექმნილია რეზინოლითონური და მეტალოკერამიკული ტიპის შთანთქმელი აპარატები. [58], [59].

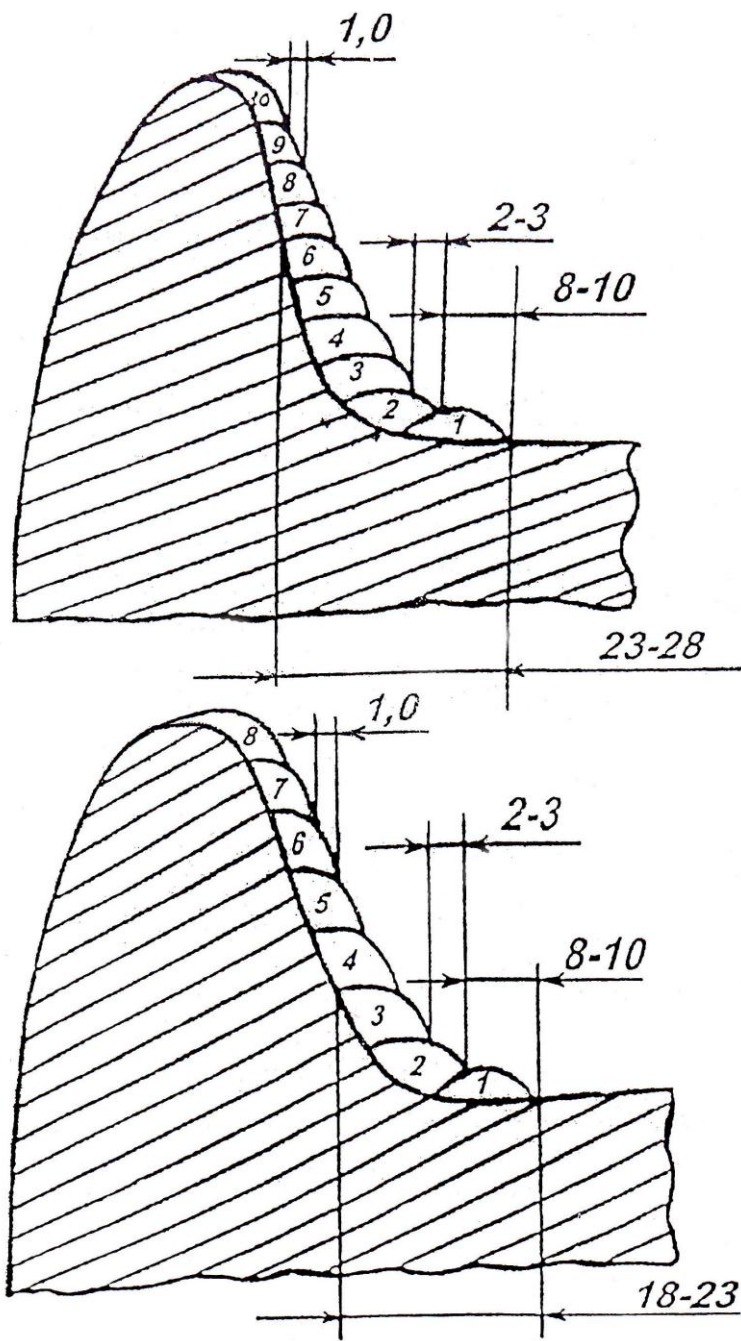
ერთიანი მექანიკური სისტემის გამოთვლის მეთოდები უკუკავშირებით ვაგონის გალოპირებისას (გრძივი რხევები) და რხევების მერყეობისას, სადაც გზა მიღებული, როგორც უსასრულო ინერციული ძელი მოდიცირებულ დრეკად ფუძეზე, ხოლო ვაგონი, როგორც მექანიკური სისტემა შემუშავა ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორმა, პროფესორმა ა. ი. კოვანმა. მან შექმნა ვაგონთა გზებზე გაანგარიშების სტატიკური მეთოდები გრძივი და გვერდითი ძალების ცვალებადობისას, როგორც მყარი, ასევე არამყარი მოძრაობისას. იგი გახლდათ მონოგრაფიის თანაავტორი [60].

შემთხვევითი რხევების წარმოქმნაზე გამოკვლევები შეასრულა უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ – კორესპონდენტმა, პროფესორმა ვ. ფ. უშაკოვმა. მან ამოხსნა სტატიკური დინამიკის ამოცანები რესორებზედა ნაგებობების ელემენტების საბოლოო სიმაგრის გათვალისწინებით და შემოთავაზებული აქვს კონკრეტული კონსტრუქციების დინამიკური ძაბვების პროგნოზირების მეთოდიკა [61].

ქუთაისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საინჟინრო ტექნიკური კათედრის პროფესორის პ. ყიფიანის მიერ შემუშავებულ იქნა ვაგონების წყვილთვლების გაცვეთილი ქიმების აღდგენის საკითხები, (ნახ. 7) მათზე სპეციალური დადულების მეთოდის გამოყენებით [62].

რუსეთის მიმოსვლის გზათა სამინისტროს მიერ ანალიზი გაუკეთდა ვაგონების ექსპლუატაციისას წყვილთვლების ძირითად გაუმართაობებს, მათი წარმოქმნის მიზეზებს და აღმოფხვრის გზებს [63], [64].

მნიშვნელოვანი გამოკვლევები, რომლებიც მიმართულია ვაგონების კონსტრუქციების მდგრადი და საიმედო ელემენტების შექმნაზე, შეასრულეს ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორებმა:



ნახ. 7. გაცვეთილი ქიმების აღგენა დაღუღების მეთოდით

პროფესორმა ვლადიმერ ნიკოლოზის ძე მახოვმა (მეტალის დარტყმითი სიბლანტის ზემოქმედება ღერძების სიმტკიცეზე); ვლადიმერ აფანასის ძე კისლინკმა (მეტალის მექანიკური თვისებების და თერმოდამუშავების, ქიმიური შემადგენლობის ზემოქმედება წყვილთვლების სიმტკიცეზე), ნიკოლოზ პავლეს ძე ზობლინმა (წყვილთვლების ღერძებთან ჩაწნეხვის სიმტკიცე); ტიმოფე ვასილის ძე ლარინმა (წყვილთვლების ცვეთების თეორია, მათ საწარმოებლად სახელმწიფო სტანდარტების შემუშავება). ამ დარგში დიდი დამსახურება მიუძღვის უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის ელექტროშედულების ინსტიტუტს, რომელიც შექმნილია 1934 წელს, მის პირველი დირექტორი გახლდათ უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი, სოციალუსტური შრომის გმირი ე. ო. პატონი.

ინსტიტუტის კოლექტივმა უდიდესი შენატანი გააკეთა ვაგონების შედუღებული კონსტრუქციების შექმნაში და შედუღების ტექნოლოგიის გაუმჯობესებაში. ინსტიტუტმა გაანალიზა მშენებარე ცისტერნის ქვაბების კონსტრუქცია და დაადგინა, რომ ამ კონსტრუქციისათვის დამახასიათებელია მთელი რიგი ნაკლოვანებები, რომლებიც ართულებენ მათ მშენებლობას და ამცირებენ მათ სიმტკიცეს. ამ ანალიზის საფუძველზე ინსტიტუტმა 1938 წელს შესთავაზა გაემზადებინა ქვაბის ცილინდრული ნაწილი გრძივად განლაგებული ფურცლებისაგან, რამაც საშუალება მისცა ყოფილიყო ნაკერების მხოლოდ ორი ტიპი და შეემცირებინა მათი განფენილობა (101-დან 68 მ-მდე). ყოველივე ამან გამოიწვია ცისტერნების სიმტკიცის გაზრდა და ვაგონის ტარის შემცირება.

სავაგონო მეცნიერების განხილულ მიმართულებებში გარდა ზემოთ მოყვანილი ავტორებისა, მნიშვნელოვანი წვლილი მიუძღვით ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორებს: გ. ი. ბოგომაზის, ი. პ. ბორონეკოს, ი. ვ. დიონინის, ნ. მ. ერშოვას, ს. ნ. კისილევას, ა. ს. ლისოვსკის და სხვა გამოჩენილი მოღვაწეებს. ვაგონმშენებლობის, სავაგონო მეურნეობის და სარკინიგზო ტრანსპორტის მიმართულებით ფართო გამოკვლევები ჩაატარეს რკინიგზის ტრანსპორტის სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის და სხვა სამეცნიერო ორგანიზაციების

კოლექტივებმა, ასევე რკინიგზის ტრანსპორტის და მანქანათმშენებლობის სასწავლებლების კათედრებმა.

არსებობს შემოთავაზებულ სიახლეთა ტექნიკურ-ეკონომიური ეფექტიანობის განსაზღვრის ორი მეთოდი: გამოსყიდვის ვადისა და წლიური დაყვანილი ხარჯების ჯამის მინიმუმის განსაზღვრით. შემოთავაზებულ რეკომენდაციების ეკონომიკური შეფასება გამოსყიდვის ვადის მიხედვით ითვალისწინებს იმ ვადის განსაზღვრას, რომლის განმავლობაშიც ყოველწლიური ეკონომია საექსპლუატაციო ხარჯებზე გააბათილებს დამატებით კაპიტალურ ხარჯებს [65], [66], [67], [68].

წინამდებარე სადისერტაციო ნაშრომში ანალიზი გაუკეთდა ვაგონების ექსპლუატაციისას წყვილთვლების ცვეთის მიმდინარეობის პროცესს, სადაც გამოვლინდა რომ მრუდ უბნებზე ვაგონების მოძრაობისას წყვილთვლების ცვეთის ინტენსივობა 2–2,5 ჯერ აღემატება სწორ უბანზე წყვილთვლების ცვეთას [69].

დაკვირვებებით გამოვლინდა, რომ მთიან უბანებზე ვაგონების მოძრაობისას მატარებელში მეტი სამუხრუჭე ძალის წარმოქმნათვლების არტახებზე ხუნდების ხშირი მიჭერის შედეგად, მაღალი ტემპერატურის განვითარებით იწვევს წყვილთვლის შემადგენელი ლითონის სტრუქტურულ ცვალებადობას, რაც თავის მხრივ წარმოადგენს წყვილთვლების გაუმართაობებს გამომწვევ ერთ-ერთ მიზეზს და ამცირებს მათ საექსპლუატაციო ვადებს [70].

არსებული ფორმულების ბაზაზე, ჩვენს მიერ დისერტაციაში შემუშავებულ იქნა წყვილთვლების ქიმების ცვეთის მახასიათებლის საანგარიშო მათემატიკური ფორმულა, რის საფუძველზეც ჩატარდა გაანგარიშებები და მიღებულ იქნა ქიმის ცვეთის მახასიათებლის რიცხვითი მნიშვნელობები გზის სხვადასხვა რადიუსიან უბნებზე მატარებელთა სხვადასხვა სიჩქარით მოძრაობისას, ყოველივე ამის საფუძველზე აგებულ იქნა ქიმების ცვეთის მახასიათებლის დამოკიდებულების გრაფიკები მატარებლის მოძრაობის სიჩქარის და ლიანდაგის სიმრუდის რადიუსის ცვალებადობაზე. [71], [72].

2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1. ვაგონების წყვილთვლებისადმი წაყენებული მოთხოვნები ექსპლუატაციაში

ვაგონების ლიანდაგზე უსაფრთხო მოძრაობის უზრუნველსაყოფად დაცულ უნდა იქნეს წყვილთვლების ფერსოების შიდა წახნაგებს შორის მანძილი. ამისთვის ვაგონები რომლებიც მოძრაობენ 120 კმ/სთ სიჩქარემდე ეს ზომა შეადგენს 1440 მმ გადახრები გაზრდისა და შემცირებისაკენ დასაშვებია 3 მმ-მდე. მატარებლის მდორე სვლის შესანარჩუნებლად, რაც უფრო საგრძნობია მაღალი სიჩქარეებით მოძრაობისას და აგრეთვე გვერდითი ძალების შესამცირებლად, რომლებიც წყვილთვლებიდან რელსებს გადაეცემა, მიზანშეწონილია შემცირდეს წყვილთვლების განივი გადაადგილება რელსების მიმართ, ეს თავის მხრივ ამცირებს წყვილთვლებისა და ლიანდაგებს შორის ცვეთას და ზრდის წყვილთვლების მდგრადობას ლიანდაგზე.

ერთ ღერძზე მოთავსებული თვლების გორვის ზედაპირების დიამეტრები ერთი ზომის უნდა იყოს. სხვაობა დასაშვებია 1მმ-მდე. ეს პირობა აუცილებელია იმისთვის, რომ არ მოხდეს ვაგონის გადახრა და ადგილიარ ჰქონდეს რელსზე თვლის გაცურებას, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს წყვილთვლების არათანაბარ ცვეთას. წყვილთვლების ფორმირებისა და მექანიკური დამუშავების დროს დაული უნდა იქნეს მისი მთავარი ზომები, როგორცაა: თვილის შიდა წახნაგებს შორის მანძილი, გორვის წრეებს შორის მანძილი, ღერძის ყელების ცენტრებს შორის მანძილი და გორვის წრის დიამეტრების ზომები. ერთ-ერთი მთავარი მოთხოვნა, რომელიც წყვილთვლებს ექსპლუატაციაში წაყენება, არის მათი გაწონასწორება (დაბალანსება), რასაც განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ვაგონების მაღალი სიჩქარეებით მოძრაობისას. დაუბალანსებელ წყვილთვლებს მოძრაობისას შეუძლია დიდი ინერციის ძალების წარმოქმნა და რადგანაც ეს ძალა პირდაპირპროპორციულია მოძრაობის სიჩქარის კვადრატისა აუცილებელობას წარმოადგენს, რომ იგი გათვალისწინებული იყოს.

თვლებსა და ლიანდაგს შორის ურთიერთრაციონალური ზემოქმედებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს თვლის გორვის ზედაპირის ფორმას და პროფილს, თვლის გორვის ზედაპირს შიგნითა მხარეს აქვს ქიმი, რომელიც წყვილთვალს იცავს რელსიდან გადასვლისაგან, ქიმის ზომებია: ქიმის სიმაღლე 28 მმ, ქიმის მაქსიმალური სისქე 33მმმ, მინიმალური სისქე კი აიღება 24-დან 30 მმ მდე ვაგონებიდან გამომდინარე. ქიმის გარეთა წახნაგი დახრილია 60 გრადუსიანი კუთხით და ფუძესთან შეადგენს 40 მმ-ს. გორვის ზედაპირს 60 მმ სიგრძეზე აქვს კონუსობა 1/20, 30 მმ სიგრძეზე 1/7 და ფერსოს გარეთა წახნაგს წრიულად შემოჭრილი აქვს ნაზოლი 6x6. ფერსოს მთლიანი სიგანე შეადგენს 130 მმ-ს.

გორვის ზედაპირის პირველი კონუსი 1/20 დანიშნულია მისცეს წყვილთვლებს ცენტრალური მიმართულება ვაგონის სწორ უბანზე მოძრაობისას, ე.ი. არ მოხდეს ფერსოს ცალმხრივი დაწოლა რელსზე, რასაც ადგილი ექნებოდა გორვის ზედაპირის ცილინდრული ფორმის შემთხვევაში, იგივე კონუსური ზედაპირი უადვილებს წყვილთვალს მრუდში მოძრაობას, რადგანაც ამ დროს გარეთა რელსის სიგრძე მეტია შიდა რელსზე, ამიტომ წყვილთვლის გარეთა თვალმა უფრო მეტი დიამეტრით უნდა იმოძრაოს, ვიდრე შიგა თვალმა. ფერსოს გარე მხარეზე უფრო მეტად დახრილი კონუსი 1/7 და ნაზოლი 6x6 საშუალებას აძლევს წყვილთვალს თავისუფლად გაიაროს საისრო გადამყვანებსა და ჯვარედინებზე, ჩამოჭრილი ნაზოლი, ასევე საშუალებას იძლევა მოითავსოს გორვის ზედაპირიდან დათელვის შედეგად გადაადგილებული ლითონი და ამით ხელი შეუწყოს წყვილთვლის უსაფრთხო მოძრაობას ლიანდაგზე, რადგანაც ფერსოს გორვის ზედაპირს კონუსური ფორმა აქვს ამიტომ თვლის დიამეტრი გორვის ზედაპირის სხვადასხვა წერტილში სხვადასხვა ზომისაა. თვლის დიამეტრად მიღებულია იმ წრის დიამეტრი, რომელის მდებარეობს ფერსოს შიდა წახნაგიდან 70 მმ მანძილზე და მას გორვის წრე ეწოდება. ამ სიბრტყეში იზომება როგორც ფერსოს სისქე, ასევე წყვილთვლების დიამეტრი.

მიუხედავად იმისა, რომ თვლების გორვის ზედაპირის კონუსურობა ხელს უწყობს ვაგონების მრუდში თავისუფალ გავლას

და სწორ უბანზე ცენტრალურ მდგომარეობაში დაბრუნებას, მას არსებითი უარყოფითი მხარეც გააჩნია. კონუსურობა იწვევს ლიანდაგზე თვლების ზიგზაგურ მოძრაობას და ვაგონის რხევებს.

აკრძალულია მატარებელში ისეთი ვაგონების ჩართვა და ექსპლუატაციაში გაშვება, რომლის წყვილთვლებსაც აქვს ქვემოთ ჩამოთვლილ უწყესივრობათაგან თუნდაც ერთი:

ა) ბზარების არსებობა თვლის ან ღერძის ნებისმიერ ადგილზე, ასევე თვლის მოსუსტება (დაძვრა) ღერძზე;

ბ) ღერძის შუა ნაწილის გახეხილობა სიღრმით 2,5 მმ და დიამეტრით 5 მმ;

გ) ღერძის ნებისმიერ ნაწილში ელექტრო შეღუდების კვალი;

დ) თანაბარი ცვეთის ქიმისა და ფერსოს სისქის ზომების სიდიდე, რომელიც არ შეესაბამება ცხრილ 1-ში მოცემულ მონაცემებს;

ე) ამოცვეთა, მეტალის დაგროვება სატვირთო ვაგონებისათვის 1 მმ-მდე, ხოლო სამგზავრო ვაგონებისათვის – შესაბამისად 1 მმ და 0,5 მმ.

თუ შუალედურ სადგურში მატარებლის მოძრაობისას ვაგონებზე შემჩნეულ იქნება ამოცვეთა ან მეტალის დაგროვება 1-დან 2 მმ-მდე, ასეთი ვაგონის მოძრაობა დასაშვებია უახლოესი ტექნიკური მომსახურების პუნქტამდე სიჩქარის შეზღუდვით სატვირთო მატარებლებისათვის 70 კმ/სთ-მდე, ხოლო სამგზავრო მატარებლებზე 100 კმ/სთ-მდე. 2-დან 6 მმ-მდე არსებობისას დასაშვებია ვაგონების მოძრაობა უახლოეს სადგურამდე 15 კმ/სთ სიჩქარის შეზღუდვით. 6-დან 12 მმ-მდე – ასევე უახლოეს სადგურამდე არაუმეტეს 10 კმ/სთ სიჩქარისა, ხოლო როდესაც დაზიანება 12 მმ-ს აღემატება, დასაშვებია ვაგონის მსვლელობა უახლოეს სადგურამდე არაუმეტეს 10 კმ/სთ სიჩქარისა იმ პირობით, რომ გამოირიცხოს თვლის ბრუნვის შესაძლებლობა;

ვ) არათანაბარი ცვეთა 2 მმ-მდე, ხოლო ისეთი ღერძები, რომლებიც აღჭურვილია რედუქტორ-კარდანული მოწყობილობებით, 1 მმ-მდე;

ზ) თვლის შიგა წახნაგებს შორის მანძილი სატვირთო და სამგზავრო ვაგონებისათვის, რომლებიც 120 კმ/სთ სიჩქარემდე მოძრაობენ, 1440 ± 3 მმ.,

ექსპლუატაციაში წყვილთვლის ელემენტების ცვეთის
დასაშვები ზომები

№	ვაგონის ტიპი	თანაბარი ცვეთა. არაუმეტესი მმ.	ქიმის სისქე მმ.		ფერსოს სისქე არაუმცირესი მმ.
			არა- უმეტესი	არა- უმცირესი	
1	სატვირთო ვაგონები	9	33	24	22
2	სამგზავრო ვაგონები შორეული მიმოსვლისათვის, რომლებიც მოძრაობენ საათში: 120-კმ/მდე; 120-დან 140-მდე; 140-დან 160-მდე;	7	33	25	30
		5	33	28	35
		5	33	30	40
3	სამგზავრო ვაგონები ადგილობრივი და საგარეუბნო მიმოსვლისათვის 120კმ/სთ სიჩქარემდე	8	33	25	30

თ) ამოტეხილობა სატვირთო ვაგონებისათვის დასაშვებია სიღრმით 10მმ. სიგრძით 50მმ., ხოლო სამგზავრო ვაგონებისათვის სიღრმით 10მმ. სიგრძით 25მმ. შუალედურ სადგურში სამგზავრო ვაგონების გასინჯვისას თუ შემჩნეული იქნება ამოტეხილობა სიგრძით 25მმ, მაგრამ არაუმეტეს 40მმ, ასეთი დეფექტით შესაძლებელია ვაგონების გაშვება სიჩქარის შეზღუდვად, ხოლო 40-დან 80მმ-მდე არსებობისას შესაძლებელია ვაგონების გაშვება მატარებლიდან ახსნის გარეშე არაუმეტეს 100კმ/სთ სიჩქარით იმ უახლოეს პუნქტამდე, სადაც არის წყვილთვლის გამოცვლის საშუალება;

ი) წრიული დამუშავებანი გორვის ზედაპირზე ქიმის ფუქსთან დასაშვებია 1მმ.-მდე სიღრმით, სიგანით არაუმეტეს 15მმ.-ისა, ხოლო დახრაზე 1:7 სიღრმით 2მმ, სიგანით 15მმ. თუ გორვის ზედაპირის სხვა

ადგილებზე შემჩნეულ იქნა წრიული დამუშავებანი, მათი დაწუნების ნორმები წარმოებს როგორც ქიმის ფუძესთან;

კ) თვლის ადგილობრივი გაფართოება 55მმ.-მდე;

ლ) ფერსოს ჩამოტეხილობა 10მმ.-მდე იმ პირობით, რომ თვლის სიგანე დარჩენილი იყოს 120მმ.-მდე;

მ) ქიმის ვერტიკალური ჩაჭრა და მახვილდაბოლოებიანი ნაგორი; მახვილი ქიმი;

ნ) თვლის სიგანე 126 მმ;

ო) ვაგონის ქვეშ შეგორებულ ურიკებში წყვილთვლის თვლის დიამეტრების სხვაობა ერთ ურიკაში არსებულ ორ წყვილთვალს შორის დასაშვებია სატვირთო ვაგონებისათვის 20მმ, ხოლო სამგზავრო ვაგონებისათვის – 10მმ. ორ ურიკაში არსებულ წყვილთვლის თვლის დიამეტრებს შორის სხვაობა სატვირთო ვაგონებისათვის დასაშვებია 40მმ, ხოლო სამგზავრო ვაგონებისათვის – 20მმ. რვაღერძიანი ცისტერნებისათვის ერთ ოთხღერძიან ურიკაში დიამეტრების სხვაობა დასაშვებია 20მმ. ამავე ურიკაში არსებულ ერთ ორღერძიან ურიკაში 10მმ, ხოლო ორ ოთხღერძიან ურიკებში კი – 40მმ.

მატარებელთა უსაფრთხო მოძრაობისათვის და წყვილთვლების მოვლა-შენახვის განხორციელებისათვის, რათა დროულად გამოვლინდეს გაუმართავი და დაზიანებული წყვილთვლები დადგენილია წყვილთვლების შემოწმებისა და გასინჯვის სამი სახე: წყვილთვლების სრული შემოწმება, წყვილთვლების ჩვეულებრივი შემოწმება, წყვილთვლების შემოწმება ვაგონ ქვეშ.

წყვილთვლების სრული შემოწმება მიმდინარეობს შემდეგ შემთხვევებში:

ა) წყვილთვლების ფორმირებისას და მათი ელემენტების შეცვლით შეკეთებისას;

ბ) როდესაც გაურკვეველია ბოლო სრული შემოწმების დამღები ღერძის ყელზე;

გ) მატარებლის მარცხისას, აგარიისას;

დ) კაპიტალური და კაპიტალურ-აღდგენითი ვადის გაგრძელებით შეკეთების დროს;

ე) სატვირთო ვაგონებში წყვილთვლების ორჯერ, ხოლო სამგზავრო ვაგონებში ერთხელ გადაჩარხვისას;

ვ) ბუქსების სრული რევიზიის დროს;

ზ) ვაგონების ლიანდაგიდან აცდენისას აცდენილ ურიკაზე;

თ) გორვის წრეზე ორი და მეტი არათანაბარი ცვეთისას, 2მმ და მეტი ამოცვეთისას, ერთ ღერძზე არსებული თვლების დიამეტრების 3მმ-ზე და მეტი სხვაობისას სატვირთო ვაგონებისათვის. სამგზავრო ვაგონებისათვის კი 1მმ და მეტი ამოცვეთისას, 0,5მმ და მეტი მეტალის დაგროვებისას და 2მმ და მეტი არათანაბარი ცვეთისას, ხოლო რედუქტორ-კარდანული ღერძებისათვის 1მმ და მეტი არათანაბარი ცვეთისას;

ი) ბუქსში რედუქტორის ზეთის აღმოჩენისას;

კ) ვაგონებზე ან ურიკაზე შესადუღებელი სამუშაოების წარმოებისას სათანადო ინსტრუქციული მითითებების გაუთვალისწინებლად.

სატვირთო ვაგონებში წყვილთვლების სრული შემოწმება ტარდება ყოველ 5 წელიწადში ერთხელ, ხოლო სამგზავრო ვაგონებში – ყოველ 4 წელიწადში ერთხელ.

წყვილთვლების სრული შემოწმებისას მიმდინარეობს შემდეგი სამუშაოები:

ა) წყვილთვლების წინასწარი დათვალიერება გასუფთავებამდე, რათა გამოვლენილ იქნას თვლის დაძვრა ღერძზე ან ბზარები მის ელემენტებში;

ბ) ბუქსების დემონტაჟი შიგა და ლაბირინთული რგოლის მოხსნის გარეშე. მათი მოხსნა ხდება იმ შემთხვევაში, თუ მათზე აღმოჩენილ იქნა რაიმე გაუმართაობა, ან საჭიროა წყვილთვლების განფორმირება;

გ) წყვილთვლების ელემენტების გასუფთავება;

დ) მორგეკემა წინა ნაწილის და ღერძის ყელის შემოწმება მაგნიტურ-დეფექტოსკოპირებით შიგა და ლაბირინთული რგოლების მოხსნისას. თუ არის იმის აუცილებლობა, რომ უნდა მოიხსნას ერთი რგოლი, მაშინ მიმდინარეობს დარჩენილი სამი რგოლის მოხსნაც;

ე) საკისრის შიგა რგოლის შემოწმება მაგნიტური დეფექტოსკოპირებით ღერძის ყელიდან მოუხსნელად. იმ ღერძის ყელსა

და მორგქვეშა წინა ნაწილს, რომლიდანაც შიგა და ლაბირინთული რგოლი არ იხსნება, მიმდინარეობს მათი შემოწმება ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპირებით სპეციალური საცეცით;

ვ) ღერძის ყელის შუა ნაწილის შემოწმება მაგნიტური დეფექტოსკოპირებით;

ზ) მორგქვეშა ნაწილის შემოწმება მაგნიტური დეფექტოსკოპირებით ჩაპრესვის წინ ან ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპირებით თუ წყვილთვალზე არაა ჩატარებული ჩაპრესვის სამუშაოები;

თ) თვლების დეფექტოსკოპირება;

ი) წყვილთვლის ელემენტების ყველა ზომის გადამოწმება დადგენილ ნორმებთან შესაბამისობაში;

კ) ბუქსების სრული რევიზია.

სრული შემოწმების ჩატარების შემდეგ წყვილთვლის მარჯვენა ღერძის ყელზე და საჭდეზე, იმისათვის, რომ ის გამართულად და ვადიანად ჩაითვალოს, ამოიტვიფრება ნიშნები და დამღები დადგენილი ინსტრუქციის შესაბამისად (ნახ. 8).

წყვილთვლების ჩვეულებრივი შემოწმება მიმდინარეობს ვაგონებში ყოველი მათი შეგორებისას გარდა იმ წყვილთვლებისა, რომლებიც ბოლო სრული და ჩვეულებრივი შემოწმების შემდეგ მინიმუმ 6 თვის განმავლობაში არ იმყოფებოდნენ ექსპლუატაციაში. წყვილთვლების ჩვეულებრივი შემოწმებისას მიმდინარეობს შემდეგი სამუშაოები:

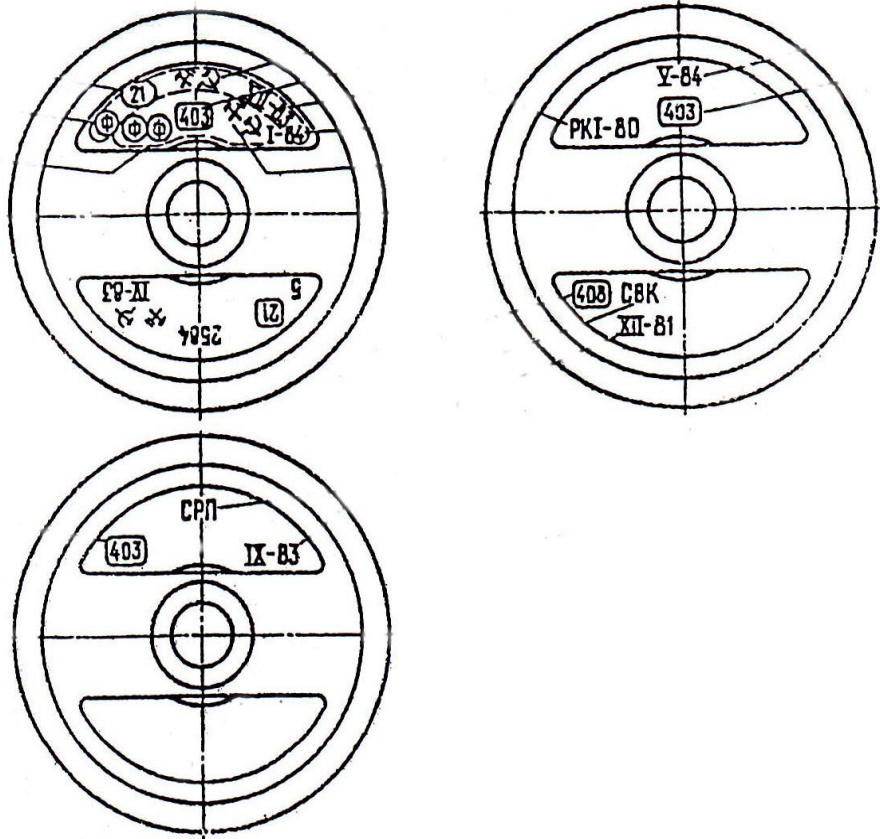
ა) წყვილთვლების წინასწარი დათვალიერება გასუფთავებამდე, რათა გამოვლინდეს თვლის მოსუსტება ღერძზე ან ბზარები მის ელემენტებში;

ბ) წყვილთვლების ელემენტების გასუფთავება;

გ) ღერძის შუა ნაწილის მაგნიტური დეფექტოსკოპირება გარდა იმ წყვილთვლებისა, რომლებიც სრული და ჩვეულებრივი დამოწმების შემდეგ არ იმყოფებოდნენ ექსპლუატაციაში მინიმუმ 6 თვის განმავლობაში;

დ) ღერძის ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპირება იმ წყვილთვლებისათვის, რომლებიც დამზადებულია 5 და მეტი წლის წინ;

ე) თვლის დეფექტოსკოპირება;



ნახ. 8. დამღები ღერძზე

ვ) წყვილთვლის ელემენტების ზომების გადამოწმება იმ მიზნით არის თუ არა შესაბამისობაში დადგენილ ნორმებთან;

ზ) ბუქსების შუალედური რევიზია.

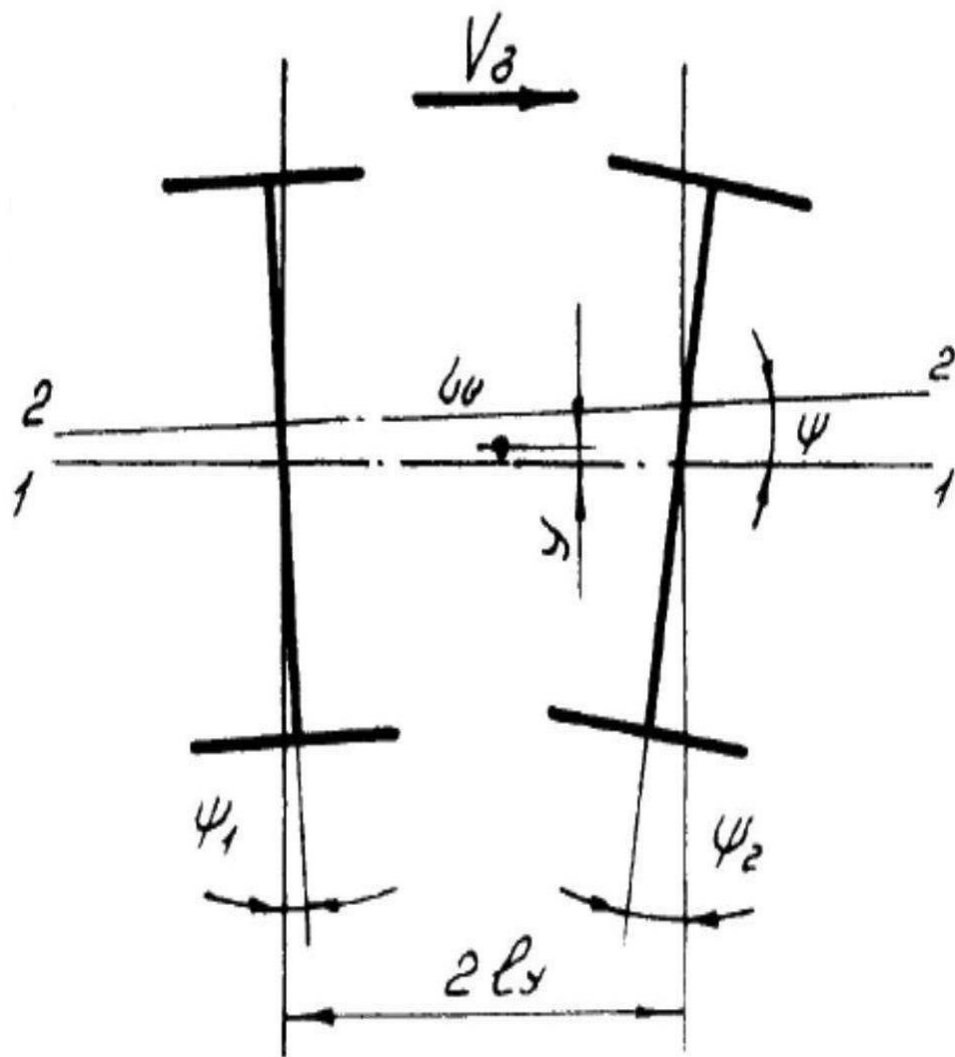
წყვილთვლების შემოწმება ვაგონქვეშ მიმდინარეობს: სადგურში მატარებლის შემოსვლისას, ფორმირებისას, გასვლისას. იმ სადგურებში, სადაც გრაფიკით გათვალისწინებულია მატარებლის დგომა ვაგონების ტექნიკური მომსახურებისათვის, ვაგონების დასატვირთად მიწოდებისას და მატარებელში ჩართვის წინ ვაგონების ლიანდაგიდან აცდენისას, მატარებლის ავარიისას, მარცხისას და ასევე ვაგონების მიმდინარე ახსნითი შეკეთებისას. წყვილთვლების ვაგონქვეშ შემოწმებისას სრულდება წყვილთვლის ელემენტების მდგომარეობის შემოწმება და მათი ზომების შესაბამისობა დადგენილ ნორმებთან.

2.2. წყვილთვლის საიმედოობის და მდგრადობის კრიტერიუმები

წყვილთვლის საიმედოობის და მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით აუცილებელია: დაცულ იქნეს ურიკის აწყობის ტექნოლოგიური რუკა; თავიდან იქნეს აცილებული ბორბლის ლიანდაგზე შერბენის ან გადასვლის მოვლენა; გატარდეს ღონისძიებანი ბორბლის ქიმისა და რელსის თავის გვერდითი ცვეთის შესამცირებლად.

პრაქტიკულად, ურიკის თითოეულ კვანძსა და ნაწილს აქვს ნომინალური ზომებიდან გადახრა, რის შედეგადაც ურიკის აწყობისა და ექსპლუატაციის შემდეგ ყალიბდება წყვილთვლების ღერძების პარალელობის დარღვევა, მათი ურთიერთწანაცვლების მოვლენა და ბორბლების გორვის ზედაპირების რადიუსების არათანაბრობა. ყოველივე ეს ზემოქმედებას ახდენს რელსისადმი ბორბლის სრიალის სიჩქარეზე, აგრეთვე რელსსა და ბორბალს შორის არსებული ხახუნის ძალის მნიშვნელობაზე. გამოდის, რომ ნომინალური პარამეტრების დარღვევას მიჰყვაროთ ვაგონის დინამიკური პარამეტრების ცვლილებამდე.

ვთქვათ, აწყობის ტექნოლოგიური დარღვევისა და ნომინალური ზომებიდან გადახრის გამო, ურიკის წყვილთვლები გადახრილია ნომინალური მდგომარეობიდან ψ_1 და ψ_2 კუთხეებით (ნახ. 9). ამ კუთხეებს ურიკის წინა და უკანა წყვილთვლების ღერძებს გადახრის კუთხეები ეწოდება. ნახაზზე ურიკის სიმეტრიის ღერძი გადის წყვილთვლების კინემატიკურ ცენტრებზე და აღნიშნულია 2-2 წრფით. თუ ურიკის 2-2 სიმეტრიის ღერძი გვემდებება ლიანდაგის 1-1 ღერძზე, მაშინ ურიკის ასსეტ მდგომარეობას საშუალოდ ეწოდება. წყვილთვლების კინემატიკურ ცენტრებს შორის მანძილი ურიკის ბაზას წარმოადგენს. მოცემულ საანგარიშო სქემაზე (ნახ. 9) ურიკის აწყობის ტექნოლოგიის დარღვევისა და ნომინალური ზომებიდან გადახრებით გამოწვეული კუთხე ლიანდაგის ღერძსა და ურიკის სიმეტრიის ღერძს შორის აღნიშნულია ψ ასოთი. ურიკის სიმძიმის ცენტრი გადაწეულია ლიანდაგის ღერძიდან γ სიდიდით. მოცემულ შემთხვევაში წყვილთვლების გადახრის კუთხეები ცნობილი სიდიდეებია და



ნახ. 9. ურთიკის საანგარიშო სქემა

შეიძლება დაზუსტდეს ნატურალური გაზომვის საშუალებით, ხოლო γ და ψ პარამეტრები ცვლადი სიდიდეებია.

ცვლადი სიდიდეების პოვნის მიზნით ვადგენთ მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებებს იმ სახით, როგორც იდეალურად გამართული ურიკის შემთხვევაში

$$\left. \begin{aligned} m_{\gamma} \ddot{y} + 4 \frac{\xi}{U_{\gamma}} \dot{y} - 4\xi\psi &= 2\xi(\psi_1 + \psi_2); \\ I_{\gamma(z)} \ddot{\psi} + 4 \frac{\xi}{U_{\gamma}} (S^2 + l_{\gamma}^2) \dot{\psi} + 4 \frac{k sn}{r} y &= 2\xi l_{\gamma} (\psi_1 + \psi_2), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

სადაც m_{γ} არის ურიკის მასა;

U_{γ} – ურიკის წინსვლითი გადაადგილების სიჩქარე;

ξ – დრეკადი სრიალის კოეფიციენტი;

$I_{\gamma(z)}$ – ურიკის მასის ინერციის მომენტი z ღერძის მიმართ;

s – ლიანდაგის სიგანის ნახევარი;

l_{γ} – ურიკის ბაზის ნახევარი;

n – ბორბლის გორვის ზედაპირის კონუსურობა;

r – ბორბლის გორვის წრის რადიუსი.

თუ წყვილთვლების ღერძების გადახრის ψ_1 და ψ_2 კუთხეები ნულის ტოლია, ე.ი. ურიკა აწყობილია გადახრების გარეშე, მაშინ (1) დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემაში ტოლობების მარჯვენა ნაწილები გაუტოლდება ნულს და მივიღებთ ურიკის ზიგზაგური მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას, ერთ-ერთი უცნობის გამორიცხვის გზით (1) სისტემიდან მივიღებთ მეოთხე რიგის ორ დიფერენციალურ განტოლებას γ და ψ უცნობების მიმართ, რომელთა ამოხსნა გვაძლევს

$$\left. \begin{aligned} y &= \sum_1^4 C_i e^{P_i t} + \frac{l_{\gamma} r_b}{2 sn} (\psi_1 - \psi_2) \\ \psi &= \sum_1^4 C_i e^{P_i t} - \frac{1}{2} (\psi_1 + \psi_2). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

თითოეული ამონახსნის ბოლო შესაკრები წარმოადგენს კოორდინატთა მნიშვნელობებს, რომელთა მიმართ ურიკა ასრულებს რხევით მოძრაობას.

დადგინდა, რომ გარკვეული დაშვებებით აწყოილი ურიკა ლიანდაგის სწორ უბანზე მოძრაობისას დაიძვრება პირველი ან მეორე რელსის მიმართ. ძვრის სიდიდე მით მეტია, რაც ნაკლებია ბორბლის გორვის ზედაპირის n კონუსურობა და რაც მეტია წყვილთვლის ღერძის გადახრების ψ_1 და ψ_2 კუთხეები. გამოდის, რომ ჩქაროსნული მატარებლისათვის 0,025 ან 0,01 კონუსურობის მქონე ბორბლებიანი ურიკა უნდა აიწყოს მეტი სიზუსტით, ვიდრე ურიკა 0,05 სტანდარტული კონუსურობის მქონე ბორბლებით. წყვილთვლების ღერძების გადახრის კუთხეების გაზრდილი მნიშვნელობების დროს ბორბლის ქიმი მიეხრება რელსის თავის მუშა გვერდით ზედაპირს, რომლის შედეგადაც ადგილი აქვს ბორბლის ქიმის გაზრდილ ცვეთას ან ჩამოჭრას. თვლის ქიმისა და რელსის თავის გვერდითი ცვეთა გამოწვეულია Y მიმმართველი ძალის ზემოქმედებით. ბორბლის ქიმი რელსის თავის გვერდით ზედაპირს აწვება მყისი ბრუნვის $O-O$ ღერძიდან b მანძილის დაშორებით (ნახ. 10). $O-O$ ღერძის გარშემო ბორბლის თითოეული შემობრუნების დროს რელსის თავზე ბორბლის ქიმის ხახუნით იხარჯება გარკვეული ენერგია.

თვლის ელემენტარული dY კუთხით შემობრუნებისას ხახუნის ენერგია გამოითვლება ტოლობით

$$A = M dY = \mu b Y dY, \tag{3}$$

სადაც μ არის ხახუნის კოეფიციენტი;

φY – ხახუნის ძალა;

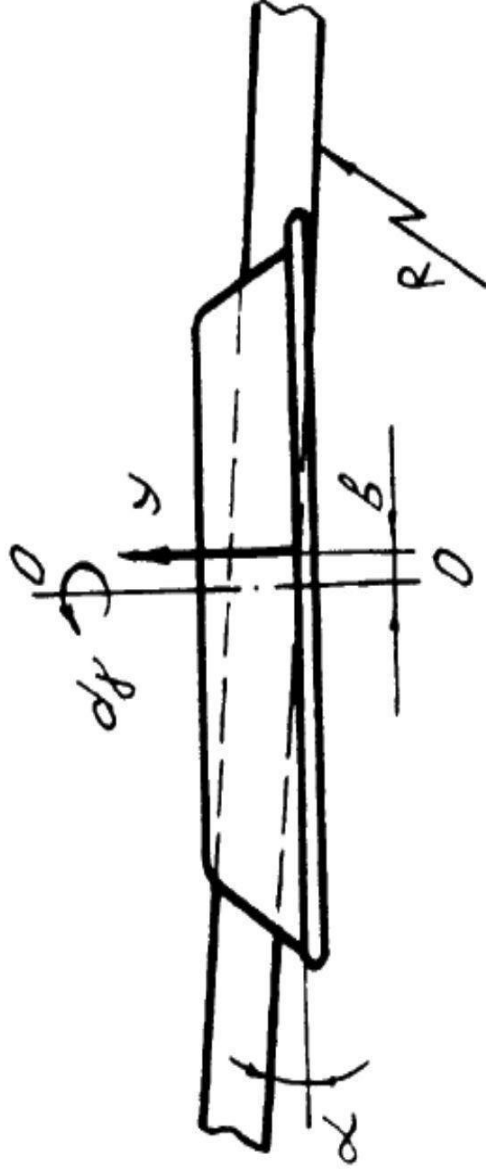
b – ე.წ. „გარბენი“, რომლის მნიშვნელობა

$$b = (r + t) t g \beta t g \alpha; \tag{4}$$

t – მანძილი რელსის თავიდან ბორბლის ქიმისა და რელსის კონტაქტის წერტილამდე ვერტიკალურ სიბრტყეში ($t=10$ სმ);

β – ბორბლის ქიმის მუშა ღედაპირის ჰორიზონტისადმი დახრის კუთხე (ახალი ბორბლისათვის $\beta=60^\circ$);

α – რელსზე ბორბლის შერბენის კუთხე.



ნახ. 10. ქიმისა და რელსის თავის გვერდითი ბუცაბირის ხახუნზე
დახარჯული ენერგიის საანგარიშო სქემა

თუ ცნობილია ურიკის ღერძიდან მისივე მობრუნების ცენტრამდე x_1 მანძილი, მაშინ:

$$\sin \alpha = \frac{x_1}{R}, \quad (5)$$

სადაც R ლიანდაგის სიმაღლის რადიუსია.

(3) და (4) ფორმულების (5) ტოლობაში შეტანით მივიღებთ

$$A = \mu Y(r+t) \frac{x_1}{R}. \quad (6)$$

სხვადასხვა ტიპის ვაგონებისათვის φ , r და t სიდიდეები თითქმის ერთნაირია, ამიტომ ბორბლის ქიმისა და რელსის თავის გვერდითი ზედაპირის ცვეთის მახასიათებლად მიღებულია ე.წ. „ცვეთის ფაქტორი“, რომელიც ტოლია

$$\Phi = \frac{x_1}{R} \cdot Y. \quad (7)$$

ვაგონის ურიკის წინა წყვილთვლის ბორბლები ლიანდაგის სწორ ან მრუდე უბანზე მოძრაობისას ქიმის საშუალებით შერბის რელსის თავის გვერდით წახნაგებზე, რომლის შედეგადაც მოსალოდნელია ბორბლის რელსიდან გადასვლა. შერბენის α კუთხე (ნახ. 10) შეიძლება უდრიდეს 0,01 რადიანს ან იყოს მასზე მეტი (მრუდე უბანში გავლისას).

თუ რელსზე ბორბლის დინამიკური დაწოლის ჰორიზონტალური შემდგენი გაცილებით დიდია ვერტიკალურ შემდგენზე (ნახ. 11) რაც გამოწვეულია ვაგონის რხევის შედეგად ბორბლის განტვირთვით, მაშინ ადგილი აქვს ბორბლის რელსიდან გადასვლას. ამ მოვენას ხელს

უწყობს ბორბლის ქიმის რელსზე ასვლის დროს ხახუნის μ კოეფიციენტის ზრდა. რელსიდან ბორბლის გადასვლის მოვლენა დაკავშირებულია მრავალ ფაქტორთან. ამ ფაქტორებს მიეკუთვნება: შერბენის α კუთხე; ბორბლის ქიმის დახრის β კუთხე; ხახუნის μ კოეფიციენტი; ურიკის გაურესორებელი ნაწილის წონა; წყვილთვლის

ღერძზე ვერტიკალური დაწოლის P ძალა და ლიანდაგის ვერტიკალური სიხისტე. კრიტიკული მდგომარეობა ბორბლის რელსიდან გადასვლის მომენტისათვის სპეციალურ ტექნიკურ ლიტერატურაში სხვადასხვაგვარადაა გადმოცემული. ამერიკისა და ინგლისის რკინიგზისათვის იგი ხასიათდება ნადალის ფორმულით

$$\left(\frac{P_b}{P_3}\right)_{\text{კრიტ}} \leq \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \quad (8)$$

რელსიდან ბორბლის გადასვლის მოვლენის თავიდან აცილების მიზნით აუცილებელია დაეიცვათ შემდეგი პირობა

$$k_a = \left(\frac{P_3}{P_b}\right)_{\text{ნამდვ}} : \left(\frac{P_3}{P_b}\right)_{\text{კრიტ}} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \cdot \frac{P_3}{P_b} > 1, \quad (9)$$

$(P_3:P_b)$ კრიტიკული ფარდობის მნიშვნელობა სხვადასხვა ქვეყნისათვის სხვადასხვაა. იაპონიის რკინიგზებზე მისი მნიშვნელობა აღწევს 0,8-მდე, როცა ბორბლის შერბენის კუთხე $\alpha=1^\circ$. ამერიკისა და ინგლისის რკინიგზებისათვის $(P_3:P_b)=1$, თუ $\alpha=65^\circ$. ბოლო დროს ვაგონების დინამიკური მახასიათებლების შეფასებისათვის გამოიყენება $(P_3:P_b)=0,6$ მნიშვნელობა, ხოლო ხის შპალების გამოყენების შემთხვევაში – $(P_3:P_b)=0,5$.

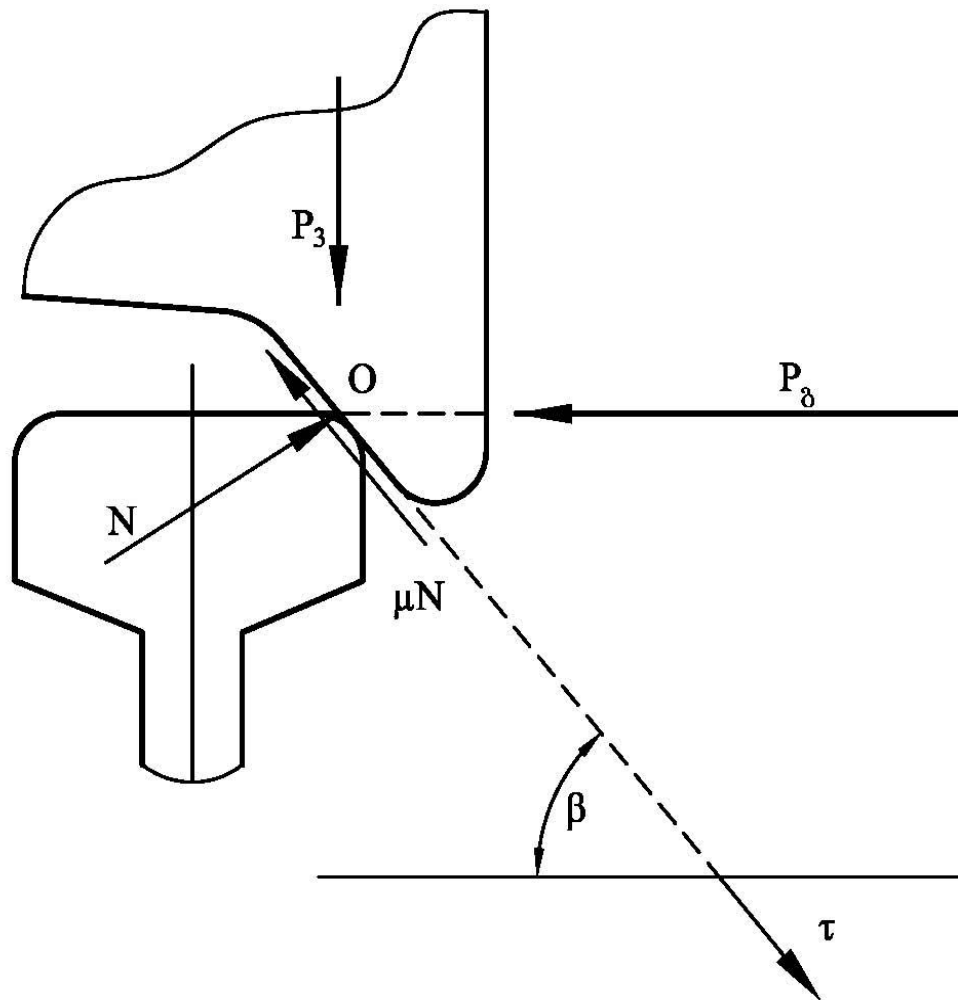
ნადალის (8) ფორმულის გამოყენებით შეიძლება დამყარდეს დამოკიდებულება (სხვადასხვა სიდიდის ხახუნის კოეფიციენტის გათვალისწინებით) ბორბლის ქიმის დახრის კუთხესა და $(P_3:P_b)$ კრიტ. სიდიდეს შორის (ნახ. 12). რელსის თავზე ბორბლის შერბენის მოვლენა არაა მყისი პროცესი, იგი მიმდინარეობს განსაზღვრული t_g დროის განმავლობაში, რომლის დროსაც ბორბალი გაივლის რაღაც l_g გზას. თუ ამ დროს მდგრადობის k_a სამარაგო კოეფიციენტი ვაგონის ძარის ან გაურესორებელი ნაწილის რხევის შედეგად გახდება ერთზე მეტი, მაშინ ბორბალი ჩაცურდება დაბლა, რელსის თავზე ასვლის პროცესი შეწყდება და ვაგონის მოძრაობა უსაფრთხო გახდება.

რელსზე ასვლის მომენტში ბორბლის ბრუნვის მყისი ცენტრი გადაადგილდება b მანძილით მარჯვნივ (ნახ. 10), ხოლო ბორბლის ქიმსა და რელსის თავის გვერდით ზედაპირს შორის არსებული კონტაქტის წერტილი გადაადგილდება ვერტიკალური მიმართულებით. გადაადგილების სიჩქარე

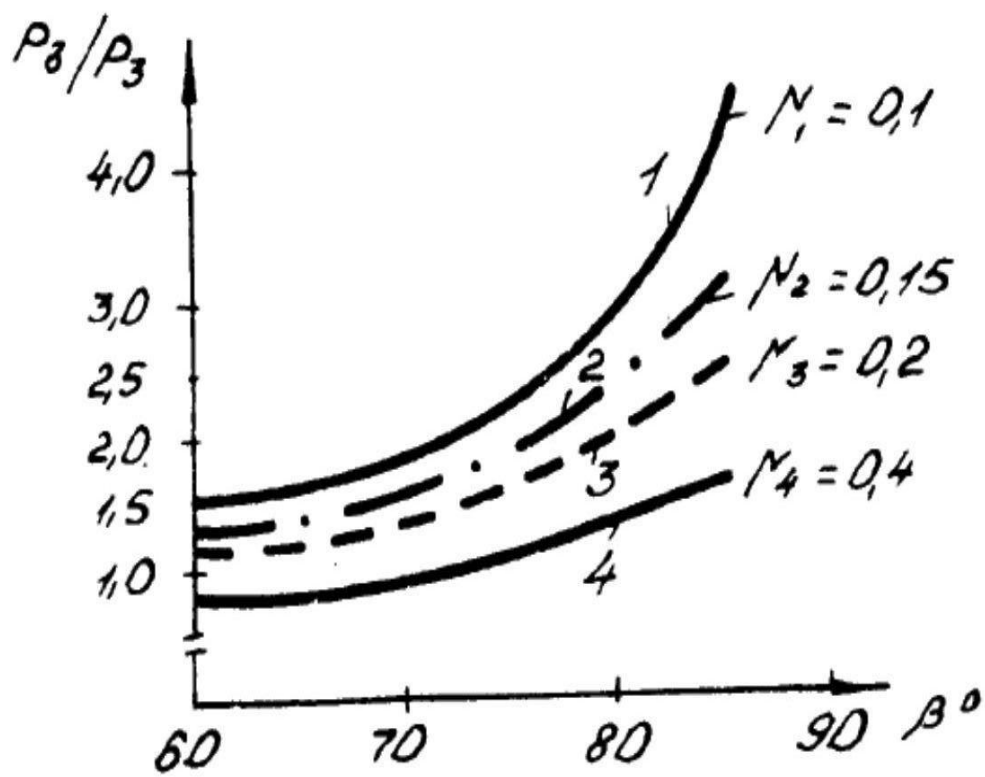
$$v_z = \omega \cdot \varepsilon, \quad (10)$$

სადაც ω არის ბორბლის კუთხური სიჩქარე;

ε – კონტაქტის წერტილის შემობრუნების რადიუსი რელსის თავზე ასვლის მომენტში.



ნახ. 11. ქიშისა და რელსის თავის კონტაქტის წერტილში მოქმედი ძალები



ნახ. 12. ქიმის დახრის კუთხის დამოკიდებულების გრაფიკი ხახუნის კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის

$$v_z = \frac{v}{z} r_j \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta, \quad (11)$$

v – ბორბლის წინსვლითი მოძრაობის სიჩქარე;

r_j – კონტაქტის წერტილის ბრუნვის რადიუსი ($r_j = r + 10\text{მმ}$).

თუ სიჩქარის ამ მნიშვნელობას ჩავთვლით მუდმივად და დაეუშვებთ, რომ ბორბალი აიწეოს რელსის თავზე h_z სიმაღლით ($h_z = h \sin \beta$), სადაც h წარმოადგენს ბორბლის ქიმის მუშა ზედაპირის მსახველს, მაშინ რელსზე ბორბლის ასვლის ან რელსიდან ჩასვლის დროს

$$t_{\delta} = \frac{h}{v_z} \sin \beta = \frac{h \cdot r}{v r_j} \cdot \frac{\cos \beta}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (12)$$

რელსის თავზე ბორბლის ქიმის ასვლისას განვლილი გზა

$$l_{\delta} = v t_{\delta} = h \frac{r}{r_j} \cdot \frac{\cos \beta}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (13)$$

მაგალითად, თუ $h = 0,03$ მ; $r = 0,475$ მ; $v = 30$ მ/წმ; $\beta = 60^\circ$; $\operatorname{tg} \alpha = 0,01$, მაშინ $r_j = r + 10 = 0,485$ მ;

ხოლო რელსის თავზე ბორბლის ასვლის (ჩასვლის) დროს განვლილი მანძილი და მოძრაობის დრო შესაბამისად ტოლია

$$l_{\delta} = \frac{0,013 \cdot 0,475 \cdot 0,5}{0,485 \cdot 0,01} = 0,637 \text{ მ}; \quad (14)$$

$$t_{\delta} = \frac{0,013 \cdot 0,475 \cdot 0,5}{0,485 \cdot 30 \cdot 0,01} = 0,021 \text{ წმ}. \quad (15)$$

როგორც ჩანს, რელსის თავზე ბორბლის ქიმის ასვლას სჭირდება 0,021 წმ, ხოლო ამ დროში ქიმი გაივლის 64 სმ.-ის ტოლ მანძილს, ქიმის მოძრაობის დრო ახლოსაა ვაგონის გაურესორებელი ნაწილის, ანუ ბორბლის რელსის მიმართ რხევის ნახევარპერიოდთან. რადგან ვაგონის სიჩქარის გაზრდით იზრდება მისი გაურესორებელი ნაწილის ინერციის ძალები, ამიტომ ამ ძალების გავლენა ურიკის მდგრადობის სამარაგო კოეფიციენტზე სიჩქარის ზრდასთან ერთად იზრდება.

აქვე შეგვიძლია მოვიყვანოთ პროფესორ ა. გალევეის მიერ შემოთავაზებული და პროფესორ მ. ვერიგოს მიერ დამუშავებული

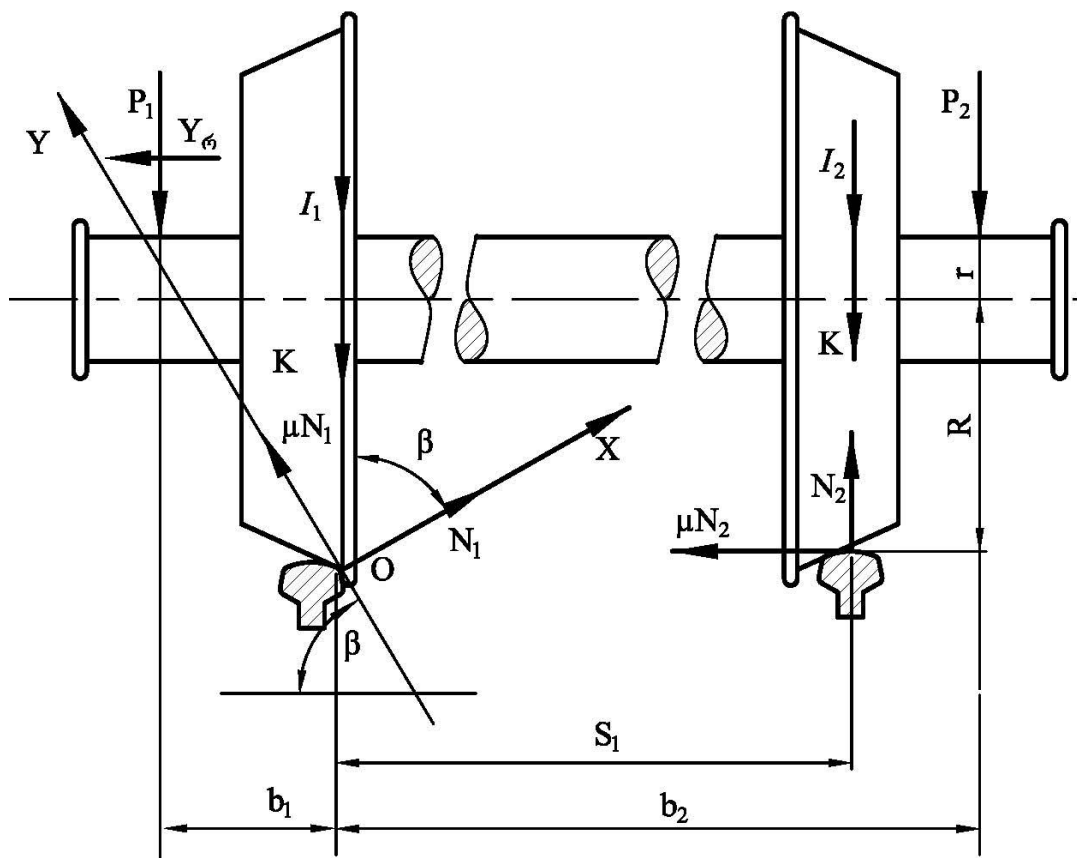
მეთოდი, რომლის საშუალებითაც შეიძლება სრულყოფილად ჩატარდეს რელსზე ბორბლის ქიმის ასვლის მოვლენის სრული ანალიზი. საანგარიშო სქემას ექნება ასეთი სახე (ნახ. 13).

დავუშვათ, რომ რელსის თავზე ქიმის ასვლის მოვლენა დაიწყო მარცხენა ბორბლის მაღლა აწევით. ბორბლისა და რელსის თავის გორვის ზედაპირებს შორის გაჩნდება გარკვეული სიდიდის ღრეხო, ხოლო ქიმის მუშა ზედაპირი დაეყრდნობა რელსის თავის გვერდით ზედაპირს. კონტაქტის O წერტილში აღიძვრება რეაქციის ძალა, რომელიც მიმართული იქნება ბორბლის ქიმის მუშა ზედაპირზე გამავალი oy ღერძის გასწვრივ. მარჯვენა რელსის რეაქციის ძალა მოდებული იქნება რელსის თავის შუა წერტილში და მიმართული ვერტიკალურად – ქვევიდან ზევით. თუ მარცხენა ბორბალი დაიწყებს დაბლა ჩამოცურებას, მაშინ რელსის თავსა და ბორბლის ქიმის დახრილ ზედაპირს შორის აღიძვრება ხახუნის μN_1 ძალა, ხოლო მეორე ბორბლის გორვის ზედაპირსა და რელსის თავს შორის — ხახუნის μN_2 ძალა. იმისათვის, რომ მარცხენა ბორბლის ქიმმა იმოძრაოს რელსის თავიდან ქვევით აუცილებელია, რომ ბორბლის ქვევით გადამაადგილებელი ძალების ჯამი ტოილ ან მეტი იყოს ხახუნისა და სხვა სახის ძალების ჯამზე, რომელთა მოქმედებითაც ბორბალი გადაადგილდება ზევით, რელსის თავისაკენ. თუ რელსის თავზე ბორბლის ასვლის მომენტში წყვილთვალზე მოქმედ ძალებს დავაგვემიღებთ x და y ღერძებზე, მივიღებთ შემოსხენებული პირობის მათემატიკურ ინტერპრეტაციას

$$N_1 \sin \beta \geq Y_6 + \mu N_1 \cos \beta + \mu N_2 \quad (16)$$

$$N_2 - P_1 - P_2 - 2k - I_1 - I_2 + N_1 \cos \beta + \mu N_1 \sin \beta = 0, \quad (17)$$

სადაც N_1 არის მარცხენა ბორბლის რეაქცია; N_2 – მარჯვენა ბორბლის რეაქცია; P_1, P_2 – წყვილთვლის ყელის შუა ნაწილში მოსული ვაგონის გარესორებული ნაწილის წონით გამოწვეული ძალები; k – კონტაქტის წერტილში მოქმედი წყვილთვლის წონის ნახევარი; I_1, I_2 – კონტაქტის წერტილში მოდებული ვერტიკალური ინერციის ძალები, გამოწვეული გორვის ზედაპირებზე არსებული უთანაბრობებით; Y_6 – ჩარჩოს ძალა.



ნახ. 13. წყვილთვალზე მოქმედი ძალები რელსზე ბორბლის შეხების მომენტისათვის

გამოვსახოთ რეაქციის ძალები დანარჩენი მოქმედი ძალების საშუალებით. ამისათვის საკმარისია დაიწეროს წყვილთვალზე მოქმედი ყველა ძალის მომენტების ჯამი O წერტილი მიმართ.

$$-Y_b(r+R) - P_1 b_1 + P_2 b_2 + (I_2 + k)s_1 - N_2 s_1 = 0 \quad (18)$$

სადაც r არის წყვილთვლის ყელის რადიუსი;

R – ხორბლის გორვის წრის რადიუსი;

s_1 – ლიანდაგის სიგანე.

თუ (17) განტოლებიდან განვსაზღვრავთ N_1 -ს, ხოლო (18) გამოსახულებიდან კი N_2 -ს და მიღებულ მნიშვნელობებს შევიტანთ (16) განტოლებაში, მივიღებთ მარცხენა ბორბლის წონასწორობის პირობას, ანუ ბორბლის ქიმის განუწყვეტლივი ქვევით დაშვების საუზრუნველყოფო მათემატიკურ ჩაწერას

$$\frac{Y_b}{P_1} \leq B,$$

სადაც

$$B = \frac{\mu b_1 + (s_1 + b_1) \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{s_1 - (r + R) [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]} - \frac{P_2 [\mu b_2 - (s_1 - b_2) \operatorname{tg}(\beta - \varphi)]}{P_1 \{s_1 - (r + R) [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]\}} - \frac{s_1 \{I_2 \mu + I_1 \operatorname{tg}(\beta - \varphi) + k [\mu - \operatorname{tg}(\beta - \varphi)]\}}{P_1 \{s_1 - (r + R) [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]\}} \quad (19)$$

პრაქტიკულად, მიღებულია $\mu = 0,25$, რაც შეესაბამება $\varphi = 14^\circ 13'$ ხახუნის კუთხეს, ხოლო k სიდიდის მნიშვნელობა ცენტრალური ჩამოკიდების მქონე ორღერძიანი ურიკისათვის გამოისახება ტოლობით

$$k = \frac{1}{4} P_{\eta}, \quad (20)$$

სადაც P_{η} ურიკის წონაა;

(9) გამოსახულების მსგავსად, სიდიდეს

$$\eta = \frac{Y_b}{P_1} : B \quad (21)$$

წყვილთვლის მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი ეწოდება მოძრაობის უსაფრთხოების მიზნით იგი ერთზე მეტი უნდა იყოს.

P_1 და P_2 ძალების მნიშვნელობებზე გავლენას ახდენს ვაგონის გარესორებული ნაწილის რხევა, განსაკუთრებით კი გვერდითი რწევა.

მაგალითად, 80 კმ/სთ ან მეტი სიჩქარით ვაგონის მოძრაობისას გაუცვეთავი ბორბლის ქიმის შემთხვევაში ხშირად $P_1=0$. ამ დროს მცირე Y_{β} ჩარჩოს ძალის მოქმედებითაც კი შესაძლოა რელსის თავზე ბორბლის შერბენა. ბორბლის შერბენას ხელს უწყობს ზემოთ მიმართული l_1 ინერციის ძალაც.

რელსზე ბორბლის შერბენის პროცესს ხელს უწყობს ჩარჩოს Y_{β} ძალის წარმოშობა. ეს ძალა ცდილობს ერთ-ერთი რელსის ადგილიდან დაძვრას. ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ რელსის დაძვრას ჩარჩოს ძალის მოქმედებით ადგილი აქვს მაშინ, როცა ჩარჩოს ძალა თავისი მნიშვნელობით აჭარბებს ვაგონის ღერძული დატვირთვის 40%-ს, ე.ი. მოძრაობის უსაფრთხოებისათვის აუცილებელია დავიცვათ პირობა

$$Y_{\beta} \leq 0,4\Pi. \quad (22)$$

სხვადასხვა ქვეყანაში (22) ტოლობით გამოსახული პირობა სხვადასხვაა. მაგალითად, საფრანგეთის რკინიგზებისათვის მოცემული პირობა ჩაიწერება ასეთი სახით

$$Y_{\beta} \leq 0,85\left(1 + \frac{\Pi}{3}\right). \quad (23)$$

ვაგონის განხილული მდგრადობის კრიტერიუმების დაცვა უზრუნველყოფს შემადგენლობის უსაფრთხო მოძრაობას.

2.3. ვაგონების წყვილთვლებზე დაკვირვებებით გამოვლენილი გაუმართაობების სისტემატიზაცია და დისერტაციაში განსახილველი ამოცანის დასმა

სარკინიგზო დარგში ჩატარებულმა სამეცნიერო გამოვლევების მიმოხილვამ და ანალიზმა ცხადყო, რომ მეცნიერთა მხრიდან მნიშვნელოვანი ყურადღება ექცევა მატარებელთა მოძრაობისას წარმოქმნილ სხვადასხვა უარყოფითი პროცესების შესწავლას და მათ გავლენას ვაგონების კვანძებზე.

ნაშრომებში თანმიმდევრულად არის განხილული ვაგონების ექსპლუატაციისას წარმოქმნილი რხევითი პროცესების გავლენა ურიკის კვანძებზე, მათ შორის წყვილთვლებზე, ასევე ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შემუშავებულ იქნა წყვილთვლების ელემენტების ცვეთის შემცირების სხვადასხვა მეთოდები ეკიპაჟების (ვაგონების) გზის როგორც სწორ, ასევე მრუდ მონაკვეთებზე მოძრაობისას.

მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ მეცნიერთა მხრიდან გამოკვლეული სამუშაოების დიდი მოცულობის მიუხედავად დღეისათვის საქართველოს რკინიგზაზე მისი გეოგრაფიული მდებარეობიდან გამომდინარე, რის მიხედვითაც საშუალოდ მთლიანი გზის 30-35% შეადგენს სხვადასხვა მცირე რადიუსის მქონე მრუდეები, მოძრავი შემადგენლობის, მათ შორის ვაგონების წყვილთვლების ქიმების ინტენსიური ცვეთის პრობლემა ისევ აქტუალურია, რასაც მოწმობს ვაგონებზე ჩვენს მიერ ჩატარებული პრაქტიკული დაკვირვებების შედეგები, კერძოდ:

1. ჩატარებული ექსპერიმენტალური დაკვირვებებით, რომელიც მიმდინარეობდა რთული პროფილის მქონე მრუდე უბანზე მოძრავ ვაგონებზე გამოვლინდა, რომ თუ სწორ მონაკვეთებზე ვაგონების მოძრაობისას წყვილთვლების ქიმების ცვეთა ყოველ 20000 კმ-ში საშუალოდ შეადგენს 1,2 მმ-ს, მრუდე უბანზე ვაგონების მოძრაობისას წყვილთვლების ქიმების ცვეთამ 20000 კმ-ის გავლისას შეადგინა 2,5 მმ, რაც წარმოადგენს ერთობ უარყოფით მაჩვენებელს. (შედეგები მოცემულია ცხრილი 2-ში).

წვეილთვლების ქიმების ცვეთის ანალიზი

გაველილი მანძილი კმ	ქიმების ცვეთა	
	სწორ უბანზე	მრუდ უბანზე
0	32,00 მმ	32,00 მმ
2000	31,87 მმ	31,55 მმ
4000	31,74 მმ	31,10 მმ
6000	31,61 მმ	30,65 მმ
8000	31,49 მმ	30,21 მმ
10000	31,37 მმ	29,76 მმ
12000	31,25 მმ	29,32 მმ
14000	31,13 მმ	28,88 მმ
16000	31,11 მმ	28,45 მმ
18000	31,00 მმ	28,02 მმ
20000	30,79 მმ	27,50 მმ
ჯამური ცვეთა 20000 კმ-ში	1,2 მმ	2,5 მმ

2. თბილისის, ხაშურის, სამტრედიის, ბათუმის სავაგონო დეპოებში წლის განმავლობაში სარემონტოდ შესული წვეილთვლების ანალიზმა (ცხრილები 3, 4, 5, 6, 7) აჩვენა, რომ იმ ძირითადი გაუმართაობებიდან, როგორცაა: დანადგური, ამოცვეთა, თანაბარი ცვეთა წრიული დამუშავებანი, ამოტეხილობა, არათანაბარი ცვეთა, თვლის ადგილობრივი გაფართოება, თხელი ქიმი მათ შორის უმეტესობას, ანუ 70% წარმოადგენს ქიმების ცვეთა, დაზიანება (ნახ. 14, 15) რომლის ექსპლუატაციურ ნორმებში მოყვანისათვის (24-33მმ), ჩამოთვლილ დეფექტებთან შედარებით საჭიროაგაცილებით მეტი სამუშაოების ჩატარება, კერძოდ: წვეილთვლის გორვის ზედაპირზე დანადგურის, თვლის ადგილობრივი გაფართოებების და სხვა ამდაგვარი დაზიანების დროს გაუმართაობის აღმოსაფხვრელად (ნახ. 16) საჭიროა მხოლოდ დადგენილი წესის შესაბამისად ზედაპირზე მათი მოცილება, ეს კი ისე ხდება, რომ რაიმე ზედმეტ დანაკარგებს ადგილი არ აქვს, ხოლო გაცვეთილი ქიმის დროს მაგალითად თუ იგი არის 23 მმ, (იწვევს

ვაგონების ლიანდაგიდან აცდენას) 30მმ-დე შევსებისათვის, რაც ერთ-ერთი ინსტრუქციული მოთხოვნაა გეგმიური შეკეთებიდან გამოსული წყვილთვლების ელემენტებისა, საჭიროა მოცემული ზომების სხვაობა 30-23, ანუ 7მმ გავამრავლოთ 2-ზე და ამ რაოდენობის ე. ი. 14მმ ფერსოს სისქე ავიღოთ, რაც წარმოადგენს დიდ დანაკარგს, რადგანაც ზემოთ აღნიშნული დადგენილი ზღვარი, რომლის მიხედვითაც ყოველ 20.000 კმ-ში წყვილთვლის ცვეთა შეადგენს 1მმ-ს, 14მმ საღი ზედაპირის აღებით ვკარგავთ 280.000 კმ-ის რესურსს, რომელიც შეიძლება გაიაროს წყვილთვალმა ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში, ეს კი კიდევ ერთ-ერთი დასტურია იმისა, რომ აღნიშნული პრობლემა მართლაც ძალზედ აქტუალურია და რომ, ვაგონების ექსპლუატაციისას წყვილთვლების ქიმების ხშირი ცვეთის, დაზიანების (მახვილი, ჩაჭრილი ქიმი) გამომწვევი პროცესების საკითხები ჯერ კიდევ არ არის ბოლომდე შესწავლილი და მოითხოვს ამ მხრივ დამატებით კვლევას და მათი შემცირებისათვის გარკვეული რეკომენდაციების შემუშავებას.

ცხრილი 3

წყვილთვლის გაუმართაობათა ანალიზი

თბილისის საგაგონო დეპო			
წყვილთვლის გაუმართაობები		რიცხოობრივი მაჩვენებელი	პროცენტული მაჩვენებელი
№	დაზიანების დასახელება	საერთო რაოდ. 1500	100%
1	დანადული	105	7%
2	ამოცვეთა	75	5%
3	თანაბარი ცვეთა	135	9%
4	წრიული დამუშავებანი	45	3%
5	ამოტეხილობა	60	4%
6	არათანაბარი ცვეთა	30	2%
7	თვლის გაფართოვება	15	1%
8	ქიმების ცვეთა, დაზიანება (მახვილი, ჩაჭრილი ქიმი)	1035	69%

წყვილთვლის გაუმართაობათა ანალიზი

ხაშურის საგაგონო დეპო			
წყვილთვლის გაუმართაობები		რიცხოობრივი მაჩვენებელი	პროცენტული მაჩვენებელი
№	დაზიანების დასახელება	საერთო რაოდ. 3000	100%
1	დანადული	180	6%
2	ამოცვეთა	150	5%
3	თანაბარი ცვეთა	240	8%
4	წრიული დამუშავებანი	90	3%
5	ამოტეხილობა	90	3%
6	არათანაბარი ცვეთა	60	2%
7	თვლის გაფართოვება	30	1%
8	ქიმების ცვეთა, დაზიანება (მახვილი, ჩაჭრილი ქიმი)	2160	72%

წყვილთვლის გაუმართაობათა ანალიზი

სამტრედიის საგაგონო დეპო			
წყვილთვლის გაუმართაობები		რიცხოობრივი მაჩვენებელი	პროცენტული მაჩვენებელი
№	დაზიანების დასახელება	საერთო რაოდ. 2400	100%
1	დანადული	144	6%
2	ამოცვეთა	144	6%
3	თანაბარი ცვეთა	240	10%
4	წრიული დამუშავებანი	48	2%
5	ამოტეხილობა	72	3%
6	არათანაბარი ცვეთა	48	2%
7	თვლის გაფართოვება	24	1%
8	ქიმების ცვეთა, დაზიანება (მახვილი, ჩაჭრილი ქიმი)	1680	70%

წყვილთვლის გაუმართაობათა ანალიზი

ბათუმის სავაგონო დეპო			
წყვილთვლის გაუმართაობები		რიცხოობრივი მაჩვენებელი	პროცენტული მაჩვენებელი
№	დაზიანების დასახელება	საერთო რაოდ. 3600	100%
1	დანადული	216	6%
2	ამოცვეთა	216	6%
3	თანაბარი ცვეთა	180	5%
4	წრიული დამუშავებანი	108	3%
5	ამოტეხილობა	144	4%
6	არათანაბარი ცვეთა	108	3%
7	თვლის გაფართოვება	72	2%
8	ქიმების ცვეთა, დაზიანება (მახვილი, ჩაჭრილი ქიმი)	2556	71%

წყვილთვლის გაუმართაობათა ანალიზი

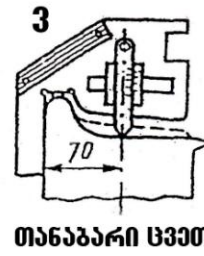
საერთო რაოდენობა			
წყვილთვლის გაუმართაობები		რიცხოობრივი მაჩვენებელი	პროცენტული მაჩვენებელი
№	დაზიანების დასახელება	საერთო რაოდენობა	100%
1	დანადული	645	6,25%
2	ამოცვეთა	585	5,5%
3	თანაბარი ცვეთა	795	8%
4	წრიული დამუშავებანი	291	2,75%
5	ამოტეხილობა	366	3,5%
6	არათანაბარი ცვეთა	246	2,25%
7	თვლის გაფართოვება	141	1,25%
8	ქიმების ცვეთა, დაზიანება (მახვილი, ჩაჭრილი ქიმი)	7431	70,5%



1
დანადული



2
ამოსვეთა



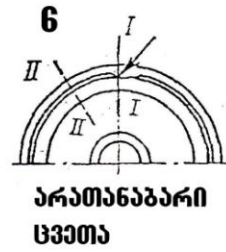
3
თანაბარი სვეთა



4
წრიული
დამუშავება



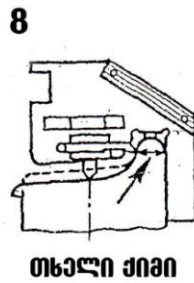
5
ამოჭენილება



6
არათანაბარი
სვეთა



7
თვლის ადგილობრივი
გაფართოება



8
თხალი ჭიმი



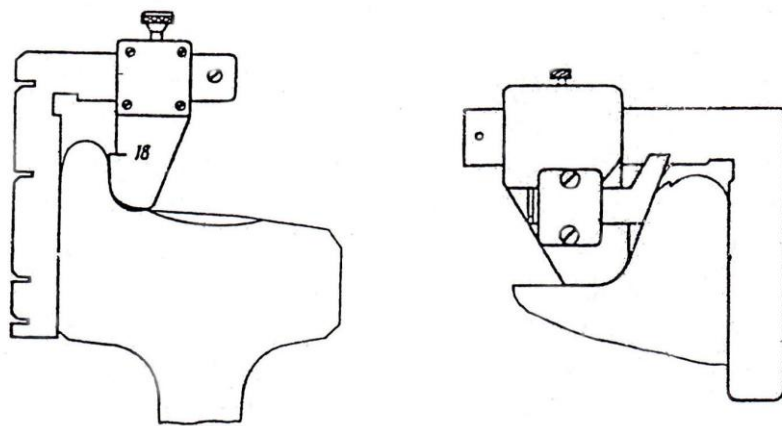
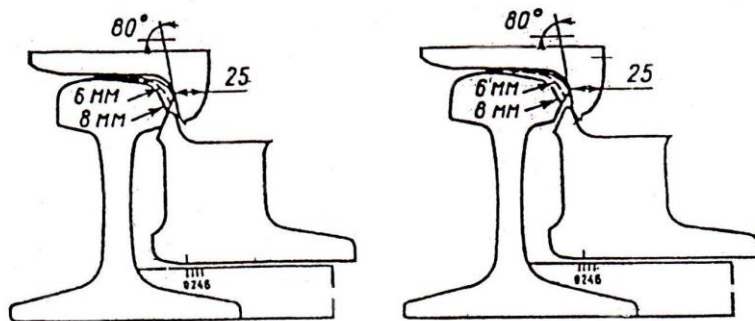
9
გახვილი ჭიმი

ნახ. 14. წყვილთვლის ძირითადი გაუმართაობები

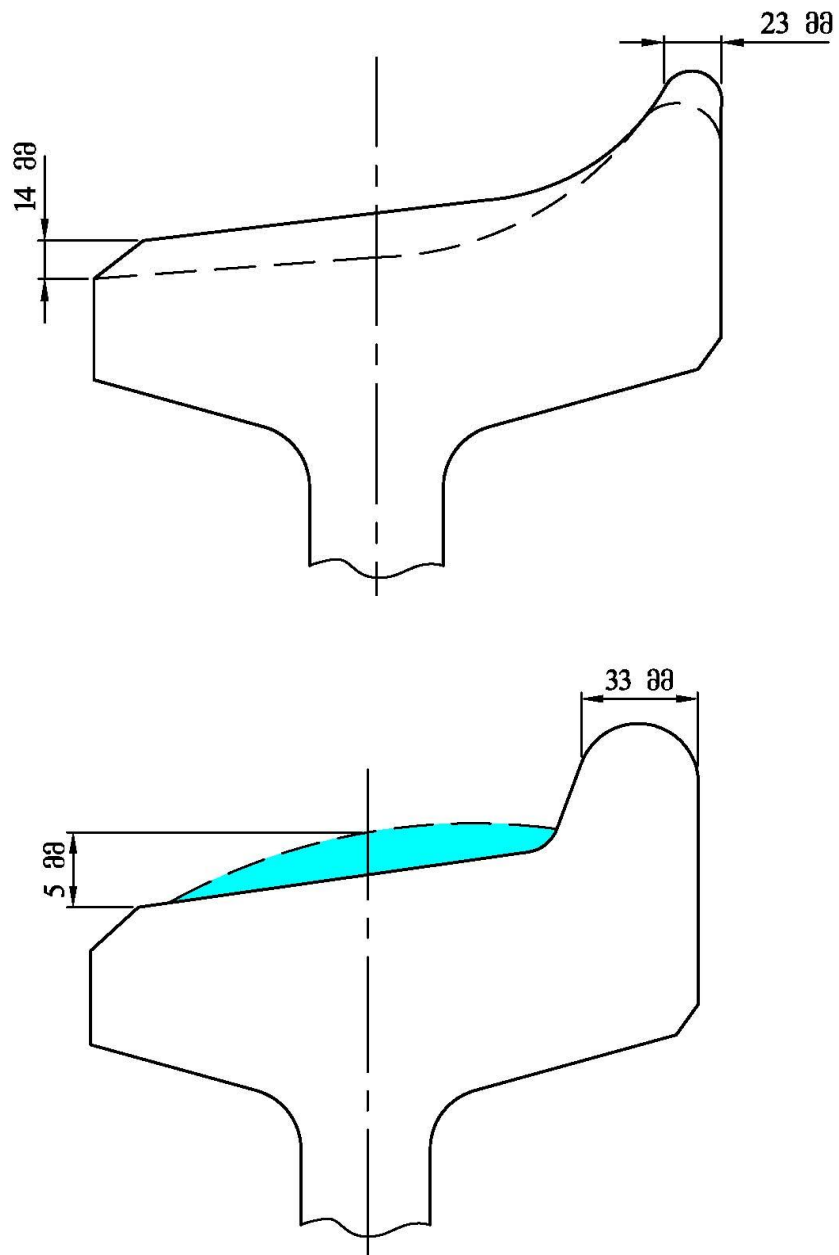
1. დანადგულის წარმოქმნას ძირითადათ იწვევს ლოკომოტივის, ან ვაგონის სამუხრუჭე სისტემის გაუმართაობა, რომლის შედეგადაც ხდება თვლის გორვის ზედაპირზე ლითონის ფენის დაგროვება, რაც დასაშვებ ნორმაზე მეტის დროს (სატვირთო ვაგონებზე 1 მმ-დე, სამგზავროზე ვაგონებზე 0,5 მმ) წყვილთვლების მოძრაობისას იწვევს დარტყმებს და ქმნის თვლის ან რელსის გატეხვის საშიშროებას.
2. ამოცეთის წარმოქმნას ძირითადათ იწვევს ლოკომოტივის ან ვაგონის სამუხრუჭე სისტემის გაუმართაობა, რომლის შედეგადაც ხდება თვლის ზედაპირის გარკვეული ნაწილის ამოცვეთა, რაც დასაშვებ ნორმაზე მეტის დროს (სატვირთო ვაგონებზე 1 მმ-დე, სამგზავროზე ვაგონებზე 1 მმ) წყვილთვლების მოძრაობისას იწვევს დარტყმებს და ქმნის თვლის ან რელსის გატეხვის საშიშროებას.
3. გორვის ზედაპირის თანაბარი ცვეთა წარმოიქმნება თვალსა და რელსს შორის ხახუნის შედეგად ამ გაუმართაობის დასაშვებ ნორმაზე მეტის დროს (სატვირთო ვაგონებზე 9 მმ-მდე, სამგზავროზე ვაგონებზე 8 მმ-მდე) ხდება ქიმის სიმაღლის გაზრდა, რაც იწვევს რელსების გადაბმის კვანძის დარღვევას და ვაგონის ლიანდაგიდან აცდენას.
4. წრიული დამუშავებანი თვლის ზედაპირზე წარმოიქმნება სამუხრუჭე ხუნდების ზემოქმედებისას, რომლის დასაშვებ ნორმაზე მეტის დროს (სატვირთო და სამგზავრო ვაგონებისათვის ქიმის ფუძესთან სიღრმით 1 მმ-მდე, სიგანით 15 მმ-მდე, ხოლო დახრაზე 1:7 სიღრმით 2მმ-მდე, სიგანით 15მმ-მდე) მოძრაობისას იქმნება თვლის გატეხვის საშიშროება.
5. გორვის ზედაპირზე ამოტეხილობა წარმოიქმნება ლითონის ე. წ. დაღლილობით ამ დაზიანების დასაშვებ ნორმაზე მეტის დროს (სატვირთო ვაგონებისათვის სიღრმით 10მმ-მდე, სიგრძით 50 მმ-მდე, სამგზავროზე ვაგონებისათვის სიღრმით 10მმ-მდე, სიგრძით 25 მმ-მდე) მოძრაობისას დარტყმების შედეგად იქმნება თვლის გატეხვის საშიშროება.
6. არათანაბარი ცვეთა წარმოიქმნება თვლის ზედაპირზე ლითონის არაერთგვაროვანი შემცველობის შედეგად ამ დაზიანების დასაშვებ ნორმაზე მეტის დროს (სატვირთო ვაგონებზე 3 მმ, სამგზავროზე ვაგონებზე 2მმ) მოძრაობისას დარტყმების გამო იქმნება თვლის ან რელსის გატეხვის საშიშროება.

7. თვლის ადგილობრივი გაფართოვება წარმოიქმნება ლითონის სხმულის შიდა დეფექტებით ამ დაზიანების დასაშვებ ნორმაზე მეტის დროს (სატვირთო და სამგზავრო ვაგონებისათვის 0,5 მმ-მდე) იქმნება ვაგონის ლიანდაგიდან აცდენის საშიშროება მის საისრე გადაყვანებში მოძრაობისას.

8. ქიმის ცვეთა, დაზიანება წარმოიქმნება თვლისა და რელსის ხანგრძლივი ზემოქმედებით ამ დაზიანების დასაშვებზე მეტის დროს (სატვირთო ვაგონებზე 33–24მმ, სამგზავროზე ვაგონებზე 33–25მმ) იქმნება ვაგონის ლიანდაგიდან აცდენის საშიშროება.



ნახ. 15. ქიმის ცვეთა და დაზიანება



ნახ. 16. თელის გაუმართაობათა ანალიზი

24. დისერტაციაში დასმული განსახილველი ამოცანის გადაჭრის მეთოდი

2.4.1. ხახუნის და ცვეთის ზოგადი თეორია

ერთი სხეულის მეორეზე მოძრაობისას წარმოიშობა წინაღობის ძალა, რომელიც ხელს უშლის სხეულის შემდგომ გადაადგილებას ის მიმართულია მოძრაობის საწინააღმდეგო მხარეს, ამცირებს სხეულის კინეტიკურ ენერგიას და ეწოდება ხახუნის ძალა, რამდენადაც სხეულის ნებისმიერ ელემენტარულ გადაადგილებაში შეიძლება გამოიყოს წინსვლითი მოძრაობა და ბრუნვითი მოძრაობა, იმის მიხედვით, თუ რა მოძრაობას ასრულებს სხეული, განასხვავებენ ხახუნის ორ სახეს: სრიალის ხახუნს და გორვის ხახუნს. მრავალ ლიტერატურულ წყაროში ცალკე განიხილება ბრუნვის ხახუნი, რომელიც წარმოადგენს სრიალის ხახუნის სახესხვაობას შემხები ზედაპირების ცალკეული ელემენტებისათვის. კიდევ არსებობს ხახუნის სახეობა—მშრალი ანუ სრიალის ხახუნი: მის შესახებ ლაპარაკობენ მაშინ, როცა ერთი მყარი სხეული სრიალებს მეორეზე. იმისთვის, რომ გააგრძელოს მოძრაობა, ასეთ სხეულს სჭირდება ძალა. ამ ძალას უწოდებენ ხახუნის ძალას. მისი წარმოშობა-ფრიად რთული საკითხია. ორივე შემხები ზედაპირი არათანაბარია, თუ მათ დავათვალიერებთ ატომის დონეზე. შეხების წერტილებში ატომები ეხებიან; სხეულზე ზეწოლისას გადაბმა წყდება და წარმოიშობა რხევა (ყოველ შემთხვევაში, რაღაც მსგავსი). ადრე ფიქრობდნენ, რომ ხახუნის მექანიზმი მარტივია: ზედაპირი დაფარულია უსწორმასწორობით და ხახუნი არის შედეგი ამ უსწორმასწორობაზე მოსრიალე ნაწილაკების ამოსვლისა. მაგრამ ეს არაა სწორი, მაშინ ხომ ადგილი არ ექნებოდა ენერგიის დაკარგვას, სინამდვილეში კი ხახუნზე ენერგია იხარჯება. დაკარგვის მექანიზმი სხვაგვარია: სრიალის დროს უსწორმასწორობა მოიხსნება, წარმოიშობა რხევა და ატომების მოძრაობა, და სითბო გაედინება ორივე სხეულში. აქ კი სრულიად მოულოდნელად აღმოჩნდება, რომ ემპირიულად ეს ხახუნი შეიძლება აღიწეროს მარტივი კანონით. საკმაოდ კარგად მიახლოვებისას შეიძლება ჩაითვალოს, რომ

ხახუნის ძალა პროპორციულია ნორმალური ძალისა მეტად ან ნაკლებად მდგრადი კოეფიციენტით, ეს ფორმულა არის კარგი ემპირიული წესი, რომელიც საშუალებას იძლევა დაითვალოს, რა ძალაა საჭირო ამათუ იმ პრაქტიკული ან საინჟინრო გარემოებებისას. მხოლოდ მაშინ, როცა ნორმალური ძალა, ან მოძრაობის სიჩქარე ძალიან მაღალია, კანონი არ მოქმედებს: სითბო გამოიყოფა ძალიან დიდი რაოდენობით. მნიშვნელოვანია იმის გააზრება, რომ ნებისმიერს ამ ემპირიულ კანონთაგან გააჩნია შეზღუდვა, რომლის გარეთაც ისინი არ მუშაობენ, განსხვავება ხახუნში წარმოიშობა ზედაპირის ნაწილების განსხვავებული სიგლუვითა ან სიმყარით. ბევრს სჯერა, რომ ხახუნი, რომელიც უნდა გადაიღახოს, რათა სხეული მოვიდეს მოძრაობაში (სტატიკური), არის მეტი, ვიდრე ძალა, რომელიც საჭიროა, რათა შენარჩუნებულ იქნას უკვე წარმოშობილი მოძრაობა (სრიალის ხახუნი), მაგრამ მშრალ ლითონებზე ძნელია რაიმე განსხვავების შემჩნევა. ძალიან ძნელია სიზუსტის მიღწევა ხახუნზე რაოდენობრივ ცდებში, და დღემდე ხახუნი საკმარისად კარგად არაა გაანალიზებული, მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი ანალიზის მნიშვნელობა ტექნიკისათვის ძალიან დიდია, თუმცა კანონი $F = \mu N$ სტანდარტული ზედაპირებისათვის თითქმის ზუსტია, მაღალ სიჩქარეზე ცდებისას უნდა ვიზრუნოთ, რომ სხეულები არ ირხეოდეს, თორემ ხილული ხახუნი მაშინვე მცირდება. ყოველ შემთხვევაში, ხახუნის ეს კანონი ეხება ნახევრად ცდისეულ კანონებს, რომლებიც ბოლომდე არა გაგებული და არც ხდება გასაგები, მიუხედავად უზარმაზარი ძალისხმევისა. ადრე უკვე ვთქვით, რომ მცდელობას, გაიზომოს μ , წმინდა სხეულების (სპილენძის სპილენძზე) სრიალისას, მიყვარათ საეჭვო შედეგებამდე, რადგან შემხები ზედაპირები არის არა წმინდა სპილენძი, არამედ ოქსიდების ნარევი და სხვა დაბინძურებები. თუ ჩვენ გვინდა მივიღოთ სრულიად სუფთა სპილენძი, თუ გავასუფთავებთ და გავაპრიალებთ ზედაპირს, მოვახდენთ ნივთიერების დეგაზირებას ვაკუუმში დავიცავთ სიფრთხილის აუცილებელ ზომებს, მაშინაც კი μ ვერ მივიღებთ, რადგან სპილენძის ორი ნაჭერი ერთმანეთს შეეწებება. კოეფიციენტი μ , ზომიერად ხისტი ზედაპირებისათვის ჩვეულებრივ, ერთეულზე ნაკლებია, აქ იზრდება

რამდენიმე ერთეულამდე. ასეთი მოულოდნელი ქცევის მიზეზი მდგომარეობს შემდეგში: რაღაც სხეულის, რომელიც თავისი ზედაპირით ეყრდნობა სხვა უმოძრაო სხეულს, თანაბარი წრფივი წინსვლითი მოძრაობის შესანარჩუნებლად მოძრავი სხეულის მიმართ გამოყენებულ უნდა იქნას მუდმივი (საშუალოდ) ძალა, რომლის მუშაობა იხარჯება ელემენტარულ პროცესებზე, რომელიც მიმდინარეობს შემხები სხეულების საკონტაქტო ფენაში. საკონტაქტო ფენაში მოიაზრება სივრცე, რომლის საფუძველია სხეულთა კონტაქტის გეომეტრიული (ნომინალური) ფართობი და ძალიან მცირე სისქე. სივრცის ცალკეულ წერტილებში მიმდინარეობს ენერგიის გარდაქმნისა და გადაცემის პროცესები. ცხადია, რომ ფენის არა ყველა წერტილი წარმოადგენს ხახუნის პროცესის ცენტრს, არამედ მხოლოდ ისინი, რომლებშიც წარმოიქმნება ენერგიის გარდაქმნისა და გადაცემისთვის შესაბამისი ფიზიკური პირობები. ხახუნის პროცესის განხორციელებისათვის ძირითადი ფიზიკური პირობაა ერთმანეთზე მოსრიადე სხეულების გარკვეული სიახლოვე. ეს სიახლოვე საშუალოდ უზრუნველყოფა განსახილველი სხეულების ნორმალური ურთიერთწნევის ძალით. საჭიროა იმის გათვალისწინება, რომ ერთმანეთზე მოსრიადე სხეულების სისტემის ნორმალური ურთიერთწნევის ძალას შეიძლება გააჩნდეს სხვადასხვა ბუნების ორი კომპონენტი. ერთი მათგანი შეიძლება მოდიოდეს სხეულიდან, რომელიც არ მიეკუთვნება სისტემას, ანუ არის გარე ძალა. ეს კომპონენტი, ჩვეულებრივ, გაითვალისწინება ხახუნის პროცესში. მეორე შეიძლება გამოწვეული იყოს სხეულთა მიზიდულობით, გვევლინება რა სისტემის შიდა ძალად. ეს კომპონენტი, ჩვეულებრივ, არ გაითვალისწინება ხახუნის პროცესში. N—ის მნიშვნელობად ჩვენ მოვიაზრებთ ორივე კომპონენტის ჯამს:

$$N = Ne + Ni . \quad (24)$$

თუმცა შიდა კომპონენტი N_i არ ექვემდებარება უშუალო გაზომვას. ენერგიის გარდაქმნა და გადაცემა, როგორც ნებისმიერი პროცესი, ხორციელდება დროის გარკვეულ მონაკვეთში, ამიტომ მოძრავი სხეულის გადაადგილების სიჩქარე უძრავ სხეულთან

მიმართებაში არის მეორე ძირითადი, განმსაზღვრელი მახასიათებელი ხახუნის პროცესისა, რადგანაც სიჩქარე ზღუდავს ენერჯის გარდაქმნისა და გადაცემის ელემენტარული პროცესების ხანგრძლივობას. მეორე მხრივ მუდმივი სიჩქარისას შესაძლებელია ცდისეული გზით გაიზომოს ხახუნის ძალა კლასიკური მექანიკის ინერციის კანონზე დაყრდნობით. თანაბარი და წრფივი წინსვლითი მოძრაობისას ყველა ძალა, რომელიც მოქმედებს სხეულზე, თანაბრდება ამგვარად მიზიდულობის ძალა ტოლია და საპირისპირო ხახუნის ძალისა. ხახუნის პროცესი მიმდინარეობს საკონტაქტო ფენაში, თუმცა მისი გეომეტრიული ზომები მნიშვნელოვან როლს არ ასრულებს შემდეგი მიზეზის გამო: მყარი სხეულის წრფივი წინსვლითი მოძრაობის შესანარჩუნებლად აუცილებელია, რომ შენარჩუნებულ იქნას წრფივი ტრექტორიის მონაკვეთები საკონტაქტო ფენის სულ მცირე, სამი შემთხვევითი წერტილისა, რომლებიც განლაგებული არაა ერთ წრფეზე და რომლებიც კონტაქტის ზედაპირის მცირე დეფორმაციის წყალობით დროთა განმავლობაში გადაიქცევიან შეხების ლაქების რიგად; მათი ფართობი შეადგენს საკონტაქტო ფენის საფუძვლის უმნიშვნელო ნაწილს და ეწოდება ფაქტიური კონტაქტის ფართობი. ფაქტიური კონტაქტის ფართობი, თავის მხრივ, არ წარმოადგენს ხახუნის პროცესის ძირითად მახასიათებელს, რადგან იგი დამოკიდებულია სხეულების ფართობების ნორმალურ ურთიერთწნევაზე და მათი გადაადგილების სიჩქარეზე.მაშ ასე, სრიალის ხახუნის პროცესის ძირითადი მახასიათებლებებია:

N -ნორმალური წნევა, V-სრიალის სიჩქარე

და მათზე დამოკიდებული ხახუნის ძალა-T

შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ აღნიშნული მახასიათებლებით შემოფარგვლით ჩვენ გამოვაცარიელებთ ერთმანეთზე მოსრიალე რეალური სხეულების ხახუნის ფიზიკური არსი, მაგრამ ეს ასე არაა. ასეთი მტკიცებულების საფუძვლად შეიძლება გამოვიყენოთ შემდეგი: იმისგან დამოუკიდებლად, თუ რა ფიზიკური თვისებების მქონეა ნივთიერებები, რომლებიც ურთიერთქმედებენ ერთმანეთზე ხახუნით,

ყოველთვის აქვს ადგილი დისიპაციას ენერჯის, რომელიც წარმოადგენს ხახუნის პროცესს. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ერთმანეთზე ხახუნით მოქმედ წყვილში სხეულის შეცვლა სხვა სხეულით არ ცვლის ტოლობის სტრუქტურას, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს სამ მახასიათებელს N, V, T იცვლება მხოლოდ ტოლობაში შემავალი კოეფიციენტების რიცხობრივი მნიშვნელობები.

ხახუნისათვის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს მოხახუნე ზედაპირების სიღრმეში მექანიკური თვისებების დადებითი გრადიენტების არსებობა, რაც უზრუნველყოფს მოხახუნე სხეულების ურთიერთქმედების ლოკალიზაციას თხელ ზედაპირულ ფენაზე.

ეს ურთიერთობა ხასიათდება კონტაქტური ზედაპირების ურთიერთხანერგვით, საკონტაქტო უთანაბრობების ძალიან მცირე სიღრმეზე და მათ შორის ადგილობრივი კავშირის წარმოქმნით. თუ პროცესი განმეორდა მრავალჯერ მაშინ ის გამოიწვევს მოხახუნე სხეულების თხელი ზედაპირების მნიშვნელოვან ცვალებადობას. ხშირ შემთხვევაში მათი თვისებები სრულიად განსხვავდება ძირითადი მასალის თვისებისაგან.

უნდა აღინიშნოს, რომ ურთიერთქმედება წარმოებს მხოლოდ ნომინალური კონტაქტის ცალკეულ უბნებზე. ეს უბნები, რომელიც განფენილია რამოდენიმე მიკრონად სრიალის დროს იშლება და ფორმირდება თავიდან. მაშასადამე ფრიქციული კონტაქტი წარმოადგენს ერთგვარ ფიზიკურ სხეულს, რომელსაც გააჩნია მცირე სისქე, განსაკუთრებული თვისებებით და მას ეწოდებენ ფრიქციული კონტაქტის მესამე სხეულს. ცალკეული უბნები, რომლისაგანაც წარმოიქმნება ეს სხეული არის ფრიქციული კავშირები.

ამ მესამე სხეულის განსაკუთრებულობას წარმოადგანს ის, რომ სრიალის დროს მუდმივად მიმდინარეობს მათი დაშლა და ფორმირება. ძალა რომელიც იხარჯება სრიალის დროს დაშლაზე ტოლია ხახუნის ძალისა. მის დამოკიდებულებას ნორმალურ დატვირთვასთან ეწოდება სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი.

ყოველი მყარი სხეულის ძირითადი მახასიათებელია, წინააღმდეგობა გაუწიოს გარე დატვირთვებს. მრუდი ძაბვა – დეფორმაცია წარმოადგენს მყარი სხეულის ძირითად მახასიათებელს. განსახილველი მესამე

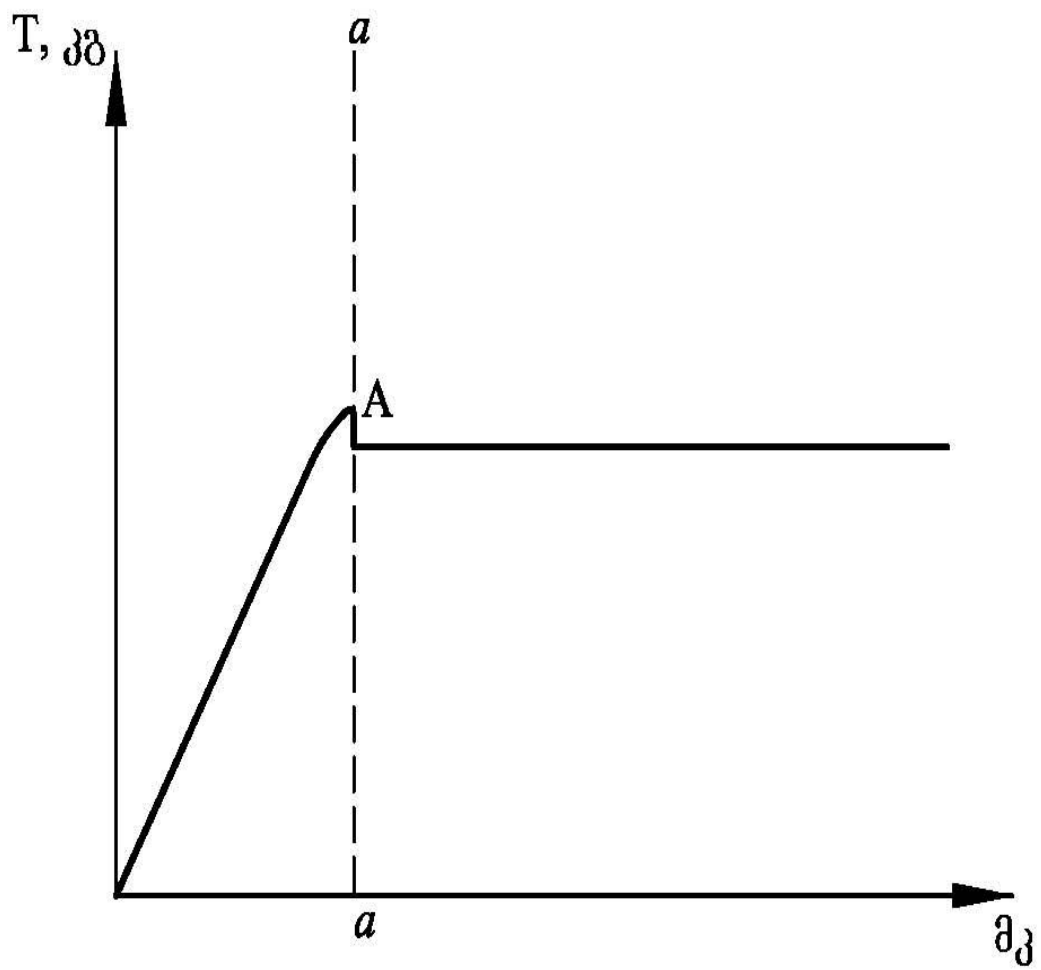
სხეულისათვის მნიშვნელოვანს წარმოადგენს ტანგენციური მხები ძალისა და ტანგენციური მიმართულების დეფორმაციას შორის დამოკიდებულება, რომელიც ხასიათდება უძრაობიდან სრიალის კონტაქტზე გადასვლით, გადასვლის ეს მოვლენა დადგენილ იქნა 1926 წელს მეცნიერთა ა. ვ ვერხოვსკის და რენკინის მიერ და წოდებულ იქნა „წინასწარი გადაადგილების“ სახელწოდებით მას აქვს დიდი მნიშვნელობა, არა მარტო გარე ხახუნის ბუნების შეცნობისათვის, არამედ ტექნიკისათვის, როდესაც გარე ხახუნი გამოიყენება მოძრაობის გადასაცემად, რადგანაც წინასწარი გადაადგილების რეჟიმში მუშაობენ ყველა სახეობის ტრანსპორტის წამყვანი თვლები. ნახ. 17-ზე ნაჩვენებია პრინციპული ხედი მრუდისა თუ, როგორ არის დამოკიდებული წინასწარი გადაადგილება ტანგენციური ძალის მიყენებაზე. წერტილი A შეესაბამება სრიალზე გადასვლას. პირდაპირი $a-a$ ველს ყოფს ორ ნაწილად – მარცხენა შეესაბამება გადაბმის ზონას. ამ ზონაში ხახუნი გამოიყენება მოძრაობაში მოსაყვანად, რაც უფრო მაღალია წერტილი a გრაფიკზე მით უფრო სრულყოფილად მუშაობენ ეკიპაჟების წამყვანი თვლები.

ნახ. 18-ზე გამოსახულია წინასწარი გადაადგილების მრუდი, წყვილისათვის „ფოლადი – ფოლადი“ ციკლური დატვირთვის დროს, როგორც ვხედავთ ადგილი აქვს არა მარტო დრეკად არამედ ნარჩენ დეფორმაციებს.

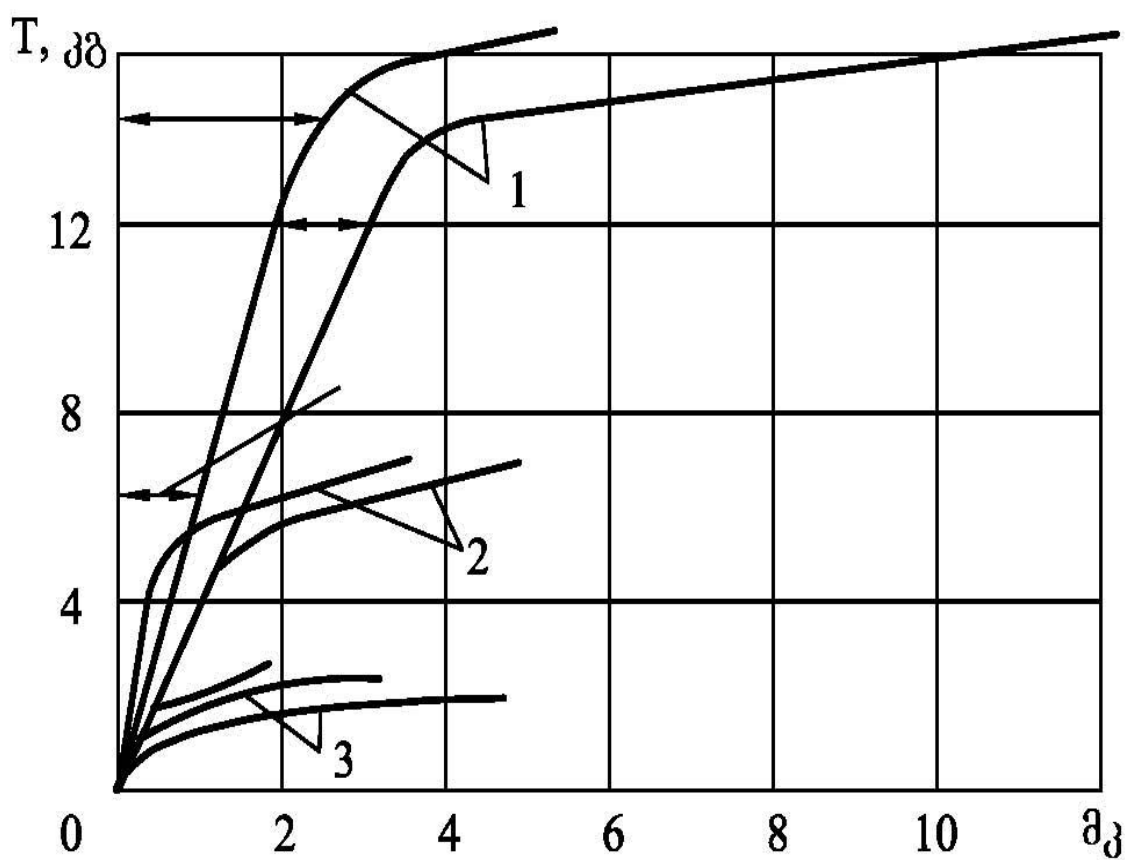
დატვირთვის გაზრდის დროს კავშირის სიმჭიდროვე ე.ი. დამოკიდებულება დატვირთვის გადაადგილებასთან იზრდება. მოძრაობის 180 გრადუსით შეცვლის დროს, წინასწარი გადაადგილება იზრდება დაახლოებით ორჯერ. წინასწარი გადაადგილების გამოკვლევის შედეგები მდგომარეობს შემდეგში:

წინასწარი გადაადგილება უმნიშვნელოდ იზრდება კუმშვადი ძალის გაზრდით, რომელიც მოქმედებს კონტაქტზე. წინასწარი გადაადგილების დროს ადგილი აქვს, როგორც დრეკად ასევე პლასტიკურ დეფორმაციებს. დატვირთვის გაზრდის შემთხვევაში დრეკადი დეფორმაცია მცირდება.

კუმშვადი ძალის გაზრდით კავშირის სიხისტე და პროპორციულობა ტანგენციურ ძალასა და წინასწარ გადაადგილებას



ნახ. 17. წინასწარი გადაადგილების და ტანგენციური ძალის დამოკიდებულების გრაფიკი



ნახ. 18. წინასწარი გადაადგილების მრუდი

შორის იზრდება. ამ დრომდე არ იყო დადგენილი ანალიტიკური დამოკიდებულება წინასწარ გადაადგილებასა და მასზე მოქმედ პლასტიკურ კონტაქტს შორის. ფორმულირებულად წარმოდგენილია ზოგიერთი მოსაზრება ამ საკითხზე (ნ. მ. მიხინი).

პლასტიკური კონტაქტირების დროს ვივარაუდოთ, რომ ხისტი მქისე ზედაპირი, მოდელირებული სფერული ერთნაირი რადიუსის ბურთულის სახით, ინერგება აბსოლიტურად გლუვ, პლასტიკურ, დეფორმირებად ზედაპირში. განვიხილოთ კონტაქტირების ორი ეტაპი: პირველი – ნორმალური დატვირთვის (უძრავი კონტაქტი) და მეორე – ნორმალური და ტანგენციონალური დატვირთვის დროს (წინასწარი გადაადგილება) i - ნორმალური დატვირთვის მიყენების დროს, ბურთულები N_i ძალის მოქმედებით ჩაღმავრდება, სანამ ძაბვა კონტაქტზე არ იქნება სრიალის ტოლი. ჩანერვის სიდიდე

$$h_i = \frac{N_i}{2\pi R_i c \sigma_s}, \quad (25)$$

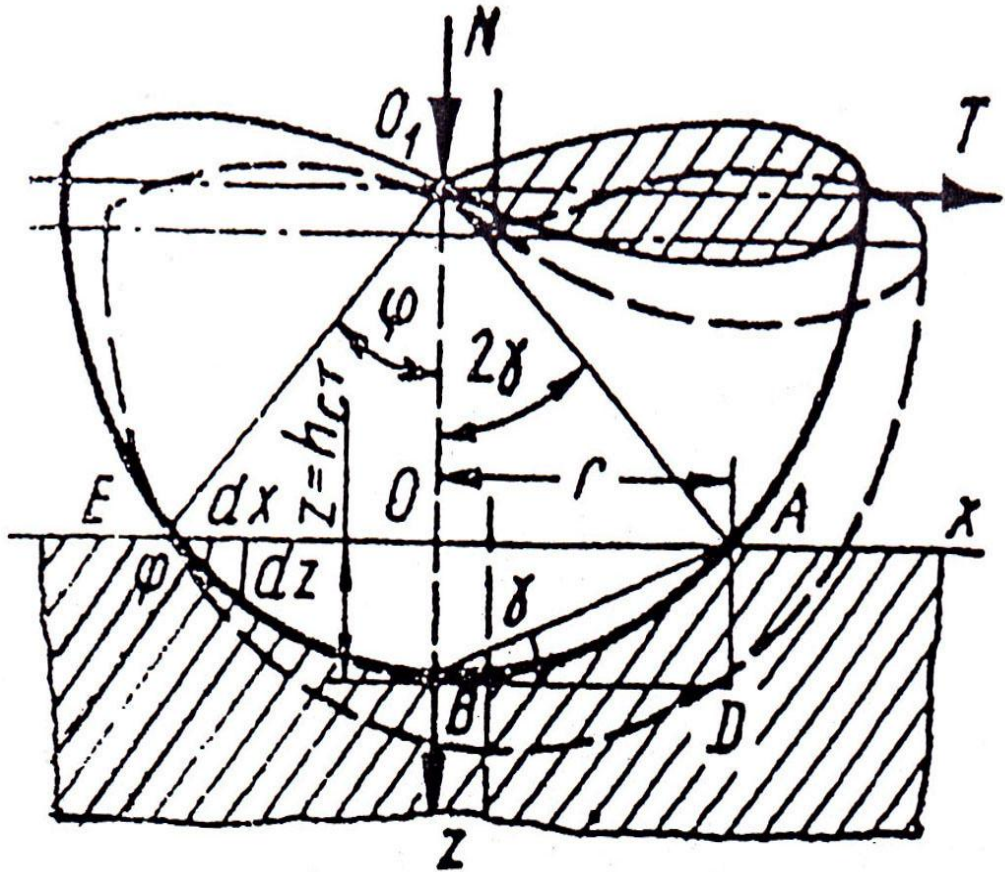
სადაც: R_i ბურთულის ჩანერგვის რადიუსია;

$c\sigma_s = q_i$ – საშუალო დაწოლა კონტაქტზე;

σ_s – კოეფიციენტი ფორმის ა.ი. იშლინსკის მიხედვით განხილული შემთხვევისათვის $C=3$.

ჩაღმავების დროს ერთეული ბურთულა განხილული, როგორც სფერული იდენტორი, გარშემორტყმული იქნება ყოველმხრივ მადეფორმირებელი მასალისაგან (ნახ. 19). ტანგენციური ძალის მიყენებით, დაძაბულობა იზრდება მიყენებული ძალის მიმართულებით და სფერული ბურთულა იწყებს გადაადგილებას, პლასტიკურად გასწევს მასალას. ამის გამო ბურთულის უკანა ნახევარზედაპირი BE აღმოჩნდება ბოლომდე განტვირთული, ე.ი. ის მოწყდება დეფორმირებადი მასალისაგან ძალები N და T იმოქმედებენ მხოლოდ წინა ნახევარზედაპირზე AB .

განსახილველი ამოცანის მიახლოებით პლასტიკურ თეორიასთან, ხისტი სფერული იდენტორის მოძრაობისა პლასტიკურ ნახევარსფეროში გვიჩვენებს, რომ საშუალო დაძაბულობა კონტაქტზე q მიახლოებით ტოლია საშუალო დაძაბულობისა $q_{სტ}$. უძრავ მდგომარეობაში, რაც



ნახ. 19. ერთეული ბურთულის ჩაღრმავების სქემა

დამტკიცებულია ექსპერიმენტით. ნათელია, რომ სრიალის დაწყების მომენტში, საყრდენი ფართი იდენტორის წინა ნახევარზედაპირისა უნდა გაიზარდოს, რითაც კომპესირდება მისი არსებობა უკანა ნახევარზედაპირზე. ეს განაპირობებს იდენტორის ჩაღრმავებას, სანამ წინა ნახევარზედაპირის ფართობი არ გახდება ანაბეჭდის ფართობის ტოლი, სტატიკურ მდგომარეობაში. შესაბამისად გაიზრდება ტანგენციური ძალა, რომელიც ზედაპირის გათანაბრებისას მიაღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას. საყრდენი ფართების გადანაწილების პროცესი შეესაბამება გადასვლებს არასრული ხახუნის ძალიდან უძრაობის სრული ხახუნის ძალამდე.

მაშასადამე წინასწარი ხახუნი განპირობებულია, ბურთულის საყრდენი ზედაპირების ურთიერთგადანაწილებაზე, ხოლო მისი სიდიდე – მანძილზე, რომელზედაც მთავრდება ეს პროცესი, შეხების ზედაპირების გადანაწილებისა. ამავდროულად ხდება ტანგენციური ძალების ზრდა ნულიდან მაქსიმუმ მნიშვნელობამდე. იმდენად რამდენადაც $q_{ინ6}=q_{სტ}$, სრიალის დროს ჩაღრმავება.

$$h_{ინ6} = 2h_{სტ} \sqrt{1+f^2} \quad (26)$$

სადაც $h_{სტ}$ – არის ჩაღრმავება მხოლოდ ნორმალური დატვირთვისას. წინასწარი გადაადგილების სიდიდის განსაზღვრისათვის, კოორდინატის საწყისი განვითარებით სიბრტყეზე, ანაბეჭდის პროექტის ცენტრში და განვიხილოთ მასალის დეფორმირება მიყენებული ძალის მოქმედებით. ვერტიკალური დატვირთვის მოქმედებით, სფერო ჩაღრმავდება სიდიდეზე $Z = h_{სტ}$ ტანგენციური დატვირთვის მოქმედებით T სფერო ისწრაფვის უსასრულო მცირე მანძილზე dx , ამ გადაადგილებას შეესაბამება ჩაღრმავება dz . რა საკვირველია, $dz = dx \operatorname{tg} \varphi$, სადაც $\varphi = \angle O_1 = \angle AOB = 2\gamma$, საიდანაც

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} 2\gamma = \frac{2\operatorname{tg} \gamma}{1 - \operatorname{tg}^2 \gamma}; \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{z}{r}, \quad (27)$$

სადაც r არის შეხების კვალის რადიუსი. საკმარისი სიზუსტით შეიძლება მივიღოთ

$$r = \sqrt{2Rz}, \quad (28)$$

სადაც R არის იდენტობის რადიუსი. მივიღებთ

$$dx = \sqrt{\frac{R}{2} Z^{-\frac{1}{2}}} dz. \quad (29)$$

წინასწარი გადაადგილების სიდიდე

$$x = \int_{h_{b0}}^{h_{j06}} \sqrt{\frac{R}{2} Z^{-\frac{1}{2}}} dz. \quad (30)$$

მივიღებთ წინასწარი გადაადგილების სიდიდეს ერთეული იდენტორისათვის:

$$x = \left(\frac{N}{\pi c \sigma_s} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\sqrt{2\sqrt{1+f^2}} - 1 \right) \quad (31)$$

სადაც $c \sigma_s$ არის სიმეიფე ბრინელით;

f – სიმქისე;

N – დაწოლის ძალა.

2.4.2. ლიანდაგის სწორ უბნებზე წყვილოვლების მოძრაობის თეორიული ანალიზი

ლიანდაგის სწორხაზოვან უბანზე მოძრაობისას ვაგონი ჰორიზონტალურ სიბრტყეში აღწერს არა სწორხაზოვან, არამედ რთულ, ტალღისებრ ტრაექტორიას. ტრაექტორიის სირთულე გამოწვეულია ვაგონის რთული გადაადგილებით ლიანდაგის გრძივი ღერძისა და იამვე დროს განივი კვეთის მიმართ. ლიანდაგის განივი კვეთის მიმართულებით გადაადგილებისას ვაგონი იწყებს შემობრუნებას ვერტიკალური ღერძის გარშემო. რთულ მოძრაობას, რომლის დროსაც ვაგონი ერთდროულად ასრულებს სწორხაზოვან და საკუთარი ვერტიკალური ღერძის გარშემო ბრუნვით მოძრაობას, ზიგზაგური მოძრაობა ეწოდება. ვაგონის განივი გადაადგილება სრულდება დროის მცირე მონაკვეთში, ამიტომ ზიგზაგურ მოძრაობას თან ახლავს ვაგონის დიდი ინერციის ძალების აღძვრა, რომელთა ზემოქმედებით იზრდება გვერდითი დაწოლის ძალა რელსის თავზე.

ვაგონის ზიგზაგური მოძრაობა გამოწვეულია წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობით, ამიტომ მოვლენის ღრმად ჩაწვდომის მიზნით პირველ რიგში, აუცილებელია წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობის შესწავლა.

წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობა შეიძლება განვითარდეს ორი გზით: წყვილთვლის მოძრაობით რელსის თავზე გასრიალების გარეშე და წყვილთვლის უწყვეტი გასრიალებით რელსის თავზე. ცხადია, წყვილთვალი ღიანდაგზე მოძრაობს როგორც სრიალით, ასევე სრიალის გარეშეც.

განვიხილოთ წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობა რელსზე სრიალის გარეშე (ნახ. 20) იგულისხმება, რომ ორივე ბორბლის ბრუნვის კუთხური სიჩქარეები ტოლია, ბორბლების დიამეტრები ერთნაირია და ორივე ხისტადაა დასმული საერთო ღერძზე, ბორბლებს აქვთ ერთნაირი გორვის კონუსური ზედაპირი და ამ ზედაპირზე არ მოიპოვება უთანაბრობა ნაცოცის სახით.

ბორბლების გორვის ზედაპირების კონუსურობის გამო ზიგზაგური მოძრაობის პირობებში მარცხენა და მარჯვენა ბორბლის გორვის წრეები განსხვავდება ერთმანეთისაგან თუ გავითვალისწინებთ, რომ O წერტილი წარმოადგენს წყვილთვლის მობრუნების მყისა ცენტრს, O_C – წყვილთვლის გეომეტრიულ ცენტრს, ხოლო განხილული მყისი მომენტისათვის მარცხენა და მარჯვენა ბორბლების გორვის წრეხაზების რადიუსები სხვაობა გამოსახება δr სიდიდით, მაშინ ACO და BDO სამკუთხედების მსგავსებიდან გამომდინარე შეიძლება დაიწეროს

$$\frac{AC}{BD} = \frac{CO}{DO} \quad (32)$$

პროპორციაში თითოეული წევრის მნიშვნელობის შეტანა გვაძლევს

$$\frac{r + \Delta r}{r - \Delta r} = \frac{p + s}{p - s}, \quad (33)$$

სადაც r არის ბორბლების გორვის წრეების საშუალო რადიუსი;

s – წვეილთველის ბორბლების გორვის წრეებს შორის მანძილის ნახევარი;

p – წვეილთველის გეომეტრიული ცენტრის მოძრაობის ტრაექტორიის სიმრუდის რასიუსი. უკანასკნელი ტოლობიდან მივიღებთ

$$P = \frac{sr}{\Delta r} \quad (34)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ მრუდის ამოზნექილობა ვრცელდება უარყოფითი მიმართულებით, ხოლო წვეილთველის ღერძის მობრუნების კუთხე α oxy სიბრტყეში უსასრულოდ მცირეა, მაშინ დროის ნებისმიერი მომენტისათვის

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{p} \quad (35)$$

(34) ტოლობის ძალით (35) გამოსახულება გარდაიქმნება ასე

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{\delta r}{sr} = 0. \quad (36)$$

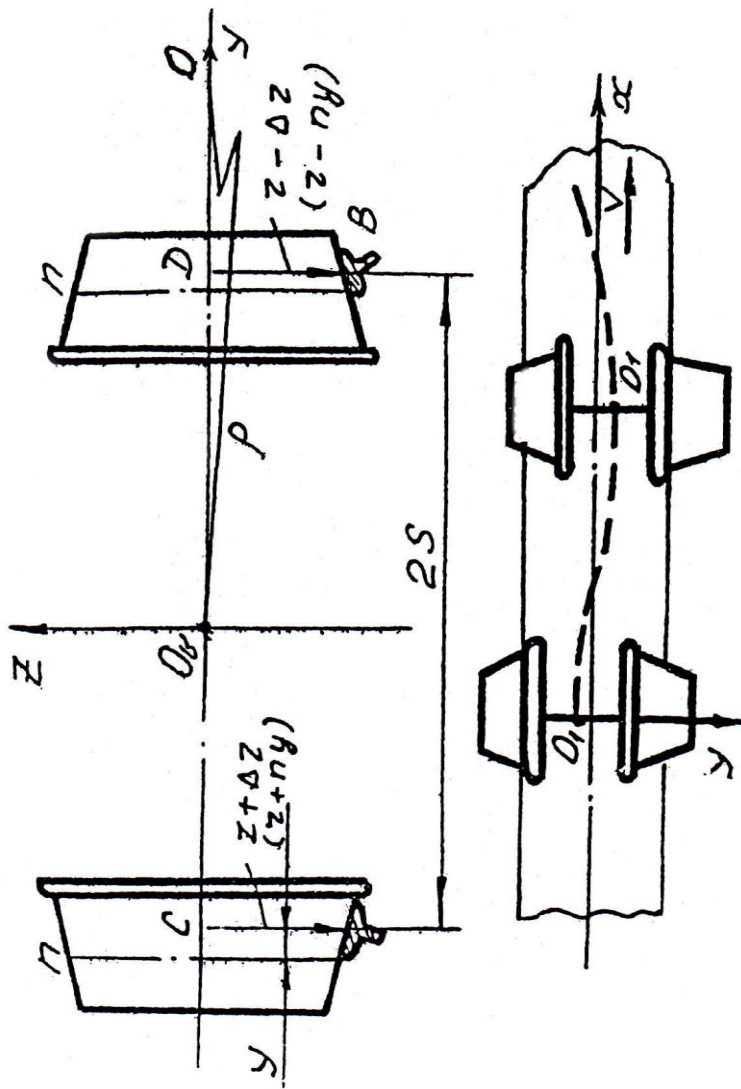
კონუსური გორვის მქონე ზედაპირის მქონე ბორბლებისათვის გორვის წრეების რადიუსებს შორის სხვაობა δr პირდაპირპროპორციულია წვეილთველის გეომეტრიული ცენტრის გადაადგილებისა ლიანდაგის შუახაზისადმი, ე.ი. $\delta r = ny$, ამიტომ (36) ფორმულა მიიღებს სახეს

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{n}{sr} y = 0. \quad (37)$$

სადაც n არის ბორბლის გორვის ზედაპირის კონუსურობა (სტანდარტული ბორბლისათვის $n=0,05$);

y – წვეილთველის გეომეტრიული ცენტრის ორდინატა.

იდეალურად სწორი ლიანდაგის უბნისათვის წვეილთველის გეომეტრიული ცენტრის y ორდინატის მნიშვნელობა ემთხვევა ბორბლის სიბრტყეში გორვის წრის სიბრტყის რელსის თავისადმი გადახრის მნიშვნელობას, ხოლო ლიანდაგის ღერძის შეუსწორებლობის შემთხვევაში აღნიშნული დამთხვევა გამორიცხულია.



ნახ. 20. წვეილთეღლის ზიგზაგური მოძრაობის სქიმა

მიღებული დიფერენციალური განტოლების ამოხსნა გვაძლევს

$$y = A \sin px + B \cos px, \quad (38)$$

სადაც p არის წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობის კუთხური სიხშირე და

$$P = \sqrt{\frac{n}{sr}}, \quad (39)$$

A, B – ინტეგრირების მუდმივები.

თუ (37) დიფერენციალური განტოლების ამოხსნისათვის ავიღებთ $x=0$; მივიღებთ წერტილს, რომელშიც $y=0$. ამ მნიშვნელობათა (38) ამონახსნში ჩასმით გვექნება $B=0$. სხენებული პირობების გამო

$$y = A \sin px, \quad (40)$$

სადაც A რხევის ამპლიტუდაა (რელსის გვერდით წახნაგსა და ბორბლის ქიმს შორის არსებული ღრეჩო) ;

ღრეჩოს δ მნიშვნელობის მხედველობაში მიღებით უკანასკნელი ტოლობა ჩაიწერება ასეთი სახით

$$y = \Delta \sin px \quad (41)$$

მიღებული ტოლობიდან ჩანს, რომ წყვილთვლის გეომეტრიული ცენტრი იმოძრაებს იდეალურად სწორხაზოვან ლიანდაგზე სინუსოიდური ტრანექტორიით, რომლის ტალღის სიგრძე (ზიგზაგური მოძრაობის ტალღის სიგრძე) იოლად მიიღება შემდეგი ტოლობიდან

$$P = \frac{2\pi}{L_b} = \sqrt{\frac{n}{sr}} \quad (42)$$

საიდანაც ზიგზაგური მოძრაობის ტალღის სიგრძე

$$L_b = 2\pi \sqrt{\frac{sr}{n}}. \quad (43)$$

ზიგზაგური მოძრაობის ტალღის სიგრძე პირდაპირპროპორციულია ლიანდაგის სიგანისა და ბორბლის რადიუსის ნამრავლისა, ხოლო უკუპროპორციულია ბორბლის გორვის ზედაპირის კონუსურობისა.

ჩავსვათ მიღებულ ფორმულაში სიდიდეთა მნიშვნელობანი: $s = 0,8\text{მ}$; $r = 0,5\text{მ}$; $n = 0,05\text{მ}$; მაშინ წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობის ტალღის სიგრძის რიცხვითი მნიშვნელობა

$$L_b = 2 \cdot 3,14 = \left(\frac{0,8 \cdot 0,5}{0,05} \right)^{1/2} \approx 18 \text{ მ.} \quad (44)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ ბორბლების გორვის ზედაპირების ცვეთის შედეგად იზრდება n კონუსურობის მნიშვნელობა, დიდდება p კუთხური სიხშირე, შესაბამისად მცირდება ზიგზაგური მოძრაობის L_b ტალღის სიგრძე.

წვეილთვლის გეომეტრიული ცენტრის ჰორიზონტალური აჩქარება y სიდიდით ნორმალური მდგომარეობიდან გადახრის შემთხვევაში

$$a_y = \frac{d^2 y}{dt^2} = v^2 \frac{d^2 y}{dx^2} = -u^2 p^2 \Delta \sin px, \quad (45)$$

ხოლო ამ აჩქარების მაქსიმალური სიდიდე მიიღება მაშინ, როცა $\sin px=1$, ე.ი.

$$a_{y(\max)} = u^2 p^2 \Delta \quad (46)$$

ჩანს, რომ ერთგვაროვანი დასაშვები δ ღრეჩოს არსებობისას, წვეილთვლის გვერდითი ჰორიზონტალური აჩქარების სიდიდე დამოკიდებულია მხოლოდ ვაგონის სიჩქარისა და ზიგზაგური მოძრაობის კუთხური სიხშირის სიდიდეებზე. ამ პარამეტრების დასაშვები ზღვრების შენარჩუნების პირობებში წვეილთვლის ჰორიზონტალური აჩქარების სიდიდეზე დიდ გავლენას ახდენს δ ღრეჩოს მნიშვნელობა, ან რაც იგივეა, ბორბლის გორვის ზედაპირის ცვეთის სიდიდე. ბორბლის გორვის ზედაპირის ცვეთა, რომლის შედეგადაც იზრდება ბორბლის გორვის ზედაპირის კონუსურობა, უარყოფითად მოქმედება ბორბლისა და ლიანდაგის ურთიერთქმედების პროცესზე, განსაკუთრებით ვაგონის დიდი აჩქარებით მოძრაობისას.

თუ წვეილთვლები ისეა შეერთებული ურიკის ჩარჩოსთან, რომ გამორიცხულია წვეილთვლების განივი გადახრები ლიანდაგში გავლის დროს, ასეთი ურიკის ზიგზაგური მოძრაობის ტალღის სიგრძე

$$L_{b,y} = L_b \sqrt{1 + \frac{1}{s^2 n} \sum_{i=1}^m a_i^2} \quad (47)$$

სადაც L_b არის წვეილთვლის ზიგზაგური მოძრაობის ტალღის სიგრძე;

a_i – ურიკის შუახაზიდან i -ური წყვილთვლის დაშორება;

m – წყვილთვლების რაოდენობა ერთ ურიკაზე.

(47) ფორმულიდან ჩანს, რომ ზიგზაგური მოძრაობის ტალღის სიგრძე ურიკისათვის შეიძლება გაიზარდოს მასში შემავალი წყვილთვლების რაოდენობის გაზრდით, განივი გადახრების სასურველი ლიკვიდაციის პირობებში. მაგალითად, 1,8 მ ბაზის მქონე ორდერდიანი ურიკისათვის განივი გადახრების ლიკვიდაციისას, ზიგზაგური მოძრაობის ტალღის სიგრძე დიდდება 150%-მდე, ანუ $n=0,05$. კონუსურობისათვის ტალღის სიგრძე $L_{\text{კუ}} = 27\text{მ}$.

წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობისას მასში აღიძვრება ინერციის ძალა, რომელიც წარმოქმნის დამატებით განივ ძალას რელსის თავის გვერდით ზედაპირზე. ინერციის ძალის განივი მდგენელი ძალა ზიგზაგური მოძრაობისას ცენტრიდანული ძალის ტოლია

$$H_G = \frac{mv^2}{p} \quad (48)$$

ვიციტ, რომ $P = \frac{sr}{ny}$, ამიტომ ზიგზაგური მოძრაობის ინერციის ძალის შემცირებისათვის აუცილებელია შემცირდეს ბორბლის კონუსურობა. ჩქაროსნული მოძრავი შემადგენლობისათვის რეკომენდებულია ბორბლის კონუსურობის შემცირება 0,1-მდე.

წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობის ინტენსივობის შემცირების ერთ-ერთი გზაა მისი ამლიტუდის შემცირება ლიანდაგის სიგანის შემცირების ხარჯზე. მაგალითად, წყვილთვლის ბორბლების ქიმებსა და რელსების თავების გვერდით ზედაპირებს შორის ჯამური ღრეჩოს 6 მმ-ით შემცირებისას, რაც ღრეჩოს ნომინალური მნიშვნელობის 40%-ს შეადგენს, ამდენივე პროცენტით შემცირდება ზიგზაგური მოძრაობით გამოწვეული რეაქციის ძალის სიდიდეც.

განხილული ზიგზაგური მოძრაობა ეხებოდა იდეალურად გამართული წყვილთვლის მოძრაობას იდეალურად სწორ (გამართულ) ლიანდაგის უბანზე. ზიგზაგური მოძრაობის ხასიათზე გავლენას ახდენს არა მარტო რელსის თავსა და რელსის თავის გვერდით ზედაპირს შორის არსებული ღრეჩოები, არამედ ის გადახრებიც,

რომლებიც არსებობს ლიანდაგის ან მოძრავი შემადგენლობის პარამეტრების ნომინალურ და რეალურ მნიშვნელობათა შორის.

განვიხილოთ ტექნიკურად გაუმართავ მდგომარეობაში მყოფი ლიანდაგის პარამეტრების გავლენა ვაგონის წყვილთვლის ზიგზაგურ მოძრაობაზე. ვთქვათ, წყვილთვალი მოძრაობს ისეთი უთანაბრობის მქონე ლიანდაგზე, როცა ლიანდაგის სიბრტყეში ერთ-ერთ რელსს აქვს ტალღისებრი ფორმა ფაქტობრივად, ლიანდაგის ნებისმიერ უბანზე ხდება ლიანდაგის ღერძის გადახრა, რასაც ღერძის შესწორების დარღვევას უწოდებენ. ამ მოვლენას მიყვავართ წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობის დამატებით არასასურველ მდგენლამდე.

იმის გამო, რომ ერთ-ერთ რელსს აქვს $\eta(x)$ ამპლიტუდის მქონე ტალღისებრი კონტური, ამავე დროს იმის გათვალისწინებით, რომ $\delta r = ny$ და y სიდიდე რელსის უთანაბრობისას განისაზღვრება ახალი ($y - \eta(x)$) მნიშვნელობით, ხოლო s სიდიდე იცვლება ($s + \eta(x)$) მნიშვნელობით, (34) ფორმულა ჩაიწერება ასეთი სახით

$$p = \frac{sr}{n(y - \eta(x))} \quad (49)$$

მაშინ წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობის (3.8) დიფერენციალური განტოლება რელსის ტალღისებრი კონტურის გათვალისწინებით მიიღებს სახეს

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{n}{sr} y = -\frac{n}{sr} \eta(x), \quad (50)$$

სადაც y არის წყვილთვლის გეომეტრიული ცენტრის ტრაექტორიის ორდინატა, გაზომილი ლიანდაგის შუახაზიდან;

$\eta(x)$ —ლიანდაგის ღერძიდან გაზომილი ჰორიზონტალური უთანაბრობა.

(50) დიფერენციალური განტოლების ამოხსნა შეიძლება ორ ეტაპად: 1. საკუთარი რხევების განსაზღვრა, რომელთაც ადგილი ექნებოდა იდეალურად სწორი ლიანდაგის შემთხვევაში; 2. იძულებითი რხევების გამოკვლევა, რომელთაც ადგილი ექნებოდა ლიანდაგის ჰორიზონტალური უთანაბრობის მხედველობაში მიღებით.

რელსების ფაქტობრივი მდგომარეობის შესწავლა საშუალებას იძლევა დავასენათ, რომ პირველი მიახლოებისას $\eta(x)$ უთანაბრობა

შეიძლება წარმოვადგინოთ სინუსოიდური მრუდის სახით. მაშინ (50) დიფერენციალური განტოლებიდან მივიღებთ

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{n}{sr} y = -\frac{n}{sr} \alpha \sin \omega t, \quad (51)$$

სადაც α, ω რელსის ფაქტობრივი მდებარეობის პარამეტრებია;

თუ $\eta(x)$ უთანაბრობას წარმოვადგენთ ასეთი სახით

$$\eta(x) = \eta_0 \cos \frac{2\pi}{l} x, \quad (52)$$

მაშინ ამ გამოსახულების გათვალისწინებით (50) დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი

$$y = \eta_0 \frac{p^2}{p^2 - \frac{2\pi}{l} v} \left(\cos \frac{2\pi}{l} vx - \cos px \right), \quad (53)$$

სადაც l არის რელსის ტალღისებრი უთანაბრობის ტალღის სიგრძე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში;

v – ვაგონის მოძრაობის სიჩქარე.

(51) დიფერენციალური განტოლების მარჯვენა ნაწილი და (53) ამონახსნის ანალიზი ადასტურებს, რომ ერთ-ერთი რელსის ჰორიზონტალური უთანაბრობისას შეიძლება შეიქმნას რეზონანსული ან რეზონანსულთან მიახლოებული მოვლენა, რომლის დროსაც მკვეთრად იზრდება რხევის ამპლიტუდა. ამპლიტუდის სიდიდის შემცირების ერთ-ერთი საშუალებაა მათი ჩახშობა. ამ მიზნით მიზანშეწონილია შეიქმნას ხახუნი ვაგონის ძარის ჩარჩოს მიმართ ურიკის მობრუნებისას.

(50) დიფერენციალური განტოლება გამოიყენება წყვილთვლის მოძრაობის გამოკვლევისათვის ისეთ წრიულ მრუდზე, რომლის რადიუსი წყვილთვლის გეომეტრიული ცენტრის მოძრაობის ტრაექტორიის სიმრუდის რადიუსზე მეტია ლიანდაგის ღერძიდან წყვილთვლის მაქსიმალური გადახრის პირობებში.

თუ ჩავთვლით, რომ წყვილთვლის გეომეტრიული ცენტრის მაქსიმალური გადახრა განისაზღვრება რელსის თავის გვერდით ზედაპირსა და ბორბლის ქიმს შორის არსებული ღრეჩოს სიდიდით, მაშინ, (34) ფორმულის მიხედვით, წყვილთვლის გეომეტრიული ცენტრის მოძრაობის ტრაექტორიის სიმრუდის რადიუსის მინიმალური მნიშვნელობა

$$P_{\min} = \frac{sr}{\Delta r} = \frac{sr}{ny} = \frac{0.8 \cdot 0.495}{0.05 \cdot 0.008} \approx 1000. \quad (54)$$

აქედან გამომდინარე, 1000 მ და მეტი სიმრუდის რადიუსის მქონემრუდები უნდა ჩაითვალოს დამრეც (დაქანებულ) მრუდებად.

ლიანდაგის მცირე უბნებზე წრიული მრუდები შეიძლება შიცვალოს კვადრატული პარაბოლით

$$\eta(x) = \frac{x^2}{2R}, \quad (55)$$

სადაც R წრიული მრუდის რადიუსია.

თუ ლიანდაგის ღერძიდან გადაზომილი ჰორიზონტალური უთანაბრობის სიდიდეს, გამოსახულს (55) ტოლობით, შევიტანთ (50) დიფერენციალური განტოლების მარჯვენა ნაწილში, მივიღებთ გორვის კონუსურზედაპირიანი წვეილთვლის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას იდეალური წრიული მრუდის გასწვრივ გადაადგილების შემთხვევაში.

$$y^2 + \frac{n}{sr}y = -\frac{nx^2}{2srR}. \quad (56)$$

უკანასკნელ ამონახსნს ექნება სახე

$$y = A \sin \omega x + B \cos \omega x + \frac{x^2}{2R} + \frac{sr}{Rn}. \quad (57)$$

გამოდის, რომ წვეილთვალი მოძრაობს დამრეცი მრუდის ზღვრებში რთულ ტრაექტორიაზე, რომელიც წრიული მრუდია სინუსოიდური გადახრებით. (57) გამოსახულებაში ტოლობის მარჯვენა ნაწილის ბოლო წევრო უარყოფითია (ნულზე ნაკლებია), ამიტომ წვეილთვლის გეომეტრიული ცენტრის ტრაექტორიის წრიული შემდგენი გადაადგილებულია რელსის დამრეცი მრუდის ცენტრისაკენ სიდიდით, რომელიც განისაზღვრება ამ ბოლო წევრის სიდიდით. თუ გავავლებთ ლიანდაგის წრიული ღერძის ხაზიდან დასახელებული სიდიდით დაშორებულ მრუდს, მივიღებთ წრიულ მრუდს, რომელსაც წრიული მრუდის კინემატიკური ღერძის ეწოდება. წვეილთვლის გეომეტრიული ცენტრი მოძრაობს მა ღერძის მიმართ ისეთივე სინუსოიდური ტრაექტორიით, როგორითაც იდეალურად სწორი ლიანდაგის ღერძის მიმართ. იმის გამო, რომ წვეილთვლის მოძრაობის კინემატიკური ღერძი

გადაადგილებულია ლიანდაგის გარე რელსის მხარეს, წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობის მაქსიმალური ამპლიტუდა $\delta = sr/Rn$ სიდიდით ნაკლები უნდა იყოს იდეალურად სწორ ლიანდაგზე ზიგზაგური მოძრაობის ამპლიტუდაზე, ე. ი. წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობისას დამრეც მრუდზე ვაგონის დინამიკური მახასიათებელი იქნება შედარებით უკეთესი, ვიდრე იდეალურად სწორ ლიანდაგზე ზიგზაგური მოძრაობისას.

როგორც ირკვევა, მრუდის დაქანება დამოკიდებულია წყვილთვლის ბორბლის გორვის ზედაპირის კონუსურობაზე. თუ $n=0,05$, მაშინ დაქანებულს მიეკუთვნება 1000მ და მეტი რადიუსის მქონე მრუდები; თუ $n=0,025$, მაშინ დამრეცად ჩაითვლება 2000 მ და მეტი სიმრუდის რადიუსის მქონე მრუდები. ბორბლის გორვის ზედაპირის კონუსურობის შემცირებით იზრდება დაქანებული მრუდების რადიუსი. ბორბლების ცვეთის დიდი მნიშვნელობისათვის დაქანებული მრუდების ზღვარი უფრო ნაკლებია ვიდრე ახალი ბორბლით სარგებლობის შემთხვევაში.

ლიანდაგის ღერძის შესწორების მნიშვნელობა წრიულ მრუდებზე ზიგზაგური მოძრაობის შემთხვევაში ისეთივეა, როგორც ლიანდაგის სწორხაზოვან უბანზე მოძრაობისას. საჭიროა ვიცოდეთ, რომ ლიანდაგის სწორხაზოვან უბანზე მოძრაობისას წყვილთვლის გეომეტრიული ცენტრის მოძრაობის ტრაექტორია მდებარეობს ლიანდაგის ღერძის სიმეტრიულად, ხოლო წრიულ მრუდზე მოძრაობისას იგი კინემატიკური ღერძის სიმეტრიულია.

წყვილთვლის ზიგზაგური მოძრაობისათვის დამახასიათებელია თვითაღზნებადი განივი რხევები, რომელთა არსებობა გამოწვეულია წყვილთვლის სიჩქარითა და ბორბალსა და რელსს შორის აღძრული ურთიერთქმედების ძალებით. რხევების წარმოქმნა დაკავშირებულია კრიტიკული სიჩქარის აღძვრის მოვლენასთან. საერთოდ, ასეობს ზიგზაგურ მოძრაობასთან დაკავშირებული ორი კრიტიკული სიჩქარე, რომელთაგან თითოეული განსაზღვრავს ზიგზაგური მოძრაობის სახეს. ზიგზაგური მოძრაობის ერთი სახე შეინიშნება შედარებით დაბალი კრიტიკული სიჩქარის დროს, დაახლოებით 40-80 კმ/სთ-ის ზღვრებში. ასეთი ზიგზაგური მოძრაობა გამოწვეულია ვაგონის ძარის

განივი რხევებით. რხევების ხასიათი რეზონანსული მდგომარეობის მსგავსია და შეიძლება ვარეგულიროთ ვაგონის ძარასა და ურიკის ჩარჩოს შორის გარკვეული რაოდენობის რხევათა ჩამქრობის მოთავსებით.

დიდი სიჩქარეების, დაახლოებით 120-160 კმ/სთ-ის პირობებში, ზიგზაგური მოძრაობა გამოვლინდება წყვილთვლების მთელი სისტემისა და ურიკის განივი იძულებითი რხევების სახით. ასეთი დინამიკური მდგომარეობა ნებისმიერი ნებისმიერი მოძრავი შემადგენლობის დამახასიათებელი მოვლენაა და შეუძლებელია მისი თავიდან აცილება, რადგან დამოკიდებულია ღერძულ დატვირთვაზე და ბორბლისა და რელსის ურთიერთქმედების ძალების სიდიდეზე.

ვაგონის საგალი ნაწილის რეალურ კონსტრუქციაში წყვილთვლების ღერძები დაკავშირებულია ერთმანეთთან და ვაგონის ძარასთან, მაგრამ, მიუხედავად ამისა, გააჩნია გარკვეული მოძრაობის თავისუფლება. რაც მეტი თავისუფლება ექნება ცალკეულ ღერძს, მით მეტია ალბათობა იმისა, რომ წყვილთვალმა შეიძინოს მიუღწევადი ან ზიგზაგური მოძრაობის ზრდადი ხასიათის რხევა. სამსახურის ვადის ხანგრძლივობასთან ერთად რხევებიც იზრდება და ბოლოს მყარდება ე. წ. არამდგრადი ზიგზაგური მოძრაობა. მოძრაობის არამდგრადობა უფრო ხშირად ვლინდება კრიტიკულ სიჩქარესთან მიახლოებისას.

ლიანდაგის სწორხაზოვან უბანზე წყვილთვლის ზიგზაგურ მოძრაობას ახასიათებს მუდმივი ან ცვალებადი ამპლიტუდა. ამპლიტუდის სიდიდეს განსაზღვრავს ბორბლის ქიმის მდებარეობა რელსის თავის გვერდითი ზედაპირის მიმართ, ამიტომ ამპლიტუდის სიდიდე არ შეიძლება იყოს წყვილთვლის ბორბლების ქიმებსა და რელსების თავები გვერდით ზედაპირებს შორის არსებული ჯამური ღრეჩოს ნახევარზე მეტი. ამპლიტუდის მაქსიმალურ მნიშვნელობაზეა დამოკიდებული ვაგონის ინერციის ძალები, რომელთა გაზრდისას აუცილებელი ხდება მოძრაობის სიჩქარის შეზღუდვა. ამ მხრივ ზიგზაგური მოძრაობა მავნეა. მეორე მხრივ, ზიგზაგური მოძრაობა სასარგებლოა ბორბლის ქიმის ცვეთის თვალსაზრისით, რადგან ამ მოძრაობისას ქიმი მოკლე უბნებზე ეხება რელსის თავს ე. ი. ზიგზაგური მოძრაობის მთლიანი ჩაქრობა მიზანშეუწონელია,

საჭიროა მხოლოდ შეიზღუდოს მისი ამპლიტუდა და გაიზარდოს ტალღის სიგრძე, რისთვისაც აუცილებელია შემცირდეს ღრეწო ბორბლის ქიმსა და რელსის თავს შორის.

2.4.3. ლიანდაგის მრუდ უბნებზე წყვილთვლების მოძრაობის თეორიული ანალიზი

ვაგონის მოძრაობისას თვლების რელსზე დარტყმის ან დაწოლის შედეგად აღიძვრება არა მარტო ვერტკალური, არამედ ლიანდაგის ღერძის მართობული განივი ჰორიზონტალური ძალებიც. რელსზე თვლის შერბენის მომენტში რელსის თავის მუშა გვერდით წახნაგს გადაეცემა ჰორიზონტალური განივი ძალა, რომელსაც მიმმართველი ძალა ეწოდება (ნახ. 21) ადვნიშნით ეს ძალა Y ასოთი. გარდა ამისა, რელსის თავის გორვს ზედაპირზე თვლის გასრიალებისას წარმოიშობა ხახუნის H ძალა.

ხახუნისა და მიმმართველი ძალების ალგებრულ ჯამს გვერდითი ძალა ეწოდება. თუ გავითვალისწინებთ ხახუნის ძალის მიმართულებას მიმმართველი ძალის მიმართ, მაშინ გვერდითი Y' ძალის მნიშვნელობას მივიღებთ ასეთი სახით.

$$Y' = Y + H \quad (58)$$

ან

$$Y' = Y - H \quad (59)$$

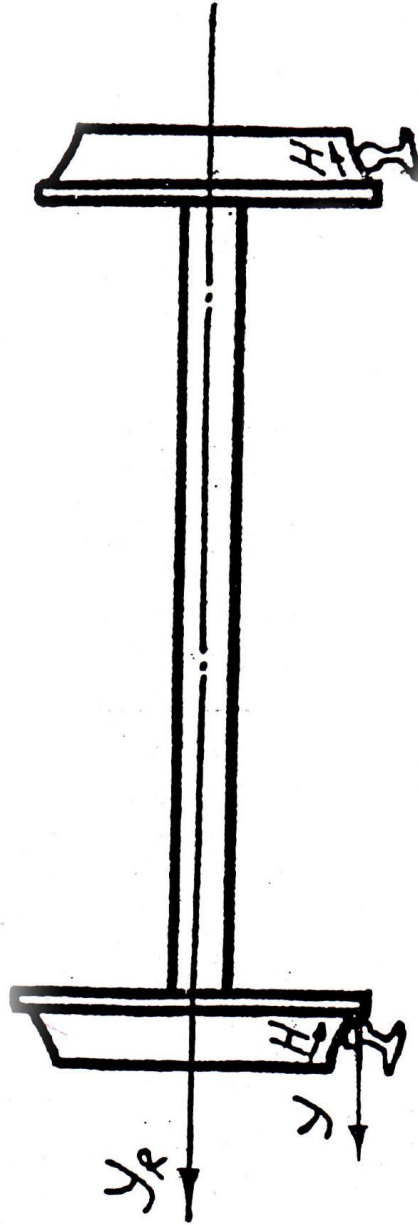
ცხადია, რომ თვლის ქიმის მიერ რელსზე გადაცემული გვერდითი ძალა ტოლია რელსის მიერ მიღებული გვერდითი ძალისა (რელსის რეაქციისა) და ხასიათდება საპირისპირო მიმართულებით.

ვაგონის მოძრაობისას წყვილთვალი ვაგონის ჩარჩოს ან ურიკას, გვერდითი ძალების გარდა, გადასცემს განივ ძალებს, რომელთაც ჩარჩოს ძალები ეწოდება. ხახუნის ძალის გათვალისწინებით ჩარჩოს Y_h ძალა შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი გამოსახულებით.

$$Y_h = Y' + H \quad (60)$$

ან

$$Y_h = Y' - H. \quad (61)$$



ნაზ. 21 პორიზონტალური გვერდითი და ჩარჩო
ძალების მოქმედების სქემა

გამოვთვალთ გვერდითი ძალის მნიშვნელობა მრუდე უბანში ორღერძიანი ურიკის შესვლის მომენტისათვის. წარმოვიდგინოთ, რომ ურიკა შეერთებულია ვაგონთან O წერტილში (ნახ. 22) და მოძრაობისას შეგორდება ერთი თვლით რელსზე შერბენის ψ_1 კუთხით. გავითვალისწინოთ, რომ ვაგონის ძარის მასა რამდენჯერმე მეტია ურიკის მასაზე ($m_p \gg m_k$).

მსჯელობის გამარტივების მიზნით წარმოვიდგინოთ ურიკის მოძრაობა, როგორც სწორი მონაკვეთის მოძრაობა ლიანდაგში, რომლის სიგანე თვლის ქიმისა და რელსის თავის გვერდით ზედაპირს შორის ჯამური ღრეჩოს ტოლია, (ნახ. 23) ასეთი სქემატიზაციის მიხედვით ირკვევა, რომ თვლების ქიმების ურთიერთსაწინააღმდეგო წახნაგები უახლოვდება ერთმანეთს და წარმოქმნის ერთ წირს, ხოლო ლიანდაგის

სიგანე შესაბამისად მცირდება და უტოლდება თვლის ქიმისა და რელსის თავის გვერდით ზედაპირს შორის ჯამური ღრეჩოს მნიშვნელობას.

საანგარიშო გარდაქმნილი სქემიდან (ნახ. 23) ჩანს, რომ თვლის რელსზე ასვლის შემთხვევაში რელსი იკუმშება dy სიდიდით და ურიკის

ჩარჩოს გადასვლისას AB -დან $A'B'$ მდგომარეობაში რელსის რეაქციის მოქმედების გამო იგი შემობრუნდება რაღაც $d\psi$ კუთხით.

მობრუნებასთან ერთად აღიძვრება ურიკის მობრუნების ინერციის ძალები, აგრეთვე ხახუნის ძალები არტახსა და რელსს შორის. ურიკის მობრუნების საწყისი კუთხე

$$\psi_1 \approx \sin \psi_1 = \frac{OB}{a}, \quad (62)$$

ხოლო ურიკის მობრუნება საბოლოო მომენტისათვის

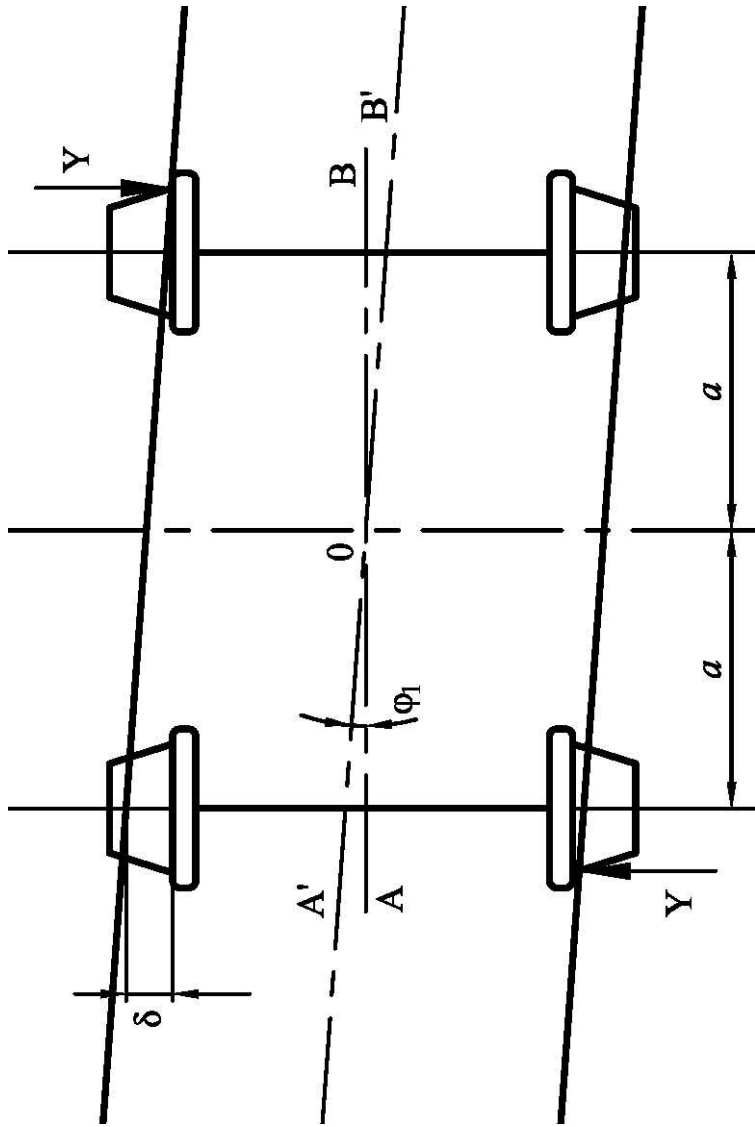
$$\psi_2 = \frac{O_2 B''}{a}. \quad (63)$$

ნახაზიდან შეიძლება დავწეროთ

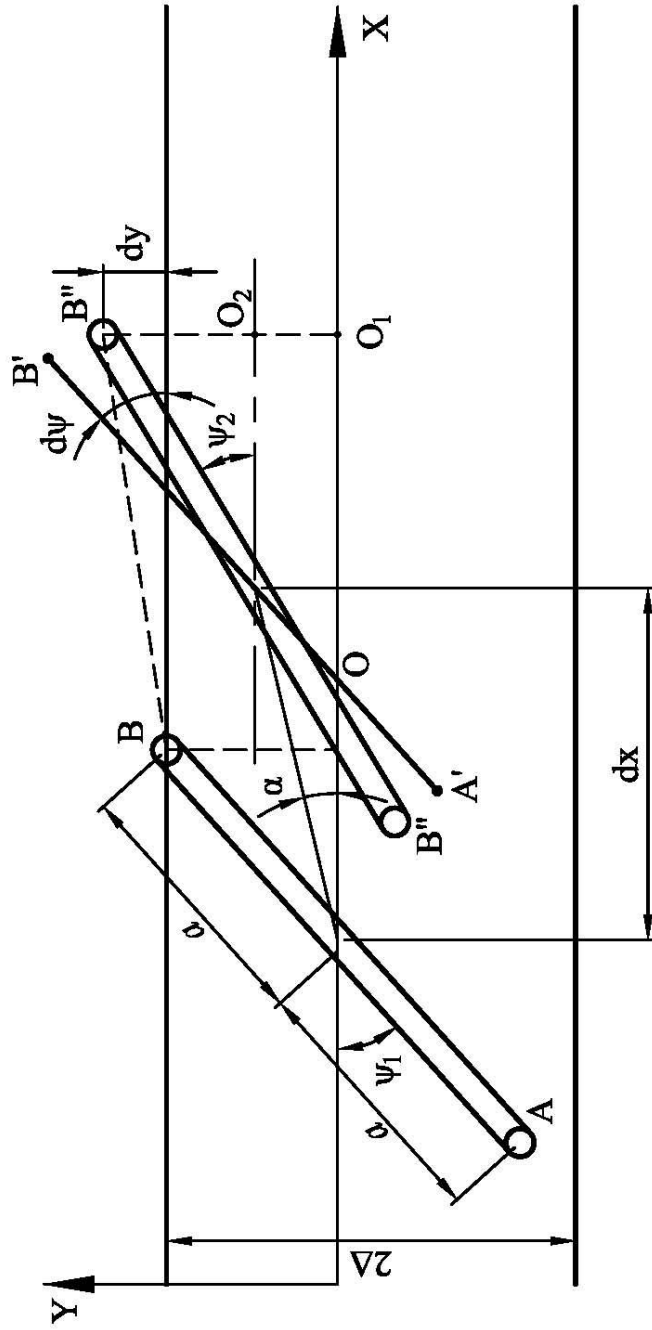
$$O_2 B'' = OB + dy + O_1 O_2 = OB + dy - tg\alpha \cdot dx, \quad (64)$$

სადაც dy რელსზე თვლის შერბენისას ბორბლის მიერ dx მანძილის გავლის დროს რელსის თავის ჰორიზონტალური დრეკადი შეკუმშვაა.

ურიკის მობრუნების კუთხის ნამატი



ნახ. 22. ურიკაზე გამრდითი ძალის მოქმედების სქემა



ნახ. 23. გვერდითი პორიზონტალური ძალების საანგარიშო ბარდაკმნილი სქემა

$$d\psi = \psi_2 - \psi_1 \approx \frac{1}{a}(dy - tg\alpha \cdot dx),$$

ან

$$\frac{d\psi}{dx} = \frac{1}{a} \left(\frac{dy}{dx} - tg\alpha \right). \quad (65)$$

თუ დაეუშვებთ, რომ $tg\alpha = const$, მაშინ

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = \frac{1}{a} \cdot \frac{d^2y}{dx^2} \quad (66)$$

უკანასკნელიდან, იმის გათვალისწინებით, რომ ვაგონის მოძრაობის სიჩქარე მუდმივია და $x = ut$, ვწერთ

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = \frac{1}{a} \cdot \frac{d^2y}{dx^2}. \quad (67)$$

განვსაზღვროთ ტაბიკის მიმართ ურიკაზე მოქმედი ყველა ძალის მომენტი.

აღვნიშნოთ ტაბიკის მიმართ რელსის რეაქციის ძალის მომენტი M_{ϕ} ასოთი:

$$M_{\phi} = Y' \cdot a,$$

სადაც Y' თვლის გვერდითი ძალაა, ხოლო a ურიკის ბაზის ნახევარია. თავის მხრივ, $Y' = cy$, სადაც c ლიანდაგის გვერდითი სიხისტვა, ხოლო y – რელსზე თვლის შერბენის მომენტში რელსის დრეკადი ჰორიზონტალური გადაადგილება. მაშინ

$$M_{\phi} = Y'cy = cya. \quad (68)$$

თვლის გორვის ზედაპირსა და რელსს შორის ხახუნის ძალის მომენტი

$$M_{\text{ხახ}} = -3P\phi, \quad (69)$$

სადაც P არის რელსის მიერ ბორბლისაგან მიღებული დატვირთვა; ϕ – თვლისა და რელსის გორვის ზედაპირების ხახუნის კოეფიციენტი. უნდა გავითვალისწინოთ, რომ დახუნის ძალის მომენტში შედის მხოლოდ სამი და არა ოთხი თვლის რელსის მიმართ ხახუნის ძალა,

რადგანაც რელსზე ასული თვლის ხახუნის ძალა უკვე შედის Y' -ის მნიშვნელობაში.

ურიკის მობრუნებისას აღძრტული ინერციული ძალების მომენტი

$$M_0 = I_0 \frac{d_2 \psi}{dt^2}, \quad (70)$$

სადაც I_0 ურიკის ინერციის პოლარული მომენტია ტაბიკის მიმართ.

დალაშქერის პრინციპის მიხედვით სისტემაზე მოქმედი ყველა ძალის მომენტების ჯამი ნულის ტოლია, ე.ი. შეგვიძლია დავწეროთ

$$M_{\sigma} = M_0 + M_{\text{ხახ}} = 0,$$

ანუ

$$I_0 \frac{d^2 \psi}{dt^2} + cya = 3a\phi P. \quad (71)$$

(66) ფორმულის ჩასმით (67) გამოსახულებაში, ხოლო შემდეგ განტოლების ორივე ნაწილის a -ზე გაყოფით, მივიღებთ

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{ca^2 y}{I_0} = \frac{3a^2 \phi P}{I_0}. \quad (72)$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა $k^2 = \frac{ca^2}{I_0}$,

მაშინ (72) განტოლება გარდაიქმნება ასე:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + k^2 y = \frac{3a^2 \phi P}{c}. \quad (73)$$

უკანასკნელი ამონახსნი

$$y = C_1 \sin kt + C_2 \cos kt + \frac{3\phi P}{c}. \quad (74)$$

საწყისი პირობების გათვალისწინებით, როცა $t=0$ (რელსზე თვლის შერბენის მონეტში), $y=0$, ხოლო $C_2 = -\frac{3\phi P}{c}$. ვვარაუდობთ, რომ თვლის რელსზე შერბენის მომენტში რელსის რეაქციის ძალა ნულის ტოლია, ამიტომ საწყის მომენტში რელსის გადაადგილების სიჩქარე ტაბიკის გადაადგილების სიჩქარის ტოლია ლიანდაგის ღერძის მართობი მიმართულებით, ე.ი.

$$U_{\text{დაწ}} = utg\alpha,$$

ხოლო

$$\frac{dy}{dt} = utg\alpha \approx U \sin \alpha \approx u\alpha. \quad (75)$$

რელსის მიმართ თვლის მაქსიმალური ჰორიზონტალური ზემოქმედების ძალა მიიღება მაშინ, როცა ურიკის ტაბიკის განივი სიჩქარე მიაღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ე.ი. როცა α კუთხე გახდება მაქსიმალური. α კუთხის მაქსიმუმი ახასიათებს იმ მოვლენას, როცა ვაგონის ბაზა (ტაბიკებს შორის მანძილი) მოთავსდება უკიდურესად დახრილ მდგომარეობაში რელსსა და ქიმს შორის არსებულ ღრეჩოში, ე.ი. როცა

$$tg\alpha_{\max} = \frac{2\Delta}{l_3},$$

მაშინ

$$\frac{dy}{dt} = C_1 k \cos kt = \frac{2\Delta}{l_3} u. \quad (76)$$

თუ ვაგონის ბაზას გამოვსახავთ ურიკის ბაზის საშუალებით, ე.უ. $l_3 = 2na$, მაშინ $t=0$ მომენტისათვის

$$C_1 = \frac{u\Delta}{kna}. \quad (77)$$

გამოდის, რომ

$$y = \frac{u\Delta}{kna} + \frac{3\varphi P}{c} (1 - \cos kt). \quad (78)$$

რელსის თავის y შეკუმშვა მაქსიმუმს მიაღწევს მაშინ, როცა

$$kt = \frac{\pi}{2}, \text{ ე.ი.}$$

$$y_{\max} = \frac{u\Delta\sqrt{I_0}}{na^2\sqrt{c}} + \frac{3\varphi P}{c}. \quad (79)$$

თვალზე მოქმედი გვერდითი ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა რელსზე შერბენის მომენტში

$$y'_{\max} = y_{\max} \cdot c,$$

უკანასკნელი გამოსახულება (79) ფორმულის გათვალისწინებით შეიძლება ჩაიწეროს ასეთი სახით

$$y'_{\max} = \frac{u\Delta\sqrt{I_0c}}{na^2} + 3\varphi P. \quad (80)$$

მიღებული ფორმულა გვიჩვენებს, რომ გვერდითი ძალა იზრდება მოძრაობის სიჩქარის, ლიანდაგის c გვერდითი სიხისტის და ურიკის ინერციის მომენტის ზრდასთან ერთად, ხოლო მცირტდება ურიკისა და ვაგონის ბაზის შემცირებით. ვიცით რა $tg\alpha_{\max} = \frac{\Delta}{na}$, ზოგადი შემთხვევისათვის (80) ფორმულა მიიღებს სახეს

$$y'_{\max} = \frac{utg\alpha\sqrt{I_0c}}{a} + 3\varphi P. \quad (81)$$

ცხადია, ასეთივე სიდიდის გვერდითი ძალა აღიძვრება არა მარტო ლიანდაგის სწორი უბნიდან მრუდე უბანში შესვლისას, არამედ ვაგონის გავლის დროსაც საისრო გადამყვანებში. საისრო გადამყვანში გვერდითი ძალის განსაზღვრისათვის საკმარისია ვიცოდეთ რელსზე თვლის შერბენის α კუთხის მნიშვნელობა (ნახ. 24) საისრო გადამყვანში შესვლისას α კუთხე ინგარიშება გამოსახულებით

$$\alpha = \frac{\Delta}{na} + \beta, \quad (82)$$

სადაც Δ არის რელსის თავსა და ქიმს შორის ჯამური დრეწოს ნახევარი; β – ჩარჩოს რელსსა და საისრო გადამყვანის კალმის მუშა წახნაგს შორის შექმნილი კუთხე. (82) ტოლობის ჩასმით (81) გამოსახულებაში, მივიღებთ გვერდითი ძალის საანგარიშო ფორმულას საისრო გადამყვანში მოძრაობის შემთხვევისათვის.

$$y'_{\max} = tg\left(\frac{\Delta}{na} + \beta\right) \frac{u\sqrt{I_0c}}{a} + 3\varphi P. \quad (83)$$

ანალოგიური მიდგომით განისაზღვრება თვლის გვერდითი დაწოლის ძალა გარდამავალი მრუდის გავლისას. გარდამავალი მრუდისათვის თვლის შერბენის კუთხე ინგარიშება ფორმულით

$$\alpha = \sqrt[3]{9 \frac{\Delta}{c_{\text{პარ}}}}, \quad (84)$$

სადაც $c_{\text{პარ}}$ ე.წ. გარდამავალი მრუდის პარამეტრია.

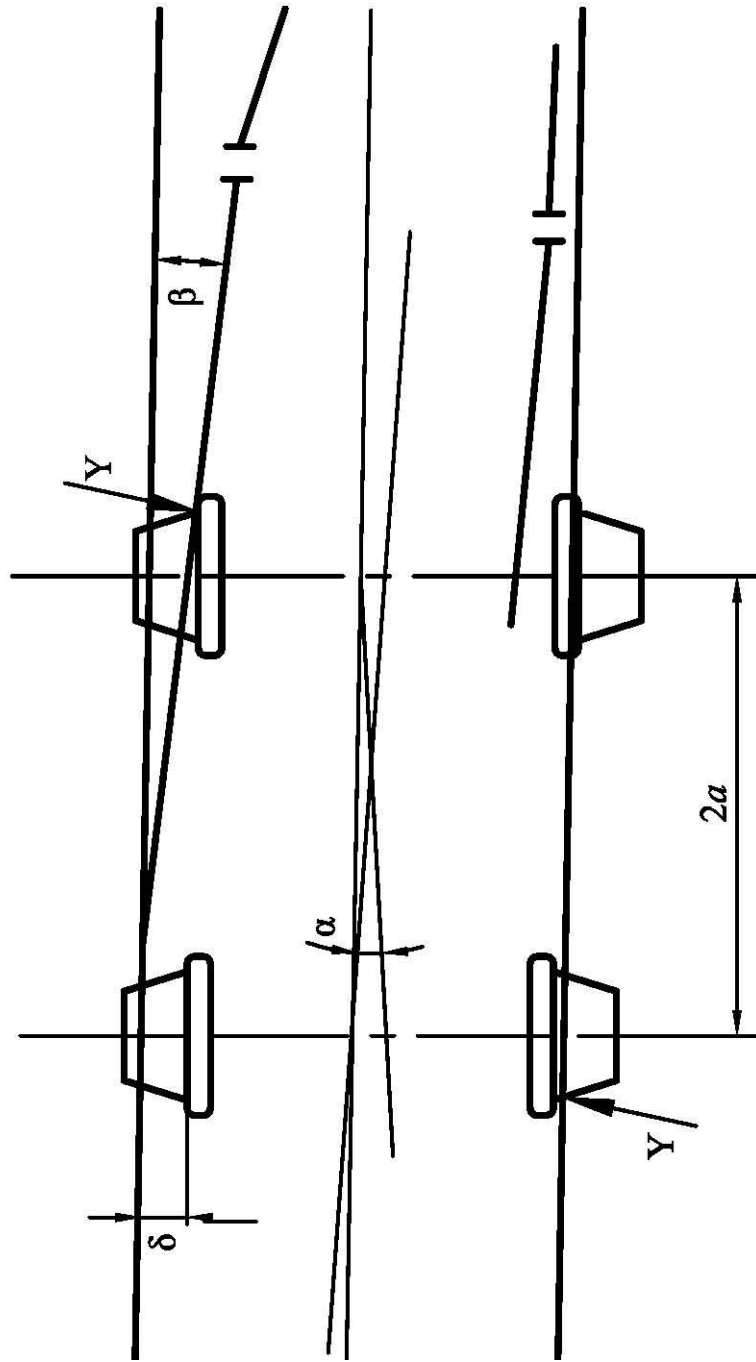
უკანასკნელი ტოლობის შეტანით (81) ფორმულაში მივიღებთ თვლის გვერდითი ძალის მნიშვნელობას გარდამავალი მრუდისათვის

$$y'_{\max} = utg \left(\sqrt[3]{9 \frac{\Delta}{c_{\text{პარ}}}} \right) \frac{\sqrt{I_0 c}}{a} + 3\phi P. \quad (85)$$

რელსზე თვლიდან გადაცემული გვერდითი ძალის სიდიდე შეიძლება გამოვთვალოთ სხვა გზითაც. ამ შემთხვევაში ურიკის დამყარებული მოძრაობა განიხილება, როგორც ბრუნვა მრუდე უბნის სიმრუდის რადიუსის ცენტრის მიმართ მუდმივი კუთხური სიჩქარით. წყვილთვლის მოძრაობის სიჩქარე განიხილება როგორც მრუდის ცენტრის გარშემო ბრუნვის კუთხური სიჩქარისა და საკუთარი ღერძის გარშემო ბრუნვის კუთხური სიჩქარის ჯამი. ხახუნის ძალის მნიშვნელობა თვალსა და რელსს შორის აიღება სიჩქარისაგან დამოუკიდებლად.

რელსზე თვლის შერბენის კუთხისა და სიმძლავრის გაბნევის (ხახუნის ძალის) მიხედვით დგება მხები ძალების საანგარიშო ფორმულები. სიმძლავრის გაბნევის მინიმუმის პირობიდან გამომდინარე, თითოეული წყვილთვლისათვის გამოითვლება ბრუნვის კუთხური სიჩქარე. იგი ცალკეული წყვილთვლისათვის სხვადასხვაა. მიღებულ ფორმულებში უცნობი იქნება მხოლოდ რელსზე თვლის შერბენის ψ კუთხე და თვლის გვერდითი დაწოლის y ძალა. ისინი განისაზღვრება ურიკის წონასწორობის პირობიდან. (ნახ. 24)

მიღებულია ჩაითვალოს, რომ ურიკა იდეალურია, ე.ი. აწყობილია ყოველგვარი გადახრების გარეშე. ეს დაშვება შეიძლება დაკომპენსირდეს შემასწორებელი კოეფიციენტის შემოტანით, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა დგინდება ექსპერმენტის გზით. საბოლოოდ მიიღება თვლის ქიმის რელსზე გვერდითი დაწოლის ძალის საანგარიშო ფორმულა:



ნახ.24. საისტრო გადაწყვანისათვის თვლის განივი
ძალის საანგარიშო სქემა

$$N = A \left(4k \frac{a}{R} \right) + BF_{\text{ბაბ}} + C \frac{H_G}{2}, \quad (86)$$

სადაც K არის ცოცვადობის კოეფიციენტი; R – მრუდწირული უბნის სიმრუდის რადიუსი; $F_{\text{ბაბ}}$ – თვალსა და რელსს შორის ხახუნის კოეფიციენტი; H_G - ურიკის სიმძიმის ცენტრზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალა; A, B, C – ექსპერიმენტით მიღებული შესწორების კოეფიციენტები, რომლებიც ითვალისწინებს გამოთვლებში არსებულ დაშვებებს; a – ურიკის ბაზის ნახევარი.

2.4.4. წყვილთვლების ექსპლუატაციისას ქიმების ცვეთის შემცირებისათვის შემუშავებული რეკომენდაციების მათემატიკური დასაბუთება

დისერტაციაში დასმული ამოცანიდან გამომდინარე, რომელიც მდგომარეობს ვაგონების ექსპლუატაციისას მათი წყვილთვლების ქიმების ინტენსიური ცვეთის გამომწვევი რიგი მიზეზების დადგენაში და შესაბამისად მათი შემცირებისათვის გარკვეული რეკომენდაციების შემუშავებაში, ჩვენი მხრიდან აღნიშნული საკითხის გადასაჭრელად, ლიტერატურული წყაროებიდან გამოყენებული იქნა ცვეთის პროცესების საანგარიშო ზოგადი მათემატიკური ფორმულა (87) და ქიმის რელსზე დაწოლის ძალის საანგარიშო მათემატიკური ფორმულა (88).

$$T = \left(\frac{N}{\pi c \delta_s} \right)^{1/2} \cdot \sqrt{2 \cdot \sqrt{1 + f^2} - 1} \quad (87)$$

სადაც: $c \sigma_s$ - მოხახუნე სხეულების სიმყიფე ბრინელით;

f - მოხახუნე სხეულების სიმქისე;

N - მოხახუნე სხეულების ურთიერთდაწოლის ძალა;

$$N = A \left(4k \frac{a}{R} \right) + BF_{\text{ბაბ}} + C \frac{H_G}{2} \quad (88)$$

სადაც: K - ცოცვადობის კოეფიციენტი;

R - უბნის სიმრუდის რადიუსი;

$F_{\text{ბაბ}}$ - თვალსა და რელსს შორის ხახუნის კოეფიციენტი;

H_G – ურიკის სიმძიმის ცენტრზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალა;

A,B,C – ექსპერიმენტით მიღებული შესწორების კოეფიციენტები, რომლებიც ითვალისწინებს გამოთვლებში არსებულ დაშვებებს;

a – ურიკის ბაზის ნახევარი;

ზემოაღნიშნულის საფუძველზე, მოცემული ცვეთის პროცესების ზოგადი მათემატიკური საანგარიშო ფორმულა (87), რომ გამოგვეყენებინა, როგორც ვაგონების ექსპლუატაციისას ქიმების ცვეთის სიდიდის დასადგენ ფორმულად, ჩვენ ვაწარმოეთ მოცემული (88) ფორმულის (87) ფორმულაში შეტანა, რის შედეგადაც მივიღეთ გზის მრუდ უბანზე ვაგონების ექსპლუატაციისას წყვილთვლების ქიმების ცვეთის საანგარიშო დაზუსტებული მათემატიკური ფორმულა (89).

$$T = \left(\frac{A \cdot \left(4k \frac{a}{R} \right) + BF_{\text{სახ.}} + C \frac{P_{\delta P} V^2}{2gR}}{\pi c \delta s} \right)^{1/2} \cdot \sqrt{2 \cdot \sqrt{1 + f^2} - 1}. \quad (89)$$

თუ (89) ფორმულაში მრუდის R რადიუსის მნიშვნელობას ავიღებთ, რომ არის უსასრულობაა, მაშინ მივიღებთ ახალ მათემატიკურ ფორმულას (90), რომელიც მოგვცემს საშუალებას განვსაზღვროთ წყვილთვლების ქიმების ცვეთის სიდიდე ვაგონების სწორ უბანზე მოძრაობისას.

$$T_{\text{სწ.}} = \left(\frac{A \cdot \left(4k \frac{a}{R=\infty} \right) + BF_{\text{სახ.}} + C \frac{P_{\delta P} V^2}{2gR=\infty}}{\pi c \delta s} \right)^{1/2} \cdot \sqrt{2 \cdot \sqrt{1 + f^2} - 1},$$

$$T_{\text{სწ.}} = \left(\frac{BF_{\text{სახ.}}}{\pi c \delta s} \right)^{1/2} \cdot \sqrt{2 \cdot \sqrt{1 + f^2} - 1} \quad (90)$$

ლიანდაგის მრუდ და სწორ უბანზე წყვილთვლების ქიმების ცვეთის საანგარიშო (89 და 90) ფორმულების შეფარდებით, ვლუბულობო ქიმის ცვეთის მახასიათებლის საანგარიშო ახალ მათემატიკურ ფორმულას (91).

$$Q_{\text{ცვ.მ.}} = \frac{\left(\frac{A \cdot \left(4k \frac{a}{R} \right) + BF_{\text{ბახ.}} + C \frac{P_{\delta P} V^2}{2gR}}{\pi C \delta s} \right)^{1/2} \cdot \sqrt{2 \cdot \sqrt{1 + f^2} - 2}}{\left(\frac{BF_{\text{ბახ.}}}{\pi C \delta s} \right)^{1/2} \cdot \sqrt{2 \cdot \sqrt{1 + f^2} - 2}},$$

$$Q_{\text{ცვ.მ.}} = \sqrt{1 + \frac{A \cdot \left(4k \frac{a}{R} \right) + C \frac{P_{\delta P} V^2}{2gR}}{BF_{\text{ბახ.}}}}$$
(91)

სადაც: K - ცოცვადობის კოეფიციენტი;

R - უბნის სიმრუდის რადიუსი;

$F_{\text{ბახ.}}$ - ბორბალსა და რელსს შორის ხახუნის კოეფიციენტი;

$\frac{P_{\delta P} V^2}{2gR}$ - ურიკის სიმძიმის ცენტრზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალა;

A,B,C - ექსპერიმენტით მიღებული შესწორების კოეფიციენტები;

რომლებიც ითვალისწინებს გამოთვლებში არსებულ დაშვებებს;

a - ურიკის ბაზის ნახევარი;

შემუშავებული (91) ფორმულა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ, თუ როგორი ცვალებადობით მიმდინარეობს წყვილთვლების ქიმების ცვეთა მატარებლის სიჩქარისა და ლიანდაგის სიმრუდის რადიუსის ცვალებადობისას.

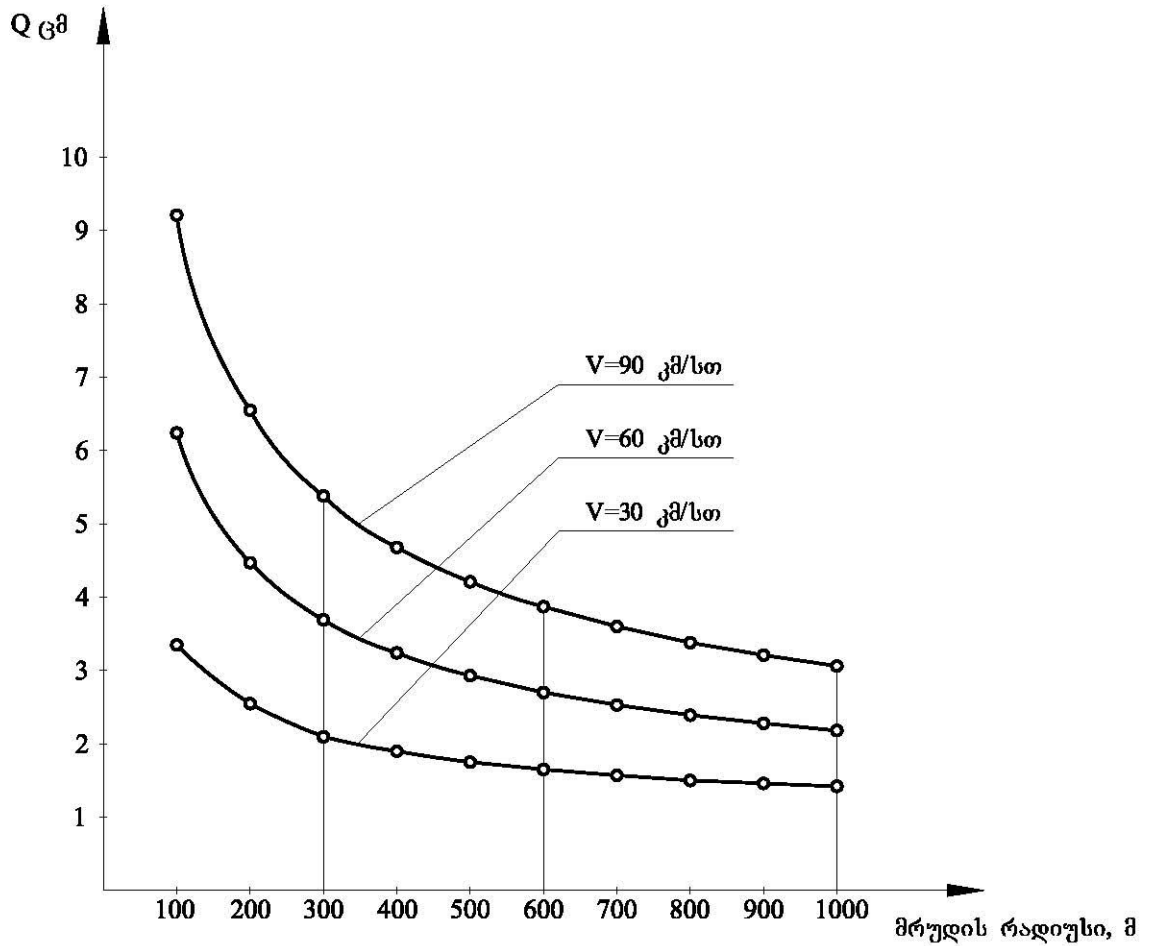
$Q_{\text{ცვ.მ.}}$ გაანგარიშება ჩატარდა სხვადასხვა რადიუსის მქონე მრუდეებზე (100-1000მ) ვაგონების სხვადასხვა სიჩქარით (30-110კმ/სთ) მოძრაობისას, ქიმის ცვეთის მახასიათებლის სიდიდის განმსაზღვრელი მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 8, რომლის საფუძველზეც მოვახდინეთ გზის სიმრუდის რადიუსზე და მოძრაობის სიჩქარეზე Q ცვეთის მახასიათებლის დამოკიდებულების ა, ბ და გ გრაფიკების

აგება (ნახ. 25, 26, 27), საიდანაც ნათლად ჩანს, რომ (91) ფორმულაში შემავალი პარამეტრების - სიმრუდის რადიუსის შემცირებისა და მოძრაობის სიჩქარის მომატებით ყველა შემთხვევაში გამოკვეთილია ცვეთის მახასიათებლის გაზრდის ტენდენცია, კერძოდ: გრაფიკებიდან იკვეთება, რომ ქიმების ცვეთის მნიშვნელოვანი ზრდა ხდება 600 დან 100 მ-მდე რადიუსის მრუდებზე ვაგონების მოძრაობისას, მათ შორის განსაკუთრებულად 300მ დან 100მ-მდე რადიუსის მქონე მრუდებზე, ხოლო 600-დან 1000 მ რადიუსის მრუდებზე ვაგონების მოძრაობისას ქიმის ცვეთა კლებულობს. ე.ი. შუალედური სიმრუდის რადიუსი, სადაც

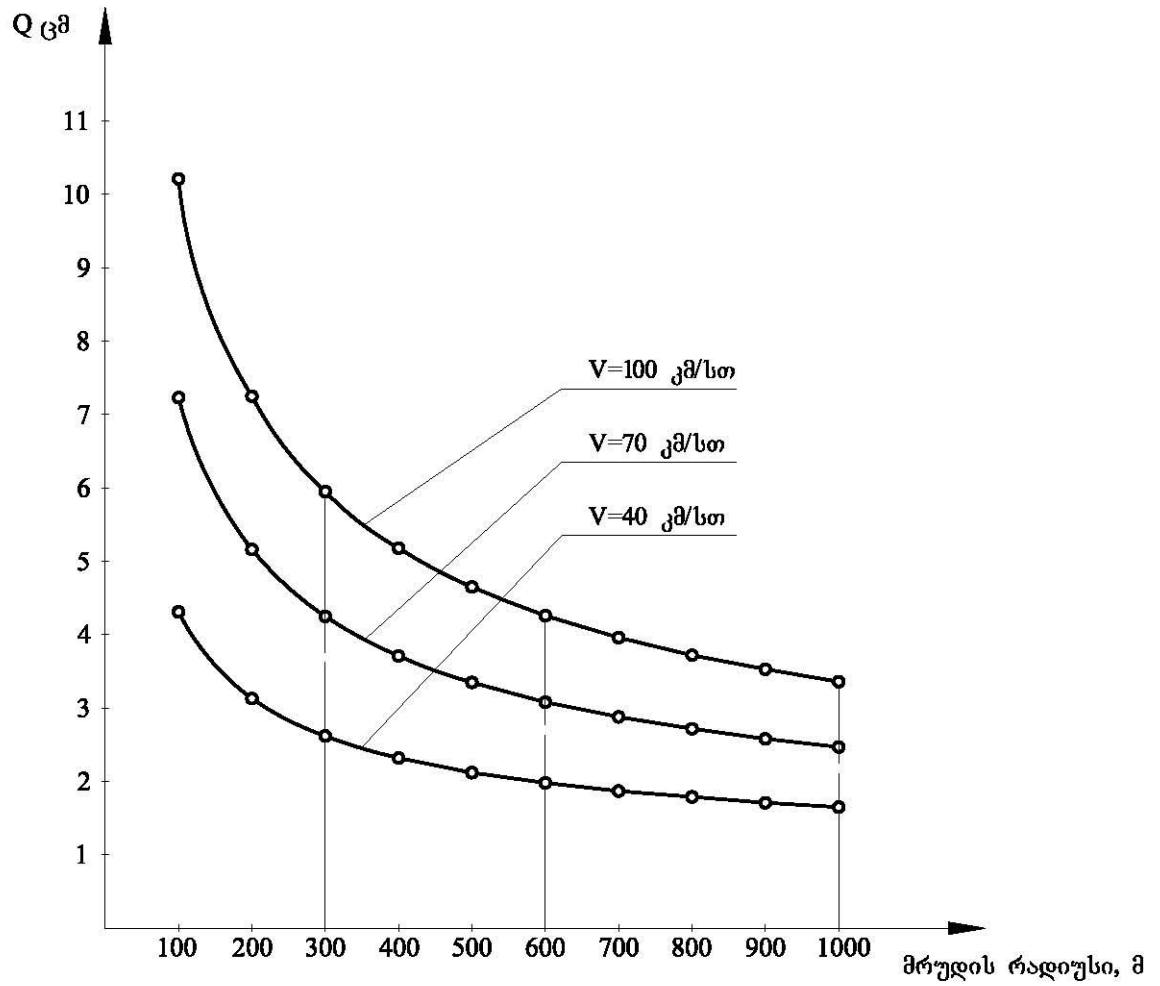
ცხრილი 8.

ქიმების ცვეთის მახასიათებლის სიდიდეები

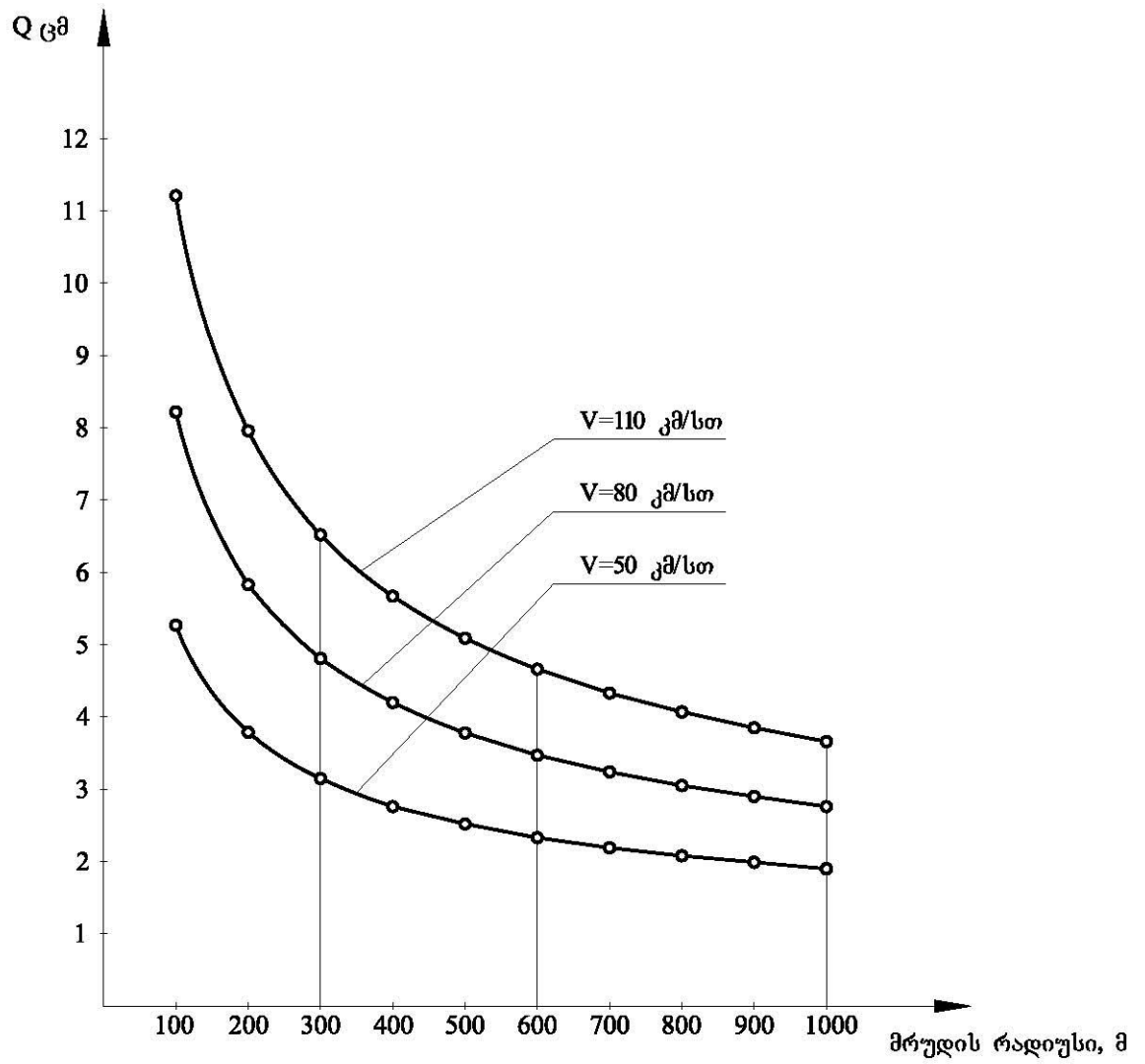
№	მრუდის რადიუსი მ	მრუდზე მოძრაობის სიჩქარე კმ/სთ-ებში								
		30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	100	3,37	4,31	5,27	6,24	7,23	8,22	9,21	10,21	11,21
2	200	2,49	3,13	3,79	4,47	5,16	5,83	6,55	7,25	7,96
3	300	2,11	2,62	3,15	3,69	4,25	4,81	5,38	5,95	6,52
4	400	1,90	2,32	2,76	3,24	3,71	4,20	4,68	5,18	5,67
5	500	1,75	2,12	2,52	2,93	3,35	3,78	4,21	4,65	5,09
6	600	1,65	1,98	2,33	2,70	3,08	3,47	3,87	4,26	4,66
7	700	1,57	1,87	2,19	2,53	2,88	3,24	3,60	3,96	4,33
8	800	1,50	1,79	2,08	2,39	2,72	3,05	3,38	3,72	4,07
9	900	1,46	1,71	1,99	2,28	2,58	2,90	3,21	3,53	3,85
10	1000	1,42	1,65	1,90	2,18	2,47	2,76	3,06	3,36	3,66



ნახ. 25. ქიმის ცვეთის მახასიათებლის დამოკიდებულების გრაფიკი სხვადასხვა მრუდის რადიუსზე და სიჩქარეზე



ნახ. 26. ქიმის ცვეთის მახასიათებლის დამოკიდებულების გრაფიკი სხვადასხვა მრუდის რადიუსზე და სიჩქარეზე



ნახ. 27. ქიმის ცვეთის მახასიათებლის დამოკიდებულების გრაფიკი სხვადასხვა მრუდის რადიუსზე და სიჩქარეზე

შაკე იწყება ქიმის ცვეთის კოეფიციენტის მნიშვნელოვანი ცვალებადობა (გაზრდა, შემცირება) არის 600 მ.

ამრიგად, მიღებული გაანგარიშებიდან და შესაბამისად მის საფუძველზე აგებული გრაფიკებიდან (ნახ. 25, 26, 27) შეიძლება გაგვაკეთოთ შემდეგი დასკვნა, კერძოდ:

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, რადგანაც დადგენილ იქნა, რომ ქიმების ინტენსიური ცვეთის ერთ-ერთ მთავარ მიზეზს წარმოადგენს მატარებელთა მოძრაობის სიჩქარე და გზის მრუდი მონაკვეთები, გაზრდილი ცვეთების შემცირების მიზნით ვიძლევიტ რეკომენდაციას, რომ გზის იმ მონაკვეთებზე ვაგონების მოძრაობისას, სადაც მნიშვნელოვნად იზრდება წყვილთვლების ქიმების ცვეთა, ანუ 600-დან 100 მ-მდე რადიუსიან მრუდებში ვაწარმოთ მატარებლის მოძრაობის სიჩქარის შემცირება, კერძოდ: 300 დან 100 მ-მდე რადიუსიან მრუდებში დადგენილი 40 კმ/სთ სიჩქარის ნაცვლად რეკომენდირებულია სატვირთო მატარებლებმა იმოძრაოს 30კმ/სთ სიჩქარით, ხოლო 600-დან 301 მ-მდე რადიუსიან მრუდებში დადგენილი 60 კმ/სთ სიჩქარის ნაცვლად 50კმ/სთ სიჩქარით, რაც საერთო ჯამში გვაძლევს ვაგონების წყვილთვლების ქიმების ცვეთის 17%-ით შემცირების საშუალებას.

2.5. შემუშავებული რეკომენდაციების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტი

სამეცნიერო-ტექნიკურ სიახლეთა შემუშავებისას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის განსაზღვრას. წინამდებარე სადსერტაციო ნაშრომში შემუშავებული რეკომენდაციები, ვაგონების წყვილთვლების ქიმების ცვეთის შესამცირებლად მაქსიმალურად პასუხობენ რკინიგზის ექსპლუატაციის თანამედროვე მოთხოვნებს და უზრუნვეყოფენ, როგორც წყვილთვლების, ასევე მთლიანად ვაგონებისა და მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების საიმედოობას. ნაშრომში შემოთავაზებული წინადადებები იძლევა საშუალებას გარკვეულწილად შემცირდეს ვაგონების ექსპლუატაციისას წყვილთვლების ქიმების ინტენსიური ცვეთა და გაიზარდოს მათი ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა.

შემუშავებული რეკომენდაციების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის დასადგენად ჩატარებულ იქნა შესაბამისი გაანგარიშებები წყვილთვლებზე დაკვირვებების შედეგად მიღებული მონაცემების საფუძველზე, კერძოდ:

ა) ჩატარებული პრაქტიკული დაკვირვებებით მივიღეთ, რომ თუ გზის სწორ მონაკვეთებზე ვაგონების ექსპლუატაციისას წყვილთვლების ქიმების ცვეთა ყოველ 20.000 კმ-ის გავლისას შეადგენს 1,2 მმ-ს, მრუდე უბნებზე ვაგონების მოძრაობისას წყვილთვლების ქიმების ცვეთამ იმავე მანძილის გავლისას შეადგინა 2,5 მმ, აქედან გამომდინარე საერთო საშუალო ცვეთა შეადგენს 1,85 მმ-ს.

ბ) შემოთავაზებული რეკომენდაციების საფუძველზე გვეძლევა საშუალება, რომ ვაგონების ექსპლუატაციისას ყოველ 20.000 კმ-ის გავლისას წყვილთვლების ქიმების 1,85 მმ ცვეთის ინტენსივობა შევამციროთ 17%, ანუ $1,85 - 0,3 = 1,55$ მმ.

გ) ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მივიღეთ, რომ წლის განმავლობაში გზის მაშტაბით, ანუ თბილისის, ხაშურის, სამტრედიის და ბათუმის სავაგონო დეპოებში, როდესაც ქიმების ცვეთის ინტენსივობა შეადგენდა 1,85 მმ-ს სარემონტოდ შედიოდა სულ 7431 წყვილთვალი, მიღებულ რეკომენდაციებით, რადგანაც ქიმების ცვეთის

ინტენსივობამ შემცირდა 1,55 მმ-მდე, რომელიც პირდაპირპროპორციულია რემონტში შესული შესაკეთებელი წყვილთვლებისა, (ე. ი. რამდენი პროცენტითაც იზრდება, ან მცირდება ქიმების ცვეთა, შესაბამისად იმდენი პროცენტით იზრდება, ან მცირდება ამ მიზეზით სარემონტო წყვილთვლების რაოდენობა), საბოლოოდ ვღებულობთ, რომ ამჟამად იმავე პერიოდში თხელი ქიმის მიზეზით სარემონტოდ შვეა 7431 – 1285 (7431-ის 17%), ანუ 6146 წყვილთვალი, ყოველივე ამის საფუძველზე კი გვეძლევა საშუალება 19%-ით გავზარდოთ წყვილთვლის მუშაობის რესურსი (ცხრილი 9, 10).

ცხრილი 9

შემუშავებული რეკომენდაციების ტექნიკურ-ეკონომიკურ ეფექტი

№	მრუდის რადიუსი მ	მოდრაობის სიჩქარე კმ/სთ	ცვეთის მასხასიათებელი	პროცენტული მაჩვენებელი %
1	100	40 --- 30	4,31 --- 3,37	21,8
	200	40 --- 30	3,13 --- 2,49	20,4
	300	40 --- 30	2,62 --- 2,11	19,4
	400	60 --- 50	3,24 --- 2,76	14,8
	500	60 --- 50	2,93 --- 2,52	13,9
	600	60 --- 50	2,70 --- 2,33	13,7
	საშუალო რაოდენობა	5	0,3	17,0 %
2	ცვეთის სიდიდის მაჩვენებელი	სარემონტო წყვილთვლების რაოდენობა	პროცენტული მაჩვენებელი	
	1,85 მმ	7431	70,5%	
	1,55 მმ	1285	17,0%	
	0,3 მმ	6146	53,5%	
3	1 წყვილთ. გაჩარხვა 57,48 ლარი	1285 წყვილთ. გაჩარხვა - 73861 ლარი		

შემუშავებული რეკომენდაციების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტი

№	გავლილი მანძილი კმ	ქიმის ცვეთის სიდიდე მმ	გავლილი მანძილი კმ	ქიმის ცვეთის სიდიდე მმ
1	20000	1,85	20000	1,55
	20000	1,85	20000	1,55
	20000	1,85	20000	1,55
	20000	1,85	20000	1,55
	17297	1,60	20000	1,55
	0	0	16129	1,25
	97297	33 - 24= 9	116129	33 - 24= 9
2	დამატებით გავლილი მანძილი	18832 კმ -19%		
3	ვაგონის ახსნაზე დაკარგული საშუალო დრო	სინქარის შემცირებით დაკარგული საშუალო დრო		
	0,71 სთ – 43 წთ	350კმ - 58კმ/სთ - 6,00 სთ 350კმ - 53 კმ/სთ - 6,60 სთ		
		0,60 სთ ანუ 36 წთ		

3. დასკვნა

1. საქართველოს რკინიგზაზე, მისი გეოგრაფიული მდებარეობიდან გამომდინარე, საშუალოდ მთლიანი გზის 30-35% შეადგენს სხვადასხვა მცირე რადიუსის მქონე მრუდეები, რომლებიც ვაგონების ექსპლუატაციისას იწვევენ, მათი წყვილთვლების ქიმების ინტენსიურ ცვეთას, კერძოდ: თბილისის, ხაშურის, სამტრედიის, ბათუმის სავაგონო დეპოებში წლის განმავლობაში სარემონტოდ შესული წყვილთვლების ანალიზმა აჩვენა, რომ წყვილთვლების ძირითადი გაუმართაობებიდან, უმეტესობას, ანუ 70% წარმოადგენს ქიმების ცვეთა და დაზიანება, რაც საგრძნობლად ამცირებს მათ მუშაობის რესურსს და ზრდის საექსპლუატაციო ხარჯებს.

2. სარკინიგზო დარგში ბოლო წლებში ჩატარებულმა სამეცნიერო გამოკვლევების მიმოხილვამ და ანალიზმა ცხადყო, რომ მეცნიერთა მხრიდან მნიშვნელოვანი ყურადღება ექცევა ვაგონების ექსპლუატაციისას წყვილთვლების გაუმართაობათა წარმოქმნის და შესაბამისად მათი შემცირების საკითხებს, მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ მეცნიერთა მხრიდან შემოთავაზებული რეკომენდაციები და წინადადებები სრულად ვერ ითვალისწინებენ ამ პრობლემური საკითხის გადაწყვეტას, რისთვისაც საჭიროა აღნიშნული კუთხით, საკითხების დამატებით შესწავლა და მათი შემცირებისათვის გარკვეული რეკომენდაციების შემუშავება.

3. ლიტერატურული წყაროებიდან არსებული ფორმულების ბაზაზე დისერტაციაში შემუშავებულ იქნა წყვილთვლების ქიმების ცვეთის მახასიათებლის საანგარიშო მათემატიკური ფორმულა, რის საფუძველზეც ჩატარდა გაანგარიშებები, აიგო გრაფიკები და მიღებულ იქნა შესაბამისი დასკვნები, კერძოდ: რადგანაც დადგენილ იქნა, რომ ვაგონების ექსპლუატაციისას წყვილთვლების ქიმების ინტენსიური ცვეთის ერთ-ერთ მთავარ მიზეზს წარმოადგენს, როგორც გზის მრუდი მონაკვეთები, ასევე მატარებელთა მოძრაობის სიჩქარე, გაზრდილი ცვეთების შემცირების მიზნით ვიძლევიტ რეკომენდაციას, რომ გზის იმ მონაკვეთებზე ვაგონების მოძრაობისას, სადაც მნიშვნელოვნად

იზრდება წყვილთვლების ქიმების ცვეთა, ანუ 600-დან 100 მ-მდე რადიუსიან მრუდეებში ვაწარმოთ მატარებლის მოძრაობის სიჩქარის შემცირება, კერძოდ: 300 დან 100 მ-მდე რადიუსიან მრუდეებში დადგენილი 40 კმ/სთ სიჩქარის ნაცვლად, რეკომენდირებულია სატვირთო მატარებლებმა იმოძრაოს 30კმ/სთ სიჩქარით, ხოლო 600-დან 301 მ-მდე რადიუსიან მრუდეებში დადგენილი 60 კმ/სთ სიჩქარის ნაცვლად, 50კმ/სთ სიჩქარით, რაც საერთო ჯამში გვაძლევს ვაგონის წყვილთვლების ქიმების ცვეთის 17%-ით შემცირების საშუალებას.

4. ქიმების ცვეთის 17%-ით შემცირებამ მოგვცა საშუალება, რომ 17%-ით შევამციროდ წლის განმავლობაში სავაგონო დეპოებში ქიმების ცვეთის მიზეზით სარემონტოდ შესული წყვილთვლების საერთო რაოდენობა, ანუ სარემონტო წყვილთვლების მაჩვენებელი 70,5%-დან დაყვანილ იქნა 53,5%-მდე და 19%-ით გაეზარდოთ წყვილთვლების მუშაობის რესურსი.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Крагелский И. В. Трение и износ. М. Машиностроение, 1968, с. 65-113.
2. Крагелский И. В. Основы расчетов на Трение и износ. М. Машиностроение, 1977 с.161-179.
3. Крагелский И. В. Щедров В.С. Развитие науки о трении. Сухое трение. М. АН СССР.1956.с 181-187.
4. Петров Н.П. Влияние поступательной скорости движения колеса на напряжение в рельсе. – Записки русского технического общества (в 2-х кн.), 1903, кн.2. с.108-131.
5. Жуковский Н.Е. Колебание паровоза на рессорах. – Полное собрание сочинений. М.–Л.: ОНТИ НКИТ, т.УШ, 1937, с.17-26.
6. Бирюков И.В., Бурчак Г.П., Федюнчи Ю.П. Исследование причин повышенного износа гребней бандажей колесных пар электропоезда ЭР 22 и способов его уменьшения. Тр.Лиижата, М.,1971, с. 74 – 83.
7. Вериго М. Ф. Вопросы в заимодействия пути и подвижного состава. Труды вниижт. выпуск 268. 1963, с. 64-124.
8. Вериго М.Ф. динамика вагонов. Комрлект лекций, М. 1971 с 15-38.
9. Григорашвили Т. Д. К вопросу исследования движения пассажирских вагонов в кривых малого радиуса и на затяжных спусках более 20% . ЦНИИТЭИ МПС №с2011, 1982, 10с.
10. Куценко С.М. Динамика установившегося движения локомотивов в кривых. Виша школа, 1975. -132с.
11. Филиппов А. П. Колебния деформируемых систем. М., Машиностроение, 1970. с 47-69.
12. Carter F. W. Uber den Lauf von Eisebahnwagen auf gerade Bahn. organ fur die Fortschritte des Eisebahnwesens in technischer Beziehung Bd. 20, N 4,1983. V.112.
13. Марье Г.В. Взаимодействие пети и подвижного состава. – М.: Госжелдориздат, 1933. с. 69-81.
14. Ковалев Н.А. Боковые колебания вследствие ударов гребней кулоновом трении колеса о рельс. – Вестник ВНИИЖТа, №6, 1958, с. 68-76.
15. Лазарян В.А., Коротенко М.Л. Устойчивость движения железнодорожных экипажей двойным рессорным подвешиванием. – Тр.ДИИТа, вып.59, 1966, с. 44-59.
16. Лазарян В.А., Коротенко М.Л. Устойчивость движения пассажирского вагона при упругой связи колесных пар с рамой тележки. Тр.ДИИТа, вып.84, 1970, с.29-35.

17. Коротенко М.Л., Данович В.Д., Малышева И.Ю. Выбор параметров упругодисплативных элементов ходовых частей грузовых вагонов. – В сб.: Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава. – Днепропетровск, вып.220/28, 1981, с.103-109.
18. Коротенко М.Л. Устойчивость движения рельсовых экипажей – Киев: Наук. думка, 1972, с 74-82.
19. Лазарян В.А., Коротенко М.Л. Устойчивость движения железнодорожных экипажей двойным рессорным подвешиванием. – Тр.ДИИТа, вып.59, 1966, с. 44-59.
20. Лазарян В.А., Коротенко М.Л. Устойчивость движения пассажирского вагона при упругой связи колесных пар с рамой тележки. Тр.ДИИТа, вып. 84, 1970, с.29-35.
21. Лазарян В.А., Другач А.А., Коротенко М.Л. Устойчивость движения рельсовых экипажей. – Киев: Наукова думка, 1972.с. 69-196.
22. Лазарян В.А. Устойчивость движения пассажирского вагона при упругой связи колесных пар с рамой тележки. Тр.ДИИТа, вып.84, 1970, с .44-53.
23. Вершинский С.В. и др. Устойчивость движения грузовых вагонов в кривых малого радиуса при действии продольных растягивающих сил. – В сб.: Проблемы механики железнодорожного транспорта. Киев: Наукова думка, 1980, с. 29–41.
24. Вершинский С.В. Продольная динамика вагонов в грузовых поездах. Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та ж.-д. транспорта, 1957, вып. 143, 263 с.
25. Доронин В.И. Кинематика качения колесной пары при касании рельса гребнем бандажа. – В сб.: проблемы механики железнодорожного транспорта. – Киев: Наукова думка, 1980, с.49 -56.
26. რობინშვილი ი. ვაგონები კონსტრუქცია თეორია და გაანგარიშება. გამომცემლობა „განათლება“ თბილისი, 1988. გვ 54-56.
27. Букок Д.А. Устойчивое движение железнодорожных вагонов на непрямолинейных участках пути. Журнал исследовательского машиностроения, №6, 1969, с. 556 -566.
28. Долматов А.А. Новые данные о динамической устойчивости боковых колебаний вагонов. – Вестник ВНИИЖТа, №8 1960, с.39-44.
29. Долматов А.А. Кудрявцев Н.Н. динамика и прочность четырехосных железнодорожных цистерн ТР.ВНИИЖТ. вип. 263 1963, с 37-75.
30. Долматов А.А., Кочнов А.Д. и др. Особенности динамики вагонов при высокой скорости движения. – М.: Транспорт, 1967, 160 с.
31. Кудрявцев Н.Н., Сасовец В.М. и др. Определение сил действующих на вагоне колеса, и их соотношение. – Вестник ВНИИЖТа, 1971, №1, с.23-27.
32. Долматов А.А. Кудрявцев Н.Н. динамика и прочность четырехосных железнодорожных цистерн. ТР.ВНИИЖТ. вип. 263 1963, с 37-75.

33. Ушаков В.Ф. Проблемы динамики железнодорожного транспорта. Днепропетровск, 1980. 174 с.
34. Данович В.Д. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава . – Тр.ДИИТа, вып. 148, 1974.с.21-29.
35. Челноков И.И., Вишняков В.И. и др. Гасители колебаний вагонов. М. Транспортжелдориздат, 1963, с.81-93.
36. Камаев А.А. Динамическое моделирование вписывания железнодорожных экипажей в кривые. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. ЛИИЖТ, 1959, с.21-27.
37. Камаев А.А. Улучшение экономических и динамических характеристик локомотивов. М.:Матгиз, 1961, с. 48-56.
38. Дильман Г. Влияние зависимости трения от скольжения при вписывании двухосных рельсовых подвижных единиц с самоустанавливающейся осью. *Closers Annalen* 1959, т.83, №12, с. 419 – 433.
39. Ершков О. П. Вопросы в заимодействия пути и подвижного состава. Труды вниижт. выпуск 268. 1963, с. 64-80.
40. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. М.,1961, с.282-336.
41. Шенк Х. А. Теория инженерного эксперимента. М.:Мир, 1972, 381с.
42. Шеффоль Г.Н. Устойчивость при влиянии с боковым откосом и способность подвижного состава вписываться в кривые. железные дороги мира, 1974, №12 с.32-46.
43. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Челноков И.И. Динамика вагонов. – М.: Транспорт, 1972, с 45-97.
44. შარაშენიძე გ. ვაგონების დინამიკა. თბილისი, „განათლება“ 2001, გვ. 514-521.
45. Лисюк В. С. Причины и механизм схода колеса с рельса проблема износа колес и рельсов. М. Транспорт. 2002, 215 с.
46. Кудрявцев Н.Н. Динамические нагрузки ходовых частей грузовых вагонов. Тр. ЦНИИ, вып 572. 1977, 143 с.
47. Мотовилова К. В. Технология производства и ремонта вагонов М. Маршрут, 2003, с. 65-71.
48. Мартовский В. А, Богданов В. М., Захаров С. М. „Современие проблемы взаимодействия подвижного состава и пути” материалы научно-практического конференции „ВНИИЖТ” М. 2003 с. 3-9.
49. Инструкция по техническому обслуживаию вагонов эксплуатации. ЦВ-ЦЛ-408 М-ОАО РЖД . 2009 с 28-32.
50. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Челноков И.И. Динамика вагонов. – М.: Транспорт, 1978, с 33-191.

51. Винокуров М.В. Вагоны 7. Винокуров М.В., Шадур Л.А., Проскурнев П.Г., и др. Под ред М.: Трансжелдориздат, 1953. с.255-330.
52. Ковалев Н.А. Боковые колебания вследствие ударов гребней кулоновом трении колеса о рельс. – Вестник ВНИИЖТа, №6, 1958, с. 68-76.
53. Ковалев Н.А. Боковые колебания подвижного состава. – М. Транспортжелдориздат, 1957, 175 с.
54. Львов А.А., Музыкин В.А. Динамика четырехосного полувагона при несимметричном его нагружении. – Вестник ВНИИЖТа, №4,1965, с.81-94.
55. Шадур А.А., Челноков И.И., Никольский Л.И. Вагоны. – М. :Транспорт, 1973. с.88-119.
56. Соколов М.М., Хусидов В.Д., Минкин Ю.Г. Динамическая загруженность вагонов. – М.:Транспорт, 1978. с. 98-114.
57. Хусидов В.Д. Колебания грузовых вагонов при нелинейных связях кузова с тележками- Вестник ВНИИЖТ, №1,1967, с 36-54.
58. Никольский Л.Н. Вопросы исследования надежности и динамики элементов транспортных машин и подвижного состава. Тр.БИИТМа, 1978, с.88 – 89.
59. Никольский Л.Н. Метод определения оптимальных параметров амортизаторов удара, №9, 1967 с 51-63.
60. Коган.А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь. М. , Транспорт, 1969, с. 163-179.
61. Ушаков В.Ф. Проблемы динамики железнодорожного транспорта. Днепропетровск, 1980. 174 с.
62. Кифиани П. Технологическая инструкция по восстановлению наплавкой под флюсом гребней вагонных колес. ТИ-5-02-2007. 18 с.
63. Классификация неисправностей вагонных колесных пар и их элементов. М, транспорт, МПС, ИТМ1-В, 1978. 31 с.
64. Инструкция по осмотру, освидетельствованию ремонту и формированию Вагонных колесных пар. ЦВ – 944, Москва ОАО РЖД, 2005. 81 с.
65. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений на ж. д. транспорте. М.: Транспорт, 1973. 199 с.
66. Основные проблемы экономики ж. д. транспорта. Под ред. Б. И. Шафиркина. М.: Транспорт, 1973, 208 с.
67. Сотников И.Б., Выгнанов А.А., Гоманков Ф.С. и др. Техникоэкономические расчеты в эксплуатации ж. д. Под ред. И.Б. Сотникова М.: Транспорт, 1983, 254 с.
68. Методические указания по определению экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений на железнодорожном транспорте. М., Транспорт, 1980, 144 с.

69. Г. Шавидзе. Анализ износа колесных пар вагонов на грузинской железной дороге. ТРАНСПОРТ. 2009г. №1-2 (33-34). с 9.
70. Г. Шавидзе. О некоторых отрицательных результатах, вызванных воздействием тормозов на колесные пары вагонов. ТРАНСПОРТ. 2009 г. №1-2 (33-34). с. 10.
71. გ. შავიძე. ლიანდაგის სიმრუდის რადიუსის და მატარებელთა მოძრაობის სიჩქარის გავლენა ვაგონების წყვილოვლების ცვეთაზე. ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა, №3 (15) 2009 წ., გვ. 61-70.
72. გ. შავიძე, თ. გრიგორაშვილი. ვაგონების წყვილოვლების ცვეთის შემცირებისათვის შემუშავებული რეკომენდაციები. მეცნიერება და ტექნოლოგიები, №1-3, 2011 წ., გვ. 93-96.