

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გოჩა გოგიტიძე

**ავტომობილის გამავლობის დიაგნოსტიკა გრუნტის დრეკად-
მადემპფირებელი მახასიათებლების კონტროლის გზით**

საინჟინრო მეცნიერებების დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

სამეცნიერო კვლევის მიმართულება: 7-00 - საინჟინრო მეცნიერებები,
მაღალტექნოლოგიური მასალები.
ქვემიმართულება: 7-130 - წყალზედა, სახემელეთო და საჰაერო ტრანსპორტი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:
სრული პროფესორი თეიმურაზ კოჩაძე

ქუთაისი 2010

შესავალი.....	5
1 . ავტომობილის გრუნტზე გამავლობისა და გრუნტების შემჭიდროების დინამიკური მეთოდების ირგვლივ შესრულებულ კვლევათა მოკლე მიმოხილვა. კვლევის მიზანი და ამოცანები	9
1 . 1 . სატვირთო ავტომობილების გამავლობის კვლევისადმი მიძღვნილი სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა.....	9
1 . 2 . გრუნტის დინამიკური შემჭიდროების მეთოდების და მისი თეორიული კვლევისადმი მიძღვნილი შრომების მოკლე მიმოხილვა.....	13
1 . 3 . გრუნტის დინამიკური შემჭიდროების ექსპერიმენტული კვლევებისადმი მიძღვნილი შრომების მოკლე მიმოხილვა.....	35
1 . 4 . შესრულებული სამუშაოების კრიტიკული ანალიზი.....	50
1 . 5 . კვლევის მიზანი და ამოცანები.....	51
2 . საავტომობილო თვალის სალტის გრუნტთან ურთიერთქმედების თეორიული კვლევა	52
2 . 1 . საავტომობილო სალტეების დრეკად-მადემპფერებელი მახასიათებლები.....	53
2 . 2 . სალტისა და გრუნტის დეფორმაციის კვლევა თვალის რბილ გრუნტზე გორვის შემთხვევაში.....	66
2 . 3 . ავტომობილის თვალის სალტის წევითი და კინემატიკური თვისებების კვლევა გრუნტიან გზაზე მოძრაობის დროს.....	72
2 . 4 . ავტომობილის თვალის სალტის გორვის ენერგეტიკული დანახარჯების კვლევა გრუნტიან გზაზე მოძრაობის დროს.....	87
2 . 5 . მოკლე დასკვნები მე-2 თავის მიხედვით.....	95

3 . ავტომობილის, როგორ ვიბრაციულ-დარტყმითი შემამჭიდროებლის ურეთრქმედების კლევა გზის გრუნტთან.....	96
3 . 1 . შესამჭიდროებელი გრუნტიანი ფუძის საანგარიშო მოდელის შერჩევა.....	96
3 . 2 . სისტემის ”გრუნტი-შემამჭიდროებელი-ფუძე” საანგარიშო სქემა.....	109
3 . 3 . გრუნტის შემამჭიდროებლის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ამოხსნის სტრუქტურული სქემა.....	116
3 . 4 . სისტემის ”გრუნტი-შემამჭიდროებელი-ფუძე” დინამიკის კვლევა.....	121
3 . 5 . მოკლე დასკვნები მე-3 თავის მიხედვით.....	139
4 . ავტომობილის გამავლობის შესაფასებლად ტიპური ნიადაგ-გრუნტების ტენიანობის კლევა.....	
4 . 1 . გრუნტების ტიპიზაციის მეთოდის ტენიანობის სტატისტიკური განაწილების პარამეტრების მიხედვით.....	
4 . 2 . ნიადაგ-გრუნტების ტენიანობის განაწილებისა და საანგარიშო მდგომარეობის კვლევა ჩაფლობის სიღრმის მიხედვით.....	
4 . 3 . გრუნტების ტენიანობის განსაზღვრა ადგილმდებარეობის გადაკვეთის ადგილებში	
4 . 4 . გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევის მეთოდის	
4 . 5 . შეკრული გრუნტების ფიზიკურ და მექანიკურ თვისებებს შორის ურთიერთკავშირის განსაზღვრა	

- 4 . 6 . თიხნაროვანი გრუნტების ფიზიურ-მექანიკური თვისებების
მაჩვენებლები დეფორმირებული შრის სხვადასხვა სიღრმეზე....

- 5 . 4x4 ტიპის სატვირთო ავტომობილის გამავლობის საანგარიშო-
ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები
- 5 . 1 . 4x4 ტიპის სატვირთო ავტომობილის გრუნტზე გამავლობის
კვლევა.....
- 5 . 2 . 4x4 ტიპის სატვირთო ავტომობილის თვალის გრუნტზე პირველი
გავლის დროს გამავლობის ანგარიშის მეთოდი.....
- 5 . 3 . გამავლობის ანგარიშის მეთოდი მეორე ხიდის თვლების გავლისას
პირველი თვლების ნაკვალევში.....
- 5 . 4 . გრუნტიან გზებზე ავტომობილის გამავლობის ამალეებისათვის
მაძრავის რაციონალური ზომების შერჩევის მეთოდიკა.....

შესავალი

თემის აქტუალობა. ევროპა-აზიის სატრანსპორტო ქსელში ჩართვით, მეურნეობრიობის მრავალფეროვნებითა და საბაზრო ურთიერთობაზე გადასვლით საქართველოში სტიმულირება უნდა მიეცეს მწარმოებლობის ამალგების ახალი მიმართულებების მოძებნას საავტომობილო ტრანსპორტში. ერთ-ერთი ძირითადი გზა ამ მიზნის მისაღწევად არის ავტოსატრანსპორტო საშუალებების (ასს) გამოყენების ეფექტურობის ამაღლება. საავტომობილო გადაზიდვების სრულყოფისა და მათი თვითღირებულების შესამცირებლად საჭიროა საფუძვლიანად შეირჩეს ავტომობილის ტიპი და კონსტრუქციული პარამეტრები, მათი ექსპლუატაციის საგზაო კლიმატური პირობების გათვალისწინებით. აქედან გამომდინარე აქტუალურია ავტომობილების საგზაო პირობების და გამავლობის მოსალოდნელი მახასიათებლების შეფასების საანგარიშო და ექსპერიმენტული მეთოდების შემდგომი დამუშავება, რომელიც ნაკლებადაა შესწავლილი საქართველოს გრუნტოვან გზებზე მოძრაობის დროს.

ავტომობილების კონსტრუქციული პარამეტრების რაციონალურად შერჩევა შერეულ საგზაო პირობებში მოძრაობისათვის და ამ საგზაო პირობებში მისი მოძრაობის სიჩქარის თეორიული დადგენა დღეისათვისაც წარმოადგენს აქტუალურ პრობლემას. ავტომობილის გამავლობის გაუმჯობესება გრუნტოვან გზებზე მოძრაობის პირობებში, განსაკუთრებით 4×4 ტიპის ავტომობილებისათვის, არის არასაკმარისად შესწავლილი და ამიტომ თემა ”ავტომობილის გამავლობის დიაგნოსტიკა გრუნტის დრეკად-მადემფირებელი მახასიათებლების შერჩევის გზით” თანამედროვე პირობებში წარმოადგენს მეტად აქტუალურს.

კვლევის საგანი და პრობლემატიკა. კვლევის საგანია 4×4 ტიპის ავტომობილის გამავლობის მახასიათებლები, საქართველოს რეგიონების სპეციფიკურ გრუნტიან გზებზე მოძრაობისას, ხოლო პრობლემატიკა გამავლობის გაზრდა გრუნტის დრეკად-მადემფირებელი მახასიათებლებისა და ავტომობილის მასის რხევითი პარამეტრების ცვლილების კანონზომიერებების გათვალისწინებით.

კვლევის მიზანი და ამოცანები. საავტომობილო თვალის სალტის გრუნტთან ურთიერთქმედების თეორიული კვლევა;

- ავტომობილის, როგორც ვიბრაციულ-დარტყმითი შემამჭიდროებლის ურთიერთქმედების კვლევა გზის გრუნტიან ფუძესთან;
- ავტომობილის გამავლობის შესაფასებლად ტიპური ნიადაგ-გრუნტების ტენიანობის კვლევა;
- ავტომობილის გამავლობის დიაგნოსტიკა გრუნტის დრეკად-მადემპფირებელი მახასიათებლების შერჩევის გზით.

კვლევის მეთოდები. დასმული ამოცანები გადაწყვეტილი იქნა ავტომობილების კონსტრუქციის, ავტომობილების თეორიის, ავტომობილების კონსტრუირებისა და ანგარიშის, სტატისტიკური დინამიკის, დინამიკური სისტემების საიმედოობის, ავტომობილების გამოცდის და ექსპერიმენტების დაგეგმვის მეთოდების გამოყენებით.

კვლევის ობიექტია 4×4 ტიპის სატვირთო ავტომობილი

მეცნიერული სიახლე:

- ჩატარებულია საავტომობილო თვალის სალტის გრუნტთან ურთიერთქმედების თეორიული კვლევა;
- შერჩეული იქნა შესამჭიდროებელი გრუნტიანი ფუძის საანგარიშო მოდელი;
- ავტომობილის გამავლობის შესაფასებლად ჩატარებული იქნა ტიპური ნიადაგ-გრუნტების ტენიანობის კვლევა;
- შერჩეული იქნა 4×4 ტიპის სატვირთო ავტომობილის თვალის გრუნტზე პირველი გავლის დროს გამავლობის ანგარიშის მეთოდი;
- გამოკვლეული იქნა პირველი ხიდის თვლების ნაკვალევში მეორე ხიდის თვლების გავლისას გამავლობის ანგარიშის მეთოდი;
- დამუშავდა იქნა ავტომობილის დასაშვები მაქსიმალური სიჩქარის განსაზღვრის მეთოდიკა გრუნტიან გზაზე მოძრაობის დროს.

საუშაოს პრაქტიკული ღირებულება მდგომარეობს რთული დინამიკური სისტემისადმი „ავტომობილი-გრუნტიანი გზა“ სისტემური მიდგომის საფუძველზე 4×4 ტიპის სატვირთო ავტომობილის გამავლობის დიაგნოსტიკის მეთოდიკის ჩამოყალიბებაში, გრუნტის დრეკად-მადემპფირებელი მახასიათებლების გათვალისწინებით.

დაცვაზე გამოტანილი დებულებები:

- სალტისა და გრუნტს დეფორმაციის კვლევა თვალის რბილ გრუნტზე გორვის შემთხვევაში;
- ავტომობილის თვალის სალტის წევითი და კინემატიკური თვისებები გრუნტიან გზაზე მოძრაობის დროს;
- სისტემის "გრუნტი-შემამჭიდროებელი-ფუძე" საანგარიშო სქემა;
- თიხოვანი გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მაჩვენებლები დეფორმირებული შრის სხვადასხვა სიღრმეზე;
- ავტომობილის გრუნტზე მოძრაობის განტოლებები.

სამეცნიერო შედეგების საიმედოობა და დასაბუთება: მიღებული შედეგების საიმედოობა და დასაბუთება უზრუნველყოფილია თანამედროვე კვლევის მეთოდების გამოყენებით, თეორიული შედეგების ექსპერიმენტული შემოწმებით, ექსპერიმენტისა და თეორიული შედეგების იდენტურობით. ექსპერიმენტული და თეორიული შედეგების სხვაობა თავსდება სანდოობის ინტერვალში და იგი არ სცილდება დასაშვებ ცდომილების ფარგლებს.

სამუშაოს შედეგების რეალიზაცია. წარმოდგენილი სამუშაოს შედეგები გამოყენებული იქნება გრუნტიან გზებზე მაღალი გამავლობის 4x4 ტიპის ავტომობილებით გადაზიდვების შემსრულებელი ისეთი სატრანსპორტო ფირმების მიერ, რომელთა ეფექტური საქმიანობა დიდად არის დამოკიდებული სატრანსპორტო საშუალებების მაღალი გამავლობის უზრუნველფასთან გრუნტიან გზაზე, ტვირთზიდვის პროცესში. სამუშაოს ცალკეული თავის შედეგები დანერგილია აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის "ტრანსპორტის" დეპარტამენტში, შესაბამისი სპეციალობის სტუდენტებისათვის სასწავლო-მეთოდური სამუშაოების სახით.

სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის ძირითადი დებულებები მოხსენებული იქნა აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ტრანსპორტის დეპარტამენტის მეთოდურ სემინარზე; ბათუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის.....?.

პუბლიკაცია. დისერტაციის თემის ირგვლივ გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო სტატია და საქ.პატენტიდან მიღებულია დადებითი გადაწყვეტილება გამოგონებაზე.

სტრუქტურა და სამუშაოს მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლისაგან, ხუთი თავისაგან, ძირითადი დასკვნებისაგან, გამოყენებული ლიტერატურის ... დასახელებისაგან, დანართისაგან. სამუშაო წარმოდგენილია მთლიანად ... გვერდზე, შედგება... ნახაზისაგან და ... ცხრილისაგან.

1. ავტომობილის გრუნტზე გამავლობისა და გრუნტების შემჭდროების დინამიკური მეთოდების ირგვლივ შესრულებულ კვლევათა მოკლე მიმოილვა. კვლევის მიზანი და ამოცანები

1.1. სატვირთო ავტომობილების გამავლობის კვლევისადმი მიძღვნილი სამუშაოების მოკლე მიმოილვა

ავტომობილის გამავლობის კვლევა მრავალმხრივადაა გაშუქებული მრავალ ლიტერატურულ წყაროებში [4,10,16,63,91,152,153].

სხვადასხვა ტიპის სატვირთო ავტომობილების გამავლობის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები დაკავშირებულია ავტორების ე.ა.ჩუდაკოვის, გ.ვ.ზიმელევის, ე.ფ.ბაბკოვის, ნ.ა.ბუხარინის, ნ.ა.ულიანოვას, გ.ბ.ბეზბოროდოვას, ია.აგეიკინის, ვ.მ.სემიონოვის, ვ.ი.კნოროზის, ი.ვ. პირკოვსკის, ს.ა.შუკლინის, მ.ბეკერის, დ.ჰარისონის, ს.მოსის, ი.ტომსონის, ვ.ფირსის და სხვათა სახელებთან.

გაზრდილი და მაღალი გამავლობის ავტომობილების შექმნაში მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანეს რუსმა კონსტრუქტორებმა ნ.ა.ასტროვმა, ვ.ა.გრაჩევმა, ა.მ.კრიგერმა, ა.ა. ლიპგარტმა, ა.ლ.მალიშევმა, რ.ა.როზევმა, ა.ა.რომანჩენკომ, ა.ნ.ტიტკოვმა, ბ.ლ.შაპოშნიკოვმა და სხვებმა, რაც ასახულია მათ მიერ გამოქვეყნებულ მრავალ ნაშრომში [16,70,111].

ავტომობილების გამავლობის ამდლების პრობლემის გადაწყვეტასთან დაკავშირებული საკითხების შესწავლა მრავალი წლის განმავლობაში აქტიურად მიმდინარეობდა НАМИ-ში (მოსკოვის ავტომობილებისა და ძრავების საკვლევო ინსტიტუტი), აგრეთვე მრავალ ტექნიკურ უმაღლეს სასწავლო ინსტიტუტებში.

კვლევების განვითარების ისტორიაში თვით ტერმინმა "ავტომობილის გამავლობა" განიცდიდა ტრანსფორმირება, კერძოდ თუ, გაზრდილი გამავლობის ავტომობილის შექმნამდე, უგზოობის პირობებში ავტომობილის მოძრაობას აფასებდნენ პრინციპით "გავა-ვერ გავა" [25,123], გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან განსაკუთრებული მნიშვნელობა მიენიჭა გამავლობის შეფასებას, შესაძლო საშუალო სიჩქარისა და მოსალოდნელი მწარმოებლურობის მიხედვით

[10,16,17,28,68]. ამ პრინციპით დადგენილი ავტომობილის გამავლობის შეფასების კომპლექსური მაჩვენებლების კვლევის შედეგებმა, ასახვა ჰპოვა შესაბამის ნორმატიულ დოკუმენტებში [108,120]. ბოლო წლებში ყურადღება ექცევა მაღალი გამავლობის ავტომობილების უგზოობის პირობებში გამოყენების ეფექტურობას [4,25,37,107]. გარკვეული განვითარება ჰპოვეს ავტომობილების გამავლობის პროგნოზირების მეთოდებმაც [10,18,19,152,162,], რაც მიიღწევა გამავლობის საგზაო და თეორიული კვლევის შედეგების შესაბამისობის უფრო მაღალი ხარისხით [1,4,22,94,118,152,159].

მნიშვნელოვნად დახვეწილია ცუდი გამავლობის პირობების კლასიფიკაციის მეთოდები, საყრდენი ზედაპირების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების შეფასებები, პროცესების მოდელირება, მათი ურთიერთქმედება საყრდენ ზედაპირებთან. შემუშავებულია გზის ორიგინალური ალბათური მოდელები მიკრორელიეფის უსწორმასწორობის გეომეტრიული ელემენტების აღწერისათვის [19].

მაგრამ, ავტომობილის გამავლობის პრობლემების გადაწყვეტისათვის მნიშვნელოვანი ყურადღების მიუხედავად, ის რჩებოდა არასაკმარისი საგზაო პირობებში მომუშავე მასიური წარმოების არასრულამძრავიანი ავტომობილების ოპტიმალური კონსტრუქციული პარამეტრების შერჩევისათვის, რომელთა ძირითად თავისებურებას წარმოადგენს ხარისხითა და მდგომარეობით განსხვავებული გზის ზედაპირებზე მოძრაობა.

ავტომობილების კონსტრუქციული პარამეტრების ოპტიმალურად შერჩევის პრობლემა შერეულ საგზაო პირობებში მუშაობისათვის გაშუქებულია დ.ნ.ველიკანოვის [28] შრომებში. მათში აღინიშნება, რომ ავტომობილის გამოყენების ეფექტურობის ამაღლების ყველაზე პერსპექტიულ მიმართულებას შერეულ საგზაო პირობებში წარმოადგენს მასიური 4x2 ტიპის, არასრულამძრავიანი ავტომობილების გამავლობის ზრდა გრუნტოვანი ზედაპირების მიხედვით, რადგან მაღალი და განსაკუთრებით მაღალი გამავლობის ავტომობილები გამოიყენება სპეციალური მიზნებისათვის და რთულ პირობებში გადაზიდვებისათვის. არასრულამძრავიანი ავტომობილების გამავლობის ზრდის ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს

ავტომობილის შესაბამისი კონსტრუქციული პარამეტრების შერჩევა, განსაკუთრებით კი მისი მამრავისა, ამიტომაც მრავალი მკვლევარების ძალისხმევა მიმართული იყო სალტეების ახალი ტიპების შექმნასა და გამოცდაზე [63,65,66,67].

40-იან წლებში გავრცელება ჰპოვეს სალტეებმა გაზრდილი გამავლობის პროტექტორის ნახატით, შემდეგ შეიქმნა ფართოპროფილიანი და თაღოვანი სალტეების გამოყენების აუცილებლობა ავტომობილის შერეულ საგზაო პირობებში მუშაობისას.

არასრულამძრავიანი ავტომობილების გამავლობის გაზრდა სპეციალური მამრავების გამოყენებით სრიალა გრუნტოვან და გზის უსწორმასწორო ადგილებში ამდლებენ მოცურების წინააღმდეგობას [70,123].

რიგი შრომები მიემდგნა არასრულამძრავიანი ავტომობილების ტრანსმისიის პარამეტრებისა და [4,37] დიფერენციალური მექანიზმების [84] გამავლობაზე გავლენის კვლევებს.

ადრე ჩატარებული კვლევებისა და საკონსტრუქტორო სამუშაოების შედეგად ამ დროისათვის რამდენადმე გაუმჯობესებულია არასრულ ამძრავიანი ავტომობილების გამავლობის მაჩვენებლები დეფორმირებულ გრუნტზე, რომელიც განლაგებულია მკვრივ, მაგარ ფუძეზე. ეს იძლევა სატრანსპორტო საშუალებათა გამოყენების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შემდგომი გაუმჯობესების საშუალებას, პირველ რიგში ავტომობილების მწარმოებლურობის ზრდას. მოცემული მიმართულებით აქტუალურია ავტომობილის გამავლობის მაჩვენებლების შეფასებისა და პროგნოზირების მეთოდების სრულყოფის ამოცანები.

ცნობილია, რომ სოფლის პირობებში ტვირთების გადაზიდვისას გვხვდება სხვადასხვა სახის გრუნტოვანი გზები, მაგალითად, სასოფლო-სამეურნეო მიწებების და ტყის მასივების გავლისას, სამშენებლო ობიექტებთან მისვლისას და მყარი საფარის მქონე გზებზე გავლისას. ამ მონაკვეთების სიგრძეს მარშრუტის საერთო სიგრძესთან შედარებით ექნება განსხვავებული ზემოქმედება სატვირთო ავტომობილის მწარმოებლურობაზე. ამ საკითხის შესწავლა შეიძლება ჩაითვალოს განსაკუთრებით აქტუალურად, თუ გავითვალისწინებთ 4x2 ტიპის სატვირთო ავტომობილების მნიშვნელობას სოფლის პირობებში გადაზიდვების

მომსახურებისათვის. არასრულ-ამძრავიანი ავტომობილების გამავლობისა და მწარმოებლურობის ზრდამ, თუნდაც მცირე სიდიდით, შეიძლება უზრუნველყოს არსებითი ეკონომიკური ეფექტი. მაგრამ ამ მიზნით აუცილებელია საანგარიშო მეთოდების შემუშავება კონკრეტული ტერიტორიული რაიონების და გრუნტოვანი ზედაპირების მქონე გზების განსაზღვრისათვის, რომლებზეც რაციონალურად იქნება გამოყენებული არასრულამძრავიანი ავტომობილების არსებული და პერსპექტიული მოდელები. ამასთან, შეიძლება გამოყოფილი იქნას ისეთი რაიონები და გრუნტოვანი პირობები, რომლებშიც მათი გამოყენება ფასდება გამავლობის დაბალი მაჩვენებლით, ხოლო მწარმოებლურობა მცირდება ეკონომიკურად გაუმართლებელ რიცხვით სიდიდეებამდე.

საკითხის მდგომარეობის ანალიზი გვიჩვენებს შემდგომი კვლევების აქტუალურობას, რომელიც მიმართულია 4x2 ტიპის ავტომობილის გრუნტოვან ზედაპირებზე გამავლობის მაჩვენებლების განსაზღვრის საანგარიშო მეთოდების შექმნისაკენ, რაც საშუალებას იძლევა უფრო საფუძლიანად შეფასდეს ავტომობილის არჩეული კონსტრუქციული პარამეტრების შესაბამისობა მისი გამოყენების კონკრეტულ პირობებთან, მოცემულ რაიონში გადაზიდვებისას.

1.2. გრუნტის დინამიკური შემჭიდროების მეთოდების და მისი თეორიული კვლევისადმი მიძღვნილი შრომების მოკლე მიმოხილვა

ტკეპნის პროცესის კვლევისას, რომელიც ჩვეულებრივ ხორციელდება ვარდნადი ტვირთებით (ტვიფრებით), ძირითადი ყურადღება ექცევა ფუძის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზს, დარტყმისას ნარჩენი დეფორმაციების განაწილებას, შესამჭიდროებელ მასივში მიმდინარე ტალღურ მოვლენებს. ამ მიმართულების ნაშრომებმა შეადგინა დინამიკური პლასტიკურობის თეორიის ერთ-ერთი განყოფილება, რომელმაც განვითარება მიიღო ხ.რახმატულინის ცნობილი ნაშრომის გამოჩენის მომენტიდან [115].

არსებული კვლევის მეთოდების შესაბამისად თავდაპირველად განვიხილოთ პიკრელი მიმართულების ნაშრომები. ხ.რახმატულინის და გ.შაპიროს [115,149]

ნაშრომებში პირველად იყო გადაწყვეტილი ღეროებში გრძივი დარტყმისას დრეკად-პლასტიკური ტალღების გავრცელებასთან დაკავშირებული ამოცანები. ღეროების მასალა შეირჩეობა დრეკად-პლასტიკური გარემოს სახით, დატვირთვის დიაგრამით, რომელიც შედგება დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციების უბნებიდან. ეს ნაშრომები საფუძვლად დაედო შემდგომ მრავალრიცხოვან კვლევებს, მათ შორის იმათაც, რომლებიც უშუალოდ გრუნტების დარტყმით შემჭიდროების პროცესს ეხებოდა.

ხ.რახმატულინის მიერ განვითარებულ თეორიაზე დაყრდნობით, ბ.დიდუხმა [46] განიხილა ამოცანა გრუნტების შემჭიდროების შესახებ, გრუნტის სქემატიზაციით დრეკად-პლასტიკური მასალის ნახევრადუსასრულო სვეტის სახით, დატვირთვის ბიწრფივი მახასიათებლით. გამოსახულებები ძაბვებისა და დეფორმაციებისათვის დროის ნებისმიერ მომენტში მიღებულია ავტორის მიერ ნახევრადუსასრულო მწკრივების სახით, რაც გარკვეულ სირთულეებს ქმნის შედეგების პრაქტიკული გამოყენებისათვის.

ს. გრიგორიანმა განიხილა ამოცანა გრუნტის დარტყმით შემჭიდროების შესახებ [41].

ანალოგიური ამოცანა განიხილა ლ.სტავნიცერმა [129], მაგრამ ამ გამოკვლევაში დაშვება დეფორმაციების მუდმივობის შესახებ დარტყმითი ტალღის უკან განტვირთვის არეში, გამორიცხულია. საწყისი წინა პირობა არის სიღრმეზე ძაბვების განაწილების შესახებ ნახევრადუსასრულო მწკრივის სახით წარმოდგენა, რომლის კოეფიციენტის აპროქსიმირება ხდება მიახლოებითი ხარისხობრივი დამოკიდებულებით. ნაშრომში მოყვანილია ექსპერიმენტული შემოწმების შედეგები, რომლებიც მიუთითებს კარგ თანხვედრაზე საანგარიშო მონაცემებთან.

იგივე ავტორის მიერ განვითარებული იქნა ახალი მიდგომა გრუნტების დარტყმითი შემჭიდროების პროცესის კვლევისადმი [130,131]. გრუნტის საწყისი დეფორმაციული მოდელი შერჩეულია ბლანტ-დრეკად-პლასტიკური გარემოს სახით.

ამოცანა გადაწყვეტილია განაწილებულ მახასიათებლებიანი საწყისი საანგარიშო მოდელიდან, ექვივალენტურ ორმასიან სისტემაზე გადასვლის

მეშვეობით, იმ ვარაუდით, რომ საწყისი და ექვივალენტური სისტემის რხევათა ორი პირველი სიხშირე ტოლია. ამოხსნის შედეგად მიღებულია ფორმულა საძიებელი ფუნქციის ε_m განსაზღვრისათვის $2n$ ხარისხის პოლინომის სახით. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ამ ნაშრომში ყველაზე სრულადაა ასახული გრუნტის მნიშვნელოვანი თავისებურებანი.

რიგი ამოცანებისა, რომლებიც დაკავშირებულია სხვადასხვა სახის "მაზვადეფორმაცია" დიაგრამებთან ღეროებში დერკად-პლასტიკური დეფორმაციების გავრცელების კანონზომიერებათა განსაზღვრასთან, გადაწყვეტილია ნ.ლებედვის [80], ვ.სოკოლოვსკის [129], ი.ზვერევის [52], ს.ლიუბიმოვის [82], ვ.კუკუჯანოვის [77] და სხვა ავტორების ნაშრომებში.

მაგრამ ამ კვლევათა შედეგების პირდაპირი გამოყენება გრუნტების შემჭიდროების დინამიკური მეთოდების თეორიაში გართულებულია იმით, რომ ამ ნამუშევართა უმრავლესობაში განიხილება მხოლოდ ღეროების დატვირთვის პროცესები, ე.ი. დინამიკური პლასტიკურობის თეორიის ერთგანზომილებიანი შემთხვევა.

ნებისმიერი ფორმის შტამპის ქვეშ მყოფ სამღერძიან მასივში (ნახევარსივრცეში) დერკად-პლასტიკური დეფორმაციების განაწილების შესახებ ამოცანის ზუსტი გადაწყვეტა ლიტერატურაში არ მოიპოვება, ისევე როგორც იმ ცდომილებათა ანალიზიც, რომლებიც განპირობებულია გრუნტული ნახევარსივრცის ღეროთი შეცვლით. ცნობილია მხოლოდ ზოგიერთი ამოცანის ამონახსნები, რომლებშიც ნახევარსივრცე განიხილება როგორც იდეალურად დერკადი გარემო. ნახევარსივრცის ვიბრაციული დატვირთვის შემთხვევები განხილული იყო, ო.შეხტერის [147], ნ.ბოროდაჩევის [26] ნაშრომებში. შტამპის ნახევარსივრცესთან დარტყმითი ურთიერთქმედება შესწავლილი იქნა ვ.ილიჩევის [59], ნ.ბოროდაჩევის [27], მ.ახმედოვის, ვ.რასკაზოვსკის [6] და სხვათა ნაშრომებში.

სამუშაოთა სხვა ჯგუფი ხასიათდება იმით, რომ გრუნტის ფენა, რომელთანაც ხდება შემამჭიდროებელი მოწყობილობის "შმო"-ს ურთიერთქმედება დარტყმისას, შეიცვლება იდეალიზირებული საანგარიშო მოდელით გადაადგილებათა შემზღუდველის სახით. დ.ბარკანისა და ო.შეხტერის [12] ნაშრომში შესრულებულია

შტამპის მოძრაობის კვლევა, რომელიც ურთიერთქმედებს დრეკად-ბლანტ-პლასტიკურ შემზღუდველებთან. გრუნტის ინერციული თვისებები ამ დროს არ გაითვალისწინებოდა.

გადაადგილებების ბლანტ-დრეკადი უინერციო შემზღუდველთან ურთიერთმოქმედი შტამპის მოძრაობის დინამიკის ანალიზი შესრულებულია ლ.ლეონავიჩუსის და ვ.რაგულსკენეს მიერ [79]. გამოიყენებოდა გადაადგილებების შემზღუდველის მოდელი, რომელიც შედგებოდა თანმიმდევრულად შეერთებული დრეკადი და ბლანტი ელემენტებისაგან ისე, რომ ადგილი ჰქონდა შემზღუდველის შეუქცევად დეფორმაციას. ნაშრომი საინტერესოა იმით, რომ მასში გაკეთებულია დრეკადი და შეუქცევადი დეფორმაციის სიდიდის მიხედვით დარტყმის პროცესის ოპტიმიზაციის მცდელობა.

დარტყმისას მოძრაობაში მოყვანილი გრუნტის ინერციულობის გათვალისწინებით დარტყმითი შემჭიდროების დინამიკის კვლევა შესრულებულია ბ.ბელოსტოცკის [14] ნაშრომში. სისტემის "შტამპი-გრუნტის" საანგარიშო მოდელით.

გრუნტის ფუძის უფრო რთული მოდელი განიხილება ბ.ფილიპოვმა [138]. შტამპი ურთიერთქმედებს გადაადგილებების შემზღუდველთან, რომელიც შედგება ბლანტი ხახუნის დემპფერისა და დრეკადი ელემენტისაგან მიერთებული გრუნტის მასასთან, ნარჩენი დეფორმაციების გასათვალისწინებლად სქემაში ჩართულია უინერციო მომენტი.

ვიბრაციული შმო-ს მეშვეობით გრუნტების ზედაპირული შემჭიდროების თეორია დამუშავებულია დ.ბარკანისა და ო.შეხტერის [12] მიერ. ავტორების მიერ განხილული საანგარიშო სქემა წარმოდგენილია ვიბრატორით რომელიც ურთიერთქმედებს დრეკად-ბლანტ-პლასტიკურ გარემოსთან.

მუშტა როტორული ვიბრაციული საგორავების მოძრაობის დინამიკას იკვლევდნენ ა.კობზევი და კ.სევროვი [64]. საანგარიშო სქემაში, ერთ შემთხვევაში განიხილებოდა ზედა მასაზე იძულებითი ძალის მოდების ვარიანტი, მეორეში კი – ქვედაზე. კვლევისას ითვლებოდა შმო-ს გრუნტის ზედაპირიდან მოუწყვეტილ მოძრაობა, ფუძეში პლასტიკური დეფორმაციების არარსებობა და გრუნტის ფენის მოდელირების შესაძლებლობა C_2, K დრეკად-ბლანტი შემზღუდველის საშუალებით.

ორივე ვარიანტისათვის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებების სისტემის ამოხსნის შედეგად ავტორების მიერ კეთდება დასკვნა რეზონანსულ რეჟიმში მუშაობის აუცილებლობაზე, გამოყვანილია ფორმულები, რომლებიც იძლევიან შმო-ს რეზონანსული რეხვების შესანარჩუნებლად საჭირო სრული სიმძლავრის განსაზღვრის საშუალებას. ასევე შესრულებულია მუშტას პროფილის ოპტიმალური ფორმის განსაზღვრის კვლევა, რომელიც უზრუნველყოფს გრუნტის განსოლვის კომპლექსურ ეფექტს მასში მუშტას შეღწევისას.

რიგი ნაშრომებისა მიძღვნილია პნევმოთვლიანი შმო-ს ვიბროსაგორავების დინამიკის კვლევას [47,136,140]. ასეთი ვიბროსაგორავი საანგარიშო სქემის ბლანტი ხახუნის მქონე წრფივი ოსცილატორის სახით კვლევისას, ა.დუბროვინი აკეთებს დასკვნას რეზონანსულ რეჟიმში მუშაობის მიზანშეწონილობაზე [47]. გამოყვანილია ფორმულა სიმძლავრის განსაზღვრისათვის, რომელიც აუცილებელია რეხვების შესანარჩუნებლად.

ლ.ჩერკასოვის, ი.ალბერტის ნაშრომში [145] ნაჩვენებია, რომ რეზონანსულ რეჟიმში მუშაობა მიზანშეწონილია მხოლოდ სალტების სიხისტის შედარებით მაღალი მნიშვნელობებისას, ან საწინააღმდეგო შემთხვევაში, შემჭიდროებულ გრუნტზე განმეორებითი დინამიკური ზემოქმედებების რიცხვი არასაკმარისი ხდება და შემამჭიდროებელი მანქანის მუშაობის ეფექტურობა მცირდება.

ანოვოჟილოვის [97], ა.ბალკარევის [9] მიერ დამუშავებულია თვითგადანაცვლებადი ვიბროშემამჭიდროებლების თეორია. ამ ნაშრომებში არ ხდება ფუძესთან ურთიერთქმედების პროცესის გაანალიზება, განიხილება მხოლოდ ვიბროფილების მოძრაობის დინამიკა როგორც ვიბროამგზნების გაუწონასწორებელი ძალის მოქმედების შედეგი.

ჩვენი თვალსაზრისით, დინამიკური შემჭიდროების თეორიის ყველაზე რთულ განყოფილებას წარმოადგენს დარტყმითი – ვიბრაციული მეთოდის კვლევა. ეს განპირობებულია რამდენიმე მიზეზით და, უპირველეს ყოვლისა იმით, რომ აღნიშნული სისტემები, რომლებიც შეიცავენ თავის შემადგენლობაში დარტყმით – ვიბრაციულ შმო-ს, წარმოადგენენ არსებითად არაწრფივ მრავალპარამეტრულ ობიექტებს. გარდა ამისა, მნიშვნელოვანი სიძნელეები იქმნება გრუნტის მასივის

მოდელის შერჩევას, რაც, როგორც ზემოაღნიშნულიდან ჩანს, საკმაოდ რთულ ამოცანას წარმოადგენს.

პირველად დარტყმითი – ვიბრაციული სისტემის დინამიკა გამოიკვლიეს ი.რუსაკოვმა და ა.ხარკევიჩმა [119]. საანგარიშო სქემა მოყვანილია ნახ.1.8-ზე. C ზამბარაზე დამაგრებული m მასის მქონე ვიბრატორი ასრულებს პერიოდულ მოძრაობას, რომელსაც თან ახლავს დარტყმები აბსოლუტურად ხისტ შემზღუდველებზე $P\sin\omega t$ იძულებითი ჰარმონიული ძალის მოქმედების შედეგად. ითვლება, რომ შეჯახების დრო უსასრულოდ მცირეა, ხოლო ურთიერთქმედება დარტყმისას ემორჩილება ნიუტონის ჰიპოთეზას (დარტყმა ხასიათდება სიჩქარის აღდგენის კოეფიციენტით R).

გამოკვლეულია 1-ის ჯარადი რეჟიმები ($i=1$), ე.ი. რეჟიმები, რომლებიც ხასიათდება იმით, რომ იძულებითი ძალის ცვლილებების პერიოდის განმავლობაში შემზღუდველზე დარტყმათა რიცხვი ერთის ტოლია.

რხევათა ორ მომიჯნავე ამოხსნათა შერწყმის პირობებმა მისცეს ავტორებს პერიოდული რეჟიმების არის აგების საშუალება. ნაშრომში აღნიშნულია, რომ განსახილველი დარტყმითი-ვიბრაციული სისტემა პერიოდულ რეჟიმში მუშაობისათვის მოითხოვს გარკვეულ აწყობას, რომელიც შეიძლება გახდეს რეალიზებადი შესაბამისი პარამეტრების შერჩევით.

ეს ნაშრომი გახდა დარტყმითი-ვიბრაციული სისტემების ღრმა კვლევის საწყისი. [15] ნაშრომში ჩატარებულია ნაპოვნი პერიოდული რეჟიმების მდგრადობის ანალიზი. კვლევები, რომელთა შედეგად იქნა მიღებული რუსაკოვი – ხარკევიჩის მოდელის ამპლიტუდურ-სიხშირული და დარტყმითი-სიხშირული მახასიათებლები, შესრულებულია [7,76] ნაშრომებში. თავისუფალი რხევები შესწავლილია ა.კობრინსკის ნაშრომში [69]. კინემატიკური აგზნების შემთხვევა აღწერილია მ.ლივშიცის ნაშრომში [81]. რეჟიმის ჯერადობით მოძრაობის უფრო ზოგადი შემთხვევა განხილულია დ.ბარკანის, ო.შეხტერის ნაშრომში [7]. გარდა (1.27) პირობებისა, ამ ნაშრომში შეიყვანება iT -ს ტოლი მუშაობის დროის განმავლობაში შემზღუდველთან კონტაქტის არარსებობის დამატებითი პირობა, სადაც $T=2\pi/\omega$, i - რეჟიმის ჯერადობაა. ნაჩვენებია, რომ მოცემული პირობა არსებით გავლენას ახდენს

სისტემის მოძრაობაზე დარტყმისას სიჩქარის აღდგენის კოეფიციენტის R მცირე მნიშვნელობების დროს. მნიშვნელოვანია კიდევ ისიც, რომ ვიბრატორის მოძრაობის განტოლებაში შეიყვანება შესაკრები, რომელიც ითვალისწინებს უინერციო ტვირთის მომატებას, იძულებითი ძალა კი მოცემულია როგორც გაუწონასწორებელი მასის მოქმედების შედეგი.

ნაშრომში გამოკვლეულია დრეკადი ელემენტის არარსებობის შემთხვევა ($c=0$), აგებულია დარტყმის სიჩქარის იძულებითი ძალის სიხშირეზე დამოკიდებულებათა გრაფიკები, რომლებიც იძლევიან ვიბრატორის ოპტიმალური პარამეტრებისა და ტვირთის მომატების ძალვის შერჩევის შესაძლებლობას, რაც უზრუნველყოფს დარტყმითი სიჩქარის მაქსიმალურ მნიშვნელობას.

რუსაკოვი-ხარკევიჩის მოდელის ძირითადი ელემენტების გამოყენებით ორმასიანი დარტყმითი-ვიბრაციული სისტემის თეორიული კვლევა შეასრულა ი.გოლდინმა [33]. ჩატარებულია ორმასიანი დარტყმითი-ვიბრაციული სისტემების, შემზღუდველზე ზემოქმედების ეფექტურობის თვალსაზრისით, შედარებითი ანალიზი. ნაჩვენებია ორმასიანი ვიბრატორის უპირატესობა ერთმასიანთან შედარებით, მოცემულია ფორმულა სხვადასხვა შეთანწყობის ვარიანტებში დარტყმითი სიჩქარის განსაზღვრისათვის, აგებულია 1-სა და 2-ის ტოლი ჯერადობის რეჟიმების არსებობისა და მდგრადობის არეები.

შეჯახების სასრული დროის გავლენა გათვალისწინებულია ი.აკიშინისა და ნ.ვოშჩინინის ნაშრომში [3]. დაშვებებით:

1. მტკეპნის მოძრაობას თან ახლავს სასრული ხანგრძლივობის გაჩერებები.
2. ახტომის სიდიდე ერთი რიგით აღემატება ფუძის დრეკადი დაჯენის სიდიდეს.
3. შესამჭიდროებელი ფუძე განიხილება როგორც მოძრაობის შემზღუდველი სიჩქარის აღდგენის კოეფიციენტით R და შეჯახების სასრული დროით τ .

[23,48] ნაშრომებში ამოცანა შმო-ს დარტყმითი-ვიბრაციული მოძრაობის შესახებ, შეჯახების დროის გათვალისწინებით, განხილულია წერტილოვანი გარდაქმნების მეთოდის მეშვეობით, რომელმაც დარტყმითი-ვიბრაციული სისტემების თეორიაში ფართო გამოიყენება მიიღო ა.ანდროპოვის, ი.ნეიმარკის, ა.ვტის, ს.ხეიკინსი და სხვათა ნაშრომებში. მათში, კერძოდ, აღინიშნება 1-ის ჯარადი

პერიოდული რეჟიმების არსებობის არეების არსებითი გაფართოება R კოეფიციენტის მცირე მნიშვნელობებისას.

არსებობს ნაშრომები, რომლებშიც გამოიკვლევა დარტყმითი-ვიბრაციული სისტემების სტაბილურობა და დინამიკა ამავე მოდელის ჩარჩოებში, მისი პარამეტრების შემთხვევითი ცვლილების პირობებში [35,88]. მსგავსი ამოცანების გადაწყვეტა ეფუძნება, ასევე, წერტილოვანი ასახვის მეთოდს. კერძოდ, ი.გოლდინმა გამოიკვლია დარტყმითი-ვიბრაციული სატკეპნელას მოძრაობა შემთხვევითად ცვალებადი R კოეფიციენტითა და ღრეჩოთი შმო-სა და გრუნტის ზედაპირს შორის [35]. ნაჩვენებია, რომ 1,2-ის ჯერადი პერიოდული რეჟიმებისათვის შეიძლება ისე შევარჩიოთ აწყობის პარამეტრები, რომ R კოეფიციენტის შემთხვევითი ცვლილებები არ იმოქმედებს დარტყმის ფაზაზე, ღრეჩოს შემთხვევითი ცვლილებები კი – დარტყმით სიჩქარეზე.

ზემოთ განხილული ნაშრომები ხასიათდება ვარაუდით იმის შესახებ, რომ შმო-ს ფუძესთან შეჯახება ან მყისიერა, ან ცნობილია კონტაქტის დრო, ხოლო სიჩქარეები დარტყმამდე და დარტყმის შემდეგ დაკავშირებულია ერთმანეთთან სიჩქარის ალდგენის კოეფიციენტით, რომელიც არ არის დამოკიდებული სისტემის პარამეტრებზე.

მაგრამ საჭიროა მივუთითოთ პარამეტრების გარკვეულ განუსაზღვრელობაზე, რომლებიც ახასიათებს შმო-ს ფუძესთან დარტყმით ურთიერთქმედებას, სიჩქარის ალდგენის კოეფიციენტსა და შეჯახების დროს. გარდა ამისა, გაურკვეველი რჩება საკითხი შმო-ს მოძრაობაზე შესამჭიდროებელი ფენის დამყოლობის გავლენის შესახებ.

აქედან გამომდინარე, ო.სავინოვმა და ს.ოსმაკოვმა [10] ნაშრომში პირველად განიხილეს ამოცანა ვიბრატორის დამყოლ ფუძესთან ურთიერთქმედების შესახებ. ფუძის მოდელირება ხდება C სიხისტის კოეფიციენტის დრეკადი ელემენტით. ზოგად შემთხვევაში ვიბრატორზე სტატიკური დატვირთვა არ არის წონის ტოლი, რაც საშუალებას იძლევა გავითვალისწინოთ, მაგალითად, უინერციო დამატებითი ტვირთის ძალვა. საკვლევი სისტემების მოძრაობა შედგება ორი ეტაპისაგან: ვიბრატორის ვარდნისა და შემზღუდველის დეფორმაციისაგან. ამოცანა

გაწყვეტილია მორგების მეთოდის მეშვეობით პერიოდულობის პირობების გამოყენებით, რომლებიც აკავშირებს ვიბრატორის სიჩქარესა და გადაადგილებებს მოძრაობის სხვადასხვა ეტაპების დროითი ინტერვალების საზღვრებზე. ნაშრომში შესრულებულია ნაპოვნი გადაწყვეტილებების მდგრადობის კვლევა და აგებულია სხვადასხვა ჯერადობის პერიოდული რეჟიმების არსებობის არეები (ნახ.1.10.ბ). იქვე მოყვანილია მიახლოებითი გაანგარიშებების მეთოდიკა (ξ-1) ხისტი შემზღველის შემთხვევისათვის.

შემდგომში მოცემული ნაშრომი საფუძვლად დაედო რიგ კვლევებს, რომლებშიც გათვალისწინებული იყო შესამჭიდროებელ მასივის დამყოლობა [29,30,31,102].

შესამჭიდროებელი მასივის შეუქცევი დეფორმაციები გათვალისწინებული იქნა ს.ოსმაკოვის ნაშრომში [104], რომელმაც განიხილა ამოცანა წმინდა პლასტიკურ შემზღველთან ურთიერთქმედებაში მყოფი ვიბრატორის მოძრაობის შესახებ. სისტემის პარამეტრების ოპტიმალური შეთავსების განსაზღვრის მიზნით, ნაშრომში განიხილება მოძრაობის პერიოდული რეჟიმების ერთობლიობა, რომლებიც უზრუნველყოფს დროის ერთეულში შემზღველის შეუქცევი დეფორმაციის მაქსიმალურ სიდიდეს. აგებულია მოძრაობის სხვადასხვა პერიოდული რეჟიმების არსებობის არეები, გამოყვანილია ფორმულები შემზღველის დაჯდომის განსაზღვრისათვის.

მოდელის კვლევა, რომელშიც შეთავსებულია შესამჭიდროებელი გარემოს დრეკადი და პლასტიკური თვისებები, ჩატარებული იქნა მ.კუმულისა და ა.შლიპხტინის [71] მიერ, საანგარიშო მოდელში გარემოს დრეკადი თვისების მოდელირება ხდება C სიხისტის კოეფიციენტის მქონე წრფივი დრეკადი სხეულით, პლასტიკურის ა-უწონადო საცობით, რომელსაც იკავებს R მშრალი ხახუნის ძალა.

ჩვენს მიერ განსახილველი მიზნებისათვის ინტერესს წარმოადგენს ხიმინჯებისა და ნარანდის ვიბროჩასობისა და ვიბროამოლების პროცესის კვლევა, რომელიც შესრულებული იყო ი.ბლუხმანისა [24] და ი.ნეიმარკის [95] ნაშრომებში. ამ ავტორების მიერ მიღებულ საანგარიშო სქემაში ჩასაფლობი ელემენტი განიცდის გრუნტის გვერდითი წინაღობის რეაქციას, რომლის მოდელირება ხდება მშრალი ხახუნის დემპფერებით, და შუბლურ წინაღობას, რომლის მოდელირება ხდება

გადაადგილებათა დრკედ-პლასტიკური შემზღუდველით. კარგად ჩანს, რომ მრავალი ზემოგანხილულ მოდელთაგან შესაძლებელია მიღებული იქნას ი.ბლებმანი – ი.ნიემარკის მოდელისაგან კერძო შემთხვევის სახით. მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნა იძებნებოდა ჩასაფლობი ელემენტის პერიოდული და წინსვლითი გადაადგილების ჯამის სახით, მოძრაობის საწყისი არაწრფივი დიფერენციალური განტოლების გაწრფივების მეთოდით.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ პრაქტიკული მიზნებისთვის საკმარისი სიზუსტით მოცემული მეთოდი საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ელემენტის გადაადგილების ცვლილების კანონი. სიჩქარეს და მით უმეტეს აჩქარებას, ნაპოვნს მიღებული ამოხსნის დიფერენცირებით, შესაძლებელია ჰქონდეთ არსებითი ცდომილებები. ამასთან, დარტყმით სიჩქარეებისა და აჩქარებების განსაზღვრის შესაძლებლობას აქვს დიდი მნიშვნელობა შმო-ს პარამეტრების გაანგარიშებისას.

აღვნიშნავთ ვ.ვიტიგის [161] ნაშრომს, რომელიც შეისწავლიდა დარტყმითი-ვიბრაციული სატკეპნელას მოძრაობის პროცესს ორმასიანი საანგარიშო სქემის მეშვეობით. გამოკვლევაში გაკეთებულია გრუნტის ინერციული თვისებების გათვალისწინების მცდელობა ფიქსირებულის სიდიდის მიერთებული მასით საანგარიშო სქემაში შეყვანის გზით. გრუნტის დრეკადობა და მადემპფირებელი თვისებების გათვალისწინება ხდებოდა წრფივი დრეკადი და ბლანტი ელემენტებით. მოყვანილია სატკეპნელას ოთხი მიმდევრობითი დარტყმითი იმპულსის გაანგარიშების შედეგები, ამასთან პირველი დარტყმისას ზედაპირი ითლვება არადეფორმირებად. ავტორი აკეთებს დასკვნას ტვირთის მომატების მიზანშეწონილობაზე და შმო-ს წონასა და იძულებითი ძალას შორის რაციონალური თანაფარდობის შერჩევის აუცილებლობაზე.

ვიბროსაგორავის, როგორც მრავალი თავსიუფლების ხარისხის მქონე სისტემის დინამიკა გამოკვლეულია ნაშრომში [133]. ნაშრომში შესრულებულია გაანგარიშებები მცირე პარამეტრის მეთოდით განსაზღვრულია საკვლევი სისტემის სხვადასხვა რეჟიმებზე რხევების საკუთარი სიხშირეები და ფორმები. გაკეთებულია დასკვნა რეზონანსგარეთ ზონაში მუშაობის მიზანშეწონილობაზე, ამასთან ვიბროსაგორავის მუშაობის ეფექტურობის განმსაზღვრელ ფაქტორად ითვლება შმო-ს აჩქარება.

მეთოდოლოგიური თვალსაზრისით ინტერესს წარმოადგენს დარტყმითი-ვიბრაციული სისტემების დინამიკის კვლევები, რომლებიც შესრულდა განზოგადებული დელტა-ფუნქციების თეორიის ელემენტების გამოყენებით ჯ.კემპელის მიერ [162]. დელტა-ფუნქციების ლაპლასის გარდაქმნასთან ერთად გამოყენებამ საშუალება მისცა ავტორს მიეღო ამოხსნა რიგი ამოცანებისათვის, რომლებიც დაკავშირებული იყო დარტყმითი პროცესებთან, კომპაქტური და პრაქტიკული გამოყენებისათვის მოსახერხებელ ფორმაში.

ზემოგანხილული ნაშრომები საშუალებას იძლევა დავასკვნათ, რომ გამოყენებული თეორიული მეთოდები გამოირჩევა საანგარიშო მოდელების და მათი კვლევის ხერხების დიდი მრავალფეროვნებით. მაგრამ მათი პრაქტიკულ გამოყენება ყოველთვის როდია შესაძლებელი შესამჭიდროებელი გრუნტის ფენის საანგარიშო მოდელებსა და რეალურ მახასიათებლებს შორის ცნობილი განსხვავების გამო. ამ განსხვავების დასაძლევად არსებითი მნიშვნელობა აქვს ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების შედარებას, განხილული გრუნტის შემჭიდროების დინამიკური საანგარიშო მეთოდებით ჩატარებული კვლევების შედეგებთან, რომელიც წარმოადგენს ნებისმიერი თეორიული სამუშაოს შეფასების ძირითად კრიტერიუმს.

1.3. გრუნტის დინამიკური შემჭიდროების ექსპერიმენტული კვლევებისადმი მიძღვნილი შრომების მოკლე მიმოხილვა

პირველად გურნტების ზედაპირული შემჭიდროების პროცესის ექსპერიმენტული კვლევები დაკავშირებული იყო ტკეპნის მეთოდების დამუშავებასთან (შემჭიდროება ერთეული დარტყმებით).

ამ მხრივ ფუძემდებელ ნაშრომად შეიძლება ჩაითვალოს ÖÖÖÉ მეცნიერის ა.ლებედევის გამოკვლევები [83], რომელმაც ტკეპნის მეთოდის შესწავლა 1920-იან წლებში დაიწყო. მიუხედავად საჭირო აპარატურის არარსებობისა და საკითხის თითქმის მთლიანი შეუსწავლელობისა (გარდა ამერიკელი ინჟინრის რ.პროექტორის კვლევისა, რომელიც შეეხებოდა გურნტების შემჭიდროების ზოგიერთი კერძო საკითხებს), ა.ლებედევმა უკვე იმ დროს მიუთითა შემჭიდროების პროცესის

ეფექტურობის განმსაზღვრელი ძირითადი ფაქტორების ურთიერთკავშირზე. ასეთ ფაქტორებს მან მიაკუთვნა გრუნტის შემჭიდროების სამუშაო, ტენიანობა, გრანულომეტრული შემადგენლობა და ბმულობის ხარისხის.

ამ ნაშრომებმა მიიღეს განვითარება შემდგომ წლებში, ამასთან კვლევების მიმართულებები სრულიად განსხვავებული იყო.

იმ დროს მკვლევარების წინაშე მდგარ საკითხთა შორის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი იყო დინამიკური ძაბვებისა და დეფორმაციების განაწილების კანონზომიერებების დადგენა, რომლებიც ვითარდება გრუნტულ მასივებში მათი დარტყმითი დატვირთვისას. 30-იან წლებში გრუნტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შესწავლისთვის მიძღვნილი ნაშრომები შესრულებული იყო ვ.ბაბკოვის მიერ [8]. ექსპერიმენტული დაკვირვებების უკვე პირველმა შედეგებმა აჩვენა, რომ დინამიკური ძაბვები ნაწილდება გრუნტის ფენის სიღრმეზე უფრო ნაკლებ თანაბრად, ვიდრე სტატიკური დატვირთვისას. ერთდროულად დადგენილი იქნა მნიშვნელოვანი განსხვავება თეორიული კვლევების შედეგებთან შედარებით, რომლებიც მიღებული იყო წრფივი დერკადობის თეორიის მეთოდებით (ბიუსინესკის ამოცანა).

დინამიკური ძაბვების მიღების გადიდებული სიჩქარე შემდგომში აღინიშნა გ.პოკროვსკისა და ვ.ბულიჩიოვის ნაშრომებში [108].

ნ.ივანოვისა [54] და ხ.ხარხუტის [140] ნაშრომებში მითითებული იყო, რომ ძაბვების განაწილების ხასიათი დამოკიდებულია არა მარტო ბმულობის ხარისხზე, არამედ გრუნტში დაგროვილი პლასტიკური დეფორმაციების დონეზე.

ლ.ბობილიოვმა ჩაატარა გრუნტების დარტყმითი შემჭიდროების გამოკვლევა სპეციალურად დამზადებულ სტენდზე [20,21], რომელიც აღჭურვილი იყო სატკეპნელის გადაადგილების, შესამჭიდროებელი ფენის სიღრმეზე განაწილების დინამიკური ძაბვების, დეფორმაციების (უკუქცევადისა და ნარჩენის) და პროცესის რიგი სხვა მახასიათებლების საზომი და სარეგისტრაციო აპარატურით. ნარჩენი დეფორმაციების განაწილების სურათის შესწავლისას ავტორმა დაადგინა, რომ დარტყმითი დატვირთვის ფაქტიური დრო, რომლის განმავლობაში დინამიკური ძაბვები იზრდება ნულიდან მაქსიმუმამდე, მნიშვნელოვნად უფრო მცირეა, ვიდრე

ამას ადრე ვარუდობდნენ (ათობით); მანვე დაადგინა, რომ გრუნტის უკუქცევადი დეფორმაციების განვითარების დრო (დრეკადი კვლევა) 10-20-ჯერ აღემატება დატვირთვის მოქმედების დროს. პირველად იყო მითითებული, რომ ფენის სიღრმეზე პლასტიკური დეფორმაციების უფრო თანაბარი განაწილების მისაღწევად (ე.ი. ზედაპირთან ძაბვათა კონცენტრაციის აღმოსაფხვრელად), არ უნდა დაინიშნოს ზედმიწევნით დიდი დარტყმითი სიჩქარის სიდიდე (თითო დარტყმაზე დახარჯული მუშაობის ტოლობის შემთხვევაში). სხვაგვარად რომ ვთქვათ, სატკეპნელას მასასა და სიჩქარეს შორის თანაფარდობა უნდა იყოს სავსებით განსაზღვრული.

ადრე შესრულებული თეორიული ნაშრომის [46] ექსპერიმენტული დადასტურების მიზნით, ე.დიდუცხმა ჩაატარა კვლევა გრუნტის სვეტში, მისი ზედაპირის დარტყმითი დატვირთვისას, პლასტიკური დეფორმაციების გავრცელების კანონზომიერებების განსაზღვრისათვის [49]. დასმული ამოცანის შესაბამისად გრუნტზე მოქმედებდნენ დარტყმითი ორგანოთი. ამ პირობებში დაჯდომების გაზომვებმა მისცა ავტორს შესაძლებლობა დაეკავშირებინა დინამიკური ძაბვები, რომლებიც ვითარდება ტკეპნისას და განისაზღვრებიან მოძრაობის რაოდენობის ცვლილების თეორიის მეშვეობით.

მძიმე თიხნარიანი გრუნტების დარტყმითი შემჭიდროების საინტერესო კვლევა ჩაატარა ლ.სტავნიცერმა [128]. კერძოდ, დარტყმითი დატვირთვის შესახებ ამოცანის გადაწყვეტის შედეგების გამოყენების შესაძლებლობის დამტკიცებისათვის, რომელიც მიღებული იყო მის მიერ შედარებით მარტივი მიახლოებითი დამოკიდებულებების სახით, ავტორმა შექმნა ლაბორატორიული დანადგარი, რომელმაც საშუალება მისცა ეწარმოებინა კომპრესიული დატვირთვა დარტყმითი სიჩქარეების ძალიან ფართო დიაპაზონში (25 მ/წმ-მდე) პროცესის ყველაზე მნიშვნელოვანი მახასიათებლების ერთდროული რეგისტრაციით. საანგარიშო და ექსპერიმენტული მრუდების შედარებამ, რომლებიც აღწერდნენ დარტყმისას და გრუნტზე სხვადასხვა სტატიკური დაწნევისას ნარჩენი დეფორმაციების დაგროვების პროცესში დინამიკური ძაბვების ცვლილებას, აჩვენა შედეგების სავსებით საკმარისი კრებადობა.

დაახლოებით ისეთივე მიმართულება, რომელიც ნაკარნახევი იყო მისწრაფებით შეედარებინა თეორიული და ცდისეული შედეგები, აქვს ი.აკიშინისა და ლ.ბობილიოვის ნაშრომებს [2]. ჩქაროსნული კინოგადაღების მეშვეობით დაფიქსირებული იყო სატკეპნელას გადაადგილებების ტრაექტორიები გრუნტის ფუძეზე დარტყმისას და შედარებული იქნა ბ.ბელოსტოცკის, დ.ბარკანის და ო.შეხტერის ნაშრომების სანგარიშო შედეგებთან, რომლებიც განხილული იქნა წინა პარაგრაფში. ამ გამოკვლევის შედეგები თვალნათლივ აჩვენებენ ბ.ბელოსტოცკის ნაშრომში შესრულებული გრუნტის ფიქსირებული "მიერთებული მასის" მეშვეობით შესამჭიდროებელი ფუძის ინერციული თვისებების გათვალისწინების მიზანშეწონილობაზე. გაცილებით უკეთესი დამთხვევა შეინიშნება დ.ბარკანისა და ო.შეხტერის მიერ შესრულებული გაანგარიშებების შედეგებთან, რომლებმაც განიხილეს შესამჭიდროებელი ფუძე როგორც გადაადგილებათა უინერციო დრეკა-ბლანტ-პლასტიკური შემზღუდველი.

დარტყმის სიჩქარის გავლენა დინამიკური ძაბვების და პლასტიკური დეფორმაციების განაწილების ხასიათზე ქვიშიან, თიხოვან და შორეულ გრუნტებში გამოკვლეული იქნა ს.ფეიტელმანის ნაშრომში [139]. დადგენილია, რომ დარტყმის სიჩქარის გადიდებისას, შემჭიდროების ერთი და იგივე სამუშაოს დროს, ადგილი აქვს ძაბვებისა და დეფორმაციების კონცენტრაციას ზედაპირთან და მათ უფრო მკვეთრ მიღვეა სიღრმეზე. მოცემულია რეკომენდაციები სატკეპნელების დარტყმითი სიჩქარეების მნიშვნელობების შესარჩევად.

ზემოჩამთვლილმა კვლევებმა საშუალება მისცეს დაგროვილიყო მნიშვნელოვანი ექსპერიმენტული მასალა, მაგარმ მის პრაქტიკულ გამოყენებას აფერხებდა ნაშრომების არარსებობა, რომლებიც დააკავშირებდნენ დარტყმითი დატვირთვისას გრუნტებში ტალღური პროცესების გავრცელების საკითხებს მტკეპნი მანქანების პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდიკასთან. მნიშვნელოვანწილად ეს ხარვეზი შევსებული იქნა ნ.ხარხუტასა და მისი მიმდევრების ნაშრომებით. მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე, ნ.ხარხუტამ და მ.კოსტელიოვმა შესთავაზეს სატკეპნელების პარამეტრების გაანგარიშების

პრაქტიკული მეთოდის, რომელიც დაფუძნებული იყო კუთრ დარტყმითი იმპულსად წოდებულ შმო-ს განსაკუთრებული მახასიათებლის გამოყენებაზე [141].

დატვირთვის მოდების სიხშირის შერჩევის საკითხი გამოკვლეული იყო ნ.ხარბუტასა და ვ.იველიოვის [142], ნ.ზუბანოვის [50], ა.კობზევის, კ.სევროვის [64] და სხვათა ადრეულ ნაშრომებში, რომლებშიც დასაბუთებულია ზემოქმედებათა სიხშირის დანიშვნის აუცილებლობა შესამჭიდროებელი ფუძის რეზონანსული თვისებების შესაბამისად, ამასთან რიგ ნაშრომში მითითებულიც კი არის რეზონანსული სიხშირეების მნიშვნელობათა დიაპაზონი. მაგრამ გ.ჩეხოტარიოვის გამოკვლევებმა [144] აჩვენეს, რომ ისეთი რთული მრავალფაზიანი სრუქტურებისათვის როგორებიცაა გრუნტები, ზედაპირული შემჭიდროებისას რეზონანსული რეჟიმის პრაქტიკული რეალიზაცია მეტად გართულებულია გრუნტების დრეკადი თვისებების მნიშვნელოვანი ვარიაციებისა და სხვაობით სიხშირეებზე ფაქტორების დიდი რაოდენობის (მათ შორის, თვით ვიბროაგმზნების პარამეტრებისაც) გავლენის შედეგად. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ ზედაპირული შემჭიდროებისას რეზონანსული მოვლენების ანალიზირება პრინციპში უნდა ხდებოდეს დიდი სიფრთხილით, რადგან ვიბრაციული ტიპის შმო მუშაობდ, როგორც წესი, შესამჭიდროებელ მასივთან კონტაქტის პერიოდული რღვევით და ასეთ შემთხვევებში წრფივი რხევების თეორიის გამოყენება შეუძლებელი ხდება.

გრუნტების შემჭიდროებისათვის ვიბრომეთოდის რაციონალური გამოყენების საზღვრები გამოკვლეული იქნა გ.გრუნბიკის [38] ნაშრომში. ავტორმა, კერძოდ, შეისწავლა დამოკიდებულება ბმული გრუნტების შემჭიდროებადობასა შმო-ს კუთრ სტატიკურ წნევას შორის. აღნიშნულია ამ ფაქტორის დადებითი გავლენა პროცესის ეფექტურობაზე. იგივე დასკვნამდე მივიდნენ სხვა ავტორებიც [8,10,75,124,125,137,163]. ლ.ფორსბლადტის [185] ნაშრომში შეისწავლება კორელაცია გრუნტის შესამჭიდროებელი ნიმუშის დაჯდომასა და მოქმედ დინამიკურ ძაბვებს შორის. იგივე ნაშრომში შესრულებული იყო რხევების ამპლიტუდებისა და გრუნტის ფენის სიღრმეზე სიმკვრივეს გაზომვები, ამ ნაშრომის მონაცემების მიხედვით, ბმული გრუნტების ეფექტური შემჭიდროებისათვის ($0,38\delta_{max}$ -მდე) დინამიკური ძაბვების დონე უნდა შეადგენდეს 4-7 კგ/სმ².

მ.ზუბანოვის კვლევებში [50] მოყვანილია ვიბროშემჭიდროებისას ზოგიერთი შედეგი ზღვრული (მრღვევი) ძაბვების განსაზღვრისათვის სხვადასხვა გრუნტების შემთხვევაში.

დარტყმითი-ვიბრაციულ რეჟიმში მომუშავე შემამჭიდროებლების ეფექტურობის გადიდება აღინიშნება ე.სოროჩანის გამოკვლევებში [134]. ქვიშოვანი გრუნტების ფირმა "ვიბროსოიდ"-ის (რეგულირებადი პარამეტრებით) ვიბრომომჭიდროებლების მეშვეობით შემჭიდროების შესწავლისას, ავტორი აღნიშნავს გრუნტის სიმკვრივის მნიშვნელოვან გადიდებას ვიბრაციულიდან დარტყმით-ვიბრაციული მუშაობის რეჟიმზე გადასვლისას. იგივე დასკვნა კეთდება სხვა ავტორების რიგ ნაშრომებში [23,75,124,139].

დარტყმის წინა მომენტში შმო-ს სიხშირისა და სიჩქარის გავლენა გრუნტების შემჭიდროებაზე შესწავლილია ი.აკიშინისა და ნ.ვოშჩინინის [2] ნაშრომებში. ავტორების მიერ შექმნილმა ექსპერიმენტულმა დანადგარმა მისცა დარტყმების სიხშირის ცვლის საშუალება ზღვრებში 100-500 დარტყმების წუთში, ხოლო დარტყმის სიჩქარისა – 0,8-დან 5,6 მ/წმ. ნაშრომშია აღნიშნება სიხშირის ზრდის დადებითი გავლენა დარტყმის ერთი და იგივე სიჩქარისას. ერთდროულად ნაჩვენებია, რომ დარტყმის სიჩქარის შემცირება შემჭიდროების მუშაობის მუდმივი მნიშვნელობის შენარჩუნებით, იწვევს გრუნტების სიმკვრივის ხარისხის შემცრებას. ნაშრომში დადგენილია დამოკიდებულება შმო-ს სიხშირესა და დარტყმის სიჩქარე, აგრეთვე იძულებით ძალასა ამპლიტუდას შორის.

რამდენადმე სხვა დასკვნამდე მიდის გ.გრუბნიკი [38], რომელიც თვლის, რომ რხევების სიჩქარის გადიდება მათი ოპტიმალური ამპლიტუდის შემთხვევაში, შეიძლება ეფექტური იქნას მხოლოდ გარკვეულ ზღვრებში.

ზემოხსენებულ გ.დამპფლის ნაშრომში აღინიშნება პერიოდული დარტყმითი-ვიბრაციული რეჟიმის არსებობის შესაძლებლობა იმ შემთხვევებშიაც კი, როცა შმო-ს საერთო წონა იძულებითი ძალის ამპლიტუდაზე მეტია, რაც მოწმობს შმო-ს დინამიკაზე ფუძის დრეკადი თვისებების მნიშვნელოვანი გავლენის შესახებ. უინერციო ტვირთის მომატების სისტემის შექმნის მეშვეობით სტატიკური წნევის

გადიდების ხერხები ნახსენებია ვ.ვლადიმროვის [30], ს.ფეიტელმანის [139] ნაშრომებში.

ნაშრომების მნიშვნელოვანი რაოდენობა აშუქებს გრუნტებში, შმო-ს ზემოქმედებისას, დინამიკური ძაბვებისა და დეფორმაციების განაწილების საკითხებს. ეს არის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორთაგან, რომლებიც განაპირობებენ შემჭიდროების პროცესს, რაზეც მოწმობს გ.ჩებოტარიოვის კვლევათა ციკლი [144], და ასეთი მონაცემები დიდ ინტერესს წარმოადგენს.

დარტყმითი-ვიბრაციულ რეჟიმში მომუშავე ვიბროფილის ქვეშ წარმოქმნილი დინამიკური ძაბვებისა და დეფორმაციების გავრცელების დაწვრილებითი კვლევა შესრულებულია ვ.ვლადიმროვის მიერ [30].

განხილულ ნაშრომთა უმრავლესობა ეხება შემთხვევებს როცა შმო შესრულებულია ბრტყელი საკონტაქტო ზედაპირიანი შტამპის სახით. გამონაკლისს, ალბათ, წარმოადგენს მხოლოდ გ.პოპოვის ნაშრომი [109], რომელშიც კეთდება მცდელობა დადგინდეს დამოკიდებულება გლუვი ხისტი ვალცის სახით შესრულებულ შმო-ს პარამეტრებსა და შესამაჭიდროებელი მასივის დამაბულ მდგომარეობას შორის.

ამრიგად, სახეზე გვაქვს სავსებით გარკვეული ტენდენცია დადგინდეს კავშირი შმო-ს ცალკეულ პარამეტრებსა და სიმკვრივის მიღწევად ხარისხს შორის. მაგრამ ასეთ მიდგომას არ შეუძლია მიგვიყვანოს რამდენადმე მაინც ზოგად რეკომენდაციებამდე და შედეგებამდე. ჩვენ გვესახება მიზანშეწონილად დარტყმითი-ვიბრაციული მეთოდით კვლევები გავმიჯნოთ ორ მიმართულებად: პირველი, მანქანების მუშაობის ეფექტური რეჟიმების რეალიზაციის პირობების შესწავლა, რაც შესაძლებელია ექსპერიმენტული კვლევებით დადასტურებული დარტყმითი-ვიბრაციული შმო-ს შესაბამისი თეორიის არსებობისას, და მეორეც, მოცემული სახის გრუნტისათვის დინამიკური დატვირთვების ინტენსივობა ცდის საშუალებით შესწავლა და მისი შესარჩევი რეკომენდაციების დამუშავება.

პირველი ამ მიმართულებებიდან ექსპერიმენტული თვალსაზრისით საკმაოდ სრულადაა შესწავლილი ბ.ფენდტის ნაშრომაში [137].

ამ ნაშრომებში პირველადაა ყოველმხრივ შესწავლილი მძლავრი დარტყმითი-ვიბრაციული რეჟიმების რეალიზაციის შესაძლებლობები, ამ რეჟიმების განმსაზღვრელი ძირითადი კანონზომიერების შეფასება და რიგი სხვა საკითხი, რომლებიც შეეხება მეთოდის პრაქტიკულ რეალიზაციას.

რაც შეეხება მეორე მიმართულებას, აქ კიდევ არსებობს სხვადასხვა თვალსაზრისით გარკვეული განუსაზღვრელობა და არაერთნიშვნელობა.

უპირველეს ყოვლისა, უნდა აღინიშნოს საკმაოდ საიმედო ექსპერიმენტული მონაცემების არარსებობა, რომლებიც კავშირს დაამყარებდნენ დარტყმითი ვიბრაციული რეჟიმის ინტენსივობასა და გრუნტის შესამჭიდროებელი მასივის დაძაბულ მდგომარეობას შორის (მაგალითად, ტკეპნის მეთოდისათვის არსებული მონაცემების ანალოგიური მონაცემები). არ არსებობს, ასევე რეკომენდაციები შესამჭიდროებელ გრუნტებზე ზემოქმედების ინტენსივობის შესარჩევად სიმკვრივის საჭირო ხარისხის შესაბამისად.

ამჟამად არსებული ექსპერიმენტული დაკვირვებების შედეგების უმრავლესობა, რომლებიც დარტყმითი-ვიბრაციული რეჟიმს მიეკუთვნება, შეეხება შემთხვევებს, როდესაც მუშა ორგანო შესრულებულია კონტაქტის ბრყტელი ზედაპირის მქონე შტამპის სახით. ამავე დროს, უკვე ამჟამად გამოიყენება გრუნტის შესამჭიდროებელი მანქანების დიდი რაოდენობა, რომლებიც მუშაობენ დარტყმითი-ვიბრაციულ რეჟიმში და გააჩნიათ ხისტი ცილინდრული ვალცის სახის მუშა ორგანო (ვიბროსაგორავების ტიპის მსგავსად).

სწორედ ამ ტიპის შემამჭიდროებელი მანქანები პოულობენ სულ უფრო დიდ გამოყენებას ჰიდროტექნიკური მშენებლობის პირობებში, რომლებიც ხასიათდება სამუშაოების ფართო ფრონტით, შესამჭიდროებელი გრუნტული მასალების მაღალი ინტენსივობით დაზვინვით და მათი სიმკვრივის ხარისხისადმი ამდლებული მოთხოვნებით.

1.4. შესრულებული სამუშაოების კრიტიკული ანალიზი

ზემომოყვანილი გრუნტების ზედაპირული შემჭიდროების მეთოდების მოკლე მიმოხილვის საფუძველზე შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი კრიტიკული ანალიზი.

1. გრუნტის შემჭიდროების დინამიკური მეთოდების თეორია შეიცავს სამუშაოებს, რომლებშიც ხდება ან ერთეული იმპულსების მოქმედების დროს გრუნტის შესამჭიდროებელ ფენაში დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის გავრცელების პროცესების გაანალიზება (ძირითადად, ერთგანზომილებიანი ამოცანები), ან ვიბრაციული მანქანების შმო-ს დინამიკის ელემენტების გაანალიზება, თანაც აქ შესამჭიდროებელი ფუძე შეიცვლება გადაადგილებათა შემზღვევლით. პირველ შემთხვევაში, მხედველობაში არ მიიღება შმო-ს დინამიკის საკითხები (რაც დასაშვებია მხოლოდ მარტივი სატკეპნელების მიმართ), მეორეში კი – იკარგება გრუნტის შესამჭიდროებელ ფენაში დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზის შესაძლებლობა.
2. დღემდე არ არსებობს დარტყმითი-ვიბრაციული ტიპის შმო-ს შესამჭიდროებელ გრუნტთან ურთიერთქმედების პროცესის თეორიული შესწავლის საკმაოდ დასაბუთებული მეთოდიკა, რომელშიც გათვალისწინებული იქნებოდა "შმო-ფუძე" სისტემის უმნიშვნელოვანესი თავისებურებები.
3. ამჟამად არსებული დარტყმითი-ვიბრაციული გრუნტშემამჭიდროებელი მანქანების პარამეტრების შესარჩევი რეკომენდაციები გათვალისწინებულია, ძირითადად ვიბროფილების მიმართ, რომლებიც გამოყენებას პოულობენ საგზაო და სამრეწველო მშენებლობაში. მძლავრი ვიბროსაგორავების პარამეტრების შერჩევა, რომლებიც დარტყმით –ვიბრაციულ რეჟიმში მუშაობენ და გამოიყენებიან მსხვილ ჰიდროტექნიკური მშენებლობის პირობებში, დღემდე არ არის საკმარისად გაშუქებული.
4. გრუნტების შემჭიდროების დარტყმითი-ვიბრაციული მეთოდის დამუშავებასთან დაკავშირებული ექსპერიმენტული კვლევები, გვიჩვენებენ მის მაღალ ეფექტურობასა და უნივერსალობას. მაგრამ მონაცემები, რომლთაც მოხდება დინამიკური დატვირთვების პარამეტრების, რეგლამენტირება აგრეთვე დაადგენდნენ დამოკიდებულებას ამ პარამეტრებსა და სიმკვრივის საჭირო

ხარისხს შორის, არ არის სისტემატიზირებული. ექსპერიმენტულ კვლევათა უმრავლესობაში განხილულია შმო-ს ცალკეული პარამეტრების გავლენა შემჭიდროების ეფექტურობაზე, რომელიც არ იძლევა ამ მონაცემების ერთობლივად გამოყენების შესაძლებლობას.

1.5. კვლევის მიზანი და ამოცანები

- საავტომობილო ტვალის სალტის გრუნტთან ურთიერთქმედების თეორიული კვლევა;
- ავტომობილის როგორც ვიბრაციულ-დარტყმითი შემამჭიდროებლის ურთიერთქმედების კვლევა გზის გრუნტთან ფუძესთან;
- ავტომობილის გამავლობის შესაფასებლად ტიპიური ნიადაგ-გრუნტების ტენიანობის კვლევა;
- ავტომობილის გამავლობის დიაგნოსტიკა გრუნტის დრეკად-მადემპფირებელი მახასიათებლების კონტროლის გზით.

2. საავტომობილო თვალის სალტის გრუნტთან ურთიერთქმედების თეორიული კვლევა

არსებობს საავტომობილო თვალის სალტის გრუნტთან ურთიერთქმედების ანალიზური კვლევის რამოდენიმე მიდგომა.

პირველი მიდგომისას [9] სალტის გრუნტთან ურთიერთქმედების მახასიათებლების განსაზღვრა ხდება სალტისა და გრუნტის პარამეტრების ემპირიული დამოკიდებულებების საველე პირობებში გაზომვებით. ასეთი ხერხით მიღებული ფორმულებით მოსახერხებელია საინჟინრო გაანგარიშებების ჩატარება.

მეორე მიდგომა მდგომარეობს ელასტიური თვლის შედარებით დიდი რადიუსის ხისტი თვლით შეცვლაში და მის გრუნტთან ურთიერთქმედებისას მიღებული ძირითადი კანონზომიერების გამოყენებაში [4]. ამასთან არ გაითვალისწინება კონტაქტში ძვრადი ნაწილი, ამ შემთხვევაში თვალზე მოქმედი გრუნტის ნორმალური რეაქციები არ ეწინააღმდეგებიან, არამედ ხელს უწყობენ გორვის პროცესს.

მესამე მიდგომა დაფუძნებულია სალტის გრუნტთან კონტაქტის ზედაპირის ფირმის ექსპერიმენტულ შესწავლაზე, და შედეგად სალტის ტიპისა და გრუნტის სახის მიხედვით კონკრეტული საანგარიშო სქემის შედგენაზე. ასეთი მიდგომისას შეიძლება გათვალისწინებული იქნენ გრუნტისა და სალტის და მახასიათებელი თავისებურებები, მაგრამ რთულდება საერთო ანალიზური გამოსახულების მიღება.

მეოთხე მიდგომა დაფუძნებულია გრუნტისა და სალტის დეფორმირების საერთო კანონზომიერებების კვლევაზე, რომელთა საფუძველზე ტარდება მათი ურთიერთქმედების ანალიზური განხილვა [50,52,55].

განსხვავებული შემადგენლობის გრუნტებზე სხვადასხვა ტიპის სალტების გამოყენებისას ავტომობილების გამავლობის საკითხების გადაწყვეტისათვის მიზანშეწონილია მეოთხე მიდგომა.

2.1. საავტომობილო სალტების დრეკად-მადემპფირებელი მახასიათებლები

თანამედროვე საავტომობილო სალტები, რომლებიც წარმოადგენენ შეკუმშული ჰაერით შევსებულ რეზინაკორდულ გარსს, ფლობენ ელასტიურობას ყველა მიმართულებით. ჩვეულებრივ განასხვავებენ სალტის ნორმალურ, ტანგენციალურ და გვერდით ელასტიურობას. ავტომობილის მოძრაობის რეალურ პირობებში სალტები დეფორმირდებიან ერთდროულად სამი მიმართულებით: ნორმალური ანუ რადიალური, ტანგენციალური და გვერდითი. დეფორმაციის სამივე სახე ორგანულად ურთიერთდაკავშირებულია. მაგადითად, გვერდითი ძალის მოქმედება სალტზე იწვევს არა მარტო მის გვერდით დეფორმაციას, არამედ ასევე ზრდის მის რადიალურ ჩაღუნვას.

სალტების ელასტიურობა ყველა მიმართულებით იწვევს უფრო რთულ ფიზიკურ მოვლენებს, რომლებიც მიმდინარეობენ თვლის გრუნტთან ურთიერთქმედებისას. გამარტივების მიზნით შესაძლებელია განვიხილოთ ცალკე ნორმალური ძალებით გამოწვეული რადიალური ჩაღუნვა და ცალკე გვერდითი ძალებით გამოწვეული სალტის გვერდითი დეფორმაცია. ჩატარებული ექსპერიმენტები აჩვენებს, რომ ასეთი გამარტივება დასაშვებია. ექსპერიმენტის გზით დადგენილია, რომ თანამედროვე სალტებისათვის თვალზე მოდებული მაბრუნე მომენტი მცირე გავლენას ახდენს სალტის ნორმალურ ჩაღუნვაზე. გვერდითი ძალის გავლენა ნორმალურ ჩაღუნვაზე რამდენადმე დიდია, თუმცა ბევრ შემთხვევაში შეიძლება მათი უგულებელყოფაც. ნორმალური ძალის გავლენა გვერდით ელასტიურობაზე დიდია, და მისი უგულებელყოფა არ შეიძლება.

ავტომობილის გამავლობას ძირითადად განსაზღვრავს სალტის ნორმალური ელასტიურობა, რომელიც ხასიათდება ნორმალური ჩაღუნვის სიდიდით. ექსპერიმენტულად სალტის ნორმალურ ჩაღუნვას საზღვრავენ დატვირთული თვლის ღერძიდან საყრდენ ზედაპირამდე მანძილის გაზომვით:

$$h_z = R_{\sigma} - R_{\sigma\tau} \quad (2.1)$$

სადაც h_z - ნორმალური ჩაღუნვა;

R_{σ} - თვლის თავისუფალი რადიუსია;

$R_{\sigma\tau}$ - თვლის სტატიკური რადიუსია.

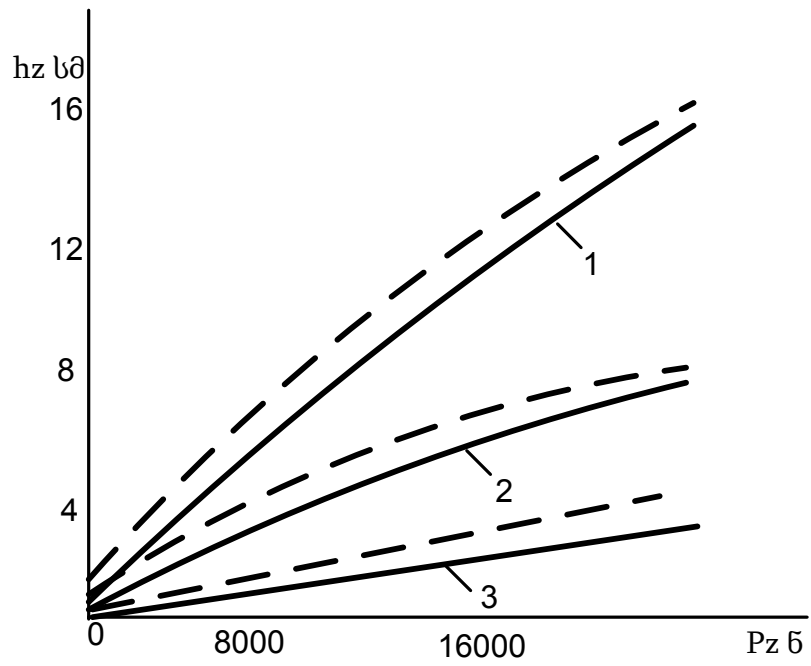
თვლის გორვისას მანძილს ბრუნვის ღერძიდან საყრდენ ზედაპირამდე აღნიშნავენ r_{σ} და უწოდებენ თვლის დინამიკურ რადიუსს. თვლის დინამიკური

რადიუსი განსხვავდება სტატიკურისაგან, თუმცა ეს განსხვავება მცირეა და მას უგულებელყოფენ.

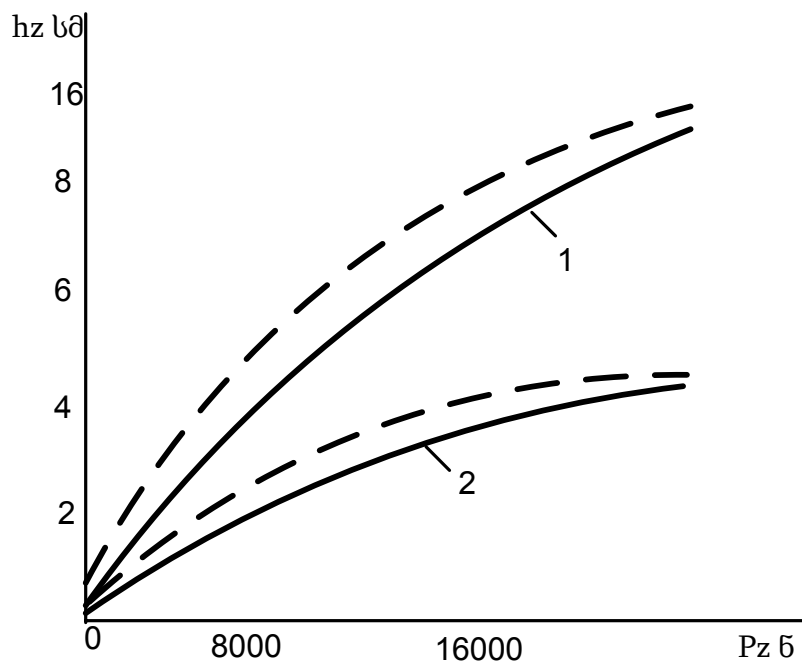
სალტის 12.00-18 "И 111" ნორმალური ჩალუნვის დატვირთვაზე დამოკიდებულებების დიაგრამები (ნახ.2.1ა) გვიჩვენებენ, რომ სალტის დატვირთვის და განტვირთვის მრუდები ერთმანეთს არ ემთხვევიან, ეს აიხსნება სალტის რეზინაკორდის მასალის შიგა ხახუნით (ჰისტერეზისის მოვწელით). სალტებში ჰაერის წნევის შემცირებისას ჰისტერეზისის მარყუჟის ფართობი იზრდება.

$P_z(h_z)$ დამოკიდებულების ხასიათი მკვეთრად არაწრფივია მცირე დატვირთვებზე და უახლოვდება წრფივს მათი ზრდისას. მახასიათებლის არაწრფივობა იზრდება სალტის პროფილის სიმაღლის სიგანესთან ფარდობის შემცირებისას (იხ.ნახ.2.1ბ). ტოროიდული სალტებისათვის დრეკადი მახასიათებელი მიიღება წრფივი და სალტის სიხისტე განისაზღვრება ფორმულით: $C_c = \Delta P_z / \Delta h_z$, სალტის ნორმალური ჩალუნვისას ადგილი აქვს როგორც სალტის პროფილის, ასევე სალტის გრძივი კვეთის დეფორმაციას, რომელიც არსებითადაა დამოკიდებული კარკასის კონსტრუქციაზე, და შეიმჩნევა აგრეთვე კონტაქტის ზონის საზღვრების გარეთაც (ნახ.2.2). სალტის ცალკეული ელემენტების დეფორმაციის დიაგრამები წარმოდგენილია ნახ.2.3-ზე.

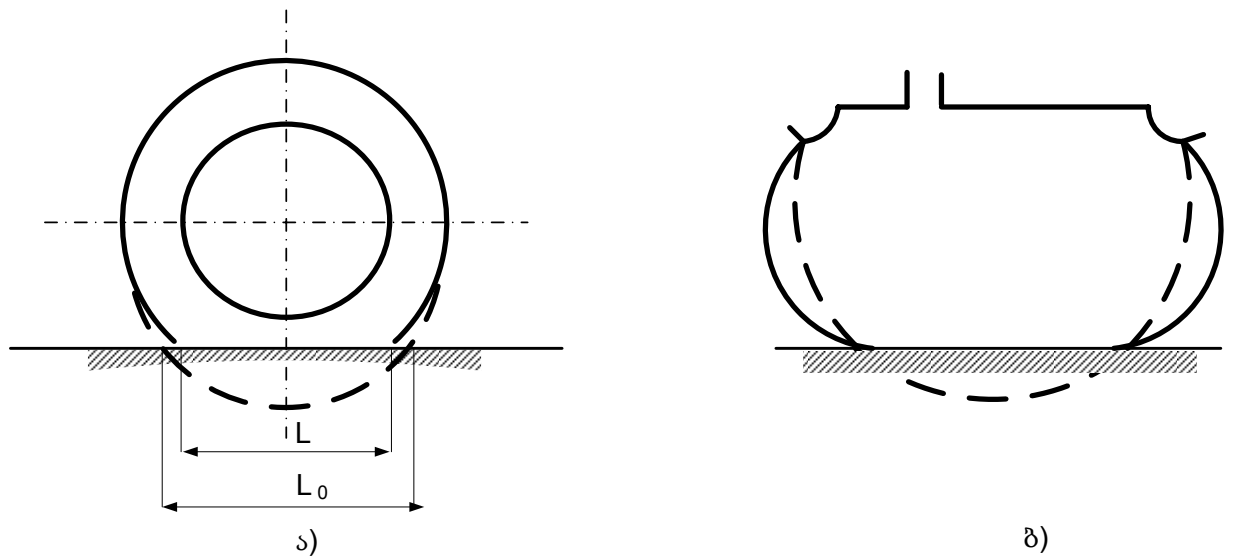
სალტის პირობითად არადეფორმირებად ბრტყელ ზედაპირთან კონტაქტის სიგრძე l შეადგენს ქორდის l_0 , 0,75-0,85-ს. რაც მეტია გარსის სიხისტე, მით მეტია სხვაობა l და l_0 შორის.



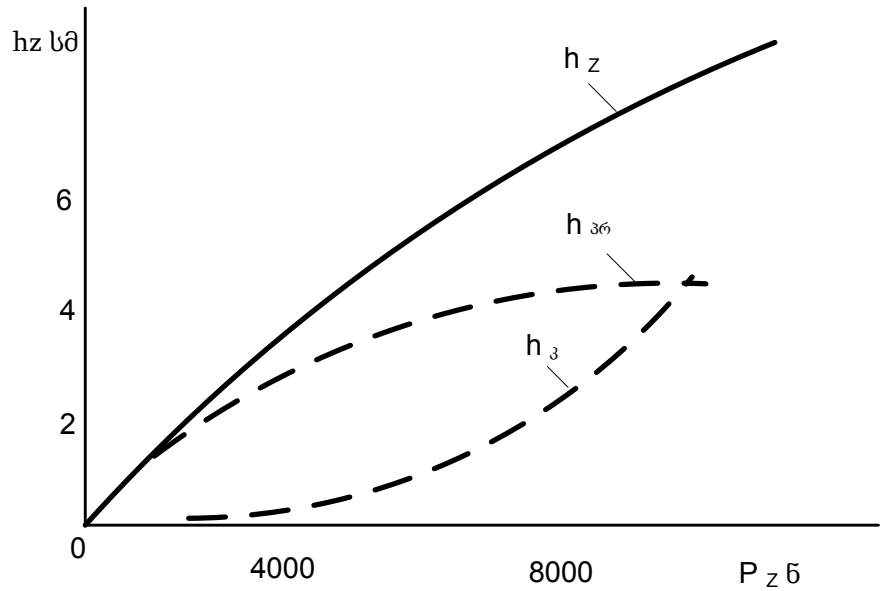
ა)



ნახ.2.1. სალტეების ნორმალური დეფორმაციის მახასიათებლები
 ა – სალტე 12.00-18;
 ბ – სალტე 1140-700; 1- $P_w = 0,05$ მპა; 2 - $P_w = 0,15$ მპა; 3 - $P_w = 0,05$ მპა;



ნახ.2.2. სალტის ფორმის ცვლილება ნორმალური ღუნვისას:
 ა – გრძივ სიბრტყეში; ბ – განივ სიბრტყეში



ნახ.2.3. სალტის 12.00-И III ცალკეული ელემენტების
 დეფორმაცია ნორმალური ღუნვისას

არა დეფორმირებად ბრტყელ ზედაპირზე სალტის ნორმალური ჩაღუნვის თეორიული განსაზღვრისათვის შემოთავაზებულია რიგი ფორმულები. მათ შორის შედარებით მარტივია შემდეგი ფორმულა [7].

$$P_z = \pi P_w h_z \sqrt{2r_{op} D} \quad (2.2)$$

სადაც, r_{op} - პროტექტორის სიმრუდის რადიუსია; D - სალტის გარე დიამეტრია; P_w - სალტეში ჰაერის შიგა წნევაა.

ეს ფორმულა გამოყვანილია ორი უხეში დაშვებით; სალტის საშუალო წნევა საყრდენ ზედაპირზე მიღებულია სალტის შიგა ჰაერის წნევის ტოლად; აგრეთვე თვლიდნენ, რომ კონტაქტის ზონის გარეთ სალტე არ დეფორმირდება, ხოლო კონტაქტის ზედაპირს გააჩნია ელიფსის ფორმა. ეს დაშვებები არ დასტურდება ექსპერიმენტული მონაცემებით.

ნაშრომში [5] იმავე მიზნით შემოთავაზებულია ფორმულა

$$P_z = \frac{h_z^2}{\left(C_1 + C_2 \frac{h_z}{P_w + P_0} \right)}, \quad (2.3)$$

სადაც C_1, C_2 - მოცემული სალტის მუდმივი კოეფიციენტებია, რომლებიც დამოკიდებულია სალტის კონსტრუქციულ პარამეტრებსა და მასალაზე; P_0 - კონტაქტში ნორმალური დაწნევაა, როდესაც, $P_w=0$; C_1 და C_2 განისაზღვრება განტოლებებით:

$$C_1 = \frac{1 \Delta P_z}{K_{1-2} E_d \pi \sqrt{2h_{D0} D}}; \quad C_2 = \frac{1}{K' \pi \sqrt{2h_{D0} D}},$$

სადაც, ΔP_z - ნორმალური დატვირთვის ნაზრდია; K_5 - პროტექტორის ნახატის კოეფიციენტი; D - სალტის გარე დიამეტრია, h_{op} - პროტექტორის ნახატის სიმაღლეა, E_6 - პროტექტორის რეზინის დრეკადობის მოდულია; K^1 - რადიალური ღუნვისას სალტის მოცულობის ცვლილების ფარდობაა ელიფსური სეგმენტის მოცულობასთან, რომელიც მიიღება სალტის ვერტიკალური სიბრტყით კვეთისას.

ფორმულა (2.3) ითვალისწინებს სალტის რეზინაკორდის მასალის სიხისტის გავლენას კონტაქტის ზონაში დაწნევაზე და პროტექტორის რეზინის დეფორმაციაზე, თუმცა, ისევე როგორც ფორულა (2.2), არ ითვალისწინებს სალტის დეფორმაციას კონტაქტის ზონის გარეთ. თუ უგულებელვყოფთ პროტექტორის რეზინის

დეფორმაციას ($C_1=0$) და (2.3) ფორმულაში ჩავსვამთ C_2 მნიშვნელობას, მაშინ იგი მიიღებს სახეს:

$$P_z = K' \pi h_z (P_w + P_0) \sqrt{2h_{D0} D} \quad (2.4)$$

ფორმულა (2.4) (2.2) –საგან განსხვავდება P_0 და K' პარამეტრების დანამატით, ამასთან K' შეიძლება განვიხილოთ როგორც კოეფიციენტი, რომელიც შემოყვანილია კონტაქტის ზონის გარეთ სალტის გარსის დეფორმაციის უგულვებელყოფით გამოწვეული ცდომილებების საკომპენსაციოდ.

კოეფიციენტის K' განსაზღვრის სირთულეების გთვალისწინებით ხშირად იყენებენ ფორმულას (2.3), C_1 და C_2 პარამეტრების გაუშლელად და მათ მნიშვნელობებს ირჩევენ ექსპერიმენტული მონაცემებით. პრაქტიკა აჩვენებს, რომ ფორმულა (2.3) კარგად ეთანხმება ექსპერიმენტის შედეგებს სალტის უმნიშვნელო სიდიდით ღუნვისას. ეს დასტურდება სპეციალური ექსპერიმენტების შედეგებითაც, კერძოდ სალტის გვერდულებისა და პროტექტორის დეფორმაციების ცალ-ცალკე განსაზღვრისას (ნახ.2.3) გვერდების დეფორმაცია პროტექტორის სრულ გასწორებამდე უმნიშვნელოა. ეს შეესაბამება (0,11-0,13)H რიგის სალტის ღუნვას (H - სალტის პროფილის სიმაღლე), სალტის ჩალუნვის შემდგომი ზრდა ხორციელდება გვერდულების ღუნვის ხარჯზე.

გვერდულების გაღუნვისას იზრდება სალტის პროფილის სიგანე. მაღალი გამავლობის, თანამედროვე ავტომობილებზე გამოყენებული რეგულირებადი წნევის სალტეები მუშაობენ ნომინალური ღუნვის ზღვრებში $h_z=0,35H$, ამასთან პროფილის სიგანე იზრდება დაახლოებით ღუნვის სიდიდით. რბილი გრუნტისათვის ეს გარემოება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რადგან ამ შემთხვევაში სალტის პროფილის სიმაღლე შეიძლება გაუტოლდეს მისი პროფილის სიგანეს. შესაბამისად, სალტის ნორმალური დეფორმირების შეფასებისას აუცილებელია სალტის პროფილის ფორმისა და სიგანის გათვალისწინება.

ამისათვის განვიხილოთ სალტის ელემენტი, რომელიც წარმოქმნილია სალტის, თვლის ღერძზე გამავალი ნორმალური სიბრტყით კვეთისას. ელემენტის სიგრძე უსასრულოდ მცირეა. ამასთან დაშვებულია, რომ სალტის გარსი უსასრულოდ თხელი და მოქნილი, მაგრამ გაუჭიმავი და შეუკუმშავი (ნახ.2.4).

სალტის განსახილველი ელემენტის ყოველი წერტილის დამაბული მდგომარეობა შეიძლება დახასიათდეს მემბრანული წონასწორობის ორი განტოლებით:

$$N_y/r = P_w - P; \quad \partial N_y / \partial y = -N_{xy} / \partial x.$$

სადაც N_y - გამჭიმავი ძალაა მერიდიანული მიმართულებით; r - სიმრუდის რადიუსი მერიდიანულ კვეთში; N_{xy} - ჭრის ძალა.

გარე დატვირთვის არარსებობისას სალტის დამაბული მდგომარეობა სიმეტრიულია ღერძის მიმართ, ამიტომ $N_{xy}=0$; $\partial N_y / \partial y = 0$; $N_y = \text{const}$, და რადგან $P=0$ მივიღებთ $N_y / P_w = r_0 = \text{const}$.

სიმეტრიული დატვირთვისას, სალტის ელემენტი მყარ ბრტყელ ზედაპირზე დეფორმირდება იმ მომენტამდე, სანამ საყრდენი ზედაპირის რეაქციების ჯამი არ გაუტოლდება მოდებულ დატვირთვას ($\Phi dx = dQ$).

სიმეტრიის ღერძზე ამ შემთხვევაშიც გვექნება $N_{xy}=0$ და $N_y = \text{const}$.

კონტაქტის ზონაში, ზედაპირის ბრტყელი ფორმის შედეგად, $r = \infty$ და შესაბამისად, $P = P_w = \text{const}$. გვერდითი უბნებისათვის $P=0$, $N_y/r = P_w$ და $r = N_y/P_w = \text{const}$ ე.ი. სალტის გვერდითი ელემენტების სიმრუდე მუდმივია. სიმრუდის ცენტრები უნდა მდებარეობდნენ კონტაქტის სასაზღვრო წერტილებზე გამავალ ვერტიკალებზე; წინააღმდეგ შემთხვევაში ან არ შესრულდებოდა პირობა $r = \text{const}$ ან არ ექნებოდა ადგილი მდოვრე გადასვლას კონტაქტის ზონიდან გვერდით კედლებზე, რაც შეუძლებელია.

გეომეტრიული თანაფარდობების (იხ.ნახ.2.5) საფუძველზე შეიძლება დავწეროთ:

$$hz = H_0 - r(1 + \cos \gamma);$$

$$B_F = 2r \sin \gamma,$$

$$B = b + zr.$$

სადაც H_0 - სალტის პროფილის საწყისი სიმაღლეა;

b - კონტაქტის სიგანეა; p - კონტაქტში დაწნევაა; γ - სალტის გვერდულის დახრის კუთხეა;

ამ განტოლებების გარდაქმნით, მივიღებთ

$$\begin{cases} r = (U - B_F)/2(\pi - \sin \gamma) \\ h_z = H_0 - r(1 + \cos \gamma) \\ b = B_F - 2r \sin \gamma \end{cases} \quad (2.5)$$

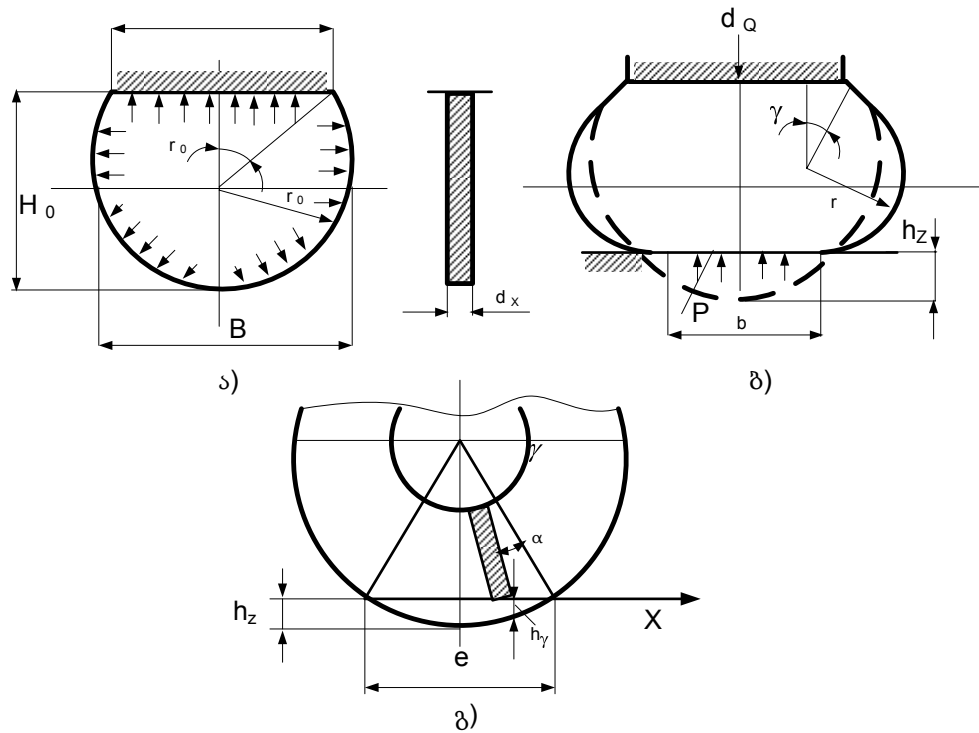
სადაც B_F - სალტის ფერსოს სიგანეა, U - სალტის ელემენტის პერიმეტრი.

γ კუთხის სხვადასხვა მნიშვნელობების აღებით (იხ.ნახ.2.4) შეიძლება განისაზღვროს გვერდულების რადუსი r , სალტის ჩალუნვის სიდიდე h_z , კონტაქტის სიგანე b , აგრეთვე პროფილის სიგანე განტოლებით $B=b+2r$ და დეფორმირებული სალტის პროფილის სიმაღლე განტოლებით $H=H_0-h_z$.

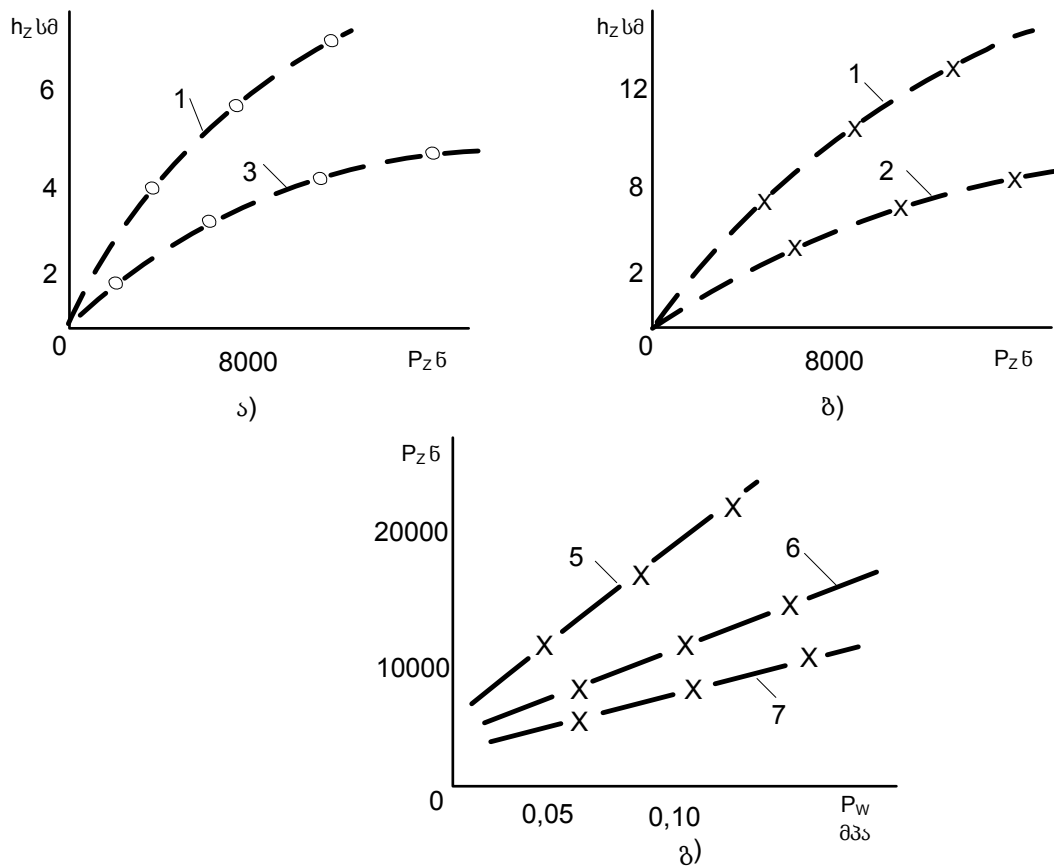
რომ გადავიდეთ სალტის ელემენტიდან მთლიან სალტეზე, აუცილებელია გავაინტეგროთ განტოლება

$$P_z = 2P \int_0^{\ell/2} b dx \quad (2.6)$$

სადაც ℓ - კონტაქტის ზედაპირის სიგრძეა.



ნახ.2.4. იდეალიზირებული სალტის დეფორმაციის სქემა:
 ა – პროფილის ფორმა გარე დატვირთვის არ არსებობის დროს; ბ – პროფილის ფორმა ნორმალური დატვირთვის მოქმედებისას; გ – სალტის დეფორმაციის სქემა გრძივ სიბრტეში



ნახ.2.5. ანგარიშის შედეგების ექსპერიმენტულთან შედარება:
 ა – სალტე ჰაერის შიგა წნევის რეგულირებით 12.00-18;
 ბ – პნევმოსაგორავი 1200x1200x500; გ – სატრაქტორო სალტეები.

განტოლება (2.6) შეიძლება ამოვხსნათ გრაფიკულად, თუ გამოვიყენებთ $b(x)$ დამოკიდებულებას, სადაც $X = \sqrt{D(h_z - h) - (h_z - h)^2}$. ფუნქცია $b(x)$ განისაზღვრება განტოლებათა სისტემით (2.5) სადაც h_z ნაცვლად აიღება სალტის ჩალუნვის h სიდიდის მიმდინარე მნიშვნელობა, რომელიც შეესაბამება $2X$ კონტაქტის სიგრძეს, (ნახ.2.5გ).

გამარტივებისათვის კონტაქტის ფორმა შეიძლება მივიღოთ ელიფსური, მაშინ

$$P_z = 0,5\pi P b \sqrt{D h_z - h_z^2} \quad (2.6)$$

რეალური სალტის დეფორმირების პროცესი განხილულისაგან განსხვავდება რეზინაკორდული გარსის რთული ფორმითა და არაერთგვაროვანი მექანიკური თვისებებით. რეზინაკორდულ მასალას გააჩნია მნიშვნელოვანი დრეკადობა, დატვირთვის ნაწილი გადადის მცირე მასაზე, რის შედეგადაც წნევა კონტაქტში P უნდა იყოს მეტი ჰაერის შიგა წნევაზე სალტეში. გარსის არსებითი მლუნავი სიხისტის გამო მისი დეფორმაცია ვრცელდება კონტაქტის ზონის მიმდებარე არეზე, ეს იწვევს წნევის ზრდას კონტაქტში და კონტაქტის ზედაპირის სიგრძის შემცირებას.

უმეტესი სალტეებისათვის მათი სარბენი ზედაპირის სიმრუდე განივ სიბრტყეში (პროტექტორის სიმრუდე) ნაკლებია სალტის შიგა ზედაპირის სიმრუდეზე, პროტექტორის არაერთნაირი სისქის გამო. შედეგად სალტის ჩალუნვის მცირე მნიშვნელობებისას კონტაქტის სიგანე იზრდება, ხოლო საშუალო წნევა კონტაქტში მცირდება. დიდი ჩალუნვისას მყარ ბრტყელ ზედაპირზე ადგილი აქვს პროფილის ფორმის დამახინჯებას, რაც იწვევს კონტაქტში საშუალო წნევის ზრდას.

სალტის გარსის ფორმისა და სიხისტის მის დრეკად მახასიათებელზე გავლენის ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების გათვალისწინებით (2.5) და (2.6) განტოლებებით მივიღებთ

$$P = k_1 P_w + P_0, \quad (2.7)$$

სადაც P_0 - გარსის სიხისტით (დრეკადობით) გამოწვეული წნევაა კონტაქტში; k_1 - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დეფორმირებული პროფილის დამახინჯებას პროტექტორის არათანაბრი სისქის გამო.

P_w და k_1 მნიშვნელობები, რეგულირებადი წნევის ზოგიერთი სალტეებისათვის, მოყვანილია ქვემოთ

განტოლებები (2.5) და (2.6) მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ თხელკედლიანი სალტეებისათვის. შედარებით პრაქტიკული და უნივერსალურია შემდეგი ფორმულები, რომლებიც მიღებულია აპროქსიმაციის მეთოდით

$$P_z = \frac{\pi h_z}{2b_{\text{ბ0}}} \left(\frac{B}{H} + \frac{3H}{2B} \right) (P_w + P_0) \left(1 - \frac{h_z}{B} \right); \quad (2.8)$$

$$P_z = \frac{\pi^2}{4} h_z (P_w + P_0) \left(\frac{B}{H} + \frac{3H}{2B} \right) \left(1 - \frac{h_z}{B} \right) \sqrt{Dh_z - h_z^2}, \quad (2.9)$$

სადაც $b_{\text{ბ0}}$ - პროტექტორის სიგანეა. (2.8) და (2.9) ფორმულებით შესრულებული მრავალრიცხოვანი გაანგარიშებების ექსპერიმენტულ მონაცემებთან შედარებამ, ავტორებს საშუალება მისცა გაგვეკეთებინა დასკვნა, რომ ეს ფორმულები ვარგისია მაღალი გამავლობის ყველა თანამედროვე სალტეების დეფორმირების აღწერისათვის.

სალტის ნორმალური ჩალუნვის შეფასებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს შემდეგი ემპირიული ფორმულა

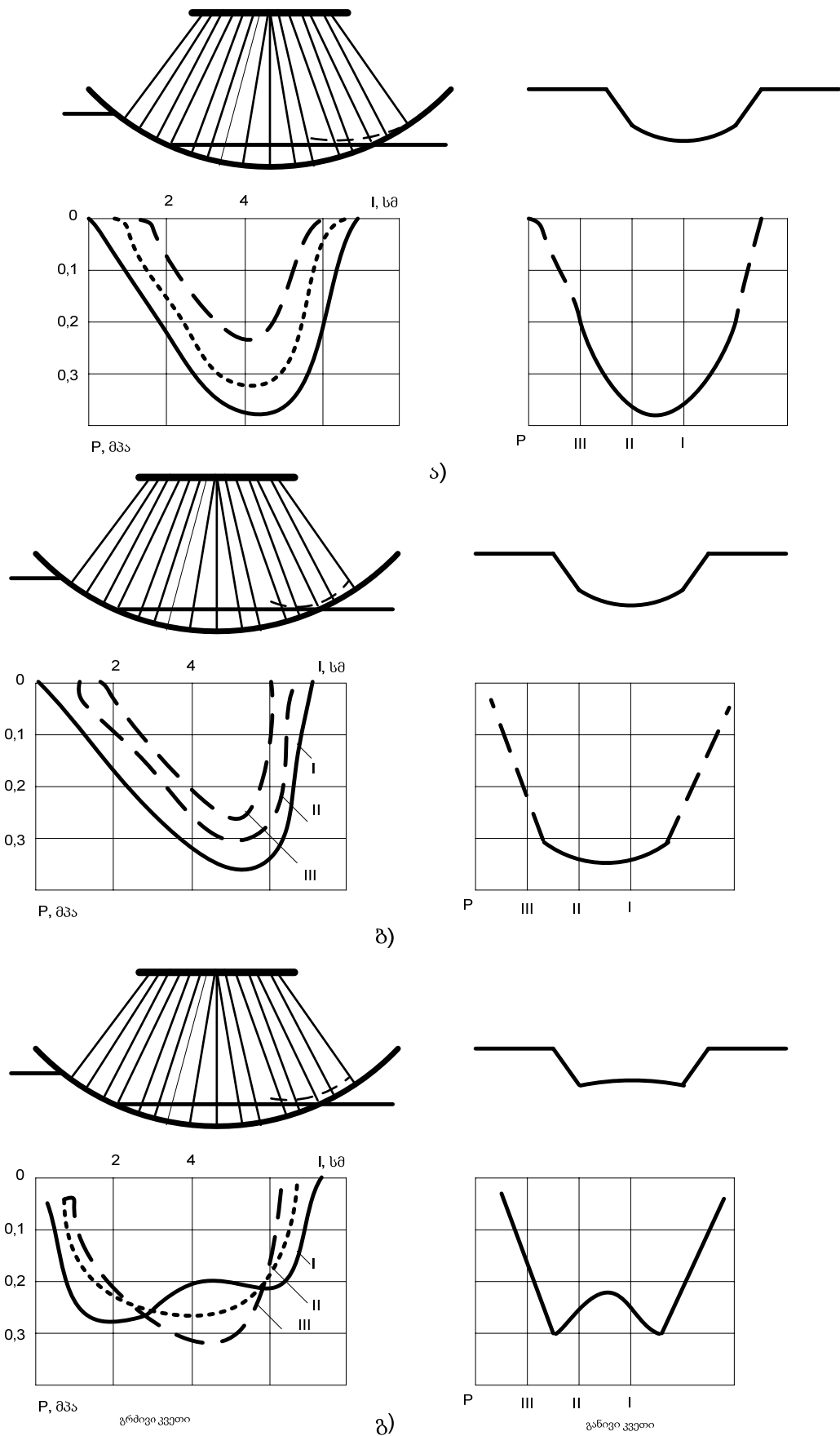
$$h_z = KG_{\text{თ}}^{3/4} / (1 + P_w) \quad (2.10)$$

სადაც $G_{\text{თ}}$ - თვალზე ნორმალური დატვირთვაა.

სალტის გვერდითი და ტანგენციალური დეფორმაციის სიდიდეები, როგორც წესი, განისაზღვრებიან ექსპერიმენტულად [12]. ამ მიზნისათვის საკმაოდ მარტივი და საიმედო ანალიზური გამოსახულებები ჯერ კიდევ არაა მიღებული, რაც აიხსნება პროცესების მათემატიკური აღწერის სირთულით, რომლებიც მიმდინარეობენ სალტეში მისი ერთდროულად დატვირთვისას ნორმალური, გვერდითი და გრძივი ძალებით.

სალტის როგორც გვერდითი, ასევე ტანგენციალური სიხისტე არ არის მუდმივი და შესაბამისად იზრდება გვერდითი და ტანგენციალური ძალების ზრდით. თუმცა შესაბამისად P_y , P_x ძალების საექსპლუატაციო მნიშვნელობების დიაპაზონში ეს ცვლილება დიდი არაა, მათი უგულებელყოფა შესაძლებელია და შეიძლება $P_y(h_z)$ და $P_x(h_x)$ დამოკიდებულებები ჩაითვალოს წრფივად.

თვლის ნორმალური დატვირთვის ცვლილებისას არსებითად იცვლება სალტეების გვერდითი და ტანგენციალური დეფორმაციები.



ნახ.2.6. სალტისა (მოდული 12.00-18) და ფხვიერი გრუნტის (სიმკვრივე $\rho = 1,3$ გრ/სმ³) დეფორმაციების დიაგრამები, როდესაც ნორმალური დაწნევა $P_z = 150006$, ამასთან სალტეში ჰაერის შიგა წნევაა: ა - $P_w = 0,2$ მპა, ბ - $P_w = 0,1$ მპა, გ - $P_w = 0,05$ მპა.

შედარებით სტაბილურია ფარდობითი მახასიათებლები [12]:

$$P_y/P_z = \lambda_y P_y/P_z; \quad h_x/h_z = \lambda_x P_x/P_z$$

სადაც λ_y და λ_x - სალტის ფარდობითი გვერდითი და ტანგენციალური ელასტიურობის კოეფიციენტებია. თუმცა ეს მახასიათებლებიც სამართლიანია მხოლოდ სალტის ნორმალური ჩაღუნვის განსაზღვრული მნიშვნელობების დიაპაზონისათვის.

ნახ.2.6.

2.2. საავტომობილო თვლისა და გრუნტის ურთიერთქმედების კვლევა

სალტის გრუნტთან ურთიერთქმედებისას ადგილი აქვს კონტაქტში მყოფი ორივე სხეულის დეფორმაციას. ამასთან სალტის დეფორმაციის ხასიათი განსხვავდება მისი დეფორმაციისაგან არადეფორმირებად ზედაპირზე, ხოლო გრუნტის დეფორმაციის ხასიათი განსხვავდება მისი დეფორმაციისაგან ხისტი შტამპით დაწნევის დროს.

სალტის კონტაქტის ფართობი გრუნტთან მეტია, ვიდრე ბრტელ არადეფორმირებად ზედაპირთან (ნახ.2.7), ამასთან დაკავშირებით იზრდება სალტის დეფორმაციის ზონა, მაგრამ მცირდება დაწნევა და დეფორმაცია კონტაქტის შუა ნაწილში. დეფორმირებული სალტის პროფილის ფორმა გრუნტზე და არადეფორმირებად ზედაპირზე ჩაღუნვის h_z სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს სხვადასხვაა. ეს სხვაობა არსებითია სალტის დიდი ჩაღუნვებისას ($h_z > 0,3H$).

სალტის გრუნტთან კონტაქტის გრძივ კვეთებში სიმრუდე მუდმივად მცირდება წინა ნაწილის მეტი სიდიდიდან უკანა ნაწილის ნულოვან მნიშვნელობამდე. ნულოვანი სიმრუდის ზონა იზრდება სალტის ჩაღუნვის ზრდით. ძალიან დიდ ჩაღუნვებზე ($h_z > 0,3H$) წარმოიქმნება უკუ სიმრუდე, ისევე როგორც განივ კვეთებში. გარდა ამისა, სალტის ჩაღუნვის განაწილება კონტაქტის სიგრძეზე დამოკიდებულია გრუნტის თვისებებზე და დატვირთვის ხასიათზე, რაც მეტია გრუნტის მიდრეკილება ძვრებისადმი, მით მეტია ჩაღუნვა კონტაქტის შუა ზონაში და ნაკლებია წინა ზონაში. შეკავშირებულ გრუნტებზე სალტის ჩაღუნვა კონტაქტის წინა

ნაწილში რამდენადმე მეტია. თვლით გადაცემული მომენტის ზრდისას, ასევე იზრდება ჩალუნვა კონტაქტის წინა ნაწილში. სალტის მაქსიმალური ჩალუნვის ზონა რამდენადმე გადაინაცვლებს წინ თვლის ღერძის მიმართ.

გრუნტის დეფორმაცია დამოკიდებულია სალტის დეფორმაციაზე და შესაბამისად მისი საყრდენი ზედაპირის ფორმაზე, აგრეთვე სალტიდან გრუნტზე მოქმედი ძალების მიმართულებაზე. ჩალუნვების მცირე მნიშვნელობების დროს (იხ.ნახ.2.6.ა) სალტეს გააჩნია ამოზნექილი საყრდენი ზედაპირი, რის შედეგადაც იზრდება გრუნტის ძვრა და შესაბამისად იზრდება სალტის ჩაფლობა გრუნტში. სალტის დიდი ჩალუნვისას (ნახ.2.6.გ) მისი საყრდენი ზედაპირი ხდება ჩაზნექილი, რაც იწვევს გრუნტის ძვრების შემცირებას და გრუნტში სალტის ნაკლებ ჩაფლობას.

თვლის გორვის პროცესში სალტის მოქმედება გრუნტზე კონტაქტის სხვადასხვა წერტილებში არსებითად განსხვავებულია. მიმართულებითაც, რაც ხელს უწყობს გრუნტის ძვრების ზრდას. თვალთან მიყვანილი მომენტის ცვლილებისას, იცვლება გრუნტზე მოქმედი ძალების მიმართულებები, რის შედეგად, იზრდება ან მცირდება სალტის ჩაფლობა გრუნტში. ამასთან არსებითად იცვლებიან ნორმალური და მხები ძალების ეპიურები კონტაქტში.

სალტისა და გრუნტის დეფორმაციის თეორიული კვლევისათვის მათი ურთიერთქმედების დროს შესაძლებელია ორი მიდგომა. პირველი მიდგომა დაფუძნებულია კონტაქტში დაწნევის, ნორმალური და მხები რეაქციების განსაზღვრაზე. თვლის ღერძზე მოდებული ძალების განტოლების შედეგაზე, მათი ინტეგრებით ძირითადი დამოკიდებულებების განსაზღვრაზე [1].

მეორე მიდგომა დაფუძნებულია კონტაქტის ზედაპირის მახასიათებელი ზონების განხილვაზე, რომელთა პარამეტრები ანალიზურად გამოისახება სალტისა და გრუნტის დეფორმაციით. კონტაქტის დანარჩენ ზონებში დატვირთვის განაწილების აღწერისათვის იყენებენ ცნობილ მათემატიკურ გამოსახულებებს, რომლებიც იძლევიან ექსპერიმენტულთან საკმაოდ მიახლოებულ შედეგებს. ამ გამოსახულებების გამოყენებით ადგენენ თვლის ღერძზე მოდებული ძალებისა და გრუნტზე მოდებული რეაქციების წონასწორობის განტოლებებს. ასეთი მეთოდი საშუალებას იძლევა გამარტივდეს ანგარიშის მეთოდები, მაგრამ ამცირებს ღრმა

ანალიზის ჩატარების შესაძლებლობებს. თვლის გრუნტთან ურთიერთქმედების კვლევა გრუნტის არაერთგვაროვნებისა და არასტაბილურობის გამო, უმეტეს შემთხვევაში მეორე მიდგომის გამოყენებით უფროა მიზანშეწონილი.

განვიხილოთ მეორე მიდგომის ერთ-ერთი მეთოდი. საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ.2.7-ზე. განმსაზღვრელად არჩეულია ზონა 1 (სიგრძით 1 სმ და სიგანით b_{D0}), დატვირთვა ამ ზონაში შეიძლება ანალიზურად გამოსახოს სალტის დეფორმაციის (2.8) განტოლების, გარდაქმნილი სახით:

$$P_i = pb_{\text{D0}} \frac{\pi h_z}{2} \left(\frac{B}{H} + \frac{3H}{2B} \right) (P_w + P_0) \left(1 - \frac{h_z}{B} \right), \quad (2.10)$$

და გრუნტის დეფორმაციის განტოლებით:

$$P_{\text{A0}} = pb_{\text{D0}} = \frac{2EP_s h_{\text{A0}}}{(2Eh_{\text{A0}}/b_{\text{D0}}) + \pi P_s \alpha J Q_1}, \quad (2.11)$$

სადაც P_s - სალტიდან გრუნტზე ჯამური დაწნევაა.

მრავალ პლასტიკურ გრუნტზე წარმოქმნილი ნაკვალის სიღრმე თანაზომვადია სალტის პროტექტორის გრუნტჩამჭიდების სიმაღლესთან. ამ შემთხვევაში მიზანშეწონილია განისაზღვროს ცალ-ცალკე გრუნტჩამჭიდების ჩაფლობა გრუნტში და პროტექტორის ღრმულეებში. ამისათვის აუცილებელია განისაზღვროს კავშირი ზონის I საშუალო დაწნევისა და გრუნტჩამჭიდების ქვეშ, აგრეთვე ღრმულეებში. დაწნევებს შორის $K_5 P_{\text{გრ}} + (1 - K_5) P_{\text{ღრმ}} = P_s$ (სადაც $P_{\text{გრ}}$ - წნევა გრუნტჩამჭიდების ქვეშ; $P_{\text{ღრმ}}$ - წნევა პროტექტორის ღრმულეებში; K_5 - პროტექტორის ნახატის კოეფიციენტი).

ანალოგიური გამოსახულებების გამოყენებით $P_{\text{გრ}}$ და $P_{\text{ღრმ}}$ - სათვის მივიღებთ

$$P_{\text{A0}} = pb_{\text{D0}} = \frac{2EP_s h_{\text{A0}} K_5}{(2Eh_{\text{D0}}/b_{\text{D0}}) + \pi P_s \alpha J Q_1} + \frac{2EP_s (h_{\text{A0}} - \Delta pr)(1 - K_5)}{[2E(h_{\text{A0}} - \Delta pr)/b_{\text{D0}}] + \pi P_s \alpha J Q_1}, \quad (2.12)$$

როდესაც $h_{\text{გრ}} < \Delta$, მაშინ $h_{\text{გრ}} < \Delta \cdot P \cdot R = 0$;

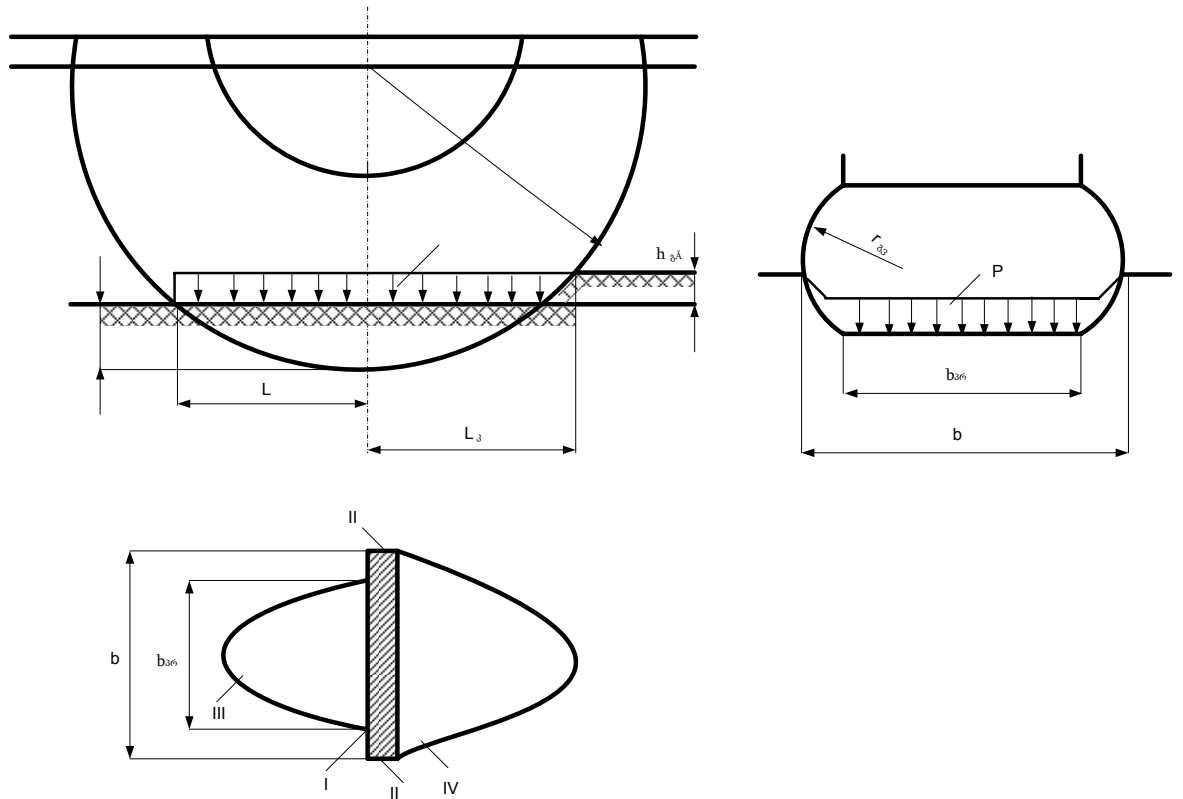
სადაც Δ - პროტექტორის ჯრმულეების სიმაღლეა;

R - სალტის გვერდულის რადიუსი;

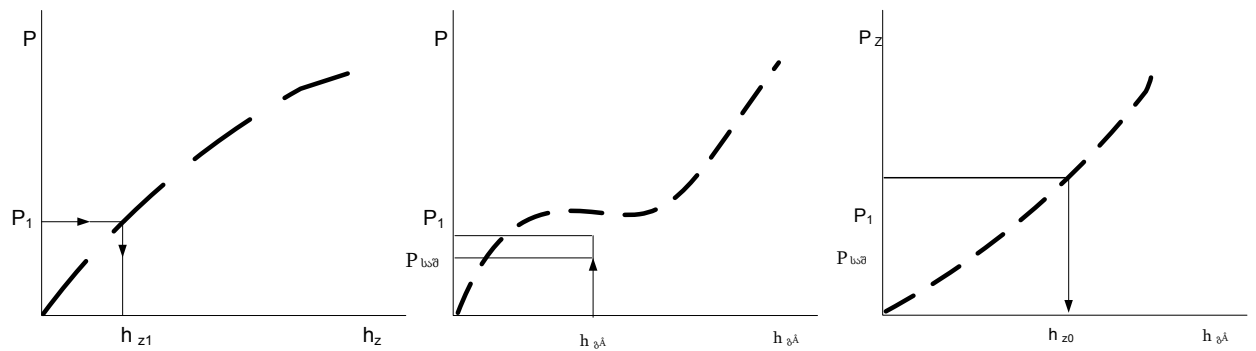
J - გრუნტის საანგარიშო კვეთის ინერციის მომენტი;

Q_1 - გრუნტის მზიდი თვისებების განმსაზღვრელი დატვირთვაა.

$\Delta_{\text{პრ}}$ შემთხვევაში მეორე წევრი მიიღება $h_{\text{გრ}} - \Delta_{\text{პრ}} = 0$



ნახ.2.7. თვლის გრუნტთან ურთიერთქმედების საანგარიშო სქემა



ნახ.2.8. სალტისა და გრუნტის დეფორმაციის გრაფიკები თვლის გორვისას გრუნტზე

განტოლებებით (2.10) და (2.11) შეიძლება ავაგოთ სალტის $P(h_z)$ და გრუნტის $P(h_{gr})$ დეფორმირების გრაფიკული მახასიათებლები (ნახ.2.8).

საღრმის გვერდულით (იხ.ნახ.2.8. ზონა I გადაიცემა დატვირთვის დამატებითი, მაგრამ მნიშვნელოვნად მცირე ნაწილი. მკაცრად რომ ვთქვათ, დამატებითმა დატვირთვამ უნდა გაზარდოს როგორც საღრმის დეფორმაცია, ასევე საღრმის ჩაფლობა გრუნტში. თუმცა, როგორც პრაქტიკა აჩვენებს, ეს ზრდა იმდენად უმნიშვნელოა, რომ მისი გავლენა საღრმისა და გრუნტის დეფორმაციაზე შეიძლება უგულებელვყოთ.

დატვირთვა ზონაში II

$$P_{II}=(b-b_{3r})p\xi, \quad (2.13)$$

სადაც b - კონტაქტის ზედაპირის სიგანეა; ξ - წნევის არათანაბარი განაწილების კოეფიციენტი.

სიდიდე b - შეიძლება განისაზღვროს განტოლებით:

$$b = b_{D0} + \frac{10(B + h_z - bpr)h_{D0}}{H - h_z + 10h_{D0}}, \quad (2.14)$$

ხოლო ξ მნიშვნელობას პოულობენ განტოლებით:

$$\xi = \int_0^{h_{D0}} Pdh_{D0} / dh_{D0} = P_s / P_1, \quad (2.15)$$

რომელიც ადვილად ამოიხსნება გრაფიკულად.

დატვირთვის განაწილება კონტაქტის ზედაპირის ზონებზე III და IV შეიძლება მივიღოთ ელიფსურად, მაშინ თვალზე მოქმედი ძალთა წონასწორობის განტოლება მიიღებს სახეს:

$$P_z=0.5\pi\ell P_1+0.5\pi\ell_3(P_1+P_{II}). \quad (2.16)$$

$\ell < \ell_3$ გამოისახება h_z და h_{3r} -ით როგორც წრეწირის ნახევარ ქორდები:

$$\begin{aligned} \ell &= \sqrt{2rh_z - h_z^2}, \\ \ell_k &= \sqrt{2r(h_z + h_{\Delta 0}) - (h_z + h_{\Delta 0})^2}. \end{aligned} \quad (2.17)$$

ფორმულებით (2.10) – (2.17) შეიძლება მივიღოთ $P_z(h_{3r})$ დამოკიდებულების გრაფიკი. ანგარიშის თანმიმდევრობა: ირჩევენ h_{3r} რამდენიმე მნიშვნელობას, ყოველი მათგანისათვის გრაფიკებით (ნახ.2.8) პოულობენ P და h_z მნიშვნელობებს, ხოლო შემდეგ ფორმულებით (2.12), (2.13), (2.14), (2.15), (2.16), (2.17) თანმიმდევრულად საზღვრავენ შესაბამისად P_1 , b , ξ , P_{II} , ℓ, ℓ_3 და P_z სიდიდეებს. გრაფიკით $P_z(h_{3r})$

ღებულობენ P_{z0} მოცემული მნიშვნელობის შესაბამის h_{z0} მნიშვნელობას, და შემგომ P , h_z, b , l და l_3 შესაბამის მნიშვნელობებს.

გრაფიკების ასაგებად (2.10) და (2.11) ფორმულების ნაცვლად შეიძლება გამოყენებული იქნან აგრეთვე სალტისა და გრუნტის დეფორმირების ექსპერიმენტული მახასიათებლები.

2.3. ავტომობილის თვლის წევითი და კინემატიკური თვისებების კვლევა გრუნტიან გზაზე მოძრაობის დროს

ყველა მაღალი გამავლობის ავტომობილისათვის დამახასიათებელია მათი თვლების გორვა როგორც არადეფორმირებად, ისე დეფორმირებად ზედაპირებზე. ელასტიური თვლის გორვა მყარ საყრდენ ზედაპირზე შესწავლილია უფრო ღრმად და წარმოადგენს ნაკლებ სირთულეს კვლევისათვის, ვიდრე თვლის ურთიერთქმედება გრუნტთან. ამიტომ მიზანშეწონილია თავიდან განვიხილოთ ელასტიური თვლის არადეფორმირებად საყრდენ ზედაპირზე გორვის საკითხები, ხოლო შემდეგ გავეცნოთ თვლის რბილ გრუნტზე გორვის თავისებურებებს.

განვიხილოთ თვლის არადეფორმირებად სწორ ზედაპირზე გორვის სქემა თავისუფალ რეჟიმში, რომელიც ხასიათდება იმით, რომ მანქანის კორპუსიდან თვალზე მოდებულია საყრდენი ზედაპირის მართობული ძალა P_z , და საყრდენი ზედაპირის პარალელური ძალა P_x (ნახ.2.9). ამძრავიდან თვალზე მიიყვანება მაბრუნე მომენტი M_{ω} . გზიდან თვალზე მოქმედებენ ნორმალური R_z , ტანგენციალური R_x და გვერდითი რეაქციები R_y . კონტაქტის ზონაში სალტის ოვალური სარბენი ზედაპირი გარდაიქმნება ბრტყელ ზედაპირად, ელემენტების შეკუმშვისა და გზის მიმართ მათი გაცურების შედეგად. თუმცა ამ რეაქციების ტოლქმედი ტოლია ნულის, რადგან ძალები კორპუსიდან თვალზე ამ მიმართულებით არ მოქმედებენ.

გზის ელემენტარული ნორმალური რეაქციების სიდიდე განისაზღვრება სალტის შესაბამისი ელემენტების ღუნვის წინააღმდეგობით. თვლის გორვისას სალტის ყოველი ელემენტი, გადის რა კონტაქტის ზონას, განიცდის ნორმალური დეფორმირების ციკლს. კონტაქტის წინა ნახევარში ადგილი აქვს დატვირთვის თანდათანობით ზრდას სალტის ელემენტზე და მისი ჩაღუნვა იზრდება 0-დან h_z -

მდე, ხოლო კონტაქტის უკანა ნახევარში ადგილი აქვს ჩალუნვის თანდათანობით შემცირებს h_z -დან 0-მდე. სალტის ელემენტის დატვირთვის შესაბამისი შემცირებით.

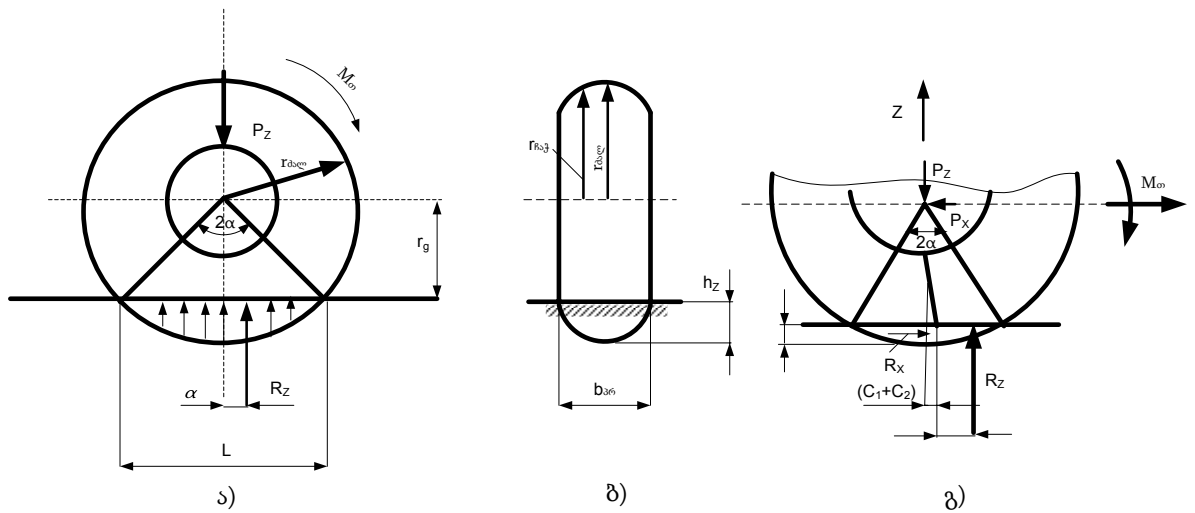
სალტის გარსში შიგა ხახუნის არსებობის გამო ჩალუნვის თანაბარი მნიშვნელობისას დეფორმირების წინააღმდეგობა დატვირთვის ზრდისას მეტია, ვიდრე მისი შემცირებისას, ამიტომ გზის ელემენტარული რეაქციები კონტაქტის წინა ნაწილში მეტია ვიდრე უკანაში, ხოლო გზის ნორმალური რეაქციების ტოლქმედი R_z გადანაცვლებულია წინ თვლის ღერძის მიმართ a სიდიდეზე.

ამის შედეგად R_z და P_z ქმნის თვლის გორვის წინააღმდეგობის მომენტს.

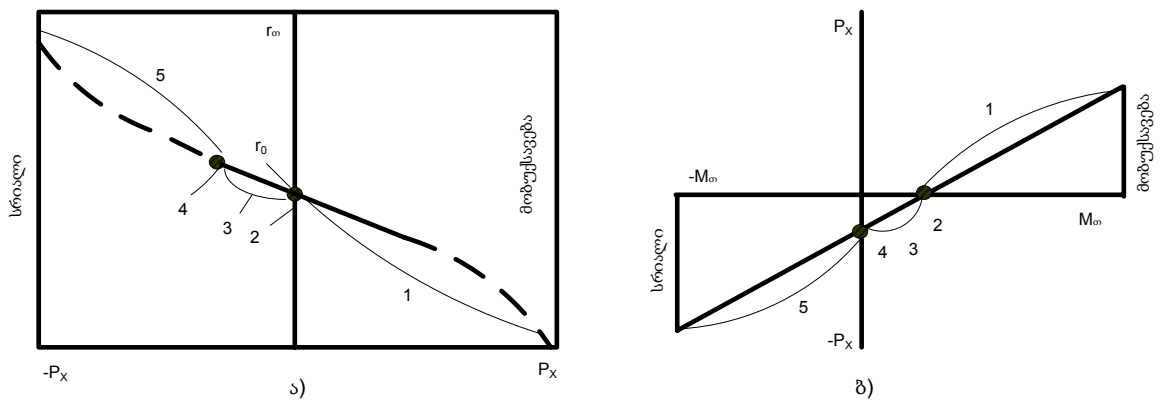
$$M_f = R_z a - P_z a. \quad (2.18)$$

თანაბარი გორვის უზრუნველყოფისათვის თვალთან მიყვანილი უნდა იყოს მომენტი $M_o = M_f$.

თვლის რთული ფორმა და ელასტიურობა აძნელებს თვლის მიერ განვლილი გზისა და მისი სიჩქარის ანალიზურ განსაზღვრას. თუ გავითვალისწინებთ, რომ კონტაქტის ზონაში ტანგენციალური ძალების ტოლქმედი ტოლია ნულის, შეიძლება ითქვას, რომ თვლის მობრუნებისას $2a$ კუთხით, თვლის ღერძმა უნდა გაიაროს კონტაქტის სიგრძის ტოლი მანძილი.



ნახ.2.9. ელასტიური თვლის მყარ ზედაპირზე გორვის სქემა:
 ა,ბ – თავისუფალ რეჟიმში;
 გ – ზოგად შემთხვევაში



ნახ.2.10. კინემატიკური და ძალური დამოკიდებულებები თვლის გორვის სხვადასხვა რეჟიმზე:

ა – გორვის რადიუსის დამოკიდებულება წვევის ძალაზე; ბ – წვევის ძალის დამოკიდებულება თვალთან მიყვანილი მომენტით;

1 – წამყვანი რეჟიმი; 2 – თავისუფალი; 3 – ნეიტრალური; 4 – ამყოლი;

5 – სამუხრუჭე რეჟიმი.

გორვის რადიუსი თავისუფალი რეჟიმისათვის r_0 (პირობითი ხისტი თვალის რადიუსი, რომელიც ერთი ბრუნვისას გაივლის გზას, რომელიც ტოლია ელასტიური თვლის მიერ განვლილი გზის) შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებით

$$r_0 = \ell / 2a,$$

ჩავსვათ ℓ -ს ნაცვლად გამოსახულებები:

$$\ell = 2r_{\text{სტ}} \sin a \approx 2r_{\text{სტ}}(a - a^3/6); \quad \ell = 2r_{\text{ფ}} \operatorname{tg} a \approx 2r_{\text{სტ}}(a + a^3/3);$$

მივიღებთ

$$r_0 = r_{\text{სტ}}(1 - a^2/6); \quad r_0 = r_{\text{ფ}}(1 + a^3/3);$$

ეს განტოლება ამოვხსნათ r_0 -ის მიმართ:

$$r_0 = \frac{3R_{\ell} r_{\text{ფ}} r_{\lambda}}{r_{\text{ფ}} + 2r_{\lambda}} = \frac{3R_{\ell} r_{\text{ფ}} (r_{\text{ფ}} - h_z)}{r_{\text{ფ}} + 2(r_{\text{ფ}} - h_z)}. \quad (2.19)$$

კოეფიციენტი R_{ℓ} ითვალისწინებს სალტის ელემენტების დეფორმაციებს კონტაქტის ზონაში. $R_{\text{სტ}}$ წარმოადგენს სალტის ცენტრალური სარტყელის გარე რადიუსს. სალტის დანარჩენ წრიულ სარტყლებს აქვთ ნაკლები რადიუსი (ნახ.2.9 ბ). შესაბამისად მათ უნდა ჰქონდეს გორვის ნაკლები რადიუსი და გადიოდნენ ნაკლებ გზას ერთჯერ შემობრუნებისას

ამრიგად, თვლის გორვის თავისუფალ რეჟიმზე შუა რგოლი ცდილობს გაიაროს მეტი მანძილი, ვიდრე კიდურა. სინამდვილეში ყველა რგოლი გადის რაღაც საშუალო მანძილს. ამასთან ადგილი აქვს რგოლების დამატებით წრიულ დეფორმაციას სხვადასხვა მიმართულებით. ამ დეფორმაციის სიდიდე დამოკიდებულია სალტის პროტექტორისა და კარკასის კონსტრუქციაზე. (ნახ.2.10).

რეგულიერბადი წნევის თანამედროვე თაღოვანი სალტებისათვის $R_{\ell} = 0,98$.

თვლის გორვა გრძივი ძალის P_x არსებობისას განსვხავდება განხილული შემთხვევისაგან იმით, რომ თავისუფალ რეჟიმში გორვისას მიმდინარე პროცესების გარდა, დამატებით ადგილი აქვს სალტის ტანგენციალურ დეფორმაციას და სალტის ელემენტების გაცურებას P_x ძალის მომქედების მიმართულებით (ნახ.2.9,გ) გარდა ამისა, კონტაქტის რადიალური კვეთის გამრუდების შედეგად თვლის ღერძი გადაინაცვლებს C_1 სიდიდეზე, კონტაქტის საშუალო განივი ღერძის მიმართ. P_x ძალის მოქმედებების მიმართულებით ნორმალური ძალების ტოლქმედი დამატებით

გადანაცვლებს წინ C_2 სიდიდეზე, რაც გამოწვეულია დატვირთვის არასიმეტრიულად მოდებისა და შესაბამისად სალტის არასიმეტრიული დრეკადი დეფორმაციებით [12]. ერთი ბრუნვისას თვლის მიერ განვლილი გზა მცირდება მასზე წვეის ძალის მოქმედებისას და იზრდება თვალზე მბიძგავი ძალის მოქმედებისას.

$$S_\alpha = \ell - S_{კუმ} - S_{მოც},$$

სადაც S_α - თვლის მიერ განვლილი გზაა, მისი მობრუნებისას $2a$ კუთხით; $S_{კუმ}$ - სალტის ტანგენციალური შეკუმშვა, გამოწვეული P_x ძალით; $S_{მოც}$ - სალტის მოცურებაა.

შესაბამისად იცვლება გორვის რადიუსის სიდიდე;

$$r = \frac{S_a}{2a} = r_0 - \frac{S_{E\dot{O}i} + S_{II\dot{Y}}}{2a} = r_0 \left(1 - \frac{S_{E\dot{O}i} + S_{II\dot{Y}}}{2ar_0} \right).$$

სადაც r_0 - თვლის თავისუფალი რადიუსია;

დამოკიდებულების $r_{\sigma}(P_x)$ მრუდი ნაჩვენებია ნახ.2.10 ა-ზე. P_x შედარებით მცირე მნიშვნელობებისას ეს დამოკიდებულება ახლოს არის წრფივთან. ამასთან მოცურებას პრაქტიკულად ადგილი არა აქვს, ($S_{მოც}=0$) და თვლის გორვის რადიუსი განისაზღვრება ფორმულით:

$$r_{\sigma 0} = r_0(1 - \lambda_x P_x); \quad (2.20)$$

სადაც $r_{\sigma 0}$ სუფთა გორვის რადიუსია; $\lambda_{r_x} = \frac{S_{E\dot{O}i}}{2ar_0 P_x}$ სალტის სარბენი ზედაპირის

ტანგენციალური კუმშვის კოეფიციენტი.

P_x უფრო დიდი მნიშვნელობების დროს ადგილი აქვს, სალტის ელემენტების გაცურებას P_x ძალის მოქმედების მიმართულებით.

გორვის რადიუსის განტოლება ამ საერთო შემთხვევაში შეიძლება გარდაიქმნას შემდეგი სახით:

$$r_{\sigma} = r_{\sigma 0}(1 - S_\delta), \quad (2.21)$$

სადაც $S_\delta = S_{მოც}/2a r_{\sigma 0}$ - ბუქსაობის კოეფიციენტი.

S_δ რიცხვით მნიშვნელობებს მყარი ზედაპირებისათვის პოულობენ ემპირიული ფორმულით:

$$S_\delta = (P_x/P_{z\phi})^\mu, \quad (2.22)$$

სადაც μ - ექსპერიმენტალურად განსაზღვრული მაჩვენებელია;

თვლის სიჩქარეს განსაზღვრავენ ფორმულით:

$$u_{\sigma} = \omega_{\sigma} r_{\sigma} = \omega_{\sigma} r_{\sigma 0} (1 - S_{\delta}).$$

გარდა ამისა იგი შეიძლება გამოისახოს ფორმულით:

$$u_{\sigma} = u_{\sigma 0} - u_s = u_{\sigma 0} (1 - u_s / u_{\sigma 0}),$$

სადაც $u_{\sigma 0}, u_s$ - შესაბამისად სუფთა გორვის და ბუქსაობის სიჩქარეებია. ბოლო ორი განტოლების შედარებიდან ჩანს, რომ $S_{\delta} = u_s / u_{\sigma 0}$.

ნახ.2.9 გ-ის გამოყენებით შეიძლება ელასტიური თვლის მყარ ზედაპირზე მოძრაობის განტოლებები:

$$m\ddot{x} = mjR_x - P_x; \quad (2.23)$$

$$m\ddot{z} = R_z - P_z = 0; \quad (2.24)$$

$$j_{\dot{E}} \frac{d\omega_{\dot{E}}}{dt} = M_{\dot{E}} - R_x r_{\dot{E}} - R_z (\alpha + C_1 + C_2), \quad (2.25)$$

სადაც m - თვლის მასაა; $J = \frac{d\omega}{dt}$ - თვლის წრიული ანუ კუთხური აჩქარებაა; j_{σ} - თვლის ინერციის მომენტი.

$(C_1 + C_2)$ მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის დავეწროთ თვლის სიმძლავრის ბალანსის განტოლებას, დაუშვათ $S_{\delta \sigma} = 0$

$$M_{\sigma} \cdot \omega = R_x \cdot r_{\sigma} \cdot \omega_{\sigma} + \omega_{\sigma} \cdot j + R_z \cdot a \cdot \omega_{\sigma}. \quad (2.26)$$

(2.25) და (2.26) განტოლებებიდან

$$C_1 + C_2 = \frac{R_x}{R_z} (r_{\sigma} - r_{\sigma 0}).$$

გორვის წინააღმდეგობის მომენტის M_f განსაზღვრისათვის იყენებენ სალტის გორვის წინააღმდეგობის ძალას $P_f = M_f / r_{\sigma 0}$ და თვლის გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტს $f_s = P_{f0} / P_z$.

(2.25) განტოლებაში $C_1 + C_2$ მნიშვნელობის ჩასმით და

$$R_x = mj + P_x; \quad R_z a = M_f = f_s P_x r_{\sigma}; \quad d\omega_{\sigma} / dt = j_{\sigma},$$

გათვალისწინებით, მივიღებთ თვლის წევის ბალანსის განტოლებას:

$$P_{\sigma} = M_{\sigma} / r_{\sigma 0} = f_s P_z + R_x + j_{\sigma} / r_{\sigma 0} \cdot r_{\sigma}, \quad (2.27)$$

სადაც P_{σ} ძრავიდან თვალთან მიყვანილი სრული წრიული ძალაა.

თვლიდან მანქანის კორპუსს გადაეცემა წევის ძალა $P_{წევა}$, რომელიც რიცხობრივად ტოლია P_x ძალის, მაგარმ აქვს საპირისპირო მიმართულება.

თვლის მოძრაობის რეჟიმი განისაზღვრება თვლის ღერძზე მოდებული ძალებისა და მომენტების ერთობლიობით (ნახ:2.10, ბ).

როცა $M_{თ}=0$; $R_x<0$ ამცოლი რეჟიმი
როცა $M_{თ}>0$; $R_x<0$, ნეიტრალური რეჟიმი
როცა $M_{თ}>0$; $R_x>0$, წამყვანი რეჟიმი
როცა $M_{თ}>0$; $R_x=0$, თავისუფალი რეჟიმი
როცა $M_{თ}<0$; $R_x<0$, სამუხრუჭე რეჟიმი

თვლის შესაძლო მოძრაობა განისაზღვრება არა მარტო წევის ბალანსის განტოლებით, არამდე გზის თვალზე მოქმედი საჭირო ტანგენციალური R_x რეაქციისა და თვლის გზასთან ჩაჭიდების შესაძლო ძალის ურთიერთდამოკიდებულებით.

მოძრაობა შესაძლებელია როცა $R_x \leq \varphi R_z$ სადაც φ თვლის გზასთან ჩაჭიდების კოეფიციენტი.

შევნიშნოთ, რომ თავისუფალ რეჟიმში ($R_x=0$) შესაძლებელია თვლის გორვა, როცა $\varphi=0$.

თვლის გორვის თავისებურება რბილ გრუნტზე. თვლის გორვისას რბილ გრუნტზე (იხ.ნახ.2.7) არსებითად რთულდება კონტაქტის ზედაპირის წინა ნაწილის ფორმა, კონტაქტში ნომრალური და მხები ძალების განაწილების ხასიათი, გრუნტის დეფორმაციის შედეგად იცვლება თვლის გორვის კინემატიკა.

გამარტვიებისათვის ჩვეულებრივად იღებენ, რომ კონტაქტის წინა ნაწილის გრძივი კვეთი შედგება ორი ნაწილისაგან: პირველი (AB) r_0 რადიუსის წრეწირის რკალი და მეორე (BC) წრფე (ნახ.2.11), მაშინ სქემაზე (ნახ.2.9) დამატებით წარმოიქმნება გრუნტის რეაქციები AB უბანზე. მათი ნორმალური მდგენელები გადიან თვლის ცენტრებზე, ამიტომ არავითარ დამატებით მომენტს არ აღძრავენ. ამ რეაქციების ჰორიზონტალური მდგენელი $R^1_x=P_f$ წარმოადგენს გორვის წინააღმდეგობის ძალას, ხოლ ვერტიკალური მდგენელი R^1_z ზრდის სალტის მზიდ თვისებას P_z დატვირთვით გამოწვეული იგივე სალტის ნორმალური ღუნვის h_z დროს.

მოძრაობის განტოლებებს თვლის გორვისათვის რბილ გრუნტზე აქვთ სახე:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= R_X - P_X - R'_X; \\ m\ddot{z} &= R_Z + R'_Z - P_Z = 0; \\ j_{\dot{E}} \frac{d\omega_{\dot{E}}}{dt} &= M_{\dot{E}} - R_Z(\alpha + C_1 + C_2) - (R_X - R'_X) \check{A}_{\check{A}} \end{aligned} \right\} \quad (2.28)$$

ხოლო წვეის ბალანსის განტოლება

$$P_{\sigma} = M_{\sigma} / r_{\sigma 0} = (f_n + f_{gr}) P_Z + P_X + J_{\sigma} j / r_{\sigma 0} \cdot r_{\sigma}, \quad (2.29)$$

სადაც $f_{gr} = R'_X / P_Z$ გრუნტის თვლის გორვის გრძივი დეფორმაციით გამოწვეული წინააღმდეგობის კოეფიციენტი, ამ შემთხვევაში გრუნტთან ჩაჭიდების თვლის გორვის შესაძლებლობის შეზღუდვის განსაზღვრა ხდება უტოლობით:

$$R_X = (P_X + R'_X) < P_{\sigma}.$$

რბილ გრუნტზე, როცა $P_{\sigma} = 0$ შესაძლებელია თვლის მობუქსავება, თუ $R'_X > P_{\sigma}$.

ზოგად შემთხვევაში შეიძლება გვექონდეს თვლის გრუნტთან ჩაჭიდების შეზღუდვის ორი სქემა.

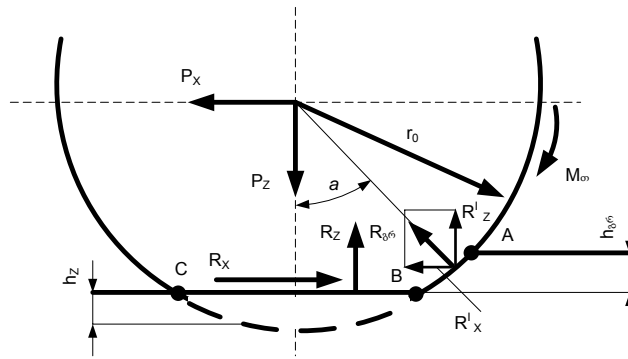
პირველი სქემის მიხედვით (ნახ.2.12) თვლის გრუნტთან ჩაჭიდების შეზღუდვა (ბუქსაობა) ხდება გრუნტის ჭრის და პროტექტორის გამონაშვებების გრუნტზე სრიალის შედეგად:

$$R_{ჩაჭ} = P_Z K_{\sigma} (\varphi_{\sigma} + F_3 (1 - K_{\sigma})) (P \operatorname{tg} \varphi_0 + C_0) R_{\Delta}, \quad (2.30)$$

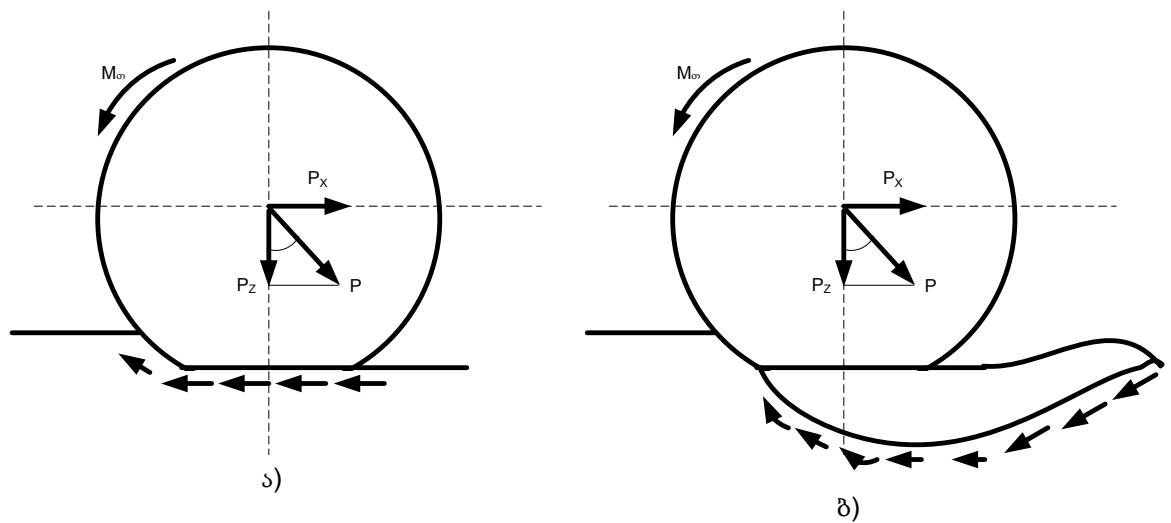
სადაც $R_{ჩაჭ}$ ჩაჭიდების შესაძლო გრუნტის ტანგენციალური რეაქციაა; φ_{σ} რეზინის გრუნტზე ხახუნის კოეფიციენტი; K_{σ} - პროტექტორის კოეფიციენტი; F_3 - კონტაქტის ფართობი; R_{Δ} - გრუნტის ჩამჭიდი თვისებების სიღრმეზე ცვლილების კოეფიციენტი. R_{Δ} მნიშვნელობა შეიძლება გამოსახული იქნეს განტოლებით $R_{\Delta} = 1 + C_{\Delta} h^{\mu_{\Delta}}$ სადაც C_{Δ} გრუნტის არაერთგვაროვნების პარამეტრებია.

(2.30) განტოლების ყველა წევრის P_Z -ზე გაყოფით ჩაჭიდების კოეფიციენტის გამოსახულებას ექნება სახე

$$\varphi = K_{\sigma} \varphi_{\sigma} + (1 - K_{\sigma}) (\operatorname{tg} \varphi_0 + C_0 / P_Z), \quad (2.31)$$



ნახ.2.11. ელასტიური თვლის რბილ გრუნტზე გორვის სქემა



ნახ.2.12. თვლის გრუნტთან ჩაჭიდების შეზღუდვის სქემა გამოწვეული:
 ა – კონტაქტის სიბრტყეში თვლის გრუნტზე სრიალის წინააღმდეგობით;
 ბ – გრუნტის მიზიდი თვისებით.

მეორე სქემის მიხედვით თვლის გრუნტთან ჩაჭიდების შეზღუდვა ხდება გრუნტის მიერ მზიდი თვისების დაკარგვის შედეგად, როცა თვლის ჯამური დატვირთვა ხდება გრუნტის მზიდი თვისების ტოლი $P=Q_s$. ამ შემთხვევაში თვლის ბუქსაობისას გრუნტის ძვრას ადგილი აქვს კონტაქტის ზედაპირიდან რაღაც სიდიდით დაშორებისას:

$$R_{x\beta\gamma} = Pz \operatorname{tg} \beta \sqrt{Q_s^2 - P_z^2};$$

$$\varphi = R_{x\beta\gamma} / Pz \operatorname{tg} \beta = \sqrt{(Q_s / P)^2 - 1}, \quad (2.32)$$

სადაც Q_s - გრუნტის დასაშვები დატვირთვაა, განსაზღვრული მისი მზიდი თვისებით; Q_s მნიშვნელობა განისაზღვრება განტოლებით [20]:

$$Q_s = P_s F_3 \cos \beta = X_1 \ell_{\dot{E}} \frac{\pi - 4 \beta \operatorname{tg} \varphi_0}{\pi + 4 \beta \operatorname{tg} \varphi_0} \cos \beta + X_2 \frac{3\pi - 2\beta}{3\pi + 2\beta} + X_3 h_{\dot{A}\dot{O}} F_3 \cos \beta.$$

თვლის გრუნტთან ზღვრული ჩაჭიდების ნამდვილი მნიშვნელობა უდრის (2.31) და (2.32) ფორმულებით მიღებული მნიშვნელობებიდან მცირეს. მაგალითისათვის ქვემოთ მოყვანილია თვლის ფხვიერ გრუნტთან ჩაჭიდების ექსპერიმენტული მონაცემები (ნახ.2.13,ა) და გაანგარიშების შედეგები (ნახ.2.13,ბ) ანგარიშისათვის მიღებულია გრუნტის მექანიკური თვისებების განსაზღვრელი შემდეგი გამომავალი მონაცემები: $\varphi_0=34^\circ$, $C_0=1$ კპა, $\gamma=1400$ კგ/მ³, $H_{gr}=0,35$ მ, $E=4,5$ მპა, $\alpha=1$, $X_1=313$ კპა/მ, $X_2=17$ კპა/მ, $X_3=50$ კპა/მ.

იმისათვის რომ მივიღოთ ექსპერიმენტულ მონაცემებთან შეთანხმებული შედეგები, ჩატარებულ იქნა გაანგარიშების ორივე ვარიანტი. პირველ ვარიანტში მიღებულია $P_x=200005$, $F_3=P_z/P$; $\ell_{\dot{E}} = \sqrt{F_{\dot{E}}}$, მეორეში $F_3=2\theta^2$; $P_z=F_3$.

ანგარიშის შედეგების ანალიზით შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ მნიშვნელოვანი სისქის ფხვიერი შრის მქონე გრუნტზე თვლის ჩაჭიდება იზღუდება გრუნტის მზიდი თვისებით. ანგარიშის შედეგები მეორე სქემის მიხედვით კარგად ეთანხმებიან ექსპერიმენტის მონაცემებს. ანგარიში პირველი სქემის მიხედვით იძლევა გადაჭარბებულ შედეგებს.

მოყვანილი მაგალითი საშუალებას იძლევა პასუხი გავცეთ ადრე მნელადასახსნელ კითხვებს: რატომაა გრუნტებისათვის თვლის გრუნტთან ჩაჭიდების კოეფიციენტი, როგორც წესი, წინა ხახუნის $\operatorname{tg} \varphi_0$ კოეფიციენტზე ნაკლები

და რატომ მცირდება არსებითად ჩაჭიდების კოეფიციენტის მნიშვნელობა გრუნტის ნორმალური დაწნევის გაზრდისას?

თვლის გრუნტთან ჩაჭიდების მაქსიმალური შესაძლებლობების შეიძლება რეალიზებულ იქნას, მაგალითად, მანქანის ადგილიდან დაძვრის დროს, როცა კონტაქტის სიგრძეზე გრუნტის ტანგენციალური ძვრის განაწილება ახლოა თანაბართან. თვლის გორვის პროცესში მაქსიმალურად შესაძლო ჩაჭიდების ძალა მცირეა კონტაქტის სიგრძეზე გრუნტის ტანგენციალური ძვრის არათანაბრი განაწილებისას. ამასთან ჩაჭიდებით რეალიზებული ძალა დამოკიდებულია თვლის ბუქსაობის სიდიდეზე.

კუთრი მხები ძალის დამოკიდებულება გრუნტის წანაცვლების სიდიდეზე შეიძლება წარმოდგენილი იქნას გრაფიკის სახით (ნახ.2.15). კონტაქტის სიგრძეზე ტანგენციალური წანაცვლების განაწილება შეიძლება გამოვთვალოთ, თუ თვლის გორვას გრუნტზე განვიხილავთ, როგორც მობრუნებას მყისიერი ცენტრის მიმართ (ნახ.2.14).

თვლის მობრუნებისას მყისიერი ცენტრის O_1 მიმართ $d\alpha$ კუთხით წერტილი M გადაინაცვლებს $ds=O_1M d\alpha$ სიდიდეზე; ამ გადაინაცვლების ტანგენციალური მდებარეობა

$$dj = ds \sin(\alpha - \beta) = O_1M \sin(\alpha - \beta) d\alpha,$$

თუ გამოვიყენებთ გამოსახულებას

$$O_1M = (\xi - z) \operatorname{tg} \alpha / \cos \beta; \operatorname{tg} \beta = [r_0 - (\xi - z)] / (\xi - z) \operatorname{tg} \alpha,$$

შეიძლება დავწეროთ

$$dj = [(\xi - z) / \cos \alpha - r_0 \cos \alpha] d\alpha,$$

$$j = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} [(\xi - z) / \cos \alpha - r_0 \cos \alpha] (-d\alpha),$$

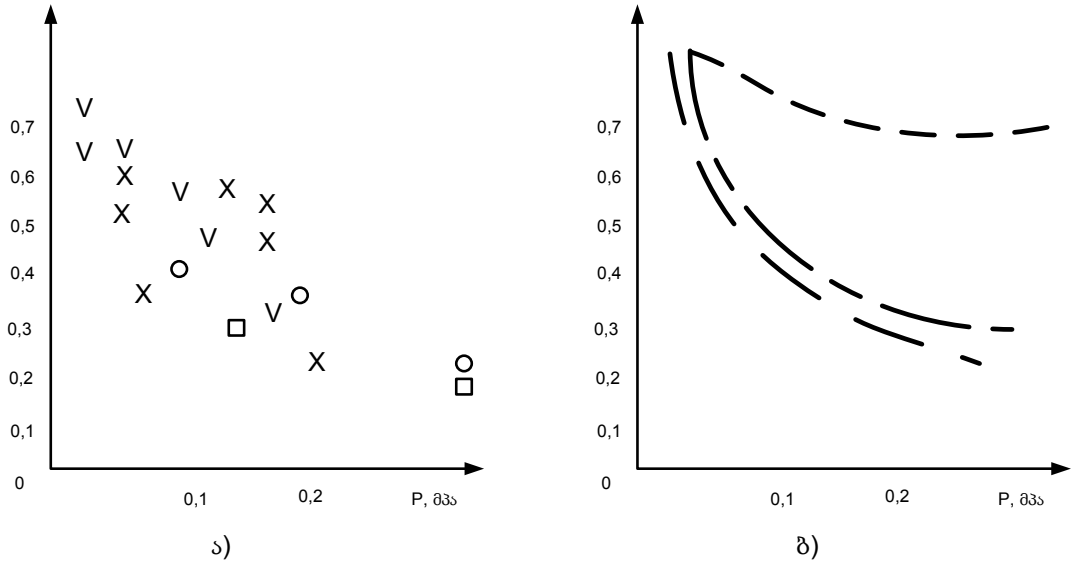
სადაც $r_0 = r_0(1 - S_\delta)$

AB უბნისათვის $(\xi - z) / \cos \alpha = r$,

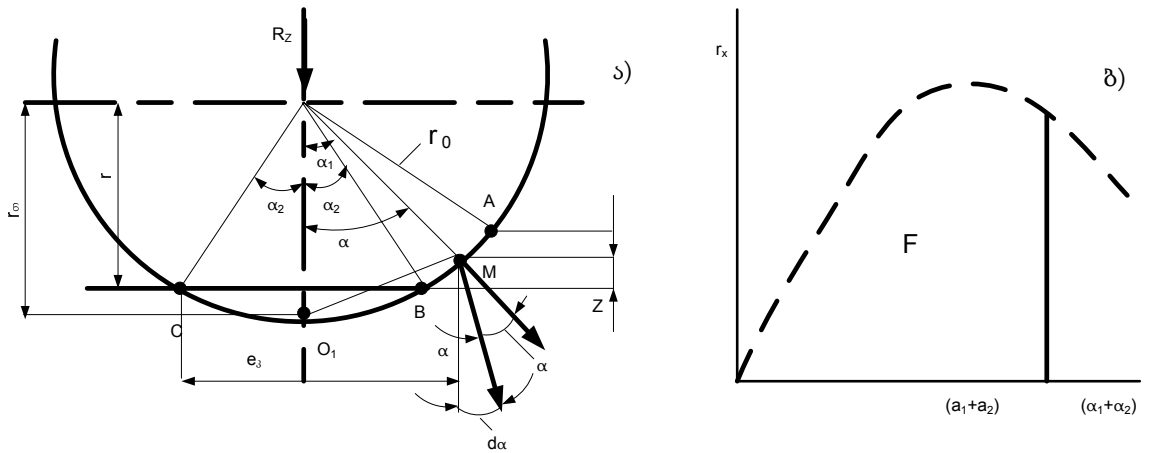
$$j_1 = r(\alpha_1 - \alpha) - r_0(1 - S_\delta)(\sin \alpha_1 - \sin \alpha). \quad (2.33)$$

BC უბნისათვის

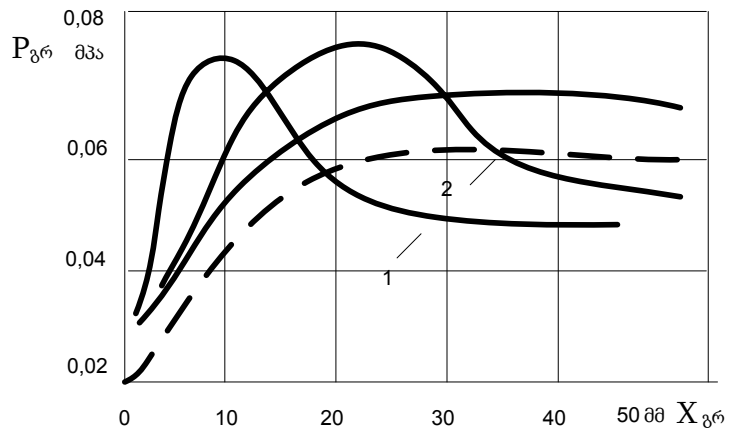
$$j_1 = r(\alpha_1 - \alpha) - r_0(1 - S_\delta)(\sin \alpha_1 - \sin \alpha) + (\xi + h_{\delta^6}) \operatorname{In} \frac{\operatorname{tg}(0,25\pi + 0,5\alpha_2)}{\operatorname{tg}(0,25\pi - 0,5\alpha)}. \quad (2.34)$$



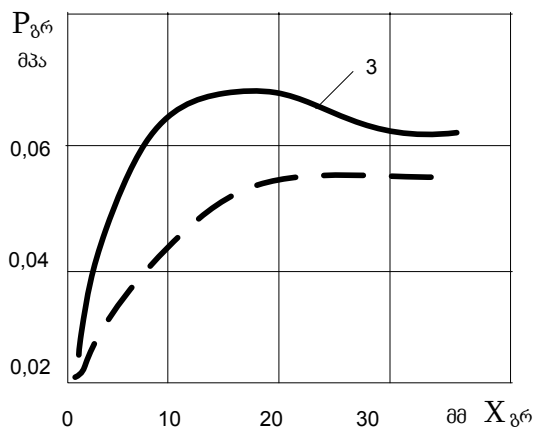
ნახ.2.13. თვლის ფხვიერ გრუნტთან ჩაჭიდების კოეფიციენტის დამოკიდებულება კონტაქტში ნორმალურ დაწნევაზე: ა – ექსპერიმენტული მონაცემები; ბ – საანგარიშო მონაცემები; □ - დაბალი წნევის სალტეები; O - სალტეები წნევის რეგულირებით; X - თაღოვანი სალტეები; V - პნევმო საგორავები.



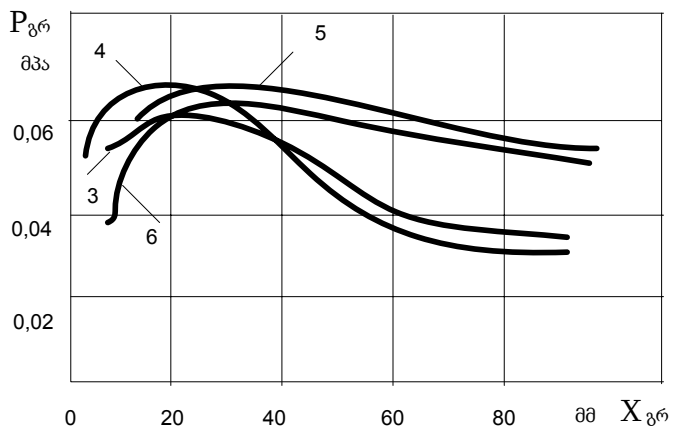
ნახ.2.14. თვლის გრუნტთან ჩაჭიდების ძალების განმსაზღვრელი საანგარიშო სქემები ბუქსაობაზე დამოკიდებულებით: ა - სალტის ელემენტების გრუნტის მიმართ ტანგენციალური გადაადგილების განმსაზღვრელი სქემა; ბ - სქემა, ინტეგრალის გრაფიკული ამოხსნისათვის.



ა)



ბ)



გ)

ნახ.2.15. ძვრის წინააღმდეგობის დამოკიდებულება გრუნტის ძვრის სიდიდეზე.
 ა – გრუნტის ძვრა; ბ – რეზინის ძვრა გრუნტზე; გ – საანგარიშო მნიშვნელობები

α_1 , α_2 და $\sin\alpha_2$ მნიშვნელობა შეიძლება გამოისახოს სალტისა და გრუნტის დეფორმაციით

$$\alpha_1 = \arccos[1 - (hz + h_{gr})/r];$$

$$\alpha_2 = \arccos[1 - (hz/r)];$$

$$\sin\alpha_2 = \sqrt{\frac{h_z}{r} \left(z - \frac{h_z}{r} \right)}.$$

ჩაჭიდების ჯამურ ძალას პოულობენ ელემენტარული ძალების ინტეგრებით კონტაქტის სიგრძეზე

$$R_x = b \int_{\alpha_2}^{\alpha_1} \tau(j) r da.$$

ფორმულებით (2.33) და (2.34) აგებენ $r(\alpha_1 - \alpha)$ დამოკიდებულებას (ნხ.2.14ბ) და აწარმოებენ გრაფიკულ ინტეგრებას (საძებნი ინტეგრალის სიდიდე ტოლია დაშტრიხული ფართობის): როდესაც $r=r_0$, AB უბანზე და $r=r_0 \cos\alpha$ BC უბანზე.

ამოხსნის გამარტივებისათვის კონტაქტს სიგრძეზე P_3 და P_{ξ_1} არათანაბრი განაწილება შეიძლება გავითვალისწინოთ ξ_1 კოეფიციენტით:

$$R_{X_{P_3}} = F_3 \left[\frac{K_i}{(1/p\phi_0) + (\xi_1/E'_{\phi} j)} + \frac{1 - K_i}{1/(ptg\phi_0 + C_0V) + (\xi_1/E'j)} \right] \quad (2.35)$$

ან

$$R_{X_{P_3}} = F_3 \{ R_H \phi P [1 - \exp(-R_0 j / \xi_1)] + (1 - K_5) (Pt\phi_0 + C_0 v) [1 - \exp(R_0 j / \xi_1 t)] \}, \quad (2.36)$$

სადაც: $j = S_{\delta} l_3 = S_{\delta} Pz / pb_{\delta}$; v - თვლის გორვის სიჩქარეა.

ξ_1 სიდიდეს განსაზღვრავენ (2.35) და (2.36) ფორმულებით მიღებული მონაცემების შედარებით ექსპერიმენტულ მონაცემებთან ან გაანგარიშების შედეგებთან პირველი (გრაფიკული) მეთოდით, უმეტეს შემთხვევაში $\xi_1 = 2 \pm 3$.

თვლის წევითი და კინმატიკური თვისებების შემფასებელი უგანზომილებო მაჩვენებლებს წარმოადგენენ ჩაჭიდების კოეფიციენტი $\phi = R_x / Pz$; გრუნტის გორვის წიანაღმდეგობის კოეფიციენტი $f_{gr} = R'_{x} / Pz$, ხოლო ბუქსაობის კოეფიციენტი $S_{\delta} = V_s / V$.

სადაც V_s - თვლის ბუქსაობის სიჩქარეა.

წევითი თვისებების გავრცობილ მაჩვენებლად შეიძლება გამოვიყენოთ დამოკიდებულება $R_{წვ}(\Delta)$, სადაც $K_{წვ}=(\rho-f_{წვ})$ - წვეის კოეფიციენტი ჩაჭიდების მიხედვით.

2.4. ავტომობილის თვლის გორვის ენერგეტიკული დანახარჯების კვლევა გრუნტიან გზაზე მოძრაობის დროს

ელასტიური თვლის გრუნტზე გორვა დაკავშირებულია მექანიკური ენერჯის დანახარჯებთან გრუნტის დეფორმაციაზე, სალტეში ჰისტერეზისულ დანაკარგებზე, სალტის გრუნტის მიმართ გასრიალებაზე, გრუნტის სალტეზე მიკვრის გადალახვაზე, აგრეთვე თვლიდან ავტომობილის კორპუსზე გადაცემული ძალის სასარგებლო (წვეის) მუშაობის შესრულებაზე.

გრუნტის დეფორმაციაზე დახარჯული მუშაობა ($A_{გვ}$) დამოკიდებულია წარმოქმნილი ნაკვალის ზომებზე და გრუნტის კუმშვის წინაღმდეგობის მახასიათებლებზე. მიახლოებით გრუნტის შეკუმშული ამონახსნის კვეთის ფორმა შეიძლება ავიღოთ მართკუთხა (ნახ.2.16) სიგანით $\Delta=\Delta_{გვ}2/3(\Delta_{გ}-\Delta_{გვ})$ და გრუნტის დეფორმაციაზე დახარჯული მუშაობის განსაზღვრისათვის გამოვიყენოთ განტოლება:

$$A_{გვ}=S\Delta \int_0^{h_{\Delta 0}} psh_{\Delta 0} , \tag{2.37}$$

სადაც s - ნაკვალევის სიგრძეა.

$P(h_{გვ})$ ფუნქცია წარმოდგება გრაფიკულად. საერთო შემთხვევაში, ამ ფუნქციის ნებისმიერი ხასითის დროს, განტოლებას (2.37) ხსნიან გრაფიკული ინტეგრების მეთოდით (ინტეგრალის სიდიდეს საზღვრავენ დაშტრიხული ფართობით ნახ.2.16ბ-დან).

კონკრეტული ამოცანების გადაწყვეტისას $P(h_{გვ})$ ფუნქცია მარტივდება და შესაძლებელია ანალიზური გზით ამოხსნა. მაგალითად, როცა $h_{გვ}=\infty$, $Q_1=Q_2=1$, $A_{გვ}$ შეიძლება განისაზღვროს განტოლებით:

$$A_{\text{გრ}} S_b \left[P_s h_{\text{ა0}} + \frac{P_s^2 b a j}{E} \ln \frac{P_s b a j - E h_{\text{ა0}}}{P_x b a j} \right].$$

თვლის გორვა ბულდოზერული ზემოქმედებით ნაკლებადაა შესწავლილი. გორვის დამატებითი წინააღმდეგობის საორიენტაციო განსაზღვრისათვის, რომელიც გამოწვეულია ბულდოზერული ზემოქმედებით, შეიძლება გამოყენებულ იქნას ფორმულა:

$$P_{\delta} = F_{\delta} P_{\text{წინ}}, \quad (2.38)$$

სადაც $P_{\text{წინ}}$ - გრუნტის კუთრი წინააღმდეგობა ჰორიზონტალური წანაცვლებისადმი.

$$P_{\text{წინ}} = 0,5 \gamma h_{\text{გრ}} \text{tg}^2(45^\circ + \varphi_0/2) + 2C \text{ctg}(45^\circ + \varphi_0/2). \quad (2.39)$$

იმვე მიზნისათვის შემოთავაზებულია შემდეგი ფორმულა [50].

$$P_s = \frac{b \sin(\alpha + \varphi_0)}{2 \sin \alpha \cos \varphi_0} (2h_{\text{ა0}} C_0 R_c + \gamma h_{\text{ა0}}^2 R_\gamma + \frac{\pi \ell_0^3 (90^\circ - P_0)}{540} + \frac{\pi c_0 \ell_0^2}{180} + 2C_0 \ell_0^2 \text{tg}(45^\circ + \varphi_0/2))$$

$$\text{სადაც } R_c = (x_2 = \text{tg}(\varphi_0) \cos^2 \varphi_0); R_\alpha = [(s x_1 / \text{tg}(\varphi_0)) \cos^2 \varphi_0];$$

$$\ell_0 = h_{\text{გრ}} \text{tg}^2(45^\circ + \varphi_0/2); \alpha = \arccos(1 - h_{\text{გრ}}/D)$$

თვლის გორვის წინააღმდეგობას მყარი საფუძვლის მქონე ბლანტ გრუნტზე საზღვრავენ განტოლებით:

$$P_j = 0,5 \rho_m v^2 F_{\text{ზედ}} C_\alpha,$$

სადაც ρ_m - სიმკვრივეა; v - გრუნტის ძვრი სიჩქარეა; $F_{\text{ზედ}}$ - ზედაპირის ფართობია; C_α - შუბლა წინააღმდეგობის კოეფიციენტი, წარმოდგენილი შემდეგი ფუნქციით $N = \rho_m H_{\text{მიმდ}}/\mu$, სადაც $H_{\text{მიმდ}}$ მიმდებარე გრუნტის შრის სისქეა; μ სიბლანტეა.

სალტის დეფორმაციისას ჰისტერეზისული დანაკარგებით გამოწვეული თვლის გორვის წინააღმდეგობას, ჩვეულებრივ საზღვრავენ ექსპერიმენტულად. ამასთან სხვადასხვა პარამეტრების $P_{f\mu}$ -ზე გავლენის ანალიზისათვის იყენებენ მათემატიკურ გამოსახულებებს, მიღებულს ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავებით [4]. ასეთი გამოსახულებები მართებულია, როგორც წესი, მხოლოდ ექსპერიმენტის პირობებში.

სალტეში ჰაერის შიგა წნევის ცვლილების დიდ ზღვრებში გრუნტზე თვლის გორვის წინააღმდეგობის ძალის $P_{f\mu}$ -ს განსაზღვრა ხდება ნახევრადემპირიული ხერხით, გამომავალ პარამეტრებად აღებულია ჰისტერეზისული დანაკარგები.

სალტის ყველა ელემენტის შიგა ხახუნის ძალების მუშაობის ინტეგრებით (ჰისტერეზისული დანაკარგები), კონტაქტის ზონაში დატვირთვა-განტვირთვა ერთჯრადი ციკლის დროს მიღებულია სალტის შიგა ხახუნის კუთრი ძალის შემდეგი ფორმულა [5]:

$$C = \frac{K_{აღბბ}}{[2 \arccos(1 - h_z / r) \ln \left(\frac{1 + \sqrt{2h_z / r}}{1 - \sqrt{2h_{აბ} / r}} \right)]},$$

სადაც $K_{აბბ}$ - ჰისტერეზისული დანაკარგების სიდიდეა, რომელიც განისაზღვრება დატვირთვის მახასიათებლიდან.

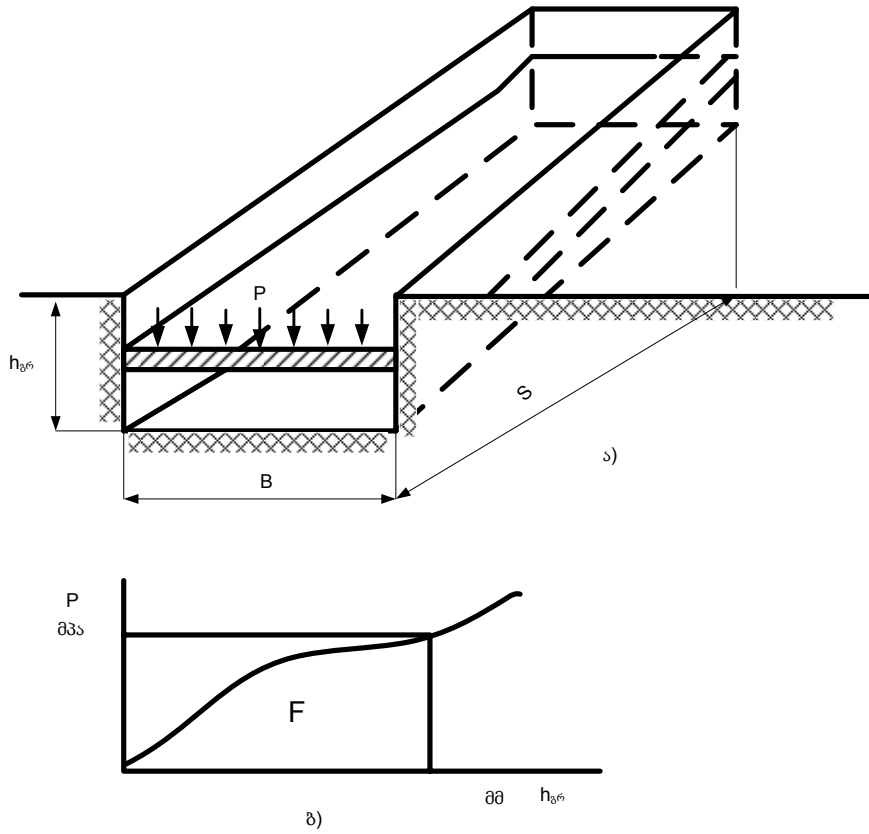
გორვის წინააღმდეგობის მუშაობა განისაზღვრება განტოლებით

$$A_f = 4\pi C n h z,$$

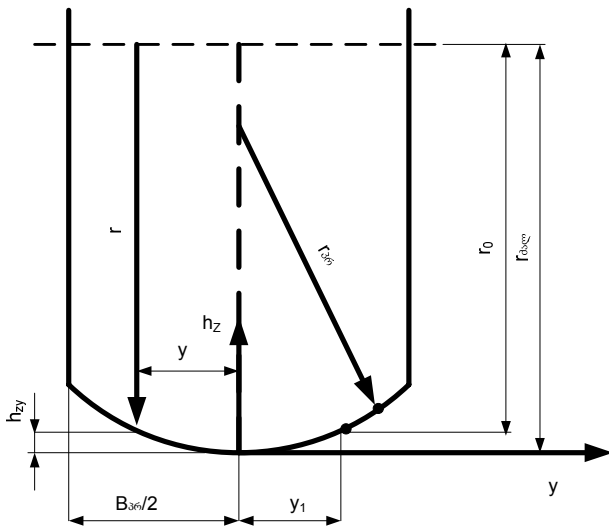
სადაც n - თვლის ბრუნვის სიხშირეა.

განხილული მეთოდი ითვალისწინებს სალტის მხოლოდ ერთ კონსტრუქციულ პარამეტრს r_0 , ყველა დანარჩენი კონსტრუქციული პარამეტრების გავლენა ასახულია $K_{აბბ}$ პარამეტრში, რომელიც განისაზღვრება ექსპერიმენტულად.

არადეფორმირებად ზედაპირზე თვლის თავისუფალი გორვისას მექანიკური [1] ენერგიის დანაკარგები განპირობებულია სალტის რეზინაკორდული გარსის შიგა ხახუნით მისი ღუნვისა და აღდგენის დროს, პროტექტორის რეზინის ციკლური შეკუმშვისა და მისი ელემენტების საყრდენი ზედაპირის მიმართ გასრიალებით. შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ სალტეში ჰაერის შეკუმშვაზე დახარჯული ენერგია მცირე ხახუნის გამო აღდგება. სალტის ერთი ბრუნვისას გარსის დეფორმაციაზე დახარჯული მუშაობა ტოლია:



ნახ.2.16. გრუნტის დეფორმაციაზე დახარჯული მუშაობის განსაზღვრის სქემა:
 ა – გრუნტის დეფორმაციის სქემა;
 ბ – განტოლების ინტეგრალის გრაფიკულად ამოხსნის სქემა.



ნახ.2.17. საღრის ელემენტების გზის (გრუნტის) მიმართ გასრიალებაზე დახარჯული მუშაობის განმსაზღვრელი სქემა

$$A_{b1} = [2\pi r p_0 \psi_1 / (P_{\omega} + P_0)] \int_0^{h_z} p b_{D0} dh_z,$$

სადაც გამოსახულება $p_0 \psi_1 / (P_{\omega} + P_0)$ ახასიათებს მუშაობის ნაწილს, რომელიც იკარგება შიგა ხახუნზე გარსში; ψ_1 ჰისტერეზისული დანაკარგების კოეფიციენტია.

P_{b3} მნიშვნელობის ჩასმის შემდეგ (2.8) გამოსახულებით და ინტეგრებით, მივიღებთ:

$$A_{b1} = \pi^2 r p_0 \psi_1 h^2 z (B/H + 3H/2B) (0,5 - hz/3B). \quad (2.40)$$

ერთი ბრუნვისას პროტექტორის რეზინის ციკლურ შეკუმშვაზე დახარჯული მუშაობა

$$A_{b1} = 2\pi r \psi_2 \int_0^{h_h} p b_{D0} dh_{D0},$$

სადაც ψ_2 - ჰისტერეზისული დანაკარგების კოეფიციენტია პროტექტორის რეზინაში; h_{3r} - პროტექტორის რეზინის კუმშვა.

წნევის დიაპაზონის მცირე ცვლილების შედეგად შეიძლება მივიღოთ რეზინის დეფორმაციის წრფივი ხასიათი, მაშინ

$$P = h_{3r} R_H E_h / \Delta_{3r},$$

სადაც K_5 - პროტექტორის ნახატის კოეფიციენტია, E_h - რეზინის დეფორმაციის მოდული, Δ_{3r} - პროტექტორის სისქე.

ჩასმისა და ინტეგრების შემდეგ გვაქვს:

$$A_{b1} = \pi r \psi_2 (P_2 + P_0)^2 \Delta_{3r} b_{3r} / K_5 E_r. \quad (2.41)$$

სალტის ელემენტების გზის მიმართ გასრიალებაზე დახარჯული მუშაობა (ნახ.2.17)

$$A_{b3} = 2 \int_0^{y_1} 4\pi^2 r_0 (r - r_0) p \varphi dy + 2 \int_{y_1}^{0,5b_{D0}} 4\pi^2 r_0 (r - r_0) p \varphi dy.$$

ნახ.2.17-ის თანახმად $y_1 = \sqrt{2r_{D0}r_{00} - r_0^2}$; $r = r_{\text{ნტ}} - h_{zy}$; $h_{zy} = y^2 / 2r_{3r}$.

ამ გამოსახულების ჩასმით A_{b3} გამოსათვლელ ფორმულაში, მივიღებთ:

$$A_{b3} = 2 \int_0^{y_1} 4\pi^2 r_0 P \psi (r_c + r_0) [2r - 0,5b_{D0}] + (b_{D0}^3 - 16[2r_{D0}(r_{00} + r_{00})]^{3/2} / 48r_{D0}).$$

თვლის გორვაზე დახარჯული ყველა განხილული სახის მექანიკური ენერგიები იწვევენ გორვის წინამდევობას, რომელიც ფასდება გორვის წინამდევობის კოეფიციენტით:

$$f = \Sigma / Sp_z = f_{gr} + f_s, \quad (2.42)$$

სადაც $f_{gr} = (A_{gr} + A_{\delta}) / SP_z$, $f_s = (A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}) / 2\pi P_z$ შესაბამისად გრუნტის დეფორმაციით გამოწვეული თვლის გორვის წინამდევობის კოეფიციენტია; f_s – სალტის დეფორმაციით გამოწვეული გორვის წინამდევობის კოეფიციენტია.

სალტის ტანგენციალურ დეფორმაციაზე დახარჯული სიმძლავრე

$$N_{\tau} = M_{\omega} (v/r_{\omega 0} - v/r_0).$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $r_{\omega 0} = r_0 - \lambda_x M_{\omega}$ და $M_{\omega} = P_z \varphi (r_0 - \lambda_x M_{\omega})$ მივიღებთ

$$N_{\tau} = \lambda_x P_z^2 \varphi^2 / (1 + P_z \varphi),$$

$$\text{სადაც } \varphi = P_x / P_z$$

ბუქსაობაზე დახარჯული სიმძლავრე

$$N_s = R_x v_x = R_x \omega r_{\omega 0} = S_{\delta} / (1 + \lambda_x R_x).$$

λ_x ნამდვილი მნიშვნელობა მუდმივი არაა, არამედ მცირდება თვალზე მოცეხული მომენტის M_{ω} -ს ზრდით, რადგან რეზინის დრეკადობის მოდული მისი დეფორმაციით იზრდება. ამიტომ N_{τ} და N_s ცალ-ცალკე განხილვა რამდენადმე პირობითია. თუ სალტის ტანგენციალური დეფორმაციის და სალტის მოცურების ჯამურ მნიშვნელობას შევაფასებთ ბუქსაობის კოეფიციენტით S_{δ} , მაშინ მივიღებთ:

$$N_{s2} = R_x \omega r_{\omega 0} = S_{\delta}^2. \quad (2.43)$$

სიმძლავრის დანაკარგებს გრუნტის სალტეზე მიკვრით გადალახვაზე აქვთ არსებითი მნიშვნელობა განსაზღვრული ტენიანობის შეკავშირებული გრუნტებისათვის. გრუნტის მიკვრით გამოწვეული გრძივი წინამდევობა პროპორციული კონტაქტის სიგანისა და რეზინის გრუნტისაგან მოწყვეტის წინამდევობის კუთრი ძალის. გარდა ამისა გრუნტის მიკვრა ზრდის ჩაჭიდების ძალებს კონტაქტში, რის შედეგადაც იზრდება სიმძლავრის დანაკარგები ბუქსაობაზე.

გრუნტის მიკვრაზე დახარჯული მექანიკური ენერგიის რაოდენობა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$A_{\text{მოკ}}=0,5 \int_0^S P_{\text{მოკ}} n \ell dx = 0,5 P_{\text{მოკ}} b / S,$$

გრუნტის მიკვრით გამოწვეული გორვის წინააღმდეგობის დამატებითი ძალა და გორვის წინააღმდეგობის შესაბამისი კოეფიციენტი

$$P_{\text{მოკ}}=A_{\text{მოკ}}/S=0,5 P_{\text{მოკ}} b \ell; \quad f_{\text{მოკ}}=0,5 P_{\text{მოკ}} b \ell / Pz. \quad (2.44)$$

გორვაზე დახარჯული ენერგეტიკული დანაკარგების განხილვისას მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ თვლის გორვის სიმძლავრის ბალანსის განტოლება:

$$N_{\text{თ}}= N_{\tau}+N_{\text{ნ}}+ N_{\text{ფგ}}+ N_{\delta}+N_{\text{მოკ}}+N_{\text{ს}}, \quad (2.45)$$

სადაც $N_{\text{თ}}=M_{\text{თ}}$ ათ - თვალთან მიყვანილი სიმძლავრეა;

$N_{\text{ნ}}=f_{\text{ს}} Pz I_{\text{თ}} \omega_{\text{თ}}$ - გრუნტზე გორვისას სალტის კონსტრუქციაში ჰისტერეზისული დანაკარგებით გამოწვეული გორვის წინააღმდეგობაზე დახარჯული სიმძლავრეა;

$N_{\text{ფგ}}=f_{\delta} Pz v$ - გრუნტის დეფორმაციის გამოწვეული თვლის გორვის წინააღმდეგობაზე დახარჯული სიმძლავრეა;

$N_{\delta}=f_{\delta} Pz v$ - გრუნტის ბულდოზერული წინააღმდეგობის სიმძლავრეა;

$N_{\text{მოკ}}=f_{\text{მოკ}} Pz I_{\text{თ}} \omega_{\text{თ}}$ - გრუნტის მიკვრით გამოწვეული გორვის წინააღმდეგობის სიმძლავრეა;

$N_{\text{ს}}=\varphi Pz I_{\text{თ}} \omega_{\text{თ}} S_{\delta}$ - ბუქსაობის სიმძლავრეა.

თუ განტოლების (2.45) ყველა წევრს გავყოფთ $Pz \cdot v$ -ზე მივიღებთ თვლის კუთრი ენერგეტიკური მაჩვენებლების განტოლებას:

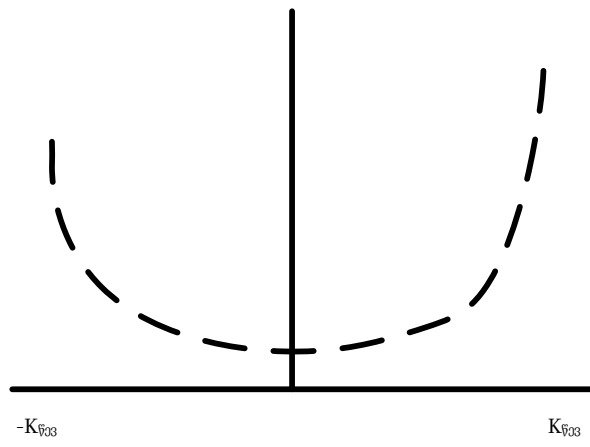
$$f_N = K_{\text{წვ}} + f_{Nf},$$

სადაც $f_{Nf}=(N_{\text{ნ}}+N_{\text{ფგ}}+N_{\delta}+N_{\text{მოკ}}+N_{\text{ს}})/Pz v$ - გორვის წინააღმდეგობის სიმძლავრის კოეფიციენტია თვლის გრუნტზე გორვისას; $K_{\text{წვ}}$ - თვალთან მიყვანილი სიმძლავრის კოეფიციენტი, ანუ წვეის კოეფიციენტი.

საბოლოოდ

$$f_{Nf}=f_{\text{ს}}+f_{\text{ფგ}}+f_{\text{მოკ}}+ f_{\delta}+\varphi S_{\delta}). \quad (2.46)$$

თვლის წვეითი და ენერგეტიკული თვისებების შეფასების ზოგად მაჩვენებლებად შეიძლება გამოყენებულ იქნას $K_{\text{წვ}}(f_N)$ დამოკიდებულება, გამოსახულია ნახ.2.18-ზე.



2.18. თვლის წევით-ენერგეტიკული მახასიათებელი

3. ავტომობილის, როგორც ვიბრაციულ-დარტყმითი შემამჭიდროებლის ურთიერთქმედების კვლევა გზის გრუნტიან ფუძესთან

3.1. შესამჭიდროებელი გრუნტიანი ფუძის საანგარიშო მოდელის შერჩევა

პნევმატიკური თვლის, როგორც შემამჭიდროებელი მუშა ორგანოს (შმო) გრუნტიან ფუძესთან ურთიერთქმედების თეორიული კვლევისათვის საჭიროა შევირჩიოთ საანგარიშო მოდელი, რომელიც შეძლებისდაგვარად უფრო სრულყოფილად ასახავს როგორც შესამჭიდროებელი მასალის, ასევე "შემამჭიდროებელი-გრუნტი" დინამიკური სისტემის თვისებებს, რათა შევირჩიოთ იმ ექვივალენტური პარამეტრების განსაზღვრის ხერხი, რომლებიც ახასიათებენ ამ მოდელს და შევადგინოთ მისი კვლევის მეთოდიკა.

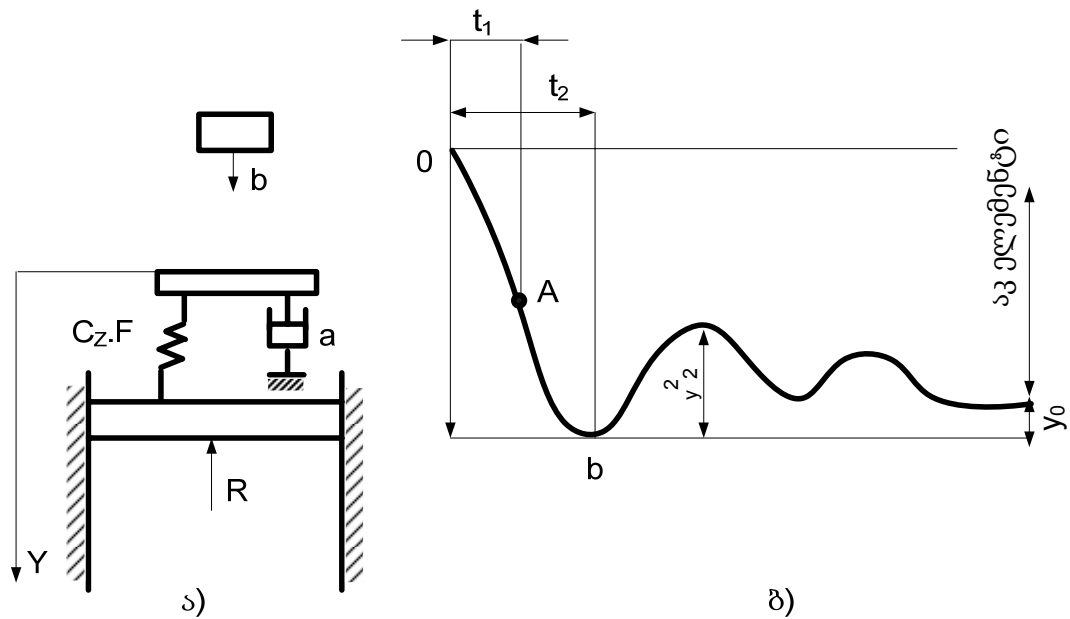
არსებულ სხვადასხვა ლიტერატურაში, გვხვდება სხვადასხვაგვარი მოდელები, მაგრამ მათი ელემენტების დასაბუთებული დახასიათება არა საკმარისად არის მოცემული. როგორც წესი, ეს საანგარიშო მოდელები შეიძლება დავეყოს ორ ტიპად: პირველი, ეს არის მოდელები, რომლებიც ითვალისწინებენ შესამჭიდროებელი გრუნტის ფუძის ძირითად თვისებებს – პლასტიკურს, დრეკადს, მადემპფირებელსა და ინერციულს. ამ ტიპის მოდელების კვლევა, როგორც წესი მოითხოვენ რთული მათემატიკური აპარატის გამოყენებას და უკეთეს შემთხვევაში, იძლევიან შესაძლებლობას განვსაზღვროთ შემჭიდროების ეფექტი, რომელიც ახლოსაა გარკვეული ფორმის ხისტი შტამპის გრუნტის მასივის ზედაპირზე ერთეული დარტყმის ეფექტთან. ასეთ მოდელებით დარტყმითი-ვიბრაციული შემამჭიდროებლის მუშა ორგანოს დინამიკის კვლევა გართულებულია იმის გამო, რომ გრუნტის მასივი წარმოდგენილია როგორც სისტემა თავისუფლების ხარისხთა უსასრულო რიცხვით, ამასთან მასივის მასალა ხშირად არ ემორჩილება წრფივი დრეკადობის თეორიის კანონზომიერებებს. ცნობილია გრუნტის ფუძის მოდელები, რომლებიც წარმოდგენილია გადაადგილებების სხვადასხვა შემზღუდველების სახით. ამასთან ასეთი მოდელების პარამეტრები ყოველთვის არ არის დაკავშირებული შესამჭიდროებელი მასალის ფაქტიურ მახასიათებლებთან,

ხარისხობრივად ასახავენ ზოგიერთ მათგანს. ამ დროს იკარგება თვით ფუძის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის კვლევის შესაძლებლობა, რაც არსებითად ამცირებს ასეთი მეთოდის ღირსებებს. გარდა ამისა "შემამჭიდროებელი-ფუძე" სისტემების დინამიკის თეორიულ კვლევათა უმრავლესობაში არ განიხილება ამა თუ იმ ხერხით განსაზღვრული მოძრაობის პერიოდული რეჟიმების მდგრადობის კვლევის საკითხები. ამ დროს, ასეთი სისტემების პერიოდული ამონახსნის შემოწმება მოძრაობის მდგრადობაზე აუცილებელია, რადგან საწინააღმდეგო შემთხვევაში არ არსებობს არავითარი გარანტია, რომ ნაპოვნი ამონახსნი შეიძლება რეალიზებული იქნას პრაქტიკაში.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, "შემამჭიდროებელი-ფუძე" სისტემის საანგარიშო მოდელის შერჩევას ჩამოყალიბებულია შემდეგი მოთხოვნები:

1. საანგარიშო მოდელი რაც შეიძლება უფრო სრულად უნდა ითვალისწინებდეს შესამჭიდროებელი გარემოს ძირითად თვისებებს: დრეკადს, პლასტიკურს, მადემპფირებელს და ინერციულს.
2. მოდელი უნდა იყოს შეძლებისდაგვარად მარტივი და მთლიანობაში იძლეოდეს მთელი სისტემის დინამიკის კვლევის შესაძლებლობას (შმო-ს პერიოდული მოძრაობების მდგრადობის განსაზღვრის საკითხების ჩართვით).
3. მოდელი უნდა იძლეოდეს შესაძლებლობას ვაწარმოთ შესამჭიდროებელი მასივის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასება შმო-ს პერიოდული მოძრაობისას.

ზემოჩამოთვლილი მოთხოვნების დაკმაყოფილების მიზნით, შესამჭიდროებელი გრუნტის მასივის საანგარიშო მოდელი შერჩეული იქნა [71] ნაშრომის მიხედვით. ეს საანგარიშო მოდელი ნაჩვენებია ნახ.3.1,ა-ზე. მიღებულია შემდეგი დაშვებები:



ნახ.3.1. ზედაპირული შემჭიდროების საანგარიშო მოდელი (ა) და შემამჭიდროებელი მოძრაობის ვიბროგრამა (ბ) და ბარკანისა და ო.შეხტერის მიხედვით

1. ინტენსიური დინამიკური ძაბვებისა და დარტყმითი აჩქარებების გავრცელების არე, რომლებიც საბოლოო ჯამში განაპირობებენ შემჭიდროების ეფექტს, წარმოადგენს ნახევრად უსასრულო წაკვეთილ კონუსს ან პირამიდას ზედა ფუძით, მისი ფართობის შტამპის კონტაქტური ზედაპირის ფართობის ტოლია. კონუსს გარეთ ძაბვები უმნიშვნელოა და შესაძლებელია მათი უგულვებელყოფა.
2. შესაძლებელია გრუნტის იდეალიზაცია იზოტროპული იდეალურად დრეკადი მასალის სახით, რომელიც ხასიათდება დრეკადობის მოდულით E , პუასონის კოეფიციენტით μ და მოცულობითი წონით γ .
3. პლასტიკური დეფორმაციების უგულვებელყოფა შეიძლება, შემამჭიდროებლის დინამიკაზე მათი მცირე გავლენის თვალსაზრისით.

უკანასკნელი ვარაუდი ნიშნავს, რომ განიხილება შემჭიდროების ბოლო ეტაპი, როდესაც ფუძის არადრეკადი დეფორმაციები მნიშვნელოვნად მცირე.

შმო-ს მოძრაობის ხასიათზე პლასტიკური დეფორმაციების გავლენა გათვალისწინებული იქნება შემდგომში.

”შმო-ფუძე” სისტემის მოძრაობის უშუალო ანალიზის დროს შერჩეული საანგარიშო მოდელი საკმაოდ რთულია იმის გამო, რომ აუცილებელია გამოკვლეული იქნას როგორც შტამპის დარტყმისას დრეკადი გრძივი ტალღების

გავრცელების პროცესი, ასევე თვით შტამპის გამწყვეტი მოძრაობები. აქვე დაშვებულია გადასვლა ექვივალენტურ (იმ რეაქციის გათვალისწინებით, რომელსაც გრუნტის კონუსი ახდენს შმო-ზე) მოდელზე შეჯგუფებული პარამეტრებით, რომლებიც, როგორც ქვემოთ იქნება ნაჩვენები, სავსებით ცალსახად განისაზღვრებიან ფუძის მასალის მოცემული მახასიათებლებების მიხედვით.

ამის საჩვენებლად, განვიხილოთ ამოცანა შტამპის ისეთი მოძრაობის, როდესაც იგი ეჯახება გრუნტის კონუსს. ცხადია, ამოცანა შტამპის მოძრაობის შესახებ შეიძლება გადავწყვიტოთ, თუ შევცვლით შტამპზე გრუნტის კონუსის მოქმედებას შესაბამისი რეაქციით. მაშასადამე, საკითხი დაიყვანება დარტყმის ვერტიკალური რეაქციის პოვნამდე. ყველაზე მარტივად ეს ამოცანა ამოიხსნება ოპერატიული აღრიცხვის მეთოდით.

კონუსის კვეთების მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება ჩაიწერება სახით [71]:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = a^2 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{2}{X} \frac{\partial U}{\partial X} \right) \quad (3.1)$$

შემდეგი საწყისი და სასაზღვრო პირობებისას:

$$\left. \frac{\partial U}{\partial t} \right|_{t=0} = \begin{cases} 0, & \text{ÒĪÝÀ } X = X_0 \\ V, & \text{ÒĪÝÀ } X = X_0 \end{cases} \quad (3.2)$$

$$M \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \Big|_{x=x_0} = ES_0 \frac{\partial U}{\partial X} \Big|_{x=x_0}$$

სადაც X - კონუსის განივი კვეთის კოორდინატა;

$V(X,t)$ - კოორდინატიანი განივი კვეთის წანაცვლება;

t - დროა;

$a = \sqrt{\frac{ES_0}{\gamma}}$ - გრძივი დრეკადი ტალღების გავრცელების სიჩქარე;

V - შტამპის საწყისი სიჩქარეა დარტყმის წინა მომენტში;

M - შტამპის მასაა;

S_0 - კონტაქტური ზედაპირის ფართობია;

X_0 - კონუსის ზედა ფუძიდან წვერომდე მანძილია.

$V(x,t)=XU(x,t)$ - ცვლადების შეცვლით (3.1) განტოლება დაიყვანება ტალღურამდე:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 V}{\partial X^2}. \quad (3.3)$$

საწყისი და სასაზღვრო პირობები $V(x,t)$ ფუნქციისათვის:

$$V = (X, t)|_{t=0} = 0$$

$$\frac{1}{X_0} \frac{dV}{dt} \Big|_{t=0} = \begin{cases} 0, & \text{ÒÏÝÀ } X > X_0 \\ V, & \text{ÒÏÝÀ } X = X_0 \end{cases} \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \Big|_{x=x_0} = \frac{X_0 ES_0}{M} \left[\frac{1}{X_0} \frac{\partial U}{\partial X} \frac{v}{X_0} \right] \Big|_{x=x_0} \quad (3.5)$$

(3.5) პირობა სამართლიანია დროის ინტერვალისათვის, რომლებშიც კონუსის ზედა კვეთში გვაქვს კუმშვის ძაბვები.

ლაპლასის ინტეგრალური გარდაქმნის მეშვეობით (3.3) განტოლება და (3.4) პირობები შეიძლება გარდავქმნათ სახემდე:

$$\frac{d^2 \bar{V}(x, p)}{dX^2} - \left(\frac{P}{a} \right)^2 \bar{V}(x, p) = 0, \quad (3.6)$$

$$p_2 \bar{V}(X_0, P) = \frac{ES_0 X_0}{M} \left[\frac{1}{X_0} \frac{\partial \bar{V}(X, p)}{\partial X} - \frac{\bar{V}(X, P)}{X^2} \right] \Big|_{x=X_0} \quad (3.7)$$

$$\text{სადაც } - \bar{V}(X, p) = \int_0^\infty e^{-pt} V(X, t) dt,$$

p - ლაპლასის გარდაქმნის პარამეტრია.

(3.6) განტოლების საერთო ამონახსნი შეიძლება ჩავწეროთ სახით:

$$\bar{V}(X, p) = A e^{-\frac{px}{a}} + B e^{\frac{px}{a}}, \quad (3.8)$$

სადაც A, B - ინტეგრირების მუდმივებია, რომლებიც განისაზღვრებიან (2.7) ტრანსფორმირებული სასაზღვრო პირობისა და გამოსახულების შეზღუდულობის პირობის $\bar{V}(x, p)$ მეშვეობით, როცა $X \rightarrow +\infty$ გვაქვს:

$$A = \frac{Vx_0}{p^2 + \frac{ES_0}{Ma} + \frac{ES_0}{Ma} p}, B=0. \quad (3.9)$$

მაშასადამე, (3.6) განტოლების ამონახსნი შეიძლება ჩავწეროთ სახით:

$$\bar{V}(X, p) = \frac{VX_0}{p^2 c_1 p + c_0} e^{\frac{-p(X-X_0)}{a}}, \quad (3.10)$$

სადაც $C_1 = \frac{ES_0}{M_{X_0}}$, $C_0 = \frac{ES_0}{M_a}$.

საწყისი ფუნქციის გამოსახულება

$$\bar{V}(X, p) = \frac{Vx_0}{X(p^2 + c_1 p + c_0)} e^{\frac{-p(X-X_0)}{a}}. \quad (3.11)$$

ახლა განვიხილოთ შემდეგი დამხმარე ამოცანა: შევეცადოთ შევირჩიოთ გადაადგილებათა შემზღვეველი, რომლის დეფორმაციას, გამოწვეულს შტამპის დარტყმით, ლაპლასისეულ გამოსახულებებში ექნებოდა იგივე სტრუქტურა, რაც ზემოთგანხილულ შემთხვევაში. არ წარმოდგენს სირთულეს ვაჩვენოთ, რომ ამ მოთხოვნას პასუხობს გადაადგილებათა შემზღვეველი, რომელიც შედგება ერთმანეთთან პარალელურად შეერთებული დრეკადი და ბლანტი ელემენტებისაგან. ასეთ შემზღვეველთან შეჯახებადი შტამპის გადაადგილების ლაპლასისეულ გამოსახულებას აქვს სახე:

$$\bar{y}(p) = \frac{V}{p^2 + \frac{b}{M} p + \frac{K}{M}}, \quad (3.12)$$

სადაც $\bar{y}(p)$ - შტამპის გადაადგილების გამოსახულებაა;

b - შემზღვეველის დემპფირების კოეფიციენტი;

K - შემზღვეველის სიხისტის კოეფიციენტი.

(3.12) და (3.11) გამოსახულებების შედარებისას $X=X_0$ შემთხვევაში, იოლი შესამჩნევია ამ გამოსახულებების სტრუქტურების იგივეობა. ამ გამოსახულებათა ტოლობას ადგილი ექნება შემდეგი თანაფარდობების შესრულებისას:

$$C_1 = \frac{b}{M} \frac{ES_0}{M_{X_0}}, \quad C_0 = \frac{K}{M} \frac{ES_0}{M_a}. \quad (3.13)$$

ლაპლასის შექცეული გარდაქმნის ერთადერთობის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ: (3.13) თანაფარდობათა ცვლისას, ფუძესთან (გრუნტის კონუსთან) ურთიერთქმედებაში მყოფი შტამპის მოძრაობის კანონი ემთხვევა დრეკად-ბლანტ

შემზღუდველთან მისი ურთიერთქმედების მოძრაობის კანონს. საჭირო შემთხვევებში, ეს დასკვნა საშუალებას იძლევა განვიხილოთ შესამჭიდროებელი გრუნტის მასივი, როგორც განაწილებულ პარამეტრებიანი სისტემა, რომელშიც ძაბვებისა და დეფორმაციების გავრცელების პროცესს აქვს ტალღური ხასიათი. შემზღუდველის რეაქცია გამოისახება შტამპის წანაცვლებისა და მოძრაობის სიჩქარის მეშვეობით. ამით მიღწეული იქნება გრუნტის მასივის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობისა და მთლიანობაში "შტამპი-ფუძე" სისტემის მოძრაობის ანალიზის შესაძლებლობა.

ახლა დავუბრუნდებით რა (3.11) გამოსახულებას, განვსაზღვროთ შტამპის დარტყმისას წარმოქმნილი კონუსის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ჩვენთვის საინტერესო მახასიათებლები. ფუნქციის $\bar{u}(X, p)$ ორიგინალი შეიძლება მივიღოთ, თუ გამოვიყენებთ წანაცვლების ცნობილ თეორემას და გავითვალისწინებთ, რომ ფუნქციის $f(p)=(P^2+C_1P+C_0)^{-1}$ გამოსახულება ტაბულირებულია [48] და შეიძლება წარმოდგენილი იქნას სახით:

$$f(p) \Leftrightarrow F(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{-D}} \exp\left(-\frac{c_1}{2}t\right) \text{Sin}\sqrt{-D}t & \text{òÿÀ } D < 0, \\ \frac{1}{\sqrt{-D}} \exp\left(-\frac{c_1}{2}t\right) \text{Sin}\sqrt{D}t & \text{òÿÀ } D > 0, \end{cases} \quad (3.14)$$

სადაც დისკრიმინანტი $D = C_0 - \frac{C_1^2}{4}$.

$U(X,t)$ ფუნქციის გამოსახულებას აქვს სახე:

$$U(X,t) = \begin{cases} \frac{UX_0}{\sqrt{-D}} \exp\left[-\frac{c_1}{2}\left(t - \frac{X-X_0}{a}\right)\right] \text{Sin}\sqrt{-D}t\left(t - \frac{X-X_0}{a}\right) & \text{òÿÀ } D < 0, \\ \frac{VX_0}{\sqrt{-D}} \exp\left[-\frac{c_1}{2}\left(t - \frac{X-X_0}{a}\right)\right] \text{Sin}\sqrt{D}t\left(t - \frac{X-X_0}{a}\right) & \text{òÿÀ } D > 0, \end{cases} \quad (3.15)$$

(3.15)-ში $U(X,t)$ ფუნქციის სახის შერჩევა დამოკიდებულია დისკრიმინანტის D ნიშნაზე.

თუ ვიცით $U(X,t)$ გამოსახულება, სახე სირთულეს არ წარმოადგენს კონუსის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ძირითადი მახასიათებლების

განსაზღვრა. $U(X,t)$ ფუნქციის დიფერენცირებით X კოორდინატის მიხედვით და მისი გამრავლებით E -ზე, მივიღებთ გამოსახულებას ძაბვების ტალღისათვის:

$$\sigma(x,t) = E \frac{\partial U}{\partial X} = \left\{ \frac{EVX_0}{\sqrt{DX^2}} \frac{\sqrt{DX}}{a} \cos \frac{\sqrt{DX}}{a} [at - (X - X_0)] - \left(\frac{Xc_1}{2a} - 1 \right) \sin \frac{\sqrt{D}}{a} - [at - (X - X_0)] \right\} \exp \left[\frac{c_1}{2a} (at - X - X_0) \right] \quad (3.16)$$

მეორე წარმოებული $U(X,t)$ ფუნქციისაგან დროის მიხედვით განსაზღვრავს აჩქარებათა ტალღას:

$$U(x,t) = \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \left\{ \frac{VX_0}{\sqrt{DX^2}} \left(\frac{c_1^2}{2} - C_0 \right) \sin \frac{\sqrt{D}}{a} [at - (X - X_0)] - c_1 \sqrt{D} \cos \frac{\sqrt{D}}{a} [at - (X - X_0)] \right\} \exp \left[\frac{c_1}{2a} (at - X - X_0) \right] \quad (3.17)$$

ინტერესს წარმოადგენს იმ დროის მომენტების განსაზღვრა, რომელთა შემთხვევაშიაც $\sigma(X,t)$, $U(X,t)$ ფუნქციები აღწევენ უდიდეს მნიშვნელობებს. $\sigma(X,t)$, $U(X,t)$ -საგან პირველი წარმოებულების ნულთან გატოლებისას, განვსაზღვრავთ შესაბამისი ტრანსცენდენტული განტოლებების უმცირეს ფესვებს, რომლებიც განსაზღვრავენ კიდევ დროის მომენტებს $t_{\sigma \max}$ და $t_{u \max}$.

გამოვტოვებთ არც ისე რთულ შუალედურ მოქმედებებს და მოვიყვანთ საბოლოო ფორმულებს:

$$t_{\sigma \max} = \frac{X - X_0}{a} + \frac{1}{\sqrt{D}} \operatorname{arctg} \frac{2\sqrt{D}(C_1 X - a)}{X(C_1^2 - 2C_0) - C_1 a}, \quad (3.18)$$

$$t_{u \max} = \frac{X - X_0}{a} + \frac{1}{\sqrt{D}} \operatorname{arctg} \frac{1C_0 \sqrt{D}}{(3C_0 - C_1^2)C_1}. \quad (3.19)$$

(3.18) და (3.10)-ის ჩასმით (3.16), (3.17)-ში, შეიძლება განვსაზღვროთ თვით σ_{\max} , u_{\max} ფუნქციების მნიშვნელობები დარტყმის პერიოდში:

$$\sigma_{\max}(xt_{\sigma \max}) = \frac{EVX_0}{\sqrt{DX^2}} \left\{ \frac{\sqrt{DX}}{a} \cos \operatorname{arctg} \frac{2\sqrt{D}(C_1 X - a)}{X(C_1^2 - 2C_0) - C_1 a} - \operatorname{arctg} \frac{2\sqrt{D}(C_1 X - a)}{X(C_1^2 - 2C_0) - C_1 a} \right\}, \quad (3.20)$$

$$u_{\max}(x, t_{w \max}) = \left\{ \frac{VX_0}{\sqrt{DX}} \left(\frac{C_1^2}{2} - C_0 \right) \sin \operatorname{arctg} \frac{2C_0\sqrt{D}}{(3C_0 - C_1^2) - C_1} - C_1\sqrt{D} \cos \operatorname{arctg} \frac{2C_0\sqrt{D}(C_1X - a)}{(3C_0 - C_1^2) - C_1} \right\} \exp \left\{ \frac{C_1}{2\sqrt{D}} \operatorname{arctg} \frac{2C_0\sqrt{D}(C_1X - a)}{(3C_0 - C_1^2) - C_1} \right\}, \quad (3.21)$$

ეს გამოსახულებები შეიძლება გავამარტივოთ, თუ აღვნიშნავთ არგუმენტს arctg ფუნქციის ნიშნის ქვეშ, როგორც φ_σ , φ_w და გავითვალისწინებთ, რომ

$$\sin \operatorname{arctg} \varphi = \frac{1}{\pm \sqrt{1 + \varphi^2}}, \quad \cos \operatorname{arctg} \varphi = \frac{1}{\pm \sqrt{1 + \varphi^2}}.$$

გვაქვს:

$$\sigma_{\max}(X, t_{\sigma \max}) = \frac{EVX_0}{\sqrt{Dx^2}} \left\{ \frac{\sqrt{DX}}{a} \frac{1}{\pm \sqrt{1 + \varphi_\sigma^2}} - \left(\frac{XC_1}{2a} - 1 \right) \frac{\varphi_\sigma}{\pm \sqrt{1 + \varphi_\sigma^2}} \right\} \exp \left(- \frac{C_1}{2\sqrt{D} \operatorname{arctg} \varphi_\sigma} \right); \quad (3.22)$$

$$u_{\max}(X, t_{w \max}) = \frac{VX_0}{\sqrt{Dx}} \left\{ \left(\frac{C_1^2}{2} - C_0 \right) \frac{1}{\pm \sqrt{1 + \varphi_w^2}} - C_1\sqrt{D} \frac{\varphi_w}{\pm \sqrt{1 + \varphi_w^2}} \right\} \exp \left(\frac{-C_1}{2\sqrt{D}} \operatorname{arctg} \varphi_w \right). \quad (3.23)$$

(3.20) ... (3.23) ფორმულები ჩაწერილია შემთხვევისათვის, როცა $D > 0$ (რასაც უფრო ხშირად ადგილი აქვს პრაქტიკაში).

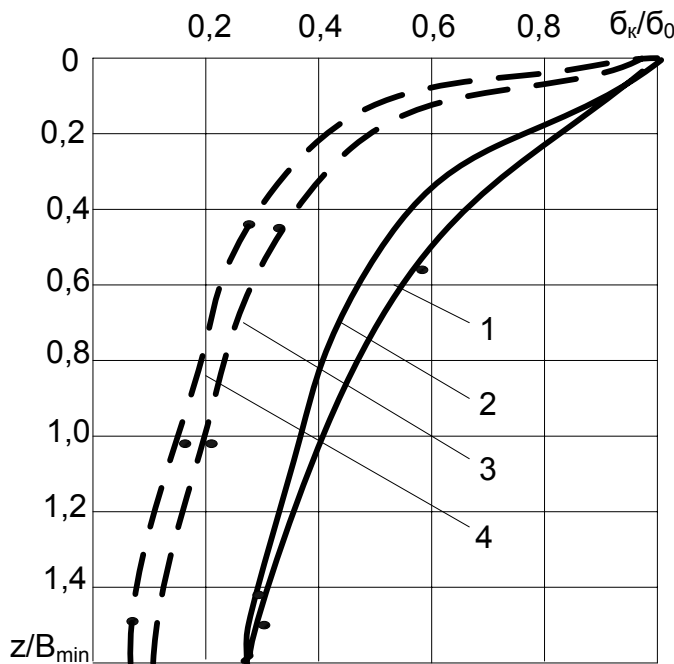
(3.22), (3.23) ფორმულების განხილვა საშუალებას იძლევა აღვნიშნოთ შემდეგი თავისებურებანი:

1. შტამპის დარტყმისას ფუძეში წარმოქმნილი ძაბვები და აჩქარებები შტამპის დარტყმითი სიჩქარის სიდიდის პირდაპირპროპორციულია.
2. ამ მახასიათებლების შტამპის დარტყმითი მასაზე დამოკიდებულების განსაზღვრა მოითხოვს დამატებით ანალიზს იმის გამო, რომ M დარტყმითი მასის სიდიდე შედის ფუნქციების არგუმენტების ნიშნის ქვეშ და (3.22), (3.23) გამოსახულებების კოეფიციენტებში.
3. X კოორდინატის ზრდისას, დარტყმითი ძაბვებისა და აჩქარებების სიდიდეები მცირდებიან თანაც ძაბვა და კოორდინატის კვადრატის უკუპროპორციულად, ხოლო აჩქარება – კოორდინატის პირველი ხარისხის უკუპროპორციულად.
4. ფუძის დაძაბულ დეფორმირებულ მდგომარეობაზე დარტყმითი მასის სიდიდის გავლენის განსაზღვრისათვის დავუშვათ, რომ მოცემულია შტამპის კინეტიკური

ენერგიის გარკვეული სიდიდე ტოლია $T=1/2MV^2$ საჭირო იქნება, რომ $T=const$ შემთხვევაში შტამპის მასა იცვლებოდეს, ამასთან შეიცვლება სიჩქარეც V . ასეთი პირობებისათვის ყოველთვის განვსაზღვრავთ მაქსიმალურ ძაბვებს (ან აჩქარებებს). ამგვარი გაანგარიშების მაგალითი ნაჩვენებია ნახ.3.2-ზე. აქ აბსცისთან ღერძზე აღნიშნულია შტამპის მასის სიდიდე M , ხოლო ორდინატთა ღერძზე - ფუძის ზედაპირზე აჩქარებათა მაქსიმალური სიდიდე.

ამასთან, მოდელის პარამეტრები იყო შემდეგი:

$E=1000$ ნ/სმ²; $\mu=0,15$; $\gamma=23,5 \cdot 10^{-3}$ ნ/სმ³; $S_0=2900$ სმ²; $T=450$ კნ/სმ.



ნახ.3.2. სხვადასხვა ბმულობისა და სიმკვრივის გრუნტებში ძაბვების განაწილება:

- 1 - მკვრივი თიხა; 2 - მკვრივი ქვიშნარი;
- 3 - ფხვიერი თიხა; 4 - ფხვიერი ქვიშნარი.

მიღებული მრუდი გვიჩვენებს, რომ დარტყმითი აჩქარებების დონე იზრდება დარტყმითი სიჩქარის ზრდისას (შტამპის მასის შესაბამისი შემცირებისას). მიახლოებით ასეთივე დამოკიდებულება შეინიშნება დინამიკური ძაბვებისთვისაც: შმო-ს კინეტიკური ენერგიის მუდმივობისას, ძაბვები ზედაპირზე იზრდება სიჩქარის

გადიდებისას. მაგრამ ამ დროს გრუნტის სიღრმის ზრდის მიხედვით ძაბვებისა და აჩქარებების მიღების სიჩქარეც იზრდება. ეს ვითარებები უნდა იქნას გათვალისწინებული შმო-ს მასის შერჩევისას.

პრაქტიკულად, როგორც სასინჯი გაანგარიშებები გვიჩვენებენ, რიგი კონსტრუქციული მოსაზრებების გამო და, უპირველეს ყოვლისა, შმო-ს მასის შერჩევისას უნდა მივიწრაფვოდეთ მინიმალურად შესაძლებელი მნიშვნელობისაკენ. ამასთან, ძაბვებისა და აჩქარებების მიღების სიჩქარის რამდენადმე გადიდება კომპენსირებული იქნება მათი გრუნტის ზედაპირზე, დარტყმითი სიჩქარის ზრდასთან დაკავშირებით.

დასასრულს შევჩერდებით კიდევ ფუძის განსახილველ მოდელში კონუსის წვეროსთან კუთხის განსაზღვრის საკითხზე (ან, რაც იგივეა, X_0 სიდიდის განსაზღვრაზე).

საჭიროა აღვნიშნოთ, რომ X_0 სიდიდის ანალიზური განსაზღვრა გაძნელებულია დინამიკური ძაბვებისა და აჩქარებების მინიმალური მნიშვნელობების გათვალისწინების გარეშე, რომლებიც იწვევენ შემჭიდროების ეფექტს მოცემულ გრუნტში. მაგრამ რაღაც მიახლოებითი შეფასება შეიძლება მივიღოთ, თუ დავაყენებთ დამატებით პირობას X_0 - სათვის. ჩავთვალოთ, რომ X_0 სიდიდე ისეთია, რომ კონტაქტის ფართობზე 10გ/სმ^2 ინტენსივობის მქონე განაწილებული დატვირთვის მოდებისას კონუსის სტატიკური სიხისტე ემთხვევა C_z გრუნტის თანაბარი კუმშვის კოეფიციენტს, რომელიც განისაზღვრება, მაგალითად, [89] ნაშრომში მიერ შემოთავაზებული ფორმულით. კონუსის სტატიკური დაჯდომა მითითებული დატვირთვაზე დამოკიდებულებებით ტოლია:

$$\sigma_{\text{cr}} = \int_{x_0}^{\infty} \frac{1S_0}{ES} dX = \frac{X_0}{E}. \quad (3.24)$$

მეორეს მხრივ:

$$\sigma_{\text{cr}} = \frac{1}{C_z}. \quad (3.25)$$

საიდანაც

$$X_0 = \frac{E}{C_z}. \quad (3.26)$$

C_z სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

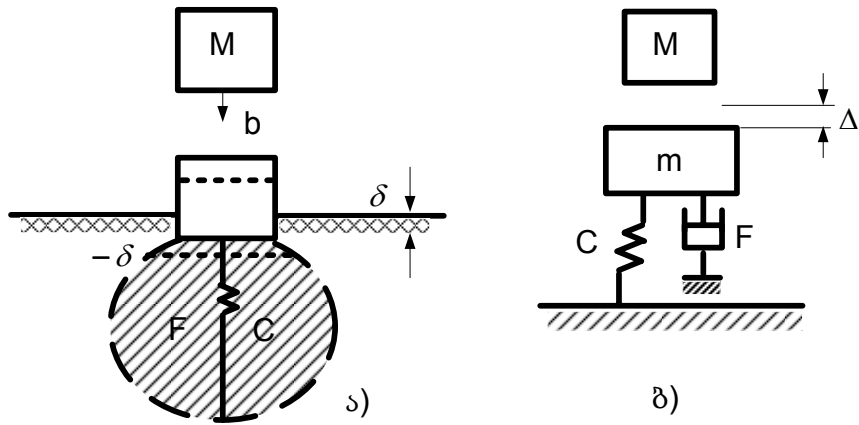
$$C_z = C_0 \left[1 + \frac{1(a + b_1)}{\Lambda S_0} \right] \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_0}}, \quad (3.27)$$

სადაც $\sigma_0 = 20$ ნ/სმ², $\Lambda = 10^{-2}$ 1/სმ;

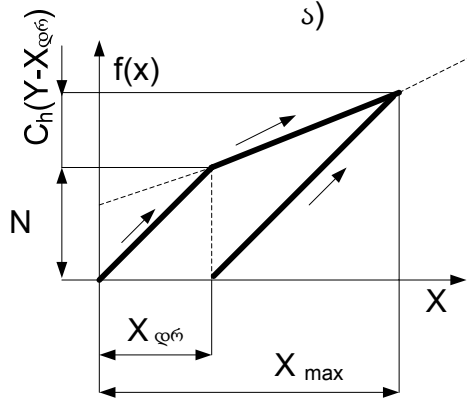
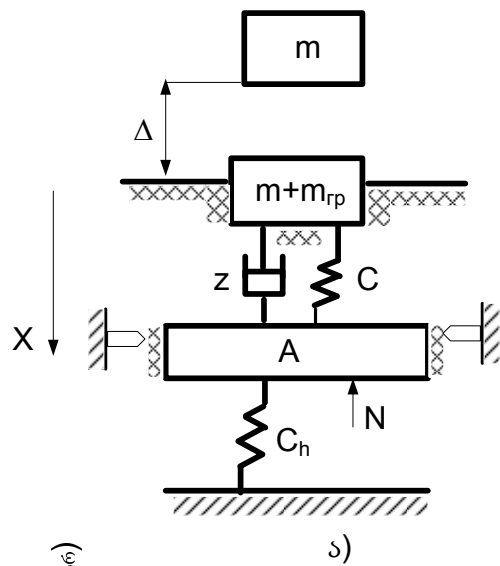
a_1, b_1 - შესაბამისად, კონტაქტის ფართის სიგრძე და სიგანეა.

(3.26)-ის მიხედვით ნაპოვნი X_0 სიდიდე (3.13) ფორმულის შესაბამისად ახასიათებს ენერჯის დისიპაციას კონუსში დარტყმის დროს. რეალური გრუნტების ფუძეებისათვის ეს სიდიდე საჭიროებს კორექტირებას ენერჯის იმ დანაკარგების გათვალისწინებით, რომლებიც განპირობებულია გრუნტის დრეკადი თვისებების არასრულყოფილებით და ენერჯის ფაქტიურად არსებული უკუდენით ზედაპირული და განივი ტალღების სახით.

როგორც მიღებული შედეგების გამოყენების ილუსტრაცია, გაანგარიშებული იქნა დარტყმითი ძაბვების განაწილება სიღრმეზე, რომელიც ნაჩვენებია ნახ.3.3-ზე. აქ აბსცისთან ღერძზე გადაზომილია $\sigma(x, t_{\sigma \max}) / \sigma(x_0, t_{\sigma \max})$ კონტაქტის ზედაპირზე ძაბვების ფარდობითი განაწილება, ხოლო ორდინატთა ღერძზე – კონუსის კვეთის X/X_0 უგანზომილებო კოორდინატის მრუდები აგებულია სამი სხვადასხვა შტამპისათვის, რომლებსაც სხვადასხვა გეომეტრიული მახასიათებლები გააჩნიათ.



ნახ.3.3. ა - ფუმის საწყისი საანგარიშო მოდელი;
 ბ - გრუნტის მოდული მისი ინერციულობის გათვალისწინებით



ბ)

ნახ.3.4. ა - გრუნტის საანგარიშო მოდელი; ბ - დატვირთვის დიაგრამა

3.2. სისტემის "გრუნტი-შემამჭიდროებელი-ფუძე"

საანგარიშო სქემა

ავტომობილის თვალი ვიბრაციული დარტყმითი შემამჭიდროებლის მუშა ორგანოდ შეიძლება წარმოვიდგინოთ M_1 წერტილოვანი მასის სახით, რომელზეც მოდებულია M მასის წონის ძალა. თვლის ჰარომნიკული კანონის რხევისას ცვალებადი იძულებითი ძალის ტოლი იქნება $P=P_0(\sin\omega t+\varphi)$. სადაც P_0 – თვლის რხევის ამპლიტუდაა, ω - იძულებითი ძალის ცვლილების წრიული სიხშირე, φ - რხევის ფაზათა ძვრა. როგორც ქვემოთ იქნება ნაჩვენები, სამუშაო ორგანოზე ანუ თვალზე ტვირთის დამატების არსებობა წარმოადგენს მნიშვნელოვან პირობას შემზღუდველზე ინტენსიური დინამიკური ზემოქმედების მისაღებად და "შმო-ფუძე" სისტემის ოპტიმალური აწყობის უზრუნველყოფისათვის. დატვირთვის ძალის შექმნის ხერხის მიუხედავად (ზოგიერთი მათგანი ნაჩვენებია ნახ.3.4,ა,ბ-ზე), მისი საშუალო მნიშვნელობა შეიძლება განვსაზღვროთ გამოსახულებით $Q_{\text{შმო}}=C_1\Delta$, სადაც Δ ზამბარის წინასწარი დეფორმაციის სიდიდეა. C_1 სიხისტის კოეფიციენტი უნდა იქნას შერჩეული ტვირთის დამატების საიმედო ვიბროიზოლაციის უზრუნველყოფის გათვალისწინებით.

"შემამჭიდროებელი-ფუძე" სისტემის ზოგადი საანგარიშო სქემა ნაჩვენებია ნახ.3.4-ზე. ფუძის ექვივალენტურ მოდელზე დამატებულია უწონადი "საცობის" სახის ელემენტი, რომლითაც ხდება გრუნტის პლასტიკური თვისებების მოდელირება და რომელსაც აქვს უნარი გადაადგილდეს შემზღუდველზე მუშა ორგანოს მიერ მოდებული ძალვის გარკვეული მნიშვნელობის დროს. ასეთ შემთხვევას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ვიბრაციულ დარტყმითი შემჭიდროების თეორიაში.

ენერჯის განზნევა ტვირთის მიმატებით საკიდარში გაითვალისწინება b_1 ბლანტი ხახუნის დემპფერით.

"შმო-ფუძე" სისტემის ზემოგანხილული მოდელი გარკვეული ხარისხით პასუხობს მისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს. კვლევისას დასმული იყო შემდეგი ამოცანები:

1. განსახილველი სისტემის პარამეტრების სივრცეში მოძრაობის მდგრადი პერიოდული რეჟიმების არსებობის არეების განსაზღვრა.
2. შესასწავლი სისტემის უმნიშვნელოვანესი მახასიათებლების განსაზღვრა: მუშა ორგანოს დარტყმითი სიჩქარეებისა და აჩქარებების, შემზღუდველზე დინამიკური დატვირთვების და შემზღუდველთან კონტაქტის ფარდობითი დროის მიხედვით.
3. მუშა ორგანოს ანუ საავტომობილოს თვლის პარამეტრების შერჩევის მეთოდის დამუშავება.
4. შემჭიდროების პროცესის ენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრა, კერძოდ, სიმძლავრისა, რომელიც საჭიროა მუშა ორგანოს მოძრაობის მდგრადი პერიოდული რეჟიმის შესანარჩუნებლად.
5. ავტომობილის თვლისა და საკიდარის გრუნტშემამჭიდროებელი პარამეტრების შესარჩევი რეკომენდაციების დამუშავება.

ამ ამოცანების ამოსახსნელად განვიხილოთ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას, რომელიც აღწერს M_1 ვიბრირებადი მასის (ჩვენს შემთხვევაში თვლის) მოძრაობას:

$$M_1 \frac{d^2 X}{dt^2} = P_0 \sin(\omega t + \varphi) - C_1(X - \delta) - b_1 \frac{dx}{dt}, \quad (3.29)$$

$$\text{როცა } X < \delta, \text{ ან } X > \delta, \quad \tilde{R}\left(X, \delta \frac{dx}{dt}\right) > 0, \quad (3.30)$$

$$M_1 \frac{d^2 X}{dt^2} = P_0 \sin(\omega t + \varphi) - C_1(X - \delta) - b_1 \frac{dX}{dt} - C_2 X - b_2 \frac{dX}{dt} + \frac{M_1 \omega^2}{g} \sin(\omega t + \varphi), \quad (3.31)$$

სადაც C_1 - სახურავის სიხისტეა;

C_2 - გრუნტის სიხისტეა;

b_1 - სახურავში ბლანტი წინააღმდეგობის კოეფიციენტი;

b_2 - გრუნტის ბლანტი წინააღმდეგობის კოეფიციენტი;

δ - გრუნტის შემამჭიდროებლის სიდიდეა.

$$\text{როცა } X > \delta, \quad \tilde{R}\left(X, \delta \frac{dX}{dt}\right) < 0, \quad \left| \tilde{R}\left(X, \delta \frac{dX}{dt}\right) \right| = R(\delta) \quad (3.32)$$

$$M_1 \frac{d^2 X}{dt^2} = (P_0 \sin(\omega t + \varphi) M_{1g} + Q_{\text{ეწი}} - C_1(X - \delta) - b_1 \frac{dx}{dt} - R(\delta)), \quad (3.33)$$

$$\text{როცა } X < \delta, \quad \left| \tilde{R}\left(X, \delta \frac{dx}{dt}\right) \right| = R(\delta). \quad (3.34)$$

აღნიშვნები: $\tilde{R}\left(X, \delta \frac{dx}{dt}\right) = C_2(x - \delta) - b_2 \frac{dx}{dt}$ - შემზღუდველის რეაქცია,

$\delta = \sum_{j=1}^K \int_{t_{ih}}^{t_{jk}} \frac{dx}{dt} dt$ - შემზღუდველის ჯამური პლასტიკური დეფორმაცია.

t_{gK} , t_{jH} - დროის მომენტები, რომლებიც შეესაბამება შემზღუდველის ანუ გრუნტის პლასტიკური დეფორმაციების ეტაპის დასაწყისსა და დასასრულს j -ური დარტყმისას.

(3.29) განტოლება პასუხობს თვლის განცალკევებული მოძრაობის ეტაპს, დრეკადი დეფორმაციების ეტაპები აღიწერება (3.31) განტოლებით, არაადდგენადი დეფორმაციის განვითარების ეტაპი - (3.23) განტოლებით. გადასვლა მოძრაობის ერთი ეტაპიდან შემდგომზე ხორციელდება (3.30), (3.32), (3.34)-ის გადართვის პირობებზე დამოკიდებულებით.

ამრიგად, განსახილველი სისტემის მოძრაობა აღიწერება სამი დიფერენციალური განტოლებით, რომელთაგან თითოეული წარმოადგენს მორე რიგის ჩველურივ წრფივ განტოლებას. მაგრამ მთლიანობაში (3.29)...(3.34) განტოლებათა სისტემა არაწრფივია მისი სტრუქტურის ცვლადობის გამო.

მოცემული სისტემის ანალიზური კვლევა მეტად გაძნელებულია და იწვევს ტრანსცენდენტული განტოლებების რთული სისტემის ამოხსნის აუცილებლობას. კიდევ უფრო რთულია საკითხი სისტემის ამოხსნის მდგრადობის დადგენის შესახებ.

მოძრაობის პერიოდული რეჟიმების პოვნა არაწრფივი რხევების თეორიის კლასიკური მეთოდების მეშვეობით (ჰარმონიკული ბალანსის, ჰარმონიკული გაწრფივების, მცირე პარამეტრის და სხვა მეთოდები) ამ შემთხვევაში ასევე შეუძლებელია, რადგან ჩვენ გვაინტერესებს არა მარტო თვით ამონახსნები, არამედ მათი წარმოებულები დროის მიხედვით.

მათემატიკური მოდელირების მეთოდს აქვს რიგი არსებითი უპირატესობანი დინამიკური სისტემების კვლევის სხვა მეთოდებთან შედარებით: გამოყენების სიმარტივე, დროის მცირე დანახარჯებით ანგარიშების ვარიანტების დიდი მოცულობის გაანალიზების შესაძლებლობა, გრაფიკებისა ან რიცხვითი შედეგების

სახით მიღებულ გადაწყვეტათა თვალსაჩინოება და ბოლოს, არსებითად არაწრფივი სისტემების კვლევის მეტად ფართო შესაძლებლობები.

დამოუკიდებელი პარამეტრების რიცხვის შემცირების მიზნით, ასევე (3.29)...(3.34) განტოლებათა სისტემის ეგმ-ზე პროგრამირებისათვის მოსახერხებელ სახემდე მისაყვანად შემოვიღოთ ახალი ცვლადები:

$$Z = X \frac{M_1 g}{P_0} - \frac{X}{a_\infty}, \quad \tau = \omega t, \quad (3.35)$$

სადაც a_∞ - მუშა ორგანოს, ჩვენ შემთხვევაში საავტომობილო თვლის რხევათა ამპლიტუდაა გამოწვეული იძულებითი ძალის მოქმედებით;

τ - უგანზომილებო დროა.

და გავყოთ (3.29)...(3.34) განტოლებები და გადართვის პირობები იძულებითი ძალის ამპლიტუდაზე P_0 . განტოლებები და გადართვის პირობები ამ დროს მიიღებენ უგანზომილებო სახეს და შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$\frac{d^2 Z}{d\tau^2} = P - \xi_1^2 (Z - \bar{\delta}) - \varepsilon_1 \xi_1 \frac{dZ}{d\tau} + \sin(\tau + \varphi), \quad (3.36)$$

$$\text{როცა } Z < \bar{\delta} \text{ ან } Z > \bar{\delta}, \quad Z \left(Z, \bar{\delta}, \frac{dZ}{d\tau} \right) > 0, \quad (3.37)$$

$$\frac{d^2 Z}{d\tau^2} = P - \xi_1^2 (Z - \bar{\delta}) - \varepsilon_1 \xi_1 \frac{dZ}{d\tau} - \xi_2^2 (Z - \bar{\delta}) - \varepsilon_2 \xi_2 \frac{dZ}{d\tau} + \sin(\tau + \varphi), \quad (3.38)$$

$$\text{როცა } Z < \bar{\delta}, \quad 0 > Z \left(Z, \bar{\delta}, \frac{dZ}{d\tau} \right) > -\rho(\bar{\delta}), \quad (3.39)$$

$$\frac{d^2 Z}{d\tau^2} = P - \xi_1^2 (Z - \bar{\delta}) - \varepsilon_1 \xi_1 \frac{dZ}{d\tau} - \rho(\bar{\delta} + \sin(\tau + \varphi)), \quad (3.40)$$

$$\text{როცა } Z > \bar{\delta}, \quad -Z \left(Z, \bar{\delta}, \frac{dZ}{d\tau} \right) = \rho(\bar{\delta}), \quad \frac{dZ}{d\tau} > 0 \quad (3.41)$$

აქ შემოვიღოთ შემდეგი აღნიშვნები:

$$r \left(Z, \bar{\delta}, \frac{dZ}{d\tau} \right) = \frac{\bar{R}Z, \left(\bar{\delta}, \frac{dZ}{d\tau} \right)}{K\omega^2}, \quad \varepsilon_i = \frac{b_i}{\sqrt{M_1 C_i}}, \quad \xi_i = \sqrt{\frac{C_i}{M_1 \omega^2}}, \quad (i=1,2) \quad (3.42)$$

თვალზე ტვირთის მიმატების ვიბროიზოლაციის პირობის დაცვით, შეიძლება, გაანგარიშების ერთობილობის დარღვევის გარეშე, მივიღოთ:

$$\xi_1=0,20, \quad \varepsilon_1=0,20.$$

ამ შემთხვევაში საკვლევი სისტემა ხასიათდება მხოლოდ სამი დამოუკიდებელი პარამეტრით: $p=(M_1g+C_1\Delta)g/K\omega^2$ უგანზომილებო დატვირთვით მუშა ორგანოზე,

$$\varepsilon_2 = \frac{bZ}{\sqrt{M_1C_2}} \text{ მილევის მაჩვენებლით. განრიდების კოეფიციენტი } \xi_2 = \sqrt{C_2 / M^2},$$

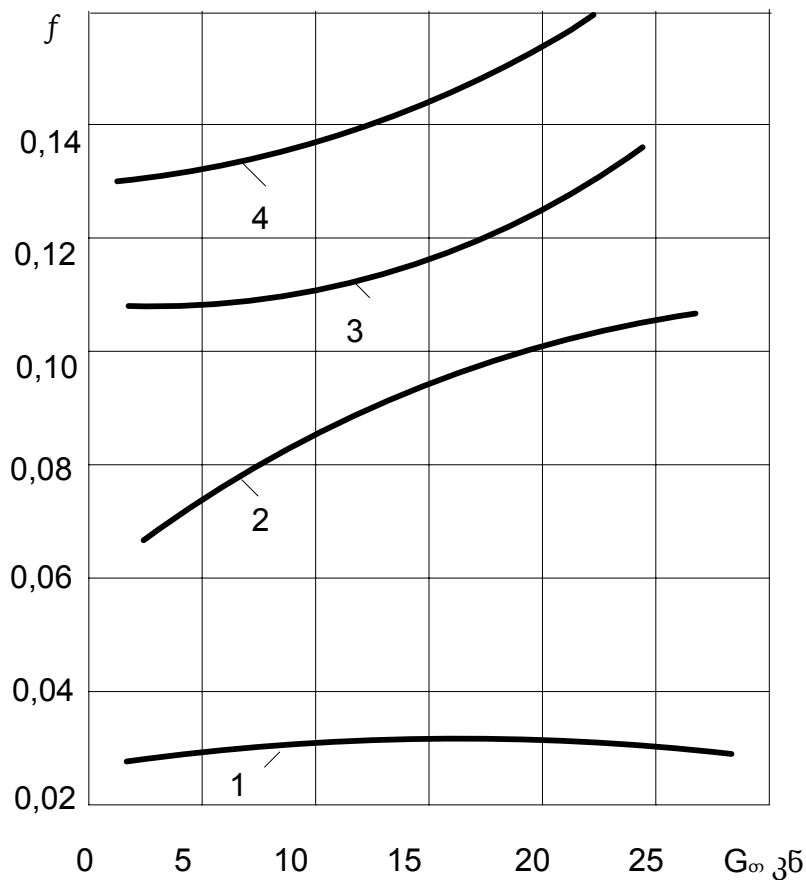
რომელიც მიუთითებს "მუშა ორგანო-შემზღუდველი" წრფივ (ვიბრაციულ) სისტემაში საკუთარ რხევათა სიხშირე რამდენჯერ მეტია იძულებითი ძალის სიხშირის ცვლილებაზე.

3.4. პნევმატიკური თვლის გრუნტებზე გორვისას გამავლობის

მახასიათებლების ანალიზური კვლევის შედეგები

გრუნტზე საავტომობილო თვლის გორვის წინააღმდეგობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ შემდეგი ფაქტორები: ვერტიკალური დატვირთვის სიდიდე და მისი ცვლილების ხასიათი, თვლის გეომეტრიული პარამეტრები და საბურავში ჰაერის შიგა წნევა.

არადეფორმირებად ზედაპირებზე გორვისას ვერტიკალური სტატიკური დატვირთვის G_{∞} დამოკიდებულება თვლის გორვის წინააღმდეგობაზე თითქმის პროპორციულია და შეიძლება ჩაითვალოს, რომ გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი $f=\text{const}$. საწინააღმდეგო სურათი გვაქვს თვლის გორვისას რბილ გრუნტებზე. ამ შემთხვევაში გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი იზრდება უფრო მეტად პროგრესულად, რადგან ასეთი ტიპის გრუნტებზე თვლის გორვის სიმძლავრის დიდი ნაწილი იხარჯება არა საბურავის დეფორმაციაზე არამედ გრუნტის დეფორმაციაზე. როგორც $f(G_{\infty})$ დამოკიდებულების დიაგრამებიდან ჩანს (ნახ.3.5), ისინი არაწრფივია, ამასთან მშრალი ქვიშისთვის გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტის უფრო ინტენსიურად იზრდება, ვიდრე ტენიანი თიხნარი გრუნტებისთვის. დიაგრამების აგებისათვის მონაცემები აღებულია არამერხევი თვლის შემთხვევისთვის.



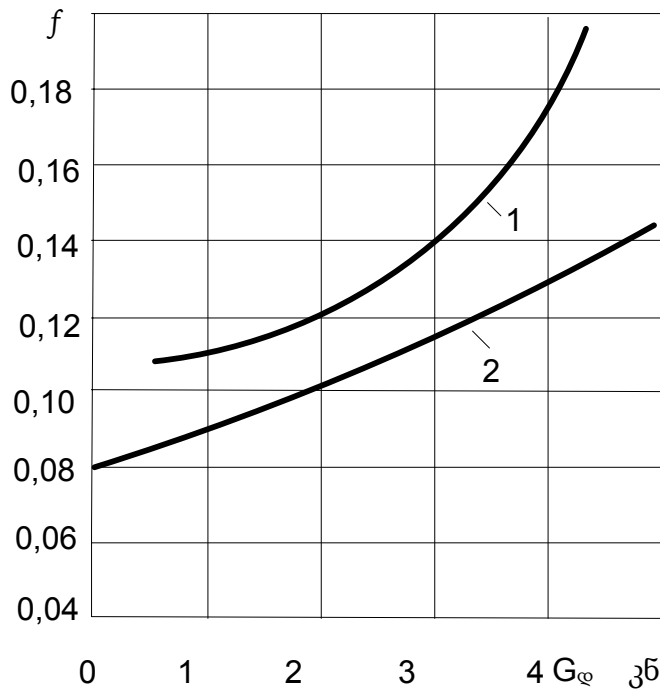
ნახ.3.5. 5 ტ.ტვირთამწეობის, 4x4 თვლის ტიპის ავტომობილის (საბურავი ზომით 12.00-18) კოეფიციენტის დამოკიდებულება ვერტიკალურ სტატიკურ დატვირთვაზე:

1 - მშრალი თიხნარი გრუნტი; 2 - სველი ქვიშა;

3 - ტენიანი თიხნარი გრუნტი (ფარდობითი ტენიანობა იცვლება 30%...33% ზღვრებში);

4 - მშრალი ქვიშა.

გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტის სიდიდის ცვლილება უფრო მკაფიოდაა გამოხატული, როდესაც პნევმატიკური თვალი წარმოადგენს გრუნტის ვიბრაციულ შემამჭიდროებელს. გაანგარიშების შედეგები წარმოდგენილია ნახ.3.6-ზე, როგორც დიაგრამებიდან ჩანს $f(G_0)$ დამოკიდებულების ხასიათი არ იცვლება, მაგრამ მნიშვნელოვნად იცვლება თვით გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტის სიდიდეები. გაანგარიშებები ჩატარებულია ვერტიკალური დატვირთვის დინამიკური მდგენელის რხევისას სიხშირის 1...4 ჰერცის დიაპაზონში. გაანგარიშებების შედეგები მიღებულია მშრალი და ტენიანი თიხნარი გრუნტებისათვის.



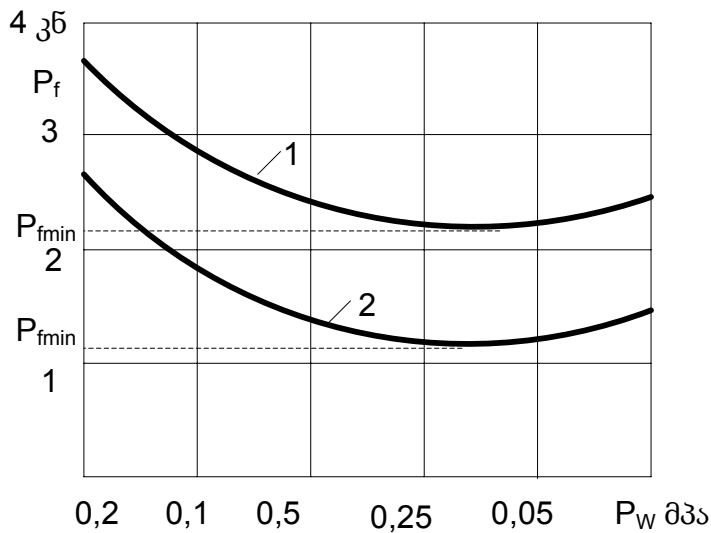
ნახ.3.6. ტენიანი თიხნარი გრუნტებისათვის ტენიანობა 30...33% $f(G_{თ})$ დამოკიდებულების დიაგრამები, როდესაც თვალზე სტატიკური დატვირთვა 25 კნ, ხოლო მის დინამიკური მდგენელი იცვლება 0,5...5 კნ დიაპაზონში, დატვირთვის რხევის სიხშირეებია 1 – 2,0 ჰც, 2-4,0 ჰც.

როგორც დიაგრამებიდან ჩანს ტენიანი თიხნარი გრუნტისათვის, დატვირთვის რხევის ამპლიტუდების გაზრდა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ გორვის წინააღმდეგობის ზრდის პროგრესულ ხასიათზე. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ რხევის სიხშირის ზრდის გავლენა 1...4 ჰც-ის დიაპაზონში, (რაც დამახასიათებელია თვლის თიხნარ გრუნტებზე გორვის პროცესისთვის) უფრო მკაფიოდაა გამოხატული დატვირთვის მაღალი ამპლიტუდებისათვის, კერძოდ 4...5 კნ რადგან მაღალი სიხშირეებზე ადგილი აქვს კონტაქტის ზონაში გრუნტის შემჭიდროვების პროცესის დიდ ინტენსივობას. აღნიშნულ ადგილი აქვს ავტომობილის ტენიან თიხნარ გრუნტებზე მოძრაობის 20...30 კმ/სთ სიქარით პირველი გავლისას. როგორც მოცემული შედეგებიდან ჩანს ავტომობილის გრუნტებზე მოძრაობისას მისი სიქარის გავლენა გორვის წინააღმდეგობაზე მნიშვნელოვანია. აქედან გამომდინარე მცდარია ის მოსაზრება, რომ პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის სხვადასხვა გრუნტებისათვის $f=const.$ მონაცემებს იღებენ დაბალი სიქარეებისათვის ($V \approx 3...5$ კმ/სთ) და უგულველყოფილია სიქარით ზრდით გორვის წინააღმდეგობის

კოეფიციენტის ინტენსიური ზრდა, რომელიც ასევე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული გრუნტის ტიპზე. ჩვენი გამოკვლევებით დადგენილია, რომ ავტომობილის მოძრაობის სიჩქარის დიაპაზონში 25...35 კმ/სთ, გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი 20...30%-ით იზრდება, ვიდრე 3...5კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობისას. ეს მონაცემები პრაქტიკულად იდენტურია ყველა ტიპის გრუნტისათვის.

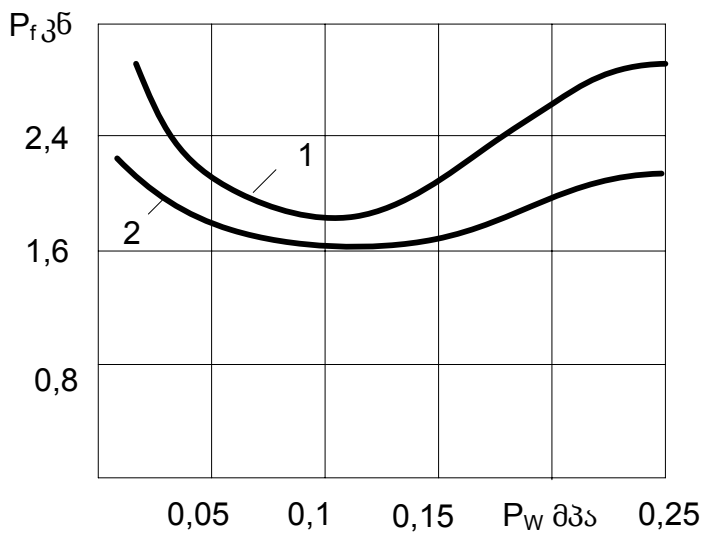
ზემოთ აღნიშნული ფაქტორებიდან გრუნტზე თვლის გორვის წინააღმდეგობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს აგრეთვე საბურავში ჰაერის შიგა წნეის ცვლილება. დეფორმირებად გრუნტებზე საბურავში ჰაერის წნევის შემცირებით გრუნტებზე გორვის წინააღმდეგობა მცირდება (არადეფორმირებად ზედაპირებთან განსვხავებით). ამ ცნობილი ფაქტის ფიზიკური ახსნა მდგომარეობს შემდეგში: საბურავში წნევის შემცირებით იზრდება საბურავის გრუნტთან კონტაქტის ფართი და მცირდება დაწნევა კონტაქტში ,რაც ხელს უწყობს საბურავის გრუნტში ჩაფლობის წინააღმდეგობის გაზრდას. ამასთან, რაც უფრო ნაკლებია გრუნტის მზიდი თვისებები ამ ეფექტს უფრო მკაფიო გამოხატულება აქვს. გაანგარიშების შედეგები წარმოდგენილია ნახ.3.7-ზე, როგორც $P_f(P_w)$ დამოკიდებულების დიაგრამებიდან ჩანს გორვის წინააღმდეგობის ძალა მცირდება საბურავში ჰაერის წნეის შემცირებისას, კერძოდ 0,4 მპა-დან 0,1 მპა-მდე შემცირებით გორვის წინააღმდეგობა მცირდება თითქმის 2,0-ჯერ.

როგორც დიაგრამებიდან ჩდანს მშრალი ქვიშის მცირე მზიდი უნარის გამო თვლის გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტის სიდიდე მეტია ვიდრე ტენიანი ქვიშისათვის. სხვადასხვა კონსტრუქციისა და ზომის საბურავებისთვის მინიმალური გორვის წინააღმდეგობის ძალა შეესაბამება საბურავის ჰაერის შიგა წნევის სხვადასხვა მნიშვნელობას. ეს უკანასკნელი განისაზღვრება გრუნტის ტიპით, საბურავის სიხისტით და თვალზე დატვირთვის მიხედვით. თიხნარი გრუნტებისათვის $P_w=0,05...0,1$ ხოლო ქვიშისათვის $P_w=0,06...0,12$. წნევის შემდგომი შემცირებით გორვის წინააღმდეგობა არ მცირდება, პირიქით ზოგიერთი ავტომობილისთვის ის შეიძლება გაიზარდოს.



ნახ.3.7. გორვის წინააღმდეგობის ძალის P_f საბურავში ჰაერის შიგა წნევაზე P_w დამოკიდებულებების დიაგრამები 5 ტ ტვირთამწეობის 4x4 ტიპის ავტომობილის 10 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობისას თიხნარ გრუნტებზე.
1 - მშრალი გრუნტი; 2 - ტენიანი გრუნტი (ტენიანობა 50%).

ანალოგიური დამოკიდებულება ქვიშიანი ზედაპირისათვის წარმოდგენილია ნახ.3.8- ზე.



ნახ.3.8. ქვიშაზე თვლის გორვის წინააღმდეგობის ძალის დამოკიდებულება საბურავში ჰაერის შიგა წნევაზე P_w თვალზე სტატისკური დატვირთვაა $G_{\infty}=15$ კნ, საბურავი 14.00-18. 1- მშრალი ქვიშა; 2 - ტენიანი ქვიშა.

დეფორმირებად გრუნტებზე თვლის გორვისას ენერგეტიკული დანაკარგების ცვლილების რთული ხასიათი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს აღნიშნულ საგზაო

პირობებში ავტომობილის წევით-ჩამჭიდი თვისებებზე. შეფასება ხდება მახასიათებლით, რომელიც არის დამოკიდებული ავტომობილის წევითი-ჩამჭიდი მოწყობილობაზე ხვედრითი წვეის ძალისა ბუქსაობის კოეფიციენტზე. ნახ.3.8-ზე წარმოდგენილია 5 ტ ტვირთამწეობის 4x4 ტიპისავტომობილი აღნიშნული მახასიათებლის დიაგრამები ა- თიხოვანი გრუნტი; ბ - მშრალი ქვიშა. დიაგრამებიდან ჩანს, რომ წვეის ხვედრითი ძალის სიდიდის მაქსიმუმი მიიღწევა, როდესაც $\sigma = 30 \dots 40\%$; $P_w = 0,05$ მპა. თიხნარი გრუნტის ტენიანობის გაზრდით $25 \dots 28\%$ -ით გაზრდით მაქსიმალური წვეის ძალის რეალიზაცია ხდება, როდესაც $P_w \leq 0,1$ მპა. მოძრაობის სიჩქარე მაქსიმუმს აღწევს, როდესაც $P_w = 0,15$ მპა. წნევის კიდევ უფრო შემცირებით სიჩქარე არ იზრდება. აღნიშნული ადასტურებს იმ ფაქტს, რომ თვლის ჩაჭიდების პირობების გაზდა არ უზრუნველყოფს გორვის წინააღმდეგობაზე საერთო ენერგეტიკული დანახარჯების შემცირებას.

მშრალი ქვიშის ზედაპირზე ფარდობითი ტენიანობა 4% , $80 \dots 100$ მმ სიღრმეზე $4 \dots 12\%$, ქვიშის სიმკვრივე $2,56 \dots 1,67$ გრ/სმ³; მზიდი თვისებები $0,26$ მპა (უბანზე საშუალოდ $0,23 \dots 0,3$ მპა) ამ შემთხვევაში $\rho = 0,65$ (ცვალებადობის დიაპაზონი $0,38 \dots 0,8$). ანალოგიური პარამეტრები თიხნარი სავარგულებისათვის (გაზაფხულის პერიოდი) საშუალო ფარდობითი ტენიანობა 33% , სიმკვრივე $1,64$ გრ/სმ³ (უბანზე $1,44 \dots 1,88$ გრ/სმ³), ჩაჭიდების კოეფიციენტი $\rho = 0,5 \dots 0,69$.

უნდა აღინიშნოს, რომ მშრალ ქვიშაზე წვეის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა მიიღწევა ბუქსაობის კოეფიციენტის დიდი სიდიდეებისას $\sigma = 80\%$, სხვა საგზაოპირობებისათვი კი წვესი ძალის მაქსიმალურისიდიდე მიიღწევა როცესა $\delta = 40 \dots 50\%$

მოყვანილი საანგარიშო შედეგები ადასტურებენ იმ დასკვნებს ავტომობილის წევითი-ჩამჭიდი თვისებები მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული წამყვან ხიდებზე მასების გადანაწილების მახასიათებლებზე, აგრეთვე საბურავის ზომებისა მის კონსტრუქციის თავისებურებებზე. ამასთან გამოკვლეულია ის მნიშვნელოვანი, როგორცაა პნევმატიკური თვლის, როგოც გრუნტის ვიბრაციული შემამჭიდროებლის გავლენა გამავლობის მახასიათებლებზე.

4. ავტომობილის გამავლობის შესაფასებლად ტიპიური ნიადაგ-გრუნტების ტენიანობის კვლევა

4.1. გრუნტების ტიპიზაციის მეთოდის ტენიანობის სტატისტიკური განაწილების პარამეტრების მიხედვით

გრუნტების ტენიანობის დროში და შრის სიღრმეზე ცვლილების სტატისტიკური მახასიათებლების განსაზღვრისათვის რეგულარულად უნდა ხდებოდეს ტენიანობის აბსოლუტური მნიშვნელობის შეფასება სტანდარტული მეთოდებით [117]. რისთვისაც იყენებენ გრუნტების სინჯებს, რომლებიც აღებულია უშუალოდ მასივიდან. [10,20,51,163]. ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევებში ნაქელებით გრუნტების დატენიანება აიღება ჰიდრომეტეოსადგურების მონაცემებიდან.

ჰიდრომეტეოსადგურებში დაგროვილი სამეცნიერო მასალების უტყუარობა ნიადაგ-გრუნტების დატენიანების შესახებ განპირობებულია მრავალი წლის განმავლობაში მისი რეგულარული გაზომვის აპრობირებული მეთოდით [117]. ყოველ მეტეოსადგურში გზის ჰორიზონტალური უბნიდან რეგულარულად (დეკადებში ერთჯერ) იღებენ სინჯებს 5,10,20,50 და 100 სმ სიღრმეზე სპეციალური გრუნტ მზიდებით და ჩამოკიდების მეთოდით [117] ადგენენ სინჯის აბსოლუტურ ტენიანობას. ტენიანობის მიღებული მნიშვნელობებიდან საშუალოს შეტანა ხდება ჟურნალში, რომელიც შემდეგ გამოიყენება ნიადაგის ეგრეთ წოდებული ეფექტური ტენიანობის საანგარიშოდ [117].

გრუნტების ტენიანობის მნიშვნელობები აღებულ იქნა ბოლო 15-17 წლის მანძილზე საქართველოს სხვადასხვა რეგიონის 20 ჰიდრომეტეოსადგურიდან დეკადების მიხედვით, წლის სხვადასხვა სეზონებში: გაზაფხული (მარტი, აპრილი) და შემოდგომა (სექტემბრის მეორე ნახევარი, ოქტომბერი, ნოემბერი). 20 ჰიდრომეტეოსადგურიდან აღებული მონაცემები ტენიანობის მიხედვით შედარებით ზუსტად წარმოადგენენ ნიადაგ-გრუნტების ტიპებს.

ტიპიური გრუნტების ტენიანობის ცვლილება მასივის სიღრმისა და სეზონის მიხედვით ჰიდრომეტეოსადგურების მონაცემებზე დაყრდნობით გამოკვლეულია ორ ეტაპად.

პირველ ეტაპზე შესწავლილია ტენიანობის აბსოლუტური W ცვლილების საერთო ხასიათი დეფორმირებადი შრის H_r სიღრმის მიხედვით.

მეორე ეტაპზე განსაზღვრულია ტენიანობის სტატისტიკური განაწილება შრის სიღრმეზე. შესწავლილია გრუნტის სიღრმეზე ტენიანობის გავრცელების მახასიათებელი წლის სხვადასხვა პერიოდისათვის.

დეფორმირებადი შრის სიღრმეზე ტენიანობის განაწილების საერთო ტენდენციის დადგენისათვის, ხდებოდა 0-10; 10-20 და 20-50სმ სიღრმის შრეების შესწავლა. ერთ ჰიდრომეტეოსადგურზე მონაცემების ამონაწერი შეიცავდა ტენიანობის ცალკეულ მნიშვნელობებს წარმოდგენილს მთელი რიცხვების სახით. შესაბამისად, იგი არის შემთხვევით დისკრეტული სიდიდე. სტატისტიკური დამუშავებისათვის საჭიროა ტენიანობის აღებული მნიშვნელობები დავალაგოთ

რიცხვითი სიდიდეების ზრდადი წესით. ამ მიზნით მწკრივის წევრების რიცხვის შეზღუდვისათვის, რომელთა ელემენტარული ერთეულები ქმნიან სტატისტიკურ მასივს, ტენიანობის მონაცემების დაჯგუფება ხდებოდა შუალედურ ცხრილების სახით. აღებული სიდიდეების მიხედვით ტენიანობის მინიმალური ინტერვალი აიღებოდა 2%-იანი სხვაობით. ჰიდრომეტეოსადგურებში მრავალი წლის მანძილზე (12-15 წელი) ერთი და იმავე სეზონისათვის (გაზაფხული, შემოდგომა) მიღებული ტენიანობის მონაცემები ნაწილდებოდა ყოველ ცხრილზე, ამასთან ცალ-ცალკე სიღრმის მიხედვით. შემდეგ ტენიანობის ყოველ ინტერვალში აითვლებოდა მასში მოხვედრილი მნიშვნელობების რაოდენობა. ამრიგად, მონაცემების პირველადი დამუშავება ფორმირდებოდა ორი რიცხვითი მწკრივით ტენიანობის დაკვირვების მნიშვნელობები $W_1, W_2, W_3 \dots W_i \dots W_n$.

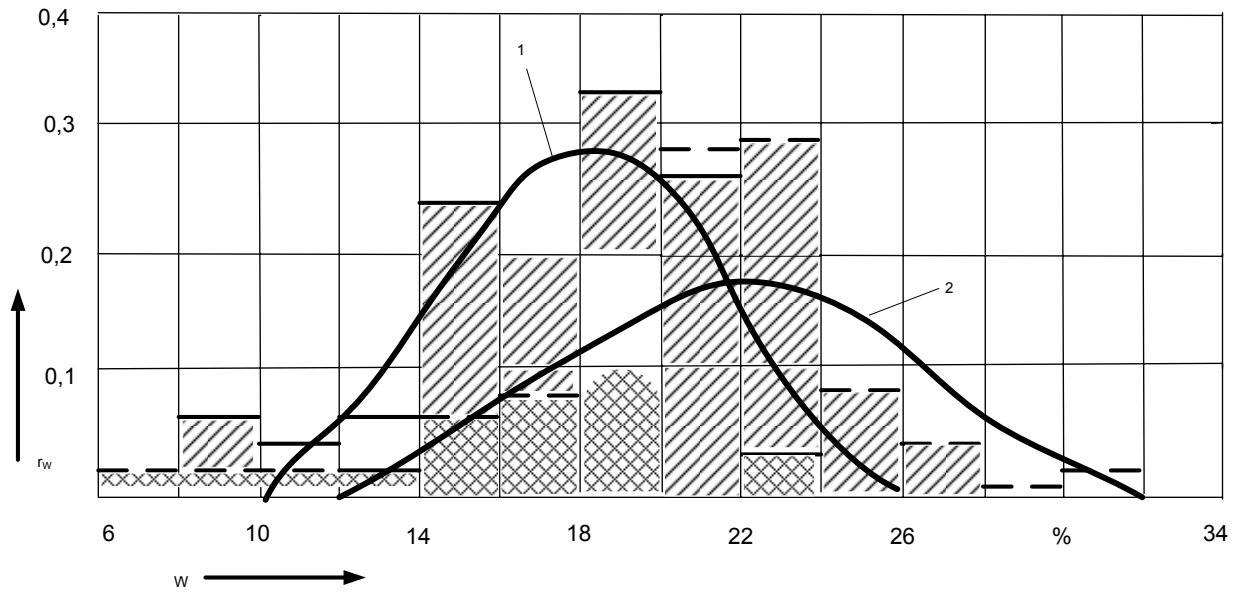
შესაბამისი დაკვირვების რიცხვი $n_1, n_2, n_3 \dots n_i \dots n_n$.

ტენიანობის შესაბამისი მნიშვნელობების დაკვირვების რიცხვს ეწოდება აბსოლუტური სიხშირე. ჰიდრომეტეოსადგურებში გრუნტების ტენიანობის მონაცემების პირველადი დამუშავების შედეგები რიგ ცხრილებში და ჰისტოგრამებზე მიღებულია დაკვირვებების სიხშირეების ემპირიული მწკრივებით (ნახ.4.1).

ტენიანობის განაწილების ალბათური მოდელის შერჩევა მოხდა გამოსაკვლევი გრუნტების ტენიანობის აღებული მონაცემებით. საკითხის გადაწყვეტისას ვსარგებლობდით იმ მოსაზრებით, რომ საჭირო არის არამარტო მათემატიკური გამოსახულების შერჩევა, არამედ გამოსაკვლევი მოვლენის ფიზიკური არსის შესწავლა, მიღებული ემპირიული მრუდების თავისებურებების გათვალისწინებით..

ტენიანობის W განაწილების ხასიათის კვლევა პირველ ეტაპზე განხორციელდა ემპირიული მონაცემების განაწილების ნორმალურ კანონთან შესაბამისობის ჰიპოთეზის შემოწმებით. ამ კანონის მიხედვით განაწილების სიმკვრივე დამოკიდებულია ორ m და σ პარამეტრზე [30].

$$f = (W) \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_w} \ell^{-\frac{(W-m_w)^2}{2\sigma_w^2}}. \quad (4.1)$$



4.1. ხელვაჩაურის რაიონში ნიადაგ-გრუნტები აბსოლუტური ტენიანობის ჰისტოგრამები გაზომილი 1 – 10 სმ და 2- 50 სმ სიღრმეზე, გაზაფხულის პერიოდში

განაწილების ემპირიული მწკრივების განტოლება მდგომარეობს m_w და σ_w შეფასებაში.

პარამეტრების შემფასებელი მნიშვნელობები გამოითვლებოდა ფორმულებით:

$$m_w = W_1 P_1 + W_2 P_2 + \dots + W_n P_n = \sum_{i=1}^n W_i P_i, \quad (4.2)$$

სადაც, P_i – შესაბამისი სიხშირეებია;

$$\sigma = \sqrt{D^2(W)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i^2 P_i - [m_w]^2}; \quad (4.3)$$

სადაც, $D^2(W)$ – შემთხვევითი სიდიდის საშუალო კვადრატული გადახრაა.

m_w და σ_w მნიშვნელობების ჩასმით (4.1) ფორმულაში და W კონკრეტულ მნიშვნელობების გამოყენებით, მივიღებთ თეორიულ განაწილებას, რომელიც მკაცრად იქნება განსაზღვრული ტენიანობის ინტერვალებით:

$$W_1 - W_2, W_2 - W_3 \dots W_{n-1} - W_n;$$

$$f_1(W_1) - P_1, f_2(W) - P_1, f_n(W) - P_n.$$

ნახ.4.1-ზე მოცემულია სტატისტიკური მწკრივების ჰისტოგრამები, აგრეთვე გრუნტის ტენიანობის 10 და 50 სმ სიღრმეზე განაწილების ნორმალური კანონების თეორიული მრუდები. თეორიული მრუდები მდებარეობენ საზღვრებში, რომლებიც რამდენადმე განსხვავდებიან ემპირიული განაწილებებისაგან, თუმცა არიან თავისუფალნი ამ ჰისტოგრამებში წარმოქმნილი შემთხვევითი უზუსტობისაგან.

ემპირიული განაწილების თეორიულ ნორმალურ განაწილებასთან სიახლოვე განსაზღვრულია პირსონის X^2 და რომანოვსკის R თანხმობის კრიტერიუმების დახმარებით.

ნორმალური განაწილების და თანხმობის კრიტერიუმის პარამეტრების განსაზღვრისათვის შედგენილია ეგმ-ზე საანგარიშო პროგრამა და ალგორითმი. გაანგარიშების შედეგად ყოველი მეტეოსადგურიდან მიღებული მონაცემებით განსაზღვრული იქნა ტენიანობის ნორმალური განაწილების პირსონის X^2 და რომანოვსკის R თანხმობის კრიტერიუმის პარამეტრები.

X^2 და R თანხმობის კრიტერიუმების მნიშვნელობების ანალიზმა აჩვენა, რომ ტენიანობის 98% შემთხვევაში თეორიული ნორმალური მოდელი ეთანხმება გრუნტების ტენიანობის ემპირიულ განაწილებას.

შემდგომმა ანალიზმა საშუალება მოგვცა დადგენილიყო მდგრადი ემპირიული კორელაციური დამოკიდებულება მათემატიკურ ლოდინებს m_w შორის, ე.ი. გრუნტის შედარებით შესაძლო ტენიანობასთან წლის საკვლევი პერიოდისათვის. ყოველი ტიპის გრუნტში თიხოვანი ნაწილების M_r შემცველობა, ახასიათებს მის გრანულომეტრულ შედგენილობას, რომელიც წარმოადგენს გრუნტების ძირითად კლასიფიკაციურ ნიშანს. ტიპიური გრუნტების გრანულომეტრული შედგენილობის მონაცემები აღებულია ვ.ფ.ბაბკოვისა [11] და ნ.ა.ციტოვიჩის [144] შრომებიდან. m_w -ს [35] მნიშვნელობის მიხედვით ტენიანობის გაზომვის 10 და 50 სმ სიღრმისათვის მიღებულია რეგრესიის განტოლებები m_w სიდიდის M_r სიდიდეზე წრფივი დამოკიდებულების სახით. კერძოდ, გაზაფხულის დროისათვის (მარტი, აპრილი): 10 სმ სიღრმისათვის, როცა კორელაციის კოეფიციენტი $Z=0,92$

$$m_{w10}=11+0,8 M_r.$$

(4.4)

50 სმ სიღრმისათვის, როცა კორელაციის კოეფიციენტი $Z=0,82$

$$m_{w50}=10+0,6 M_r. \quad (4.5)$$

მიღებულმა კორელაციურმა დამოკიდებულებებმა საშუალება მოგვცა სწორი რელიეფის ადგილმდებარეობაზე გამოგვეყო ტიპიური გრუნტები. რამაც საშუალება მოგვცა საქართველოს ტერიტორია ავტომობილის გამავლობის სირთულის კატეგორიის მიხედვით დაგვეყო გარკვეულ რაიონებად. გამავლობის რაიონების ძირითადი რაოდენობრივი მახასიათებლები შედარებით ძნელად გასავლელი წლის დროისათვის – გაზაფხული (მარტი, აპრილი) და შემოდგომა (სექტემბერი, ოქტომბერი, ნოემბერი) მოყვანილია 4.1 და 4.2 ცხრილებში. განაწილების ნორმალური კანონის პარამეტრები 10 და 50 სმ სიღრმეზე, ტენიანობის ცვლილების მათემატიკური ლოდინი M_w და დისპერსია σ_w – წარმოადგენენ ყოველი კონკრეტული რაიონის ძირითად მახასიათებლებს. ცხრილებში დამატებით მოცემულია ტენიანობის მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები, აგრეთვე გრუნტის დენადობის ზღვრის ტენიანობა W_{ϕ} . ტენიანობა W_{ϕ} აუცილებელია გრუნტის ფარდობითი ტენიანობის განსაზღვრისათვის.

$$W_0 = W_a / W_{\text{ტ}} 100\%, \quad (4.6)$$

სადაც, W_a – გრუნტის აბსოლუტური ტენიანობაა, %-ში

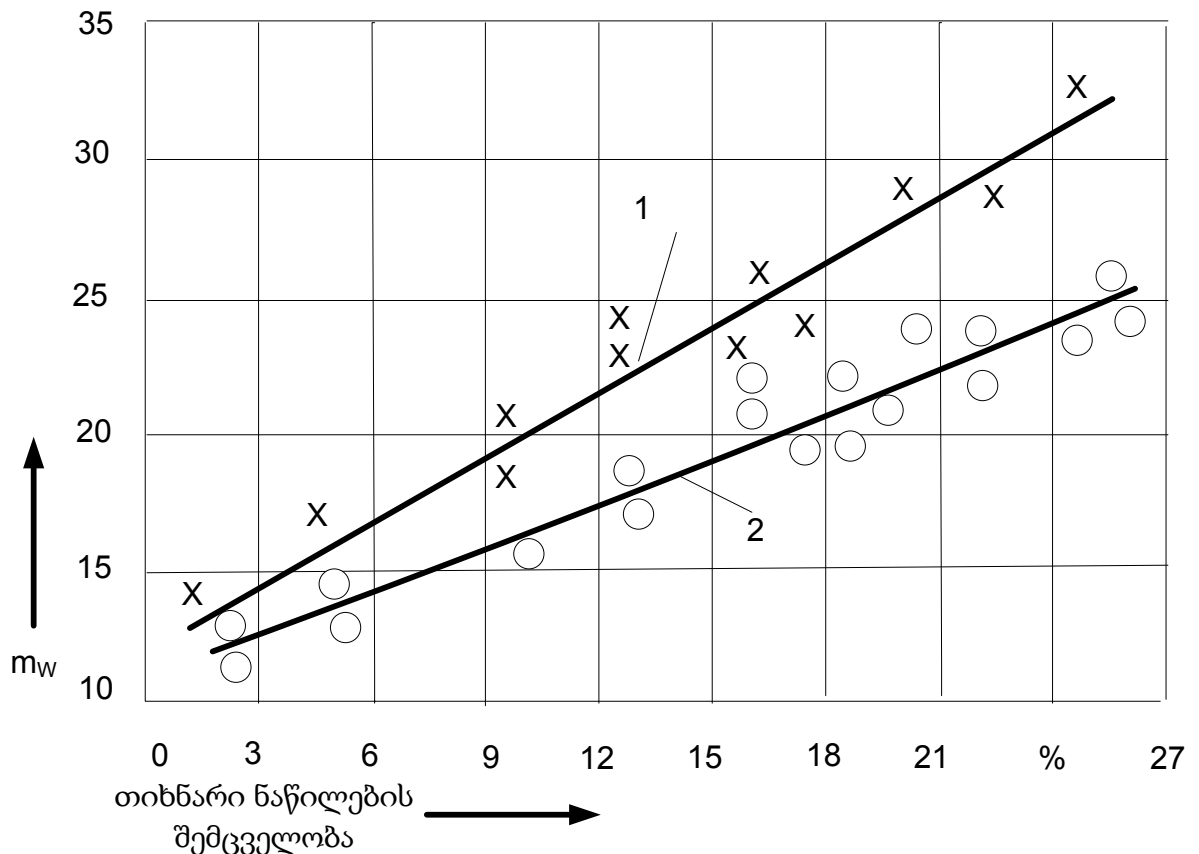
გრუნტის ფარდობითი ტენიანობა საშუალებას იძლევა დადგინდეს მისი კონსისტენცია (მყარი, პლასტიკური, ბლანტი), და შესაბამისად იძლევა მოძრავი ტრანსპორტის თვლებით გრუნტის დეფორმირების პროცესის ფიზიკურ სურათს.

აღსანიშნავია, რომ გრუნტის ტენიანობის ცვალებადობის ხასიათი სივრცეში შეიძლება განეკუთვნოს ელემენტების რიცხვს, რომელთა რხევები მცირე მანძილზე ხშირად სჭარბობენ მათ ცვლილებებს მნიშვნელოვან მანძილზე მაკრომაშტაბში [62].

ნიადაგთა მნიშვნელოვანი სახესხვაობები საქართველოს ზოგ რაიონებში, განპირობებულია რელიეფით და განსაზღვრავს განსხვავებებს გრუნტების ტენიანობის განაწილებაში. მოცემულ შემთხვევაში დაგეგმარება წარმოებს 1:250000 მასშტაბში, ამასთან მხედველობაში მიიღება მხოლოდ მაკრორელიეფი, ხოლო მიკროკლიმატური თავისებურებები არ არის გამოყოფილი. შესაბამისად, განსაზღვრული რაიონის გრუნტის ზედაპირის მდგომარეობის შეფასებისას წარმოდგენილი მეთოდით შეიძლება განვიხილოთ მხოლოდ ადგილმდებარეობის ჰორიზონტალური უბნების. განსაზღვრული რაიონის გრუნტის ზედაპირის მდგომარეობის უფრო ზუსტი მახასიათებლები ფართოდ უნდა ითვალისწინებდეს მთელ რიგ ფაქტორებს მათ შორის ისეთ ფაქტორებსა, რომლებიც გავლენას ახდენენ ნიადაგ-გრუნტების წყლის გაჟონვის რეჟიმზე (მიკროკლიმატი, მიკრორელიეფი და სხვა). მაგრამ მოცემული კვლევისათვის იგი არ იყო აუცილებელი.

4.2. ნაიადაგ-გრუნტების ტენიანობის განაწილებისა და საანგარიშო მდგომარეობის კვლევა ჩაფლობის სიღრმის მიხედვით.

გრუნტების ტენიანობის სიღრმეზე ცვლილების რაოდენობრივი დახასიათებისათვის შემოგვაქვს ფარდობითი პარამეტრი – დისპერსიის ცვალებადობის კოეფიციენტი $K_{\sigma} = \sigma_{w10} / \sigma_{w50}$. ეს კოეფიციენტი გამოითვლება როგორც დისპერსიის მნიშვნელობების თანაფარდობა გურნტის ტენიანობის განაწილების ნორმალური კანონისათვის 10 და 50 სმ სიღრმეზე (ცხრ.4.1, 4.2). ჩვენი აზრით K_{σ} კოეფიციენტის მნიშვნელობები ობიექტურად ახასიათებენ გრუნტის ტენიანობის ვარირების ხარისხს დეფორმირებული შრის სიღრმეზე. K_{σ} სიდიდე გაზაფხულზე იცვლება ინტერვალში 1,20-დან 1,83-მდე, ხოლო შემოდგომაზე 1,10-დან 1,63-მდე. ამასთან გრუნტის მასივში ტენიანობის ვარირების ხარისხი მცირდება მის სიღრმეზე. ასეთი კანონზომიერება შეიძლება აიხსნას იმით, რომ გრუნტის ზედა შრეები განსხვავდებიან ტენიანობის უფრო დიდი ცვალებადობით დროში, რადგან სიღრმის ზრდასთან ერთად გრუნტის ტენიანობა გამოწვეულია ატომოსფერული ნალექებით, აორთქლების ინტენსიურობა და ტენის ხარჯი მცირდება [117].



4.2. გაზაფხულის პერიოდში შედარებითი ალბათური ტენიანობის დამოკიდებულება გრუნტში თიხნარი ნაწილების შემცველობაზე;
 1 – m_w – 10 სმ სიღრმეზე;
 2 – m_w – 50 სმ სიღრმეზე.

გრუნტების სიღრმეზე ტენიანობის განაწილება ძნელად ექვემდებარება ანალიზს, რადგან დამოკიდებულია ბევრ ფაქტორზე: გენეტიკურ-მორფოლოგიურ თავისებურებებზე (მექანიკური შედგენილობა, სიმკვრივე, სტრუქტურა და ა.შ.), გრუნტის წყლების გაჟონვის სიღრმეზე, მცენარეთა საფარზე და სხვა. მაგარამ როგორც ცხრ.4.1 და 4.2-დან ჩანს ტიპური გრუნტებისათვის შეიმჩნევა ტენიანობის სიღრმეზე ცვლილების საკმაოდ კანონზომიერი ხასიათი.

რბილი გრუნტები (სილა, ქვიშნარი), რომელთაც გააჩნიათ ტენიანობის მცირე ტევადობა და დიდი წყალგამტარიანობის უნარი, ატმოსფერულ ნალექს ატარებენ დიდ სიღრმეზე ე.წ.გრუნტის წყლებამდე. მათთვის ტენიანობის W ვარიაციების განსხვავება ზედა ჰორიზონტზე და სიღრმეზე უმნიშვნელოა: გაზაფხულზე $K_0=1,2-1,4$; შემოდგომაზე $K_0=1,15-1,3,7$.

მძიმე გრუნტები (თიხნარი, საშუალო თიხნარი, თიხა) ფლობენ ტენიანობის დიდ ტევადობას და მცირე წყალგამტარიანობას, ისინი ტენს აკავებენ ზედა ჰორიზონტალურ ნაწილში და ნელ-ნელა შეიწოვენ მას. ამიტომაც შეიმჩნევა არსებითი განსხვავებები ტენიანობის ვარიაციაში ზედა შრეებში და სიღრმეზე (გაზაფხულზე $K_0=1,40-1,83$ და შემოდგომაზე $1,40-1,68$). K_0 კოეფიციენტების სიმცირე შემოდგომაზე გაზაფხულთან შედარებით ნათელია, რაც აიხსნება იმით, რომ შემოდგომაზე ტენიანობის გავრცელების ინტენსიურობა ნაკლებია, ამიტომ დრო წყლის გაფილტვრაზე დაბალ ჰორიზონტალურ ნაწილში იზრდება, რაც ქმნის უფრო სასურველ პირობებს სიღრმის სხვადასხვა დონეზე ტენიანობის გათანაბრებისათვის.

გრუნტის სიღრმეზე ტენიანობის ცვლილების წრფის სხვადასხვაობა და მათი შემთხვევითი ხასიათი (ნახ.4.2) საშუალებას არ იძლევა დამყარდეს ლოგიკური დამოკიდებულება ტენიანობასა და სიღრმეს შორის, ამიტომ შემდგომში გამოყენებულია სტატისტიკური მეთოდები. გრუნტის ტენიანობის სიღრმეზე ცვლილების საერთო ტენდენცია შეიძლება დადგინდეს იქნას ტენიანობების თანაბარი ალბათობების მრუდების მიხედვით $F(W)=const.$ (ნახ.4.4). თანაბარი ალბათობების განისაზღვრება გრუნტის სხვადასხვა ჰორიზონტალური უბნების ტენიანობებით, რომელთაც გააჩნიათ წარმოქმნის ერთნაირი ალბათობა.

გრუნტის სიღრმეზე ტენიანობის წარმოქმნის ალბათობა $F(W)_h$ განისაზღვრება განაწილების ნორმალური ფუნქციით [30]:

$$F(W)_h = \Phi \left(\frac{W_{i(h)} - M_{W(h)}}{\sigma_{W(h)}} \right).$$

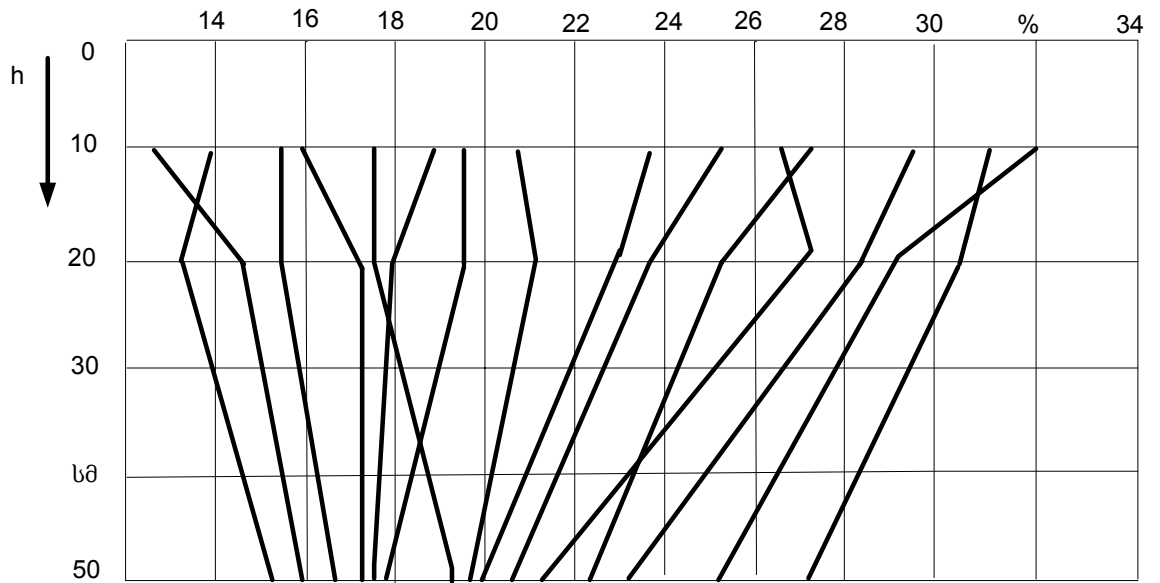
ტენიანობის თანაბარი ალბათობების პირობას h_1 და h_2 სიღრმეზე ექნება შემდეგი სახე:

$$\frac{W_{i(h_1)} - M_{W(h_1)}}{\sigma_{W(h_1)}} = \frac{W_{i(h_2)} - M_{W(h_2)}}{\sigma_{W(h_2)}}.$$

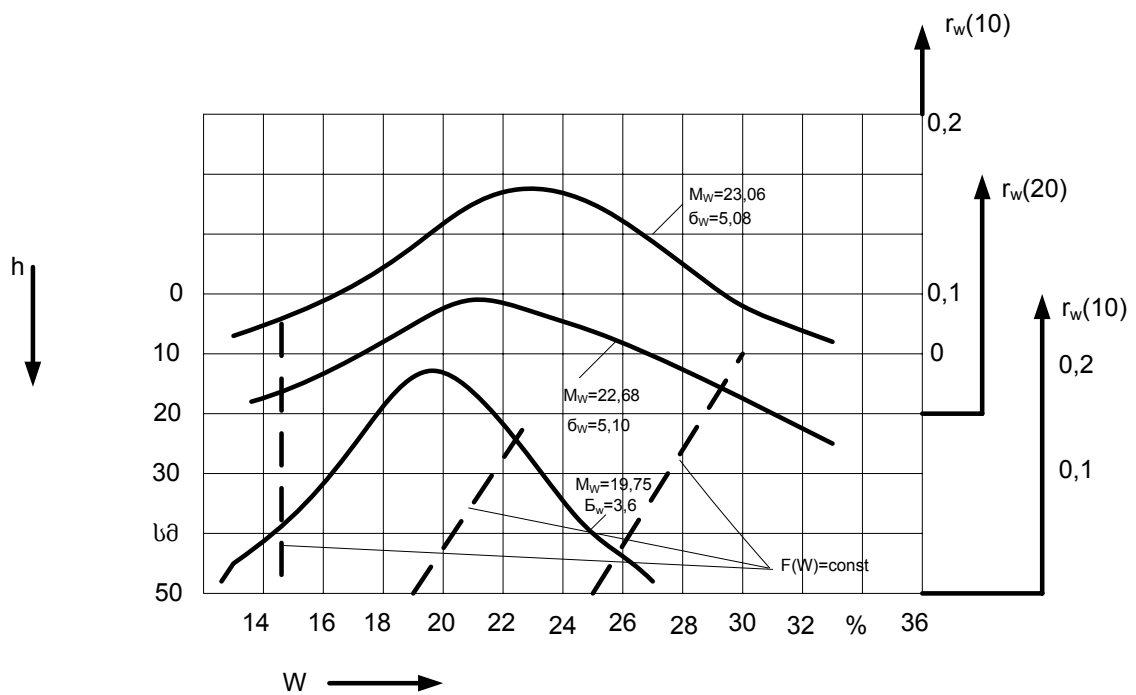
ტენიანობას $W_{i(h_1)}$, რომლის წარმოქმნის ალბათობაა $F(W)$ შეესაბამება განსაზღვრული ტენიანობა $W_{i(h_2)}$ იგივე ალბათობით:

$$W_{1(h_1)} = \frac{\sigma_{W(h_1)}}{\sigma_{W(h_2)}} [W_{i(h_1)} - M_{W(h_1)}] + M_{W(h_1)}. \quad (4.7)$$

ვიცით რა ტენიანობის სხვადასხვა სიღრმეზე განაწილების კანონების პარამეტრები, შეიძლება განვსაზღვროთ ტენიანობების ალბათური კომბინაციები ამ სიღრმეებისათვის.



4.3. გრუნტის ტენიანობის ცვლილება



4.4. თიხნარი გრუნტის ალბათობით ტენიანობის სიმკვრივის მრუდები 10 და 50 სმ სიღრმეზე

ამ მეთოდით დადგენილი ალბათობის დამოკიდებულებები მიახლოებით შეესაბამებინ გრუნტის ტენიანობის დეფორმირებული შრის სიღრმეზე ცვლილების რეალურ მრუდს. თუმცა ისინი საშუალებას იძლევიან ავიცილოთ უხეში შეცდომები

გრუნტის საანგარიშო პარამეტრების შერჩევას, რომლებიც შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, თუ ჩავთვლით, რომ გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები ერთგვაროვანია, ე.ი. არ იცვლება დეფორმირებული შრის სიღრმეზე.

კვლევის მეორე ეტაპზე გრუნტში ტენიანობის გავრცელების ალბათობის უფრო სრულად შესწავლისთვის გამოყოფილია წლიურ ციკლში გრუნტებში ტენიანობის გავრცელების მახასიათებელი პერიოდები. ამისათვის გამოიყენება სახელმწიფო ჰიდრომეტეოსადგურების მონაცემები ნალექების რაოდენობის შესახებ ყოველი რაიონისათვის: თვის საშუალო ტემპერატურა, ჰაერის ტემპერატურის 0⁰-ზე გადასვლის დრო და ა.შ. [89]. ანალიზის დროს გათვალისწინებულია გრუნტის ზედაპირების მდგომარეობის სიღრმეზე ცვალებადობის კანონზომიერებანი სეზონური საგზაო-კლიმატური ზონებისათვის [10,79].

მახასიათებელ პერიოდში ტენიანობის სიღრმეზე განაწილების შედარებითი უთანაბრობა, გააჩნიათ მხოლოდ შეკრულ გრუნტებს. აქედან გამომდინარე ხდებოდა ჰიდრომეტეოსადგურების მონაცემების ანალიზი საქართველოს შავი ზღვისპირა რაიონების ნიადაგების მიხედვით შემდეგ გრუნტებზე:

- რბილი თიხნარი (რ-თ);
- საშუალო თიხნარი (ს.თ);
- მძიმე თიხნარი, თიხა (მ.თ.).

განასხვავებენ ტენიანობის გავრცელების ხუთ მახასიათებელ პერიოდს [10]:

- გაზაფხულზე თოვლის გალღობის დასაწყისი (1);
- გაზაფხულის თოვლის გალღობის პერიოდის დასასრული (2);
- გაზაფხული მთლიანი გალღობისა და ზედა შრის გაშრობის შემდეგ (3);
- ტენიანობების გატოლება სიღრმეზე გაზაფხულის ბოლოს (4);
- ზაფხულის დასასრული, ადრე შემოდგომა წვიმის შემდეგ (5).

შემოდგომის პერიოდისათვის ტენიანობის გავრცელების მახასიათებელი პერიოდის გამოყოფა ძნელია, ამიტომ გრუნტის საანგარიშო პარამეტრები შემოდგომის პერიოდისათვის აიღებოდა გრუნტის სიღრმეზე ტენიანობის ცვალებადობის გათვალისწინებით, რომელიც განისაზღვრებოდა ტენიანობის თანაბარი ალბათობის წრფის მიხედვით.

გრუნტების ტენიანობის შესახებ ჰიდრომეტეოსადგურების მონაცემები გაზაფხულზე ტენიანობის გავრცელების მახასიათებელ პერიოდებში

სისტემატიზირდებოდა შემდეგი ხერხით: კლიმატოლოგიკური ცნობარის [89] მიხედვით ისაზღვრებოდა ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურის 0⁰-ზე გადასვლის თარიღები. გაზაფხულის პერიოდისათვის ტენიანობების მონაცემები აიღებოდა: სხვადასხვა სიღრმეზე პირველი ორი-სამი გაზომვით ჰაერის ტემპერატურის 0⁰-ზე გადასვლის შემდეგ; ორი დეკადის განმავლობაში, რაც შეესაბამებოდა გაზაფხულის პირველი პერიოდის დასასრულს. შემდეგ აიღებოდა მონაცემები მომდევნო ორი დეკადისათვის, რაც შეესაბამებოდა თოვლის მთლიან გაღობას, და ბოლოს გაზაფხულის ბოლო ორი დეკადისათვის, რომლებიც ხასიათდებოდნენ ტენიანობის გატოლებით სიღრმეზე.

ამრიგად, ყოველი ჰიდრომეტეოსადგურის მიხედვით სისტემატიზირებულია საქართველოს რაიონებში შეკავშირებული გრუნტების ტენიანობის მნიშვნელობები. ტენიანობის ცვლილება დროის განსაზღვრულ გრუნტის მოცემული სიღრმისათვის დადგენილია ტენიანობის 30-40 მნიშვნელობის მიხედვით. მონაცემების სტატისტიკური დამუშავება წარმოებდა სპეციალური მეთოდიკით. შედეგად მიღებულია გრუნტის შრეების აბსოლუტური ტენიანობის W_s საშუალო სტატისტიკური მნიშვნელობები, თიხნაროვანი გრუნტების ტენიანობის გავრცელების მახასიათებელ პერიოდებში. ნათლად დანახვისათვის გრუნტების ეს ტენიანობები მოცემულია ცხრ.4.4.

მიღებული მონაცემები (ცხრ.4.3, 4.4) აჩვენებენ, რომ ტენიანობის გავრცელების ყოველ მახასიათებელ პერიოდს შეესაბამება გრუნტის განსაზღვრული საანგარიშო მდგომარეობა.

გაზაფხულზე თოვლის გაღობის პერიოდის დასაწყისისათვის (საანგარიშო მდგომარეობა №1), როცა გრუნტის გაღობა მოხდა მცირე სიღრმეზე, გრუნტის ზედა გაღობის შრის ტენიანობა ტოლია ან მეტი მისი დენადობის ზღვარის ($W \geq W_T$), ხოლო ქვედა შრეები იმყოფებიან არადეფორმირებად მდგომარეობაში. გაზაფხულში თოვლის გაღობის პერიოდის ბოლოს (საანგარიშო მდგომარეობა №2) გრუნტი ღვება მთელ სიღრმეზე. ამასთან პრაქტიკულად დეფორმირებული შრის მთელ სიღრმეზე ტენიანობა მიახლოებით შეესაბამება გრუნტის დენადობის ზღვარს.

საანგარიშო მდგომარეობა №2 წარმოადგენს შედარებით არასასურველს გრუნტზე ავტომობილების გამავლობისათვის.

გრუნტის მთლიანი გაღობის და ზედა შრის გაშრობის შემდეგ (საანგარიშო მდგომარეობა №3), ზედა შრის ტენიანობა მცირდება ქვედა შრის ტენიანობასთან შედარებით. გრუნტის შემდგომი გაშრობით ხდება ტენიანობების გატოლება სიღრმეზე (საანგარიშო მდგომარეობა №4), მისი მნიშვნელობა ხდება გრუნტის პლასტიკურობის ზღვრის ტოლი ან მეტი. საანგარიშო მდგომარეობა №5 დამახასიათებელია მშრალი მინდვრის მოკლე საზაფხულო და საგაზაფხულო წვიმების შედეგად გამოწვეული ტენიანობისა. ზედა შრის ტენიანობა შეესაბამება ან მცირეა მისი დენადობის ზღვარის W_p , მაგრამ თანდათანობით მცირდება სიღრმეზე პლასტიკურობის ზღვრის ქვემოთ.

4.3. გრუნტების ტენიანობის განსაზღვრა ადგილმდებარეობის გადაკვეთის ადგილებში

ტიპური გრუნტების ტენიანობის ალბათური მახასიათებლები, რომლებიც მიღებული არიან ჰიდრომეტეოსადგურებში დაკვირვებების სტატისტიკური დამუშავებით, ეკუთვნიან ადგილმდებარეობის სწორ უბნებს. დასერილი რელიეფის პირობებისათვის აუცილებელია გრუნტების ტენიანობების მდგომარეობის გაანალიზება მის სხვადასხვა ელემენტებზე.

ნაიადაგ-გრუნტების ტენიანობების ცვალებადობებს ადგილის დასერილ რელიეფზე მათი ადგილმდებარეობისაგან დამოკიდებულებით სწავლობენ ნაიადაგმცოდნეობის სპეციალისტები. სამუშაოთა დასაწყისი ეკუთვნის მე-19 ს-ის დასასრულს (ლ.ა.იზმაილსკი, 1894) და მე-20 ს-ის დასაწყისს (ვოლნი, 1901; ლოსკე, 1915), ხოლო თანამედროვე პირობებში ცნობილია ს.ი.სილვესტროვას, და სხვ.კვლევები. ადგილის რელიეფის ნაიადაგმცოდნეობის ხარისხზე გავლენის შესაფასებლად, მეცნიერებმა შეისწავლეს გრუნტების ტენიანობის გავრცელების პირობები ფერდობების თანაბარ ნაწილებზე მისი ტიპსა და ექსპოზიციისაზე დამოკიდებულებით.

მოცემული მიმართულების შრომებით დადგენილია, რომ გრუნტის აბსოლუტური ტენიანობა მნიშვნელოვნად განისაზღვრება დასერილ ადგილზე მისი მდებარეობით. ეს მდგომარეობა საჭიროა ავტომობილების გამავლობის პრობლემის კვლევისათვის, კერძოდ, გრუნტების საანგარიშო მახასიათებლების პროგნოზირებისათვის, თუმცა გრუნტების ტენიანობის დასერილ რელიეფზე განაწილების საერთო რაოდენობრივი სქემის უშუალო განსაზღვრა წარმოადგენს დიდ სირთულეს [90]. დიდი მოცულობის ექსპერიმენტული სამუშაოების ჩატარების გარდა აუცილებელია გრუნტის სხვადასხვაობით, აგროტექნიკური ფონით და მცენარეული ნაზრდის ხასიათით შეიქმნას ერთმნიშვნელოვანი რელიეფის უბნების შერჩევის აპრობირებული მეთოდიკა. თუ რელიეფის ელემენტების შერჩევის დროს რომელიმე ამ პირობებიდან არ სრულდება, მაშინ კვლევის შედეგი აღმოჩნდება დამახასიათებელი მხოლოდ კერძო შემთხვევისათვის და გამოუსადეგარი ფართო გამოყენებისათვის. ამასთან დაკავშირებით, გრუნტების ტენიანობის განაწილების კანონზომიერებების ექსპერიმენტული შესწავლა დასერილი ადგილის ფერდობებზე არ გაითვალისწინებოდა მოცემულ კვლევაში, ხოლო აუცილებელი მონაცემები (ცხრ.4.5) სისტემატიზირებულია სხვადასხვა ლიტერატურულ წყაროებში [47,90].

ა.კ.ფეოდოსევი [90] მიუთითებს, რომ სხვადასხვა ფორმის რელიეფების ნიადაგებში ტენიანობის გავრცელების საერთო კანონზომიერებანი უმჯობესია განისაზღვროს არა განსხვავების აბსოლუტური მნიშვნელობებით, არამედ რომელიღაც ფარდობითი მაჩვენებლებით. ავტორის მიერ წარმოდგენილია ტენიანობის გავრცელების კოეფიციენტი K_w , რომელიც ტოლია გრუნტის შრის აქტიური ზონის ტენის მარაგის ფარდობისა საკონტროლო ელემენტის ტენიანობასთან:

$$K_w = W_i / W_0, \quad (4.8)$$

სადაც, W_i – რელიეფის განსახილველი ელემენტის გრუნტის ტენიანობა შრის 0-50 სმ სიღრმეზე;

W_0 – რელიეფის საკონტროლო ელემენტის გრუნტის ტენიანობა შრის 0-50 სმ სიღრმეზე.

რელიეფის საკონტროლო ელემენტი წარმოადგენს ადგილის სწორ უბანს, რომელზედაც ხდება გრუნტის ტენიანობის გაზომვა, ამ ადგილზე არსებული ჰიდრომეტეოსადგურის მიერ. ტენიანობის გავრცელების კოეფიციენტი შეიძლება იცვლებოდეს ყოველწლიურად ნიადაგის გაყინვის სხვადასხვა სიღრმის, თოვლის საფარის არათანაბრობით და სხვა მიზეზების ზეგავლენით. მიუხედავად მთელი სირთულისა და მოვლენათა კომპლექსის არამუდმივობისა, რომლებიც გავლენას ახდენენ ტენის გადანაწილებაზე რელიეფის ელემენტებს შორის, ტენიანობის გავრცელების საერთო კანონზომიერებანი მუდგანდებიან იშვიათად. ტენის მეტი მარაგი ყველა შემთხვევაში აღინიშნება რელიეფის დაბლობებში, ხოლო მცირე-ფერდობების წვეროებში და ზედა ნაწილში. ცხრ.4.5-ში მოყვანილია რელიეფის სხვადასხვა ელემენტების ტენიანობის გავრცელების კოეფიციენტების საშუალო მნიშვნელობები [47,90], რომლებიც გამოყენებულია მოცემულ ნაშრომში.

რელიეფის მოცემული ელემენტის გრუნტისათვის სანგარიშო ტენიანობას ვსაზღვრავთ ცნობილი, გრუნტის საშუალო სტატისტიკური ტენიანობის მიხედვით თანაბარ ადგილზე, რომელიც დადგენილია ჰიდრომეტეოსადგურის მონაცემებით წარმოდგენილი მეთოდის მიხედვით, ცხრ.2.5-ის გამოყენებით:

$$m_{wi} = K_m m_{w0}.$$

დამატებით საჭიროა გავითვალისწინოთ, რომ [47]-ის თანახმად ნიადაგის ტენიანობა სამხრეთ ფერდობებზე მეტია ვიდრე ჩრდილოეთზე, და მიახლოებით 1,6-ჯერ, ხოლო განსხვავება ზედა და ქვედა ნაწილების ტენშემკავებლობას შორის იზრდება გრუნტის ტენის მარაგის ზრდასთან ერთად.

გრუნტების ტენიანობის გავრცელების შეფასების მიღებული მეთოდი რელიეფის სხვადასხვა ელემენტებზე K_m კოეფიციენტის გამოყენებით შედარებით მოხერხებულია და ობიექტური, რადგან საშუალებას იძლევა მიახლოებით დადგინდეს გრუნტების შედარებითი ტენიანობები რელიეფის ელემენტების მიხედვით, ისე რომ არ იქნას ჩატარებული რთული სამუშაოები გრუნტის ტენიანობის უშუალოდ გამოკვლევაზე.

4.4. გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების

კვლევის მეთოდика

გრუნტის მასივის საანგარიშო მდგომარეობები, რომლებიც გამოყენებულია თვლიანი მამრავის გორვის გრუნტოვან ზედაპირთან ურთიერთქმედების მოდელის შემუშავებისას, ხასიათდებიან გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების განსაზღვრული მაჩვენებლებით, რომლებიც რაოდენობრივად აფასებენ მათ დეფორმაციებს ავტომობილის თვლის ზემოქმედებისას.

ავტომობილების გამავლობის მახასიათებლების გამოსაკვლევად მოცემულ ნაშრომში მიღებულია ქვესისტემის "გრუნტი" შემდეგი მახასიათებლებით: აბსოლუტური W_s და ფარდობითი W_0 ტენიანობები, გრუნტის სიმკვრივე δ , დეფორმაციის მოდული E_0 , მზიდი თვისებების ზღვარი P_s , შიგა ხახუნის კუთხე φ_0 და ჩაჭიდება C_0 . გრუნტების ჩამოთვლილი მახასიათებლების ექსპერიმენტული განსაზღვრის აუცილებლობა დაკავშირებულია იმასთან, რომ ადრე არ იყო დადგენილი ურთიერთკავშირი მათ შორის, აგრეთვე არ იყო განხილული გრუნტების ტენიანობისა და სიმკვრივის ცვლილების დამოკიდებულებები ჩაფლობის სხვადასხვა სიღრმეზე. E, C_0, φ_0, P_s მაჩვენებლების დამოკიდებულებები ტიპური გრუნტების ფარდობით ტენიანობაზე, სიმკვრივის ჩვენების გარეშე, მოყვანილია ნ.ნ.ივანოვის [54], ი.ს.აგეიკინის [3], ვ.გ.ბაბკოვის [11] შრომებში. მხოლოდ ვ.ი.ჟიკოვიჩის [43] შრომებში არის შემოთავაზებული C_0 და φ_0 მაჩვენებლების გრაფიკული დამოკიდებულებები შავიზღვისპირა თიხნაროვანი ნიადაგის აბსოლუტური ტენიანობისა და, გრუნტის სიმკვრივის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

ექსპერიმენტული კვლევების მიზანი მდგომარეობდა თიხნაროვანი გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მაჩვენებლების განსაზღვრაში დეფორმირებული შრის სიღრმეზე, ტენიანობის გავრცელების სხვადასხვა შემთხვევაში, ასევე გრუნტების ფიზიკურ და მექანიკურ თვისებებს შორის ურთიერთკავშირის შესახებ ექსპერიმენტული მონაცემების დაგროვებაში.

ექსპერიმენტული კვლევებისათვის გრუნტოვანი პირობების შერჩევისას გაანალიზებულია საქართველოს ნიადაგ-თიხების გეგმები. რესპუბლიკის

ტერიტორიის დიდი ნაწილისათვის ტიპურ გრუნტებს წარმოადგენენ შავიზღვისპირა თიხნაროვანი გრუნტები (რბილი თიხნაროვანი, საშუალო თიხნაროვანი, მძიმე თიხნაროვანი). დადგენილი გრუნტების საანგარიშო მდგომარეობებიდან დიდი ნაწილი ეკუთვნის შეკრულ გრუნტებს, უპირველეს ყოვლისა თიხნაროვანს, რომლებსაც წარმოადგენენ საქართველოს ტიპური შავიზღვისპირა ნიადაგ-თიხები. სწორედ ამ მოსაზრებებით გაკეთდა გრუნტოვანი პირობების არჩევა გამოცდის ჩასატარებლად.

გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ექსპერიმენტული კვლევის პროგრამა ითვალისწინებდა:

ციკლი 1. თიხნაროვანი გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მაჩვენებლების კვლევა, მათი ფიზიკურ და მექანიკურ თვისებებს შორის ურთიერთკავშირის დასადგენად;

ციკლი 2. ტიპური გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მაჩვენებლების განსაზღვრა დეფორმირებული შრის სხვადასხვა სიღრმეზე, მათი ცვლილების კანონზომიერების დასადგენად.

კვლევის მეთოდიკა დაფუძნებულია იმ ხერხებისა და ხელსაწყოების გამოყენებაზე, რომლებიც აპობირებულია გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მაჩვენებლების განსაზღვრისათვის. გრუნტის ფიზიკური თვისებების შესწავლისას იყენებენ ტენიანობის განსაზღვრის ორ ძირითად პრინციპს [112,152]:

- გრუნტის შრიდან ნიმუშის აღება და აწონვის მეთოდით ტენის შემცველობის განსაზღვრა;
- გრუნტის არჩეულ შრეში გადამწოდის დაყენება, და გადამწოდის დაყენების ადგილზე ტენიანობის განსაზღვრა.

ლაბორატორიული წონითი მეთოდის შრომატევადობა ცნობილია, მაგრამ იგი ფართოდაა გავრცელებული, რადგან წარმოადგენს ტენიანობის განსაზღვრის ერთადერთ პირდაპირ ხერხს. აქამდე წარმოადგენილი მეთოდები, რომლებშიც ხორციელდება მეორე ხერხი, ჯერჯერობით არასრულყოფილია. მოცემულ კვლევაში ერთად განისაზღვრებოდა გრუნტის ტენიანობა და სიმკვრივე დროის მცირე მონაკვეთში გრუნტის მასივის მდგომარეობის დარღვევამდე. ჩატარებულია

მნიშვნელოვანი მოცულობის გაზომვები. ნაშრომში გამოყენებულია ტენიანობის განსაზღვრის წონითი მეთოდი ნ.პ.კოვალევის [69] მიერ შექმნილი პორტატიული ხელსაწყო დახმარებით "სიმკვრივეზომი-ტენზომი". მისი ძირითადი უპირატესობაა – მაღალი მწარმოებლურობა და საკვლევი მახასიათებლების უშუალოდ საველე პირობებში განსაზღვრის შესაძლებლობა, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საკვლევი გრუნტის ზედაპირის ფიზიკური თვისებების სტატისტიკური მონაცემების დაგროვებისათვის. გარდა ამისა, ნ.პ.კოვალევის მეთოდით განისაზღვრება არა მარტო ტენიანობა, არამედ იმავდროულად გრუნტის მოცულობითი წონაც (სიმკვრივე). აბსოლუტური ტენიანობა W_a გამოითვლება როგორც გრუნტის განსაზღვრულ მოცულობაში არსებული წყლის წონის შეფარდება გრუნტის წონასთან.

$$W_a = \frac{\chi_\tau - \chi_{\text{ш}}}{\chi_{\text{ш}}} 100\%, \quad (4.9)$$

სადაც, χ_τ – არის ტენიანი გრუნტის მოცულობითი წონა;

$\chi_{\text{ш}}$ – გრუნტის ჩონჩხის მოცულობითი წონა.

გრუნტის ფიზიკური თვისებების შრეობრივი განსაზღვრისას ყოველი შრის სიმკვრივე უნდა იყოს ისეთი, რომ ტენიანობის ცვლილება მის საზღვრებში (ზედა საზღვრიდან ქვედამდე) იყოს რაც შეიძლება მცირე. პრაქტიკა აჩვენებს, მოთხოვნებს პასუხობს 10 სმ ერთგვაროვანი მექანიკური შედგენილობის შრე [117]. მაგრამ ტენიანობა განსაკუთრებით სწრაფად იცვლება სიღრმით ყველაზე მაღალ შრეზე, ამიტომ მათი ნიმუში აიღებოდა დაბალი სიმკვრივის შრეებიდან (0-5 და 6-10 სმ).

სიღრმე, სადამდეც უნდა განისაზღვროს ტენიანობა უნდა მოიცავდეს გრუნტის შრეს, რომელშიც მინიმალური ძაბვის სიდიდე არსებით გავლენას ახდენს მის დეფორმაციაზე.

გრუნტების ფიზიკური მახასიათებლები დადგენილია სტანდარტული მეთოდებით [11,88].

დეფორმაციის მოდული განისაზღვრება საცდელი დატვირთვების მეთოდით, რომლებიც ხორციელდება შტამპის დაწნევით [99], და გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$E = (1 - \mu^2) \omega d \Delta P / \Delta S, \quad (4.10)$$

სადაც, μ – არის პუანსონის კოეფიციენტი;

ω – მუდმივი კოეფიციენტი ($\omega=0,8$);

ΔP – წნევის ნაზრდია, მპა;

ΔS – დაჯდომის ნაზრდია, მ.

მიუხედავად საცდელი დატვირთვების მეთოდის ფართო გავრცელების გრუნტების მექანიკაში ნაგებობების დაჯდომის პროგნოზირების მიზნით, მისი გამოყენება ავტომობილების გამავლობის შესაფასებლად გართულებულია. სავსე პირობებში დეფორმაციის მოდული განსაზღვრება, როცა შტამპის დიამეტრი 25-30 სმ-ია [99], ამიტომ გამოცდის შედეგები უშუალოდ გამოდგება მხოლოდ ერთგვაროვანი გრუნტებისათვის, ამასთან ჩატარებული გამოცდები მოითხოვენ დიდ დროს [131]. დეფორმაციის მოდულის საცდელი დატვირთვებით განსაზღვრის ლაბორატორიული მეთოდი [88] შედარებით მარტივი და მაღალმწარმოებლურია, მხოლოდ გრუნტების ნიმუშების აღება დაკავშირებულია მათი სტრუქტურისა და დაძაბული მდგომარეობის რღვევასთან, რაც ამცირებს შედეგების სიზუსტეს.

ბოლო დროს შეიმჩნევა გრუნტების დეფორმაციის მოდულის პორტატული ხელსაწყოებით განსაზღვრა. მ.ნ.ტროცკის [135] მიერ შემოთავაზებულია დარტყმითი დატვირთვების გამოყენება, დარტყმების რაოდენობასა და დეფორმაციის მოდულს შორის კორელაციური კავშირის დასადგენად. მეთოდის უპირატესობას წარმოადგენს სიმარტივე, მაღალი მწარმოებლურობა, აგრეთვე გრუნტების გამოცდის შესაძლებლობა ჩვეულებრივი ჩაფლობის პირობებში. მაგრამ არსებითი ნაკლი მდგომარეობს იმაში, რომ ეს მეთოდი არ ადგენს თეორიულ დამოკიდებულებას, დეფორმაციის მოდულსა და დარტყმითი ზემოქმედების მაჩვენებლების შორის. გარდა ამისა, მეთოდი გამოიყენება ჩაფლობის სიღრმეზე არაერთგვაროვანი გრუნტების გამოსაცდელად.

ავტომობილების გამავლობის კვლევისას დეფორმაციის მოდულის განსაზღვრის უფრო ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს მბრუნავი ჭრის მეთოდი პორტატიული ხელსაწყოების გამოყენებით. გ.კ.ბონდარიკი [24], ვ.ი.ტილჩევსკი [137], გ.კ.კორჩაგი [71], ლ.გოლდინგი [154], მ.მადხოვი [160] გვთავაზობენ ოთხ ნიჩბიანი ფრთოვანას გამოყენებას, რადგან მათი მტკიცებით გრუნტში მიმდინარე პროცესებს

ბრტყელი შტამპის ჩაწნევისას და ფრთოვანი ნიჩბების მობრუნებისას აქვთ გარკვეული მსგავსება.

გ.პ.კორჩაგინის [71] მიერ აღწერილია გრუნტის დეფორმაცია მისი შეკუმშვისა და ფრთოვანას ნიჩბებით გადანაცვლების დროს. გრაფიკზე (ნახ.4.6) ყოველი შემთხვევისათვის შეიძლება გამოყოფილი იქნეს უბნები ან ფაზები: OA – გამკვრივება ანუ პროპორციული დეფორმაციები; BC– რღვევა და დარღვეული სტრუქტურის დამყარებული ძვრა გრუნტში. გრუნტების დეფორმაციის მსგავსი კლასიკური მახასიათებელი ადრე აღწერილი იყო ნ.მ.გერსევანოვის [34] მიერ შტამპის ჩაწნევის პროცესისათვის (ნახ.4.5). ძირითადი განსხვავება მათ შორის განპირობებულია დეფორმირებადი გარემოს კონფიგურაციით. ეს არის გრუნტის ფრთოვანით დეფორმაციის თავისებურება და გათვალისწინებული უნდა იქნეს მისი საანგარიშო მახასიათებლების განსაზღვრის დროს.

გრუნტის ფრთოვანას ნიჩბებით დეფორმირების წინააღმდეგობა გამკვრივების OA ფაზაში (ნახ.4.6) ხდება გრუნტის დაურღვეველი სტრუქტურის შრის კუმშვის შედეგად, რომელიც მოთავსებულია ნიჩბებს შორის, აგრეთვე გრუნტის ძვრით მოცურების ერთი წრიული და ორი ცილინდრული ზედაპირებით. იმის გათვალისწინებით, რომ "დეფორმაციის მოდული" წარმოადგენს გრუნტის თვისებების ერთ-ერთი კომპლექსურ მაჩვენებელს: კუმშვადობის განსაზღვრისათვის, რომლისთვისაც არსებობს ზღვრული მახასიათებელი – "კომპრესიის მრუდი" და ძვრაზე წინააღმდეგობა, რომელიც ხასიათდება ხახუნით და ჩაჭიდებით" [99], ზოგიერთი მკვლევარის [71] აზრით მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ OA უბნის დახრა (ნახ.4.6). ის თითქმის პროპორციულია დეფორმაციისა. OA უბნის A წერტილი შეესაბამება პროპორციულობის ზღვარს, რომლის შემდეგ ფრთოვანას ყოველი ნიჩბის ქვეშ წარმოიქმნება ხისტი ე.წ. წერტილები ფრთოვანას მარბუნი მომენტი M_e და მისი შესაბამისი მობრუნების კუთხით α_e შლეიხერის ფორმულაზე დაყრდნობით [71] განსაზღვრავს დეფორმაციის მოდულს:

$$E=K_e(1-\mu^2)M_e/\alpha_e, \quad (4.11)$$

სადაც, K_F – მუდმივაა, რომელიც დამოკიდებულია ფრთოვანას პარამეტრებზე კერძოდ α და α_e კუთხის სიდიდეებზე, α - ფრთოვანას დახრის კუთხა.

α_e კუთხის გრადუსებში გამოსახვით მივიღებთ:

$$K_F = \frac{975 A_F \sqrt{1 - \cos \frac{2\pi}{i}}}{id^2 \sqrt{dh} \left(1 - \cos \frac{2\pi}{i}\right)}, \quad (4.12)$$

სადაც, i – არის ფრთოვანას ნიჩბების რიცხვი;

A_F - ფორმის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ფრთოვანის h სიმაღლის ერთი ნიჩბის $d/2$ სიგანესთან თანაფარდობაზე;

μ – პუანსონის კოეფიციენტი, რომელიც ი.გ.ტროფიმენკოვის [136] ნაშრომის თანახმად ტიპური გრუნტებისათვის შეადგენს: სილისა და ქვიშნარისათვის 0,30, თიხნარისათვის – 0,35, თიხისათვის – 0,43.

გრუნტის ძვრაზე წინააღმდეგობის მახასიათებლები C_0 და φ_0 გრუნტების მექანიკაში განისაზღვრება ლაბორატორიული გამოცდებით MJC-46 ტიპის გადასაადგილებელ ხელსაწყოზე [87]. მიუხედავად საამშენებლო პრაქტიკაში დიდი გავრცელებისა, ამ მეთოდს გააჩნია ნაკლოვანებები, რომლებიც არ იძლევიან გრუნტების გამავლობის შეფასების საშუალებას.

სხვადასხვა ტიპის გრუნტების ძვრის მახასიათებლებისა და მდგომარეობის განსაზღვრის ორიგინალური მეთოდი დიდი ბრტყელი შტამპების გამოყენებით განხორციელებულია გ.ბ.ბეზბოროდოვას, ნ.ფ.კომარნის და ს.ი. ვოლსკის მიერ (ს.ვოლსკი) [32]. რეალურ პირობებთან ახლო თვლიანი მამრავების გრუნტის ძვრასთან შეთავსების მეთოდი საშუალებას იძლევა მივიღოთ ძვრის მრუდის პარამეტრების საანგარიშო საიმედო გამომავალი მონაცემები (ნახ.4.6).

საველე პირობებში ძვრის მრუდის პარამეტრების განსაზღვრის სხვადასხვა კონსტრუქციის დანადგარები შტამპებისა და ძვრის რგოლების გამოყენებით შემოთავაზებულია საზღვარგარეთის მკვლევარების მ.გ.ბეკერის [152], ვ.ი.დიკოვის [155] და სხვათა. მიერ. თუმცა საველე პირობებში გრუნტების ძვრაზე გამოცდა დიდი შტამპებისა და ძვრის რგოლების გამოყენებით შრომატევადია, ამიტომ ყურადღებას იმსახურებენ ძვრაზე გამოცდის მეთოდები პორტატიული საველე ხელსაწყოებით. მათ მიეძღვნა გ.ი.პოკროვსკის [109], ნ.ი.მასლოვის [86], მ.ნ.გოლშტეინის [39],

ვ.ფ.როზენოვის [144], რ.კ.ბონდაროვის [24], ლ.ს.ამარიანის [5], ო.მ.რეზნიკოვის [116], ე.ვ.ბრინდის [156], ტ.კ.ლიუს [159] და სხვათა ნაშრომები.

საზღვარგარეთის ლიტერატურაში ფართოდაა გამოუყენებული მბრუნავი ჭრის მეთოდის გამოყენების გამოცდილება, ფრთოვანას დახმარებით მანქანის ადგილმდებარეობაზე გასვლის პროგნოზირების დროს [161,7]. მიუხედავად მბრუნავი ჭრის მეთოდის ფართო გავრცელებისა, გაურკვეველი რჩება ამ მეთოდის გამოყენების საზღვრები და სხვა ფაქტორები, ამიტომ თანამედროვე პირობებში ამ საკითხის შესწავლა მეტად აქტუალურია.

გრუნტის სიმტკიცის მახასიათებლების განსაზღვრისათვის გამომავალ პარამეტრებად იყენებენ B წერტილის $M_{\alpha\beta}$ და $\alpha\beta$ კოორდინატებს (ნახ.4.6), რომელიც შეესაბამება გრუნტის სიმტკიცის ზღვარს, რომლის დროსაც წარმოიქმნებიან სრიალის ბრტყელი ზედაპირები.

ნ.ს.ბირიუკოვი აჩვენებს, რომ გრუნტის მბრუნავი ჭრის მეთოდით ჭრის მომენტის $M_{\alpha\beta}$ განსაზღვრით და მოცემული ფრთოვანასათვის K_F კოეფიციენტის ცოდნით, $M_{\alpha\beta}=K_F\tau_m$ ფორმულით შეიძლება მივიღოთ გრუნტის ძვრაზე წინააღმდეგობის სიდიდე:

$$\tau_m = M_{\alpha\beta}/K, \quad (4.13)$$

სადაც, K_F – არის ფრთოვანას მუდმივა, რომელიც ითვალისწინებს ფრთოვანას სიმაღლეს H და შიგა დიამეტრს d . ფრთოვანას ჩაწნევისას ზედაპირის ზედა საზღვართან დამთხვევამდე [57]-ის თანახმად მივიღებთ:

$$K = \pi d^2 / 2(d+H) \quad (4.14)$$

მიღებული პარამეტრების გამოყენებისათვის მოცემულ შემთხვევაში საჭიროა მივიღოთ, რომ გრუნტის ძვრაზე წინააღმდეგობა განპირობებულია მხოლოდ ჩაჭიდებით, ხოლო შიგა ხახუნი არ გვაქვს, ე.ი. მიღებული მნიშვნელობა წარმოადგენს რაღაც პირობით ჩაჭიდებას $C_{პირ}$, $\varphi=0$ თუმცა ბევრ შემთხვევაში აღნიშნული ნაკლი მყლავნდება უმნიშვნელოდ და მას აბათილებს მეთოდის უპირატესობა. იუ.გ.ტროფიმენკოვი [136] აღნიშნავს, რომ "დენადი და პლასტიკური კონსტრუქციის თიხნაროვანი გრუნტებისათვის მბრუნავი ჭრის მეთოდით გამოცდა წარმოადგენს გრუნტის ძვრაზე წინააღმდეგობის განსაზღვრის ერთადერთ მეთოდს".

რიგი მკვლევარები [71] ამტკიცებენ, რომ მბრუნავი ჭრის მეთოდით ფრთოვანას დახმარებით შეიძლება შეკრული გრუნტების ძვრის ორივე პარამეტრის (C და φ) დადგენა.

ცალკე ტ.პ.კორჩაგინი [71] აღნიშნავს, რომ გამოცდები ტარდება ერთი და იმავე სიღრმეზე სხვადასხვა რაოდენობის ნიჩბებიანი ფრთოვანით; მაშინ ხახუნის კუთხე φ განისაზღვრება ატმოსფერული წნევისაგან დამოუკიდებლად

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\tau_{m2} - \tau_{m1}}{\tau_{m2} n_{c2} - \tau_{m1} n_{c1}}, \quad (4.15)$$

სადაც, τ_{m1} – არის გრუნტის ძვრაზე კუთრი წინააღმდეგობა პირველი ფრთოვანათი;

τ_{m2} – იგივე მეორე ფრთოვანათი;

n_{c1} , n_{c2} – ნიჩბების წნევის კოეფიციენტებია შესაბამისად პირველი და მეორე ფრთოვანათი, რომლებიც განისაზღვრებიან, როგორც

$$n_c = \sin^3 \beta / (1 - \cos^3 \beta),$$

სადაც, β - ფრთოვანას ნიჩბებს შორის კუთხეა.

ავტომობილის მოძრაობის რეალურ პირობებში გრუნტის ზედაპირის თვისებები ტერიტორიის მიხედვით იშვიათადაა ერთგვაროვანი, ამის გათვალისწინებით გამოცდები პირველი და მეორე ფრთოვანით ჩატარდება სხვადასხვა თვისებების გრუნტებში.

მიუხედავად მბრუნავი ჭრის მეთოდით ძვრის C_0 და φ_0 პარამეტრების განსაზღვრის მრავალრიცხოვანი მცდელობისა, სრულად საიმედო გადაწყვეტილებები ჯერ-ჯერობით მიღებული არ არის. თუმცა მოცემულ კვლევაში დენადი და რბილი პლასტიკური კონსტრუქციის შეკრული გრუნტების სიმტკიცის თვისებების შეფასებისა და პროგნოზირებისათვის, დაშვებულია გრუნტის ზედა შრის ძვრაზე კუთრი წინააღმდეგობის განხილვა τ_{m1} , როგორც რაღაც პირობითი ჩაჭიდება $C_{პირ}$, მაშინ $\tau_m = C_{პირ}$. ამ შემთხვევაში შიგა ხახუნის კუთხის მნიშვნელობა შეიძლება უგულვებელვყოთ.

ერთგვაროვანი ფიზიკური თვისებების (ტენიანობა, გრანულომეტრული შემადგენლობა) გრუნტებისათვის, დეფორმირებადი შრის მთელ სიღრმეზე დასაშვებია φ_0 პარამეტრის განსაზღვრა სხვადასხვა სიღრმეზე გრუნტის ძვრაზე წინააღმდეგობის ფრთოვანათი გაზომვის გზით. ამასთან გრუნტის ზედაპირზე ძვრის

წინააღმდეგობა განიხილება როგორც ჩაჭიდება C_0 , ხოლო გრუნტის ძვრაზე წინააღმდეგობა φ_0 სიღრმეზე ითვალისწინებს აგრეთვე φ_0 პარამეტრს:

$$\tau_{mZ} = C_0 + P_{\partial Z} \operatorname{tg} \varphi_0, \quad (4.16)$$

სადაც, $P_{\partial Z}$ – არის საშუალო ნორმალური ძაბვა გრუნტის ზედაპირზე.

$P_{\partial Z}$ სიდიდე პროპორციულია Z შრის სიღრმის

$$P_{\partial Z} = \chi_c Z,$$

სადაც, χ_c - გრუნტის სისქის საშუალო კუთრი წონაა ჭრის ზედაპირის ზემოთ.

თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ გრუნტის კუთრი ჩაჭიდება C_0 არაა დამოკიდებული ნორმალურ წნევაზე P_{∂} , (2.16) ფორმულით შეიძლება განვსაზღვროთ:

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \tau_{mZ} C_0 / P_{\partial Z}, \quad (4.17)$$

რადგან $C_0 = \tau_{m1}$, გვაქვს

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \tau_{mZ} - \tau_{m1} / P_{\partial Z}.$$

გრუნტების ყველა სხვა ტიპებისათვის C_0 და φ_0 პარამეტრები მოცემულ ეტაპზე მიზანმიმართულია განისაზღვროს გრუნტის სიმტკიცის მახასიათებლებს შორის ცნობილი [48,102] კორელაციური დამოკიდებულებებით, რომლებიც განისაზღვრებიან საერთო მეთოდებით და მისი ტენიანობითა და სიმკვრივით.

ზემოთ აღწერილი მეთოდიკით გრუნტების მექანიკური მაჩვენებლების განსაზღვრისათვის გამოყენებულია ხელსაწყო ПКЗ-1 [49], რომლის ორიგინალურმა კონსტრუქციულმა თავისებურებებმა საშუალება მოგვცა მბრუნავი ჭრის მეთოდით მიგველო გრუნტის ძვრაზე წინააღმდეგობის გრაფიკები ფრთოვანას მობრუნების კუთხისაგან დამოკიდებულებით (ნახ.4.6). გამოცდის წინ ხელსაწყო დაგრაღუირებულია სპეციალურ სატარირებელ სტენდზე [57]. ხელსაწყოს ПКЗ-1 ჰორიზონტალური დინამომეტრის სატარირებელი გრაფიკი ნაჩვენებია ნახ.4.5'-ზე.

გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევები ტარდებოდა ავტომობილის გამოცდასთან ერთად. ამის მიხედვით გამოცდისათვის არჩეულია საკმაო ზომის (250 მ სიგრძე, 150 მ სიგანე) ჰორიზონტალური უბნები, მცენარეთა საფარის გარეშე. შეკრული გრუნტებისათვის (მკაცრად იყო დაცული პირობები,

რომლებიც გამომდინარეობდნენ გენეტიკური გრუნტმესწავლისა და გრუნტების მექანიკის [114] ძირითადი მდგომარეობებიდან).

პირველ რიგში, გათვალისწინებულია გრუნტების ფაზური დამოკიდებულების წესი, რომლის თანახმად გრუნტების მექანიკური თვისებები, საერთო შემთხვევაში, განისაზღვრებიან ორი ფიზიკური მდგომარეობით – ჩონჩხის მოცულობითი წონით δ და გრუნტის ტენიანობით W . ამასთან დაკავშირებით მექანიკური თვისებების ცვალებადობის ანალიზი სრულდებოდა გრუნტის ორივე ფიზიკური მდგომარეობის ცვლილების გათვალისწინებით.

მეორეს მხრივ, გრუნტის ფიზიკური მდგომარეობის აბსოლუტური მაჩვენებლების გამოყენებისათვის გაითვალისწინებოდა გრუნტების ლითოლოგიური ერთგვაროვნების წესები. ამ წესის თანახმად გრუნტის ფიზიკურ და მექანიკურ თვისებებს შორის ურთიერთკავშირის კვლევა უნდა შესრულდეს გრუნტის პლასტიკურობის რიცხვის ცვლილების ვიწრო დიაპაზონში.

4.5. შეკრული გრუნტების ფიზიკურ და მექანიკურ თვისებებს შორის ურთიერთკავშირის განსაზღვრა

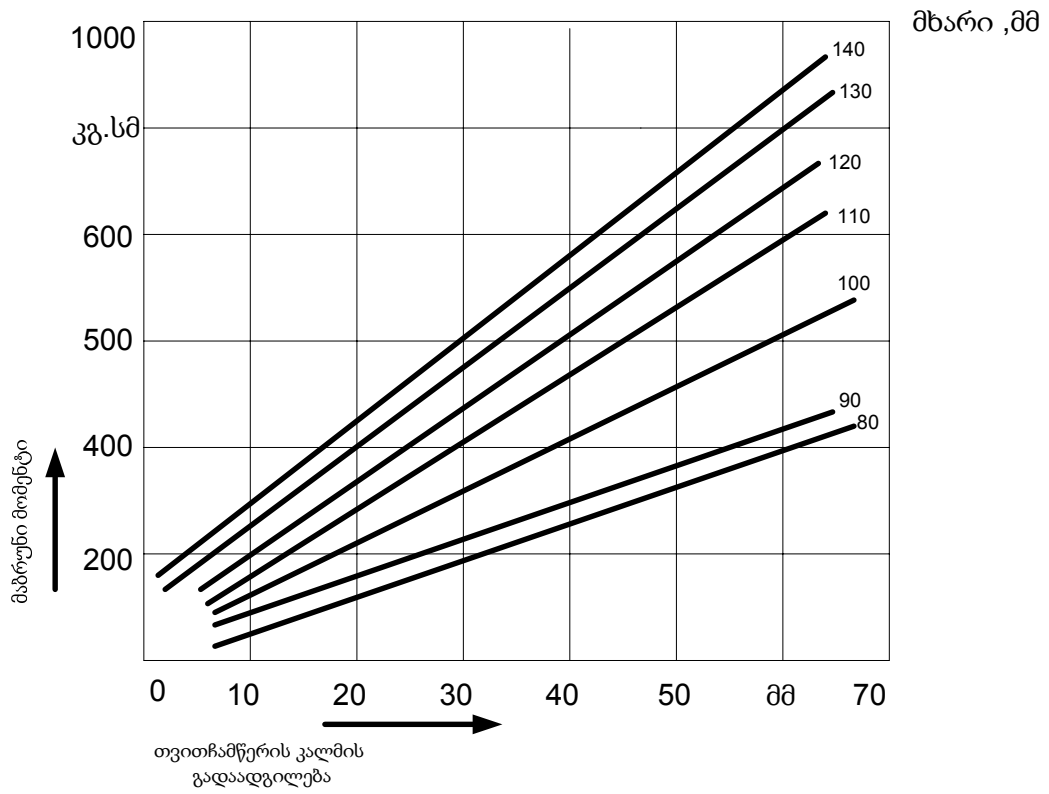
ექსპერიმენტული კვლევები ტარდებოდა წლის გაზაფხულისა და შემოდგომის პერიოდი სწორი ადგილის სხვადასხვა უბნებზე, თიხნაროვან ნიადაგ-გრუნტებზე:

- უბანი №1 – შავმიწა რბილი თიხნაროვანი;
- უბანი №2 – შავმიწა საშუალო თიხნაროვანი;
- უბანი №3 – შავმიწა მყარი თიხნაროვანი.

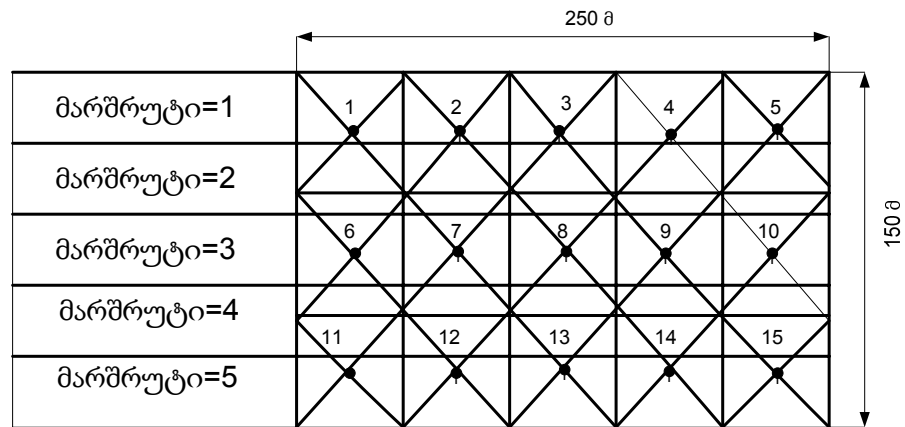
გრუნტების უბნების ზედაპირები წარმოადგენდა დამჯდარ (გასწორებულ) ნახნავს რომელიც წარმოადგენს შედარებით ძნელადგასავლელ უბანს მინდვრებიდან მოსავლის მასიურად გატანის დროს. ავტომობილის გამოცდამდე დაწვრილებით შეისწავლებოდა გრუნტის მახასიათებლები უბანზე. უბნის ფართობი იყოფოდა სწორკუთხედებად (ნახ.4.6.) და ყოველ მათგანში ყენდებოდა საკონტროლო წერტილები სინჯის აღებისათვის ან გრუნტის თვისებების გაზომვისათვის პორტატული ხელსაწყოებით. გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების

მაჩვენებლებს ზომავდნენ გამოსაცდელი უბნის ყოველ საკონტროლო წერტილში 0-10, 15-20 და 4-50 სმ სიღრმეებზე. გამოცდის შედეგად პ.კოვალიოვის ხელსაწყოს მეშვეობით დადგინდა, რომ გრუნტის ჩონჩხის მოცულობითი წონა (სიმკვრივე) δ უმეტეს შემთხვევაში იზრდება სიღრმეზე და საკვლევი უბნებისათვის მისი სიდიდეები მიახლოებული იყო ცხრ.4.6-ში მოყვანილ სიდიდეებთან.

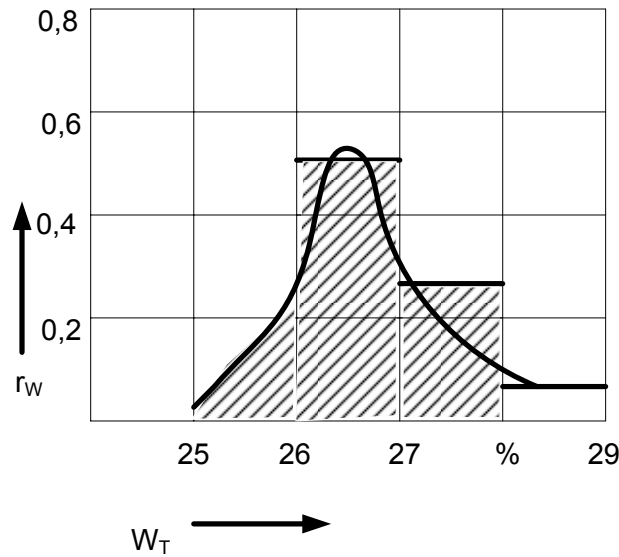
გრუნტის საკონტროლო წერტილებში აღებული სინჯები გამოკვლეულია ლაბორატორიულ პირობებში, სადაც სტანდარტული მეთოდებით განსაზღვრულია გრუნტის ტიპი, დენადობისა და პლასტიკურობის ზღვრები. ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზმა აჩვენა, რომ ამ მახასიათებლების და კერძოდ, გრუნტის დენადობის ზღვარს ყოველ არჩეულ უბანზე გააჩნიათ არსებითი რხევები. ამასთან დაკავშირებით, გრუნტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მაჩვენებლების დისკრეტული მნიშვნელობების გვერდით, განსაზღვრულია მათი ალბათურ-სტატისტიკური მახასიათებლები. ასე, რომ ლაბორატორიული გამოცდების შედეგების დამუშავებით მიღებულია გრუნტების რიგი საკვლევი მახასიათებლების ალბათობების სიმკვრივე. ნახ.4.7-ზე ნაჩვენებია ალბათობების



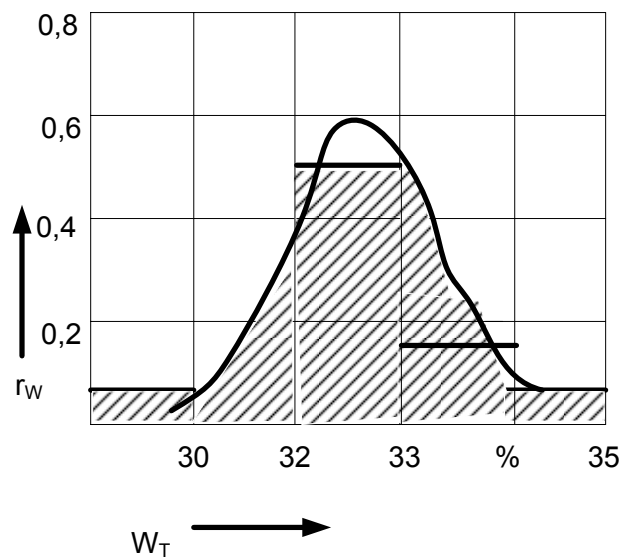
4.5. ხელსაწყო ПК3-1 ჰორიზონტალური დინამომეტრი
სატარირებელი გრაფიკი



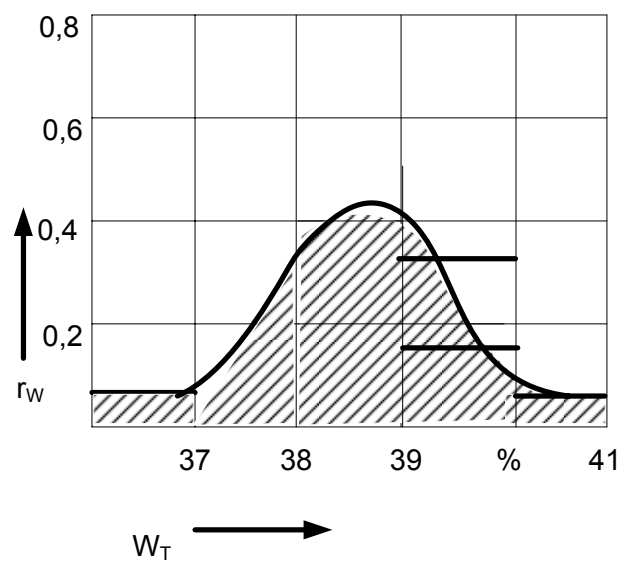
4.6. გამოსაცდელი გრუნტიანი უბნის სქემა სინჯების ასაღები საკონტროლო
წერტილების განლაგებით



უბანი =1
(შავმიწა რბილი თიხნარი)



უბანი =2
(შავმიწა თიხნარი)



უბანი =3
(შავმიწა მძიმე თიხნარი)

ნახ.4.7. გამოსაცდელ უბნებზე გრუნტების დენადობის ზღვრების ალბათობის სიმკრივეები

სიმკვრივეები თიხნაროვანი გრუნტების დენადობის ზედა ზღვრისათვის, სამი საცდელი უბნის საკონტროლო წერტილებში აღებული სინჯის მონაცემების მიხედვით. ამ მონაცემების მიხედვით შეიძლება მიღებული იქნას გრუნტის დენადობის საშუალო მნიშვნელობები ყოველ უბანზე (ცხრ.4.6), რომელიც ტოლია მათემატიკური ლოდინის, აგრეთვე დადგენილი იქნას საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრის ზღვრები, რომელიც შავმიწა თიხნარისათვის $\pm 2,5\%$ და შავმიწა მძიმე თიხნარისათვის $\pm 3,5\%$ -ია. ამ გადახრების უგულვებელყოფამ შეიძლება გამოიწვიოს მნიშვნელოვანი ცდომილებები გრუნტების ფარდობითი ტენიანობის ანგარიშის დროს.

გრუნტის დენადობის ზღვრის განსაზღვრისათვის საჭირო სინჯების რაოდენობა დადგენილია ექსპერიმენტის დაგეგმვის მეთოდის ელემენტების გამოყენებით [121]. ნდობის ალბათობის $\beta=0,9$ და ფარდობითი შეცდომის $\varepsilon=0,15$ დროს სინჯების გამოთვლილმა რაოდენობამ უბნების მიხედვით შეადგინა: №1-9 სინჯი, №2-12 სინჯი, №3-13 სინჯი.

გრუნტების ფიზიკურ და მექანიკურ მაჩვენებლებს შორის ურთიერთკავშირის, აგრეთვე ავტომობილების გამავლობის მაჩვენებლების გამოვლენის ექსპერიმენტის სირთულე, მდგომარეობს იმაში, რომ მინდვრის პირობებში პრაქტიკულად შეუძლებელია აქტიური ზემოქმედება გრუნტების ფიზიკურ მდგომარეობაზე. გამოცდის წინ გრუნტის ტენიანობა შეიძლებოდა შეცვლილიყო ატმოსფერულ-კლიმატური პირობების ზემოქმედებით, ამიტომ ექსპერიმენტების ჩატარება მოითხოვებოდა უმცირეს ვადებში.

გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მაჩვენებლები განისაზღვრებოდა სავსე პირობებში წარმოდგენილი მეთოდით, პორტატული ხელსაწყოების დახმარებით.

გრუნტის ტენიანობა და სიმკვრივე განისაზღვრებოდა ნ.პ.კოვალიოვის პორტატული ხელსაწყოს "სიმკვრივემზომი-ტენმზომი" საშუალებით, 3-ჯერადი განმეორებით.

გრუნტის ძვრაზე წინააღმდეგობა დამოკიდებულია მრავალ შემთხვევით ფაქტორზე, ამიტომ შეიძლება აღიწეროს მხოლოდ ფრთოვანით განსაზღვრული

გრუნტის ძვრის წინააღმდეგობის τ_m კუთრი ძალის ალბათური დამოკიდებულება გრუნტის ტენიანობაზე W_a , მუდმივი δ მოცულობითი წონის დროს. (4.13) ფორმულით გამოთვლილი გრუნტის სხვადასხვა W_a ტენიანობის შესაბამის τ_m –ის ექსპერიმენტული მნიშვნელობები ნახ.4.9-ზე განლაგდება კანონზომიერად. გამოცდების მონაცემების ლიტერატურულ წყაროებთან [41,114] შედარების ანალიზმა აჩვენა, რომ $\tau_m=f(W)$ დამოკიდებულება შეიძლება აღწერილ იქნას ლოგარითმული კანონით. ნახ.4.9-ზე ფრჩხილებში ნაჩვენებია სხვადასხვა ტენიანობის შეკრული გრუნტების ძვრაზე წინააღმდეგობის τ_m კუთრი ძალის ექსპერიმენტული მნიშვნელობები და მოყვანილია მრუდები. უფრო ზუსტი მონაცემების მისაღებად ექსპერიმენტული წერტილები დატანილია ნახევრად ლოგარითმულ საკოორდინატო ბადეზე ($W_a-\ln$). რეგრესიის წრფეები გაანგარიშებულია უმცირესი კვადრატების მეთოდით:

$$W_a \tau_m = a - b W_a. \quad (4.19)$$

ცხრილში 4.6 მოყვანილია a და b კოეფიციენტების მნიშვნელობები, აგრეთვე 4.19 განტოლების კორელაციის r კოეფიციენტი δ მუდმივი სიმკვრივის დროს თიხნაროვანი გრუნტებისათვის. კორელაციის კოეფიციენტების მაღალი მნიშვნელობები ($r=0,82-0,92$) აჩვენებენ ექსპერიმენტული წერტილების და რეგრესიის წრფის კავშირების სიმჭიდროვეს.

წრფივი დამოკიდებულების (4.19) გამომჟღავნების მაღალ სიზუსტეს მოწმობს სხვადასხვა გრუნტებში ჩატარებული მრავალი კვლევის [41,60,86] შედეგები.

ნახ.4.8, 4.9 გრაფიკებზე მრუდები 1 აღწერენ დამოკიდებულებას გრუნტის ძვრის წინააღმდეგობასა და ტენიანობას შორის, რომელიც იზომება ზედა შრეში. ამასთან, ნორმალური წნევის P_5 არარსებობის გათვალისწინებით, გრუნტის ძვრის წინააღმდეგობა τ_m შეიძლება განვიხილოთ როგორც მისი ჩაჭიდება $\tau_m=C_0$. რადგანაც შიგა ხახუნის კუთხის P_0 განსაზღვრა მოცემული მეთოდით პრაქტიკულად შეუძლებელია, ამიტომ მისი მნიშვნელობა დგინდება ლიტერატურული წყაროების [3,11,48,127] მონაცემებით იდენტურ-ფიზიკური მახასიათებლების გრუნტებისათვის.

გრუნტის მზიდი თვისებები P_s ისაზღვრებოდა ფელენიუსის [57] ფორმულით:

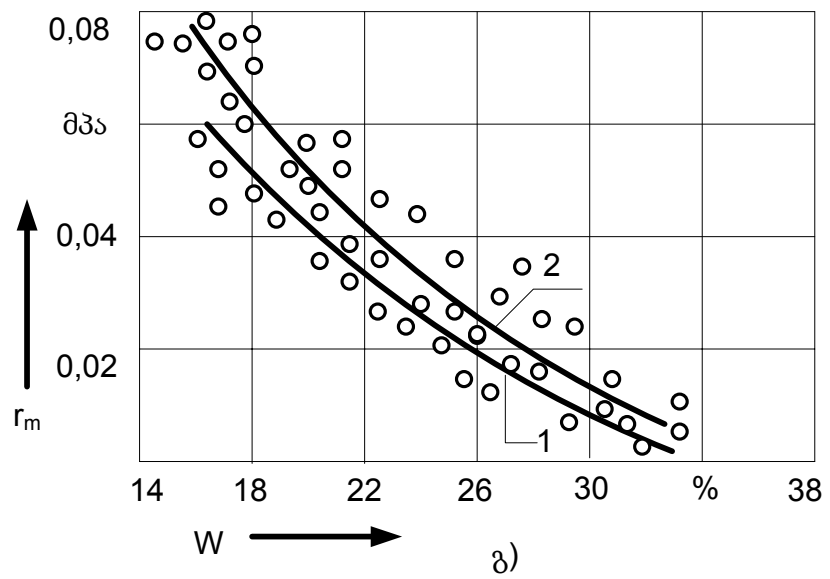
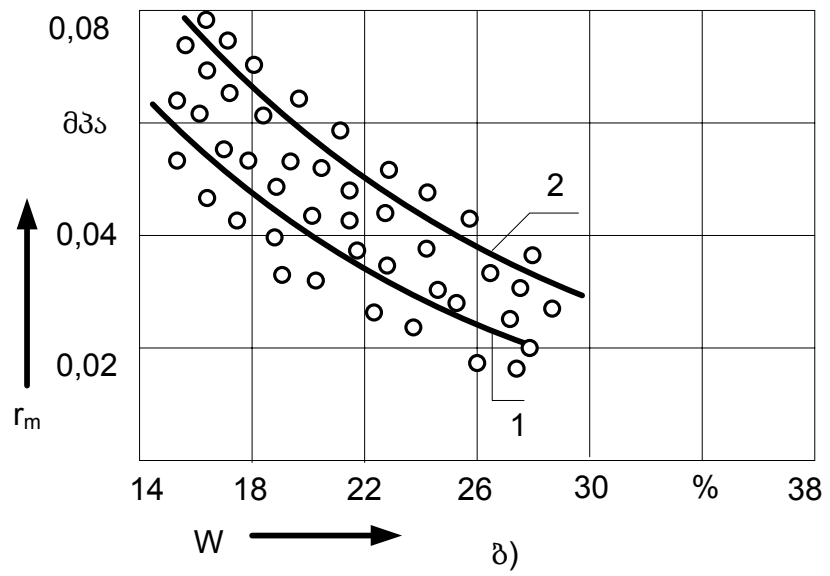
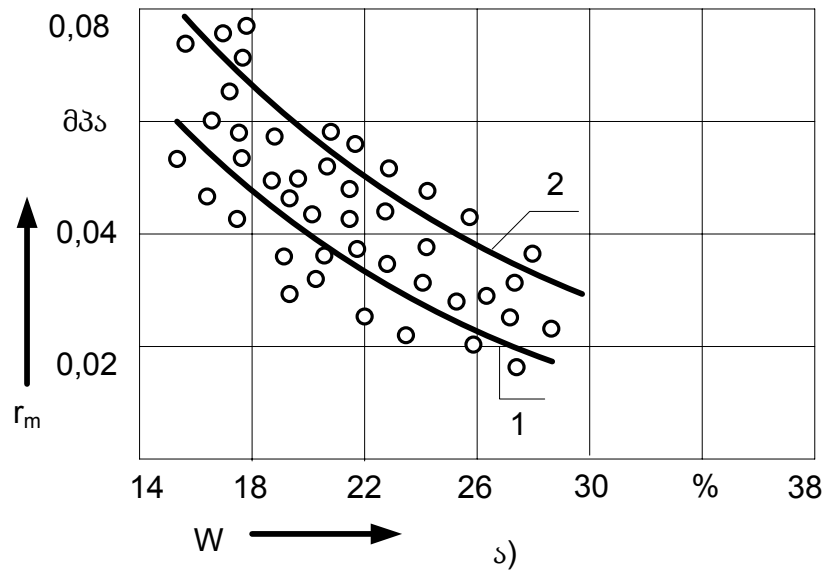
$$P_s = 5,5 \tau_m \quad (4.20)$$

ტიპური გრუნტების E დეფორმაციის მოდულის W ტენიანობაზე დამოკიდებულებები ნაჩვენებია ნახ.4.10-ზე.

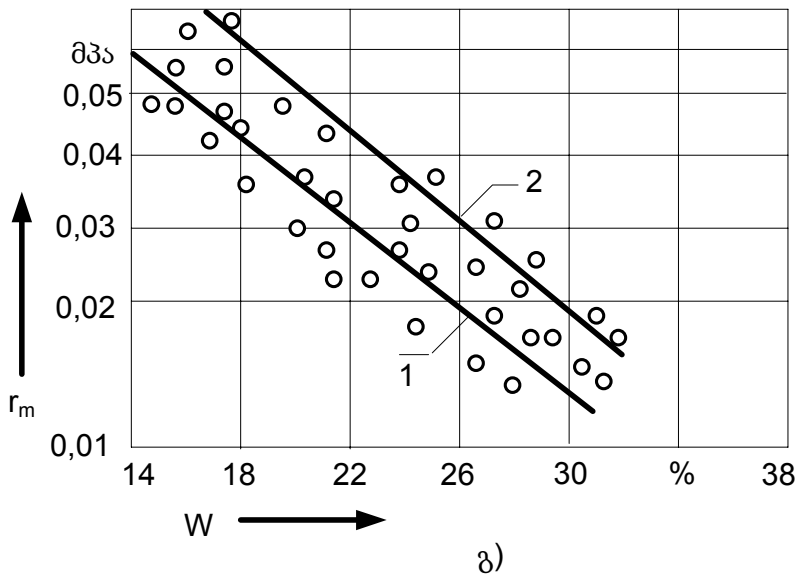
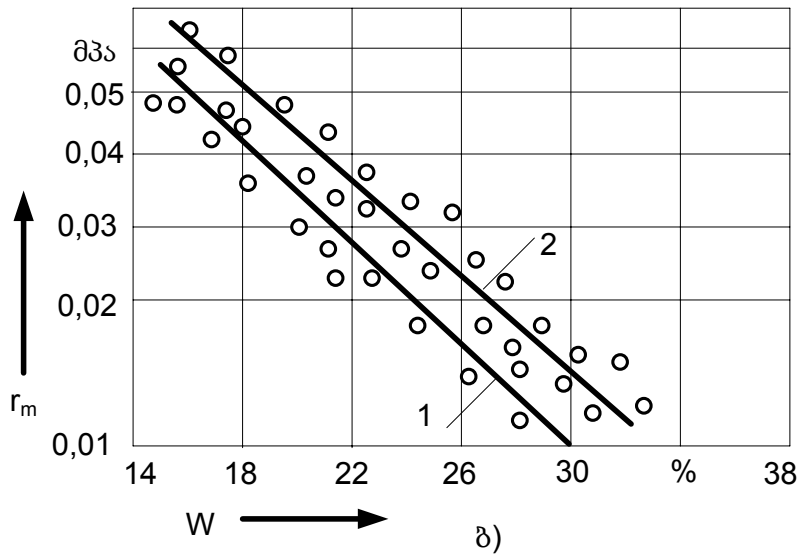
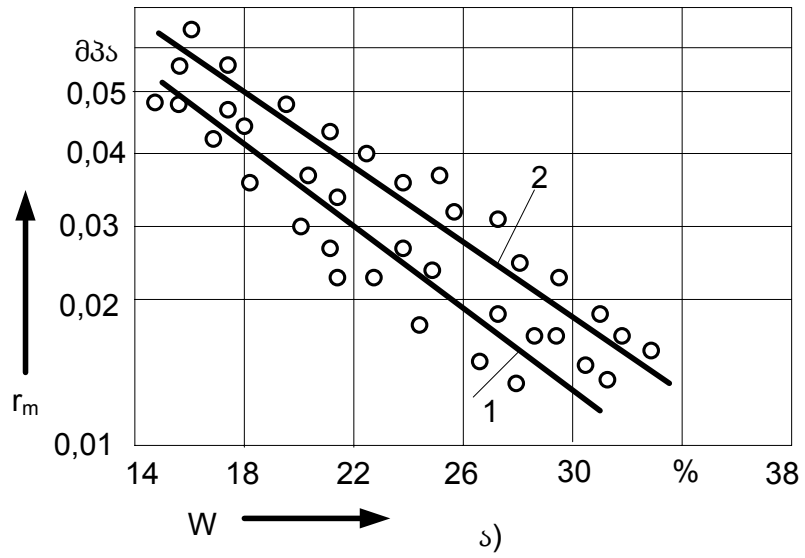
ცხრილი 4.6

რეგრესიის (4.19) წრფივი განტოლების a და b კოეფიციენტების მნიშვნელობები

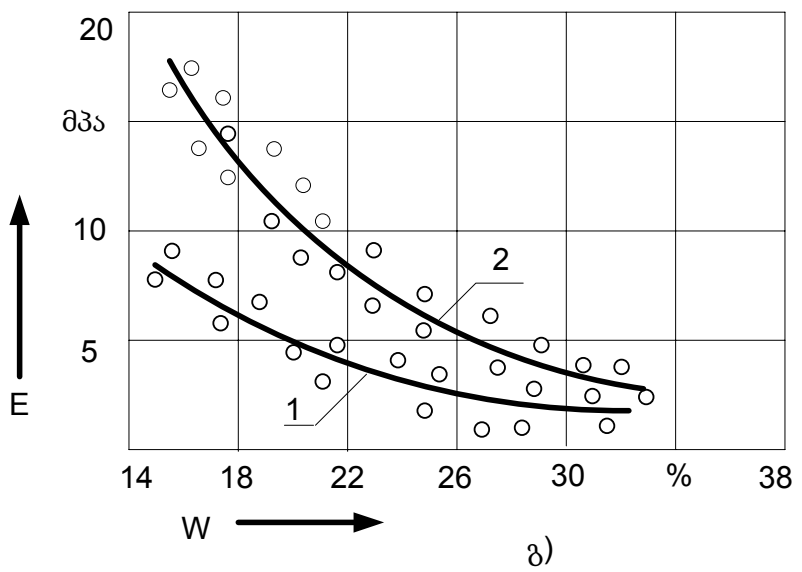
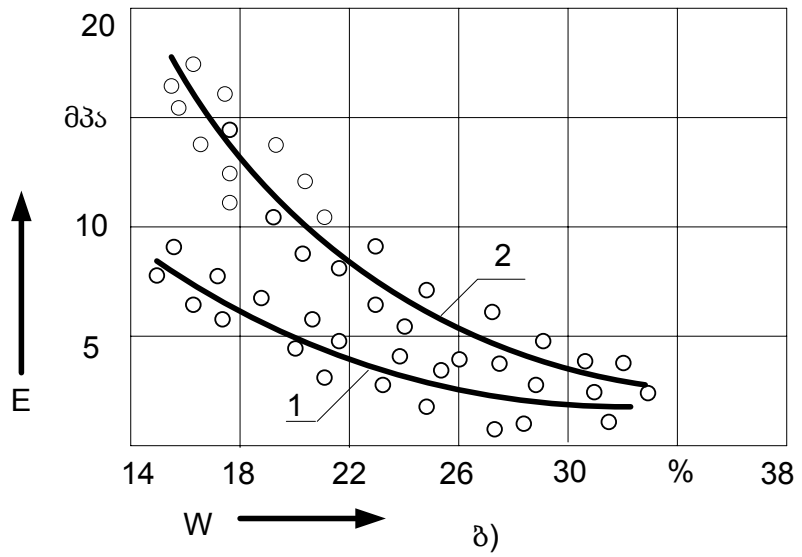
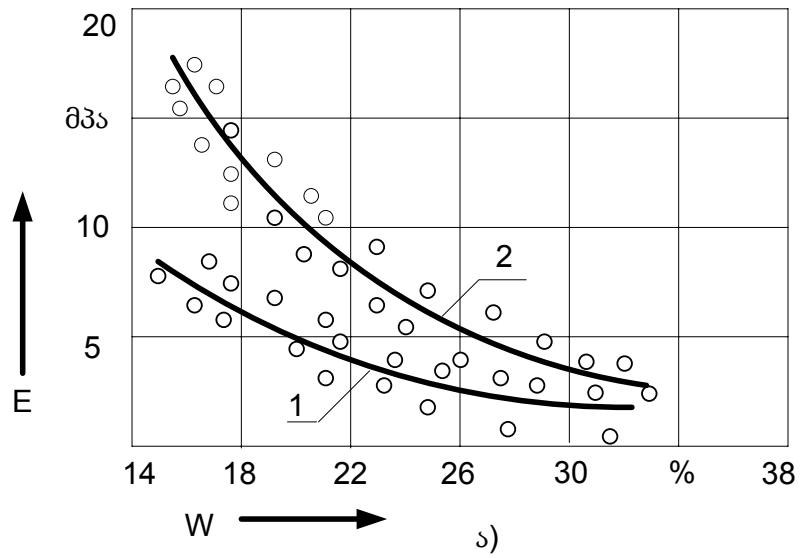
გრუნტის ტიპი	წრფის №	გრუნტის სიმკვრივე კგ/სმ	კოეფიციენტები		კორელაციის კოეფიციენტებ ო
			a	b	
1	2	3	4	5	6
რბილი	1,ნახ.2.13,ა	1,40	1,325	0,038	0,85
თიხნარი	2, ნახ.2.13,ა	1,50	1,417	0,039	0,91
საშუალო	1,ნახ.2.13,ბ	1,43	1,264	0,033	0,82
თიხნარი	2,ნახ.2.13,ბ	1,52	1,412	0,036	0,86
მძიმე	1,ნახ.2.13,ვ	1,45	1,337	0,029	0,84
თიხნარი	2,ნახ.2.13, ვ	1,65	1,415	0,030	0,88



Бсб.4.8.



б) в) б) 5б.4.9.



бсб.4.10

**4.6. თიხნაროვანი გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მაჩვენებლები
დეფორმირებული შრის სხვადასხვა სიღრმეზე**

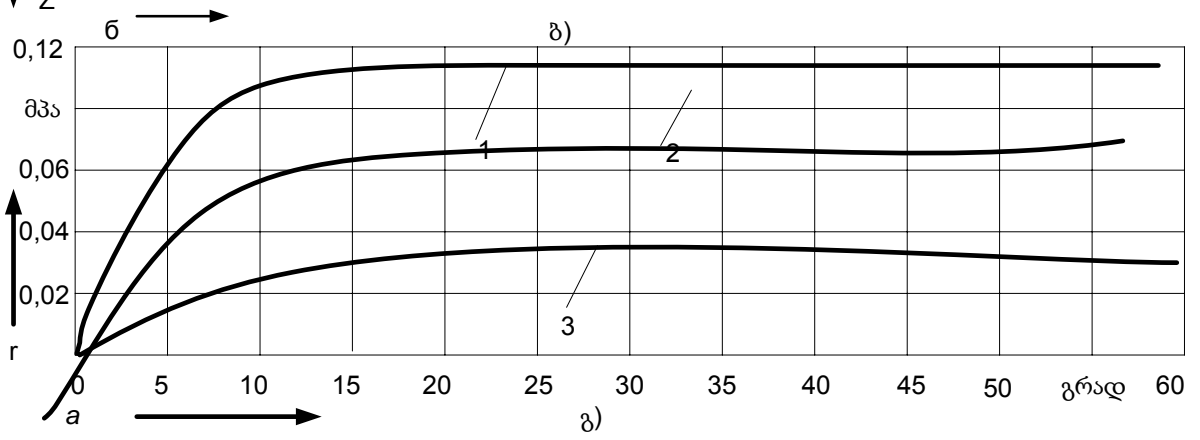
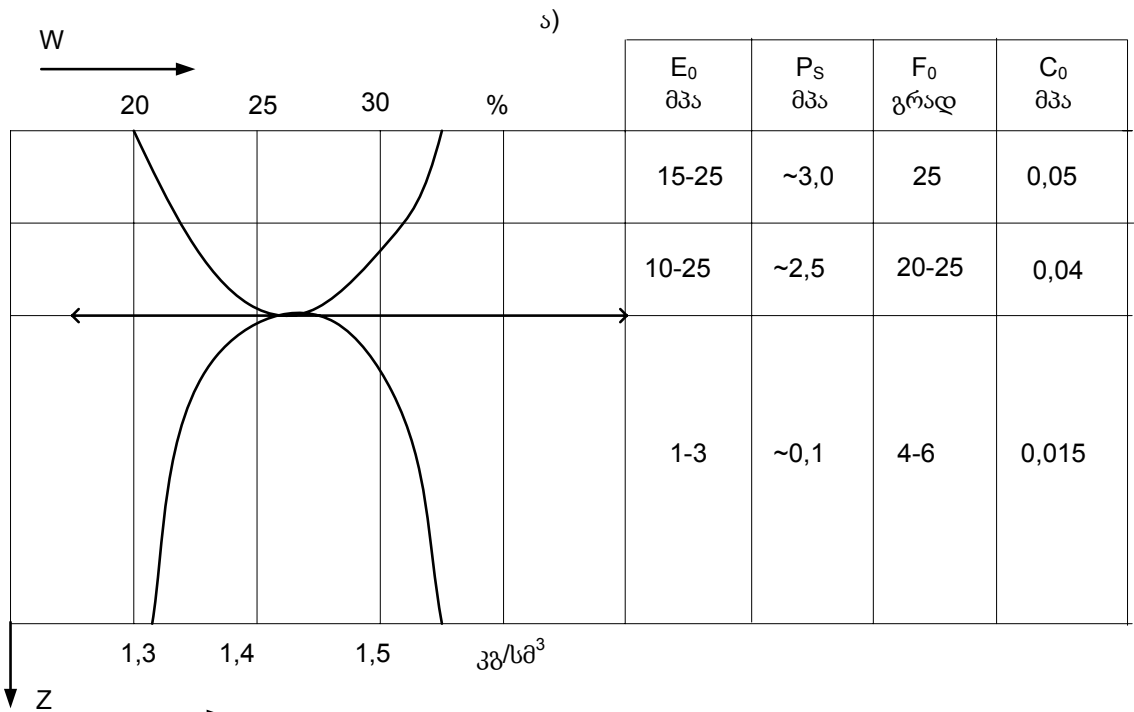
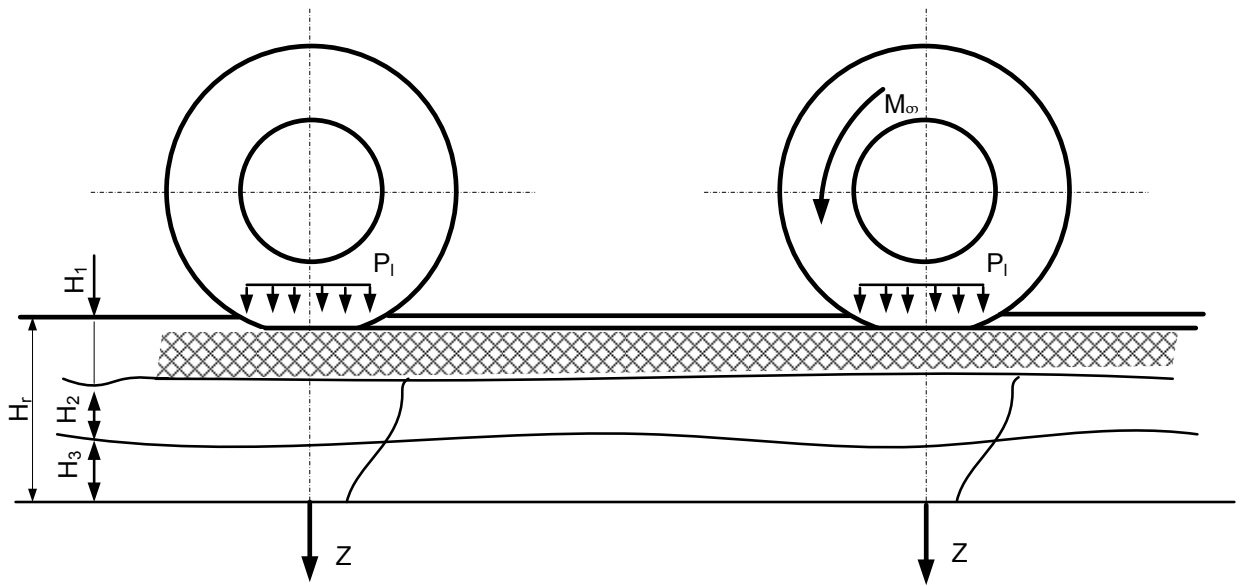
გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები მასივის სიღრმეზე შეისწავლებოდა №2 უბანზე ტენიანობის გავრცელების სხვადასხვა პერიოდში. გრუნტის შესაბამისობას ერთ-ერთ საანგარიშო მდგომარეობასთან ადგენდნენ დეფორმირებული შრის სხვადასხვა სიღრმეზე, ტენიანობის გაზომვის შედეგებით. გრუნტის ტენიანობა იზომებოდა მარშუტის რამოდენიმე წერტილში, ხოლო გაზომვების საჭირო რაოდენობას ვპოულობთ ექსპერიმენტის დაგეგმარების მეთოდის გამოყენების საფუძველზე. ამავე წერტილებში და იმავე სიღრმეზე საზღვრავდნენ გრუნტის მექანიკურ მაჩვენებლებს $PK3-1$ ხელსაწყო დახმარებით. გრუნტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გამოცდის შედეგები სხვადასხვა საანგარიშო მდგომარეობისას, რომლებიც განისაზღვრებიან სიღრმეზე W_a ტენიანობის ცვლილების ხასიათით, მოცემულია ცხრ.4.7-ში, საშუალო მნიშვნელობებით E, C_0, φ_0, P_s .

ცხრ.4.7-ში მოყვანილი მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, რომ დამჯდარი ნახნავის დეფორმირებული შრის სიღრმეზე გრუნტის მექანიკური თვისებების ცვლილების კანონზომიერება ყოველთვის არ შეესაბამება ტენიანობის ცვლილების ხასიათს. №3 საანგარიშო მდგომარეობის დროს ტენიანობა ზედა შრეში უფრო მცირეა, ვიდრე ქვედაში, თუმცა გრუნტის მექანიკური თვისებები სიღრმეზე თითქმის არ იცვლება. ეს აიხსნება როგორც ტენიანობის, ასევე სიმკვრივის მნიშვნელოვანი ზემოქმედებით გრუნტის მექანიკურ თვისებებზე, რომელიც მოცემული ტიპის ზედაპირისათვის იზრდება შრის სიღრმის პროპორციულად. გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მაჩვენებლების სიღრმეზე ცვლილების კანონზომიერება, ერთ-ერთ ასეთ უბანზე, მოცემულია ნახ.4.11-ზე.

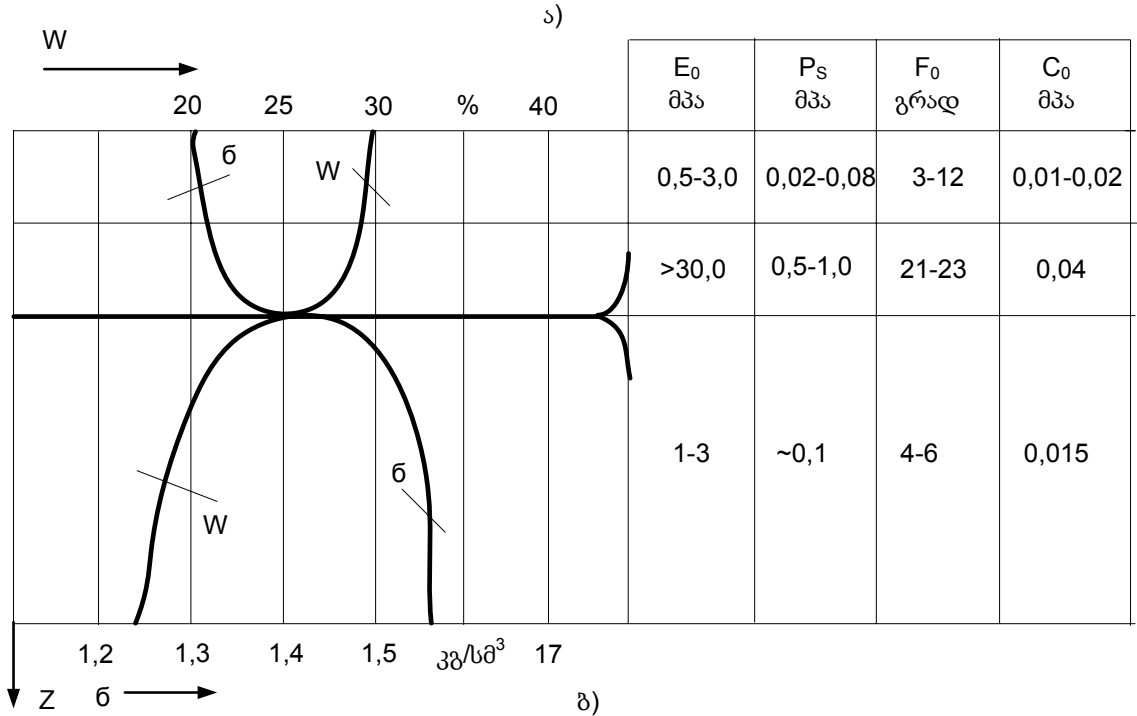
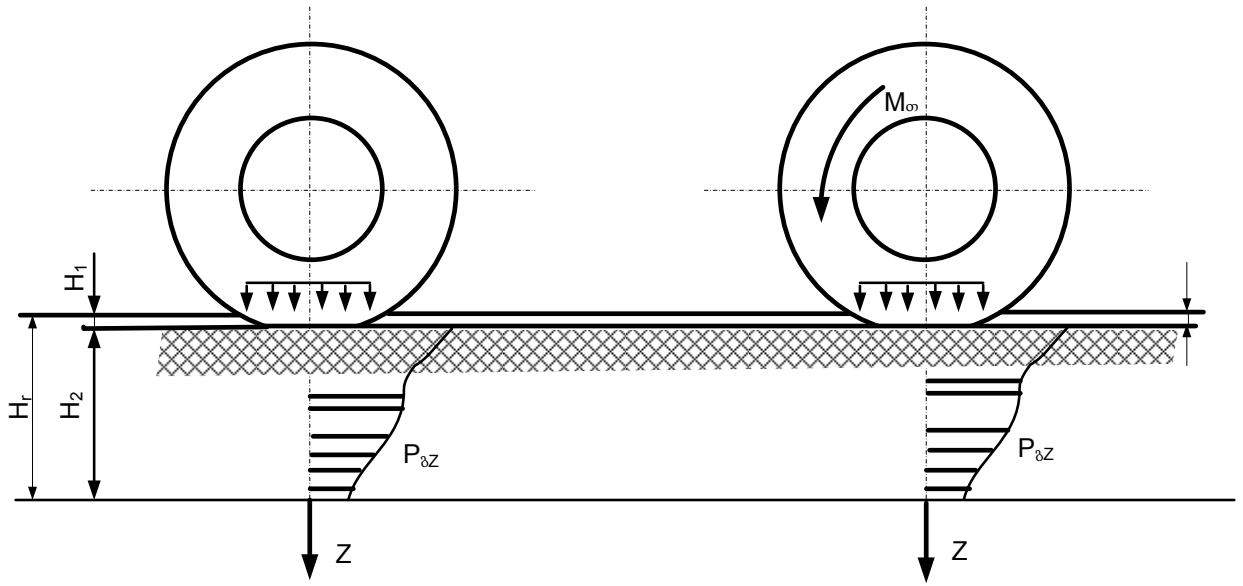
საანგარიშო მდგომარეობა №1 გვხვდება არა მარტო გაზაფხულზე თოვლის დნობის საწყის პერიოდში, არამედ, აგრეთვე აღნიშნული გრუნტის გზებზე, მათში ტენიანობის ინტენსიური, მაგრამ ხანმოკლე გავრცელების შემდეგ. გრუნტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მაჩვენებლების სიღრმეზე ცვლილების თავისებურებები, რომლებიც ნაჩვენებია ნახ.4.12-ზე, აიხსნება იმით, რომ სიმკვრივის

ზრდით გრუნტის ფილტრაცია მცირდება [117], ამიტომ ტენიანობის მცირე დროით გავრცელებისას ტენი კავდება ზედა შრეებში.

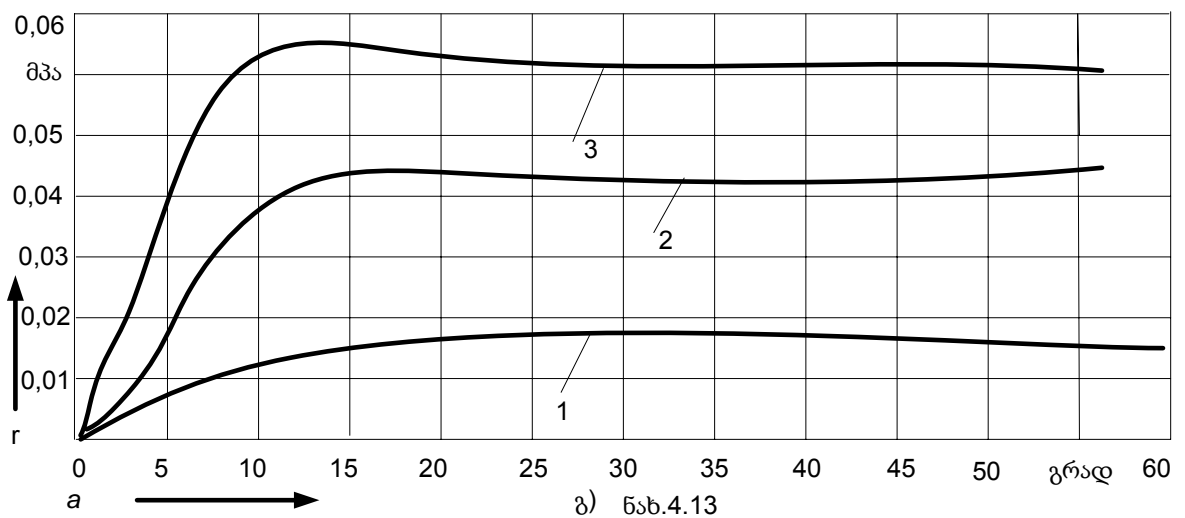
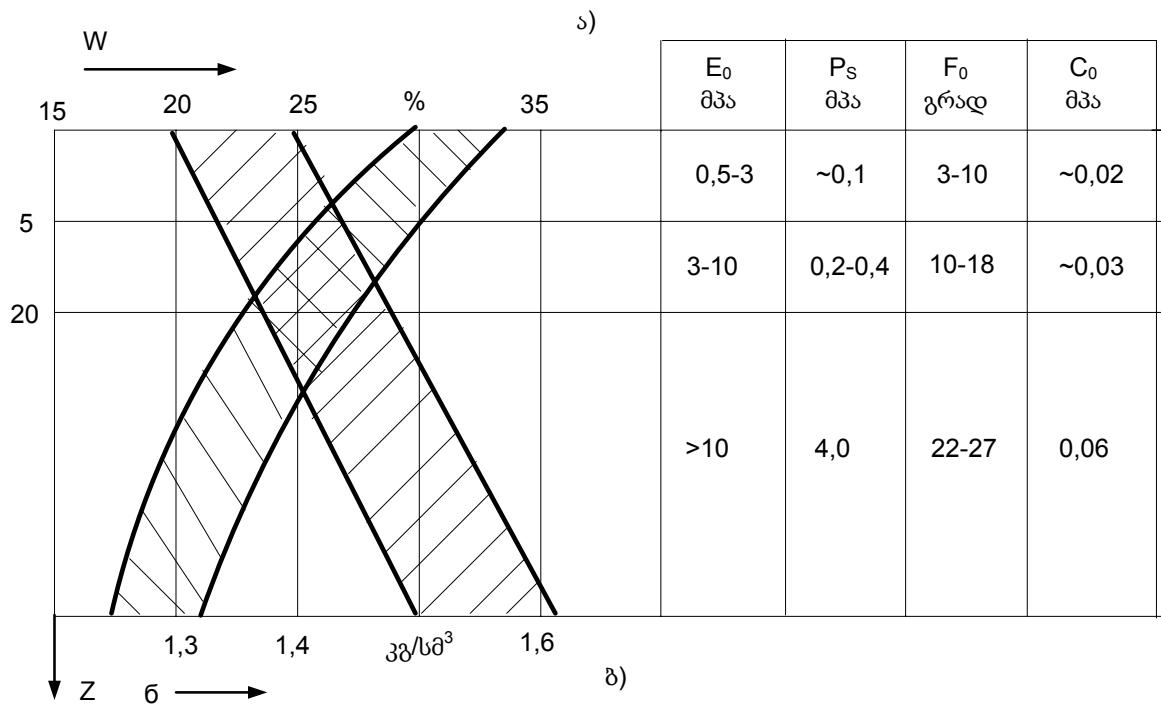
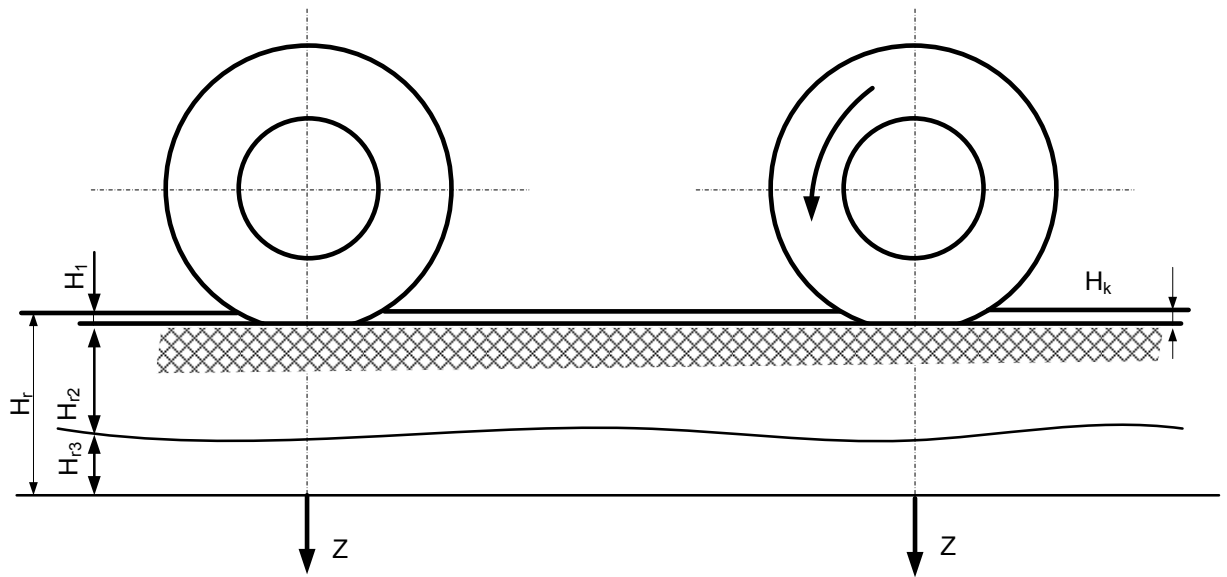
საანგარიშო მდგომარეობა №5-ის დროს, შემოდგომის წვიმებით ტენიანობის ხანგრძლივად გავრცელების ზემოქმედებით გრუნტის გზების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების განაწილება სიღრმეზე შეესაბამება ნახ.4.13-ს.



ნახ.4.11



გ) ნახ.4.12



ტენიანობის გავრცელების სხვადასხვა პერიოდში გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების სიღრმეზე ცვლილების კანონზომიერებების ექსპერიმენტულმა კვლევებმა აჩვენეს, რომ ზოგიერთ მახასიათებელ შემთხვევაში (მდგომარეობა №1; 3;5) გრუნტების მექანიკური თვისებები მნიშვნელოვნად იცვლება სიღრმეზე, და ეს გარემოება აუცილებელია გავითვალისწინოთ მაძრავის გრუნტთან ურთიერთქმედების მათემატიკური მოდელის შემუშავებისას.

გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების სიღრმეზე ცვლილების დადგენილი კანონზომიერებანი საშუალებას იძლევა მთლიანად წარმოვიდგინოთ პროცესების ფიზიკური არსი, რომლებიც მიმდინარეობენ მაძრავის გრუნტთან. ურთიერთქმედების დროს, რაც იძლევა გრუნტის საანგარიშო მდგომარეობისა და მახასიათებლის შერჩევის საშუალებას.

ცხრილი 4.7.

ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მაჩვენებლები გრუნტის შრის სიღრმის მიხედვით (შავმიწა თიხნარი) სხვადასხვა საანგარიშო მდგომარეობაში.

გრუნტის საანგარიშო მდგომარეობა <i>a</i>	შრის №	სინჯის ალების სიღრმე, სმ	შრის სისქე <i>H</i> და ტენიანობა <i>W_a</i>		გრუნტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მაჩვენებლები			
			<i>H</i>	<i>W_a</i>	<i>E</i>	<i>P_s</i>	<i>φ₀</i>	<i>C₀</i>
1	1	0-5	5	34	1,3	0,06	10	0,009
	2	15-20	20	გაყინულ ო გრუნტი	30,0	0,7	23	0,030
	3	45-50	35					
2	1	10-15	5	32	2,4	0,06	12	0,010
	2	15-20	20	28	5,0	0,18	12	0,022
	3	45-50	25	32	12,0	0,5	8	0,042

3	1	10-15	15	18	5,5	0,3	18	0,055
	2	25-30	15	28	4,5	0,27	12	0,045
	3	45-50	20	30	3,0	0,22	10	0,030

4.7. სრულამძრავიანი დიდი ტვირთამწეობის ავტომობილების გამავლობის გაუმჯობესება მათ საკიდრებში ჰიდროპნევმაომორტიზატორების გამოყენებით

სრულამძრავიანი სატვირთო ავტომობილების გამავლობაზე მოქმედი ძირითად კონსტრუქციული ფაქტორებია: პნევმატიკური თვლების გეომეტრიული პარამეტრები და დინამიკური მახასიათებლები (სიხისტე და დემპფირება); წამყვანი ხიდების რაოდენობა; ავტომობილის დაკიდებების მიერ თვლებზე დინამიკური დატვირთვების შემცირებისა და რხევების ჩახობის უნარი. გარდა ამისა მნიშვნელოვანია აგრეთვე: ვერტიკალური დატვირთვების ცვლილებების შესაბამისად წამყვან ხიდებსა და ხიდის თვლებს შორის მარბუნი მომენტების განაწილების პირობები.

უნდა აღინიშნოს, რომ დაკიდების კონსტრუქციული პარამეტრების ავტომობილის გამავლობაზე გავლენის შეფასებისათვის აუცილებელია შესწავლილ იქნეს თვლების გრუნტთან კონტაქტის ზონაში ვერტიკალური რეაქციების რხევითი ცვლილებების პროცესი, რაც თავის მხრივ, წარმოადგენს რთულ ამოცანას. მისი გადაწყვეტა საშუალებას მოგვცემს განისაზღვროს გამავლობის ძირითადი მახასიათებელი, კერძოდ, ავტომობილის გრუნტებზე მოძრაობის გორვის წინააღმდეგობა.

ჩვენს მიერ ჩატარებული გამოკვლევებით დადგენილია, რომ თვლის ზედა (დარესორებული) მასების ვერტიკალური რხევების ინტენსიურობის 5-10%-ით გაზრდა იწვევს გრუნტებზე დიდი ტვირთამწეობის სრულამძრავიანი ავტომობილების მოძრაობის წინააღმდეგობის გაზრდას 12-20%-ით. პრობლემის გადაწყვეტის ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებას წარმოადგენს აღნიშნული ტიპის ავტომობილების დაკიდებებში უფრო მძლავრი ენერგოჩამხობი

მოწყობილობების, კერძოდ, ჰიდროპნევმაამორტიზატორების დაყენება [2]. ასეთი ტიპის ამორტიზატორების შექმნისათვის სასურველია კომბინირებული ტიპის კონსტრუქციების გამოყენება. მუშა სხეულებად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც საამორტიზატორო სითხე, ისე ჰაერი. ამგვარი მიდგომა საშუალებას იძლევა გავზარდოთ ამორტიზატორის მიერ რხევების ჩახშობის უნარი და შევამციროთ მისი გაბარიტული ზომები. საუკეთესო შედეგს მივაღწევთ, თუ ერთდროულად გამოვიყენებთ სითხის დაკალიბრებულ ნახვრეტით (8) და ჰაერით დემპფირების ეფექტს. 1-ლ ნახაზზე წარმოდგენილია ასეთი ტიპის ამორტიზატორის კონსტრუქციის სქემა.

ამორტიზატორის კორპუსი შედგება ცილინდრული მილისაგან (1), რომელშიც ჩასმულია ზედა (2) და ქვედა (3) სახურავები. ღრუტანიანი დგუმის (4) ჭოკი (5) მოთავსებულია ზედა სახურავის მიმართველში (6) ჩობალით (7). თავის მხრივ, დგუმი (4) მილში ჩასმულია ჩობალებით (8). დგუმის თავში გაკეთებულია საკომპენსაციო ნახვრეტი (9), დამონტაჟებულია აგრეთვე კუმშვისა (10) და აღდგენის (11) სარქველები. დგუმის თავი და ცილინდრული მილის ზედა სახურავი ქმნის არეს, რომელიც წარმოადგენს ამორტიზატორის I კამერას. დგუმის სიღრუეში ჩობალის (12) დახმარებით ჩასმულია დისკოსებრი ელემენტი (13), მასში დამონტაჟებულია კუმშვისა (14) და აღდგენის (15) სარქველები. დისკოსებრი ელემენტის ქვემოთ გადადაგილებას ზღუდავს საყრდენი რგოლი (16). დგუმსა და დისკოსებრ ელემენტს შორის იქმნება არე – ამორტიზატორის II კამერა, რომელიც მოთავსებულია ცილინდრული ზამბარა (17). ამორტიზატორი შეიცავს ტიხარს (18), რომელიც ცილინდრში დაფიქსირებულია ჩამკეტი რგოლით (19). ტიხარში გაკეთებულია საკომპენსაციო ნახვრეტი (20), დამონტაჟებულია კუმშვისა (21) და აღდგენის (22) სარქველები. დისკოსებრი ელემენტი და ტიხარი (18) ქმნის არეს, რომელიც წარმოადგენს ამორტიზატორის III კამერას. ცილინდრში ჩობალების (23) დახმარებით ჩასმულია საკომპენსაციო დგუმი (24), ამ უკანასკნელსა და ცილინდრის ქვედა სახურავს შორის მოთავსებულია ცილინდრული ზამბარა (25) მასში ჩასმული კასრისებრი რეზინის ელემენტით (26). საკომპენსაციო დგუმი და ცილინდრის ქვედა სახურავი ქმნის არეს, რომელიც წარმოადგენს ამორტიზატორის საკომპენსაციო IV

კამერას, რომლის ატმოსფეროსთან კავშირს უზრუნველყოფს ცილინდრში გაკეთებული ნახვრეტები (27). კასრისებრი რეზინის ელემენტის (28) შიგნით მოთავსებულ არეს ატმოსფეროსთან აკავშირებს ქვედა სახურავში ჩამონტაჟებული ორმხრივი ქმედების საჰაერო სარქველი (29), რომელიც კუმშვისა და აღდგენის პროცესში უზრუნველყოფს ჰიდროპნევმომორტიზატორის მიერ ჰაერით დემპფირების ეფექტის განხორციელებას. აღნიშნული საჰაერო სარქველი (29) შეიცავს შიგა საჰაერო არხს (30), ცილინდრულ ზამბარას (31), გარე საჰაერო არხს (32) და შიგა საჰაერო არხის ჩამკეტს (33).

ჰიდროპნევმომორტიზატორის ეფექტურ მუშაობას საფუძვლად უნდა დაედოს ისეთი მოთხოვნების უზრუნველყოფა როგორცაა:

- ჭოკის სიჩქარის ზრდის შესაბამისად, რხევების ქრობის ინტენსიურობის გაზრდა, რათა გამოირიცხოს ძარისა და თვლების მკვეთრი გადაადგილებები;
- ავტომობილის მცირე ზომის უსწორობების მქონე გზის საფარზე მოძრაობისას რხევების დაბალი ინტენსიურობით ქრობა;
- ამორტიზატორიდან ძარაზე მინიმალური დატვირთვებით ზემოქმედება;
- მუშაობის სტაბილურობა ავტომობილის სხვადასხვა საგზაო და კლიმატურ პირობებში ექსპლუატაციისას.

აღნიშნული მოთხოვნების დაკმაყოფილება უნდა მოხდეს ჭოკის როგორც მდოვრე, ისე მკვეთრი გადაადგილებისას.

ჰიდროპნევმომორტიზატორის მუშაობის დაწყებამდე I, II, III და IV კამერები შევსებულია საამორტიზატორო სითხით. საკიდრის სტატიკური დატვირთვით კუმშვისას, (რომელიც შეესაბამება დატვირთული ან დაუტვირთავი უძრავი ავტომობილის დარესორებული ნაწილის - მოსულს ერთ საკიდარზე წონას), სითხის წნევები კამერებში შესაბამისად ტოლია: P₁, P₂, P₃ და P₄ -ის, ხოლო რეზინის ელემენტის სიღრუეში კი - P₅ -ის.

ჭოკის დგუშთან ერთად ქვემოთ გადაადგილებისას იზრდება სითხის წნევები II, III და IV კამერებში, ხოლო მცირდება I კამერაში. ამასთან ერთად საკომპენსაციო დგუშზე სითხის წნევის გაზრდით ხდება მისი ქვემოთ გადაადგილება,

ცილინდრული ზამბარისა 25 და რეზინის ელემენტის კუმშვა, შედეგად კი - ჰაერის წნევის გაზრდა V საკომპენსაციო კამერაში და რეზინის ელემენტის სიღრუეში.

აღნიშნული პროცესი მიმდინარეობს შემდეგნაირად: სარქველების და ზამბარების დრეკადი წინაღობა ისეა შერჩეული, რომ ჯერ კიდევ დაბალი წნევისას, დგუშში გადაადგილდება დისკოსებრი ელემენტი, იგი კუმშავს ზამბარას და საკომპენსაციო ნახვრეტით (9) სითხე გადაედინება II კამერიდან I კამერაში. ამავდროულად III კამერაში სითხის წნევის გაზრდის გამო, საკომპენსაციო ნახვრეტიდან გადაედინება IV კამერაში და გადაადგილებს საკომპენსაციო დგუშს. ჭოკზე დატვირთვის კიდევ უფრო გაზრდისას, როდესაც სითხის წნევა გადააჭარბებს სარქველების და ზამბარების დრეკად წინაღობებს იხსნება სარქველი (10) და სითხე II კამერიდან გადაედინება I კამერაში, სარქველის 15 გახსნით სითხის ნაწილი III კამერიდან გადაედინება II კამერაში, ხოლო ნაწილი - დაკალიბრებულ ნახვრეტში (20). ჭოკზე მაქსიმალური დატვირთვებისას სითხის წნევები II და III კამერებში კიდევ უფრო იზრდება, იღება სარქველი (21), ხოლო სითხე გარდა დაკალიბრებული ნახვრეტისა, კუმშვილი სარქველის დახმარებით გადაედინება III კამერიდან IV კამერაში, აწევა საკომპენსაციო დგუშს (24) იწვევს ჰაერის წნევის კიდევ უფრო გაზრდას და საკომპენსაციო კამერიდან V ნახვრეტების (27) დახმარებით ჰაერის გადინებას ატმოსფეროში. რეზინის ელემენტის სიღრუეში ჰაერის შიგა წნევის წინასწარ დადგენილ სიდიდეზე იკუმშება საჰაერო სარქველის ზამბარა (31) და გარე საჰაერო არხიდან ჰაერის გადაედინება ატმოსფეროში. საკიდარის მაქსიმალური კუმშვის მომენტს შეესაბამება II კამერაში მოთავსებული ზამბარის (17) ჩაკეტვა.

საკიდარის კუმშვისას რხევების ჩახობა ხდება, როგორც სითხის, ისე ჰაერის დემპფირების ეფექტის გამოყენებით. ჯამური წინაღობის ანუ დემპფერების კოეფიციენტი ტოლია:

$$K_3 = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 \quad (4.21)$$

სადაც K_3 - კუმშვის ჯამური დემპფირების კოეფიციენტი;

K_1, K_2, K_3 - შესაბამისად კუმშვის (10), (15) და (21) სარქველების გაღებისას სითხის გადაადინების წინაღობის კოეფიციენტებია;

K_4 - რეზინის ელემენტის სიღრუდან ატმოსფეროში ჰაერის გადაღინების წინააღობის კოეფიციენტი.

ჰიდროპნევმოამორტიზატორის აღდგენის პროცესში დგუში (4) ჰოკთან ერთად გადაადგილება ზემოთ, ამ შემთხვევაში იზრდება წნევა I კამერაში, თუ მასში წნევა მცირედ იზრდება, მაშინ სითხე II კამერაში გადაედინება ნახვრეტით 5, რაც ხელს უწყობს ზამბარის (17) აღდგენას. თუ დგუშის (4) სიჩქარე და წნევა მაღალია, მაშინ იხსნება სარქველი (11) და სითხე დამატებით გადაედინება II კამერაში. როდესაც დისკოსებრი ელემენტი (13) დაუბრუნდება საწყის მდებარეობას, იხსნება სარქველი (14) და სითხე ნახვრეტის 5 გავლით გადაედინება III კამერაში. წნევა იმდენად შემცირდება, რომ ნაკლები იქნება საკომპესაციო კამერის IV წნევაზე, სითხე სარქვლის (22) და ნახვრეტის (20) საშუალებით IV კამერიდან გადაედინება III კამერაში. IV კამერაში სითხის წნევის შემცირებისას იხურება სარქველი (22) და სითხის გადაღინება ხდება მხოლოდ ნახვრეტით (20). თუ საკომპესაციო კამერაში წნევა მცირეა ზამბარის (25) და რეზინის ელემენტის ჯამური დრეკადი წინააღობის ძალაზე, მაშინ ისინი, საკომპესაციო დგუშის ზემოთ გადაადგილებას იწყებენ აღდგენას, რაც უზრუნველყოფს სითხის თანაბარი ნაკადის მიწოდებას სარქველში (22) და დაკალიბრებულ ნახვრეტში (20). აღდგენით პროცესს თან ახლავს ჰაერით დემპფირების ეფექტი. რეზინის ელემენტის დეფორმაციის აღდგენის დაწყების მომენტში მოქმედებას იწყებს ჰაერის სარქველი, კერძოდ ზამბარა (31) კეტავს გარე საჰაერო არხს, რეზინის ელემენტის (26) შიგა არეში ატმოსფერულთან შედარებით ჰაერის წნევის სიმცირის იხსნება სარქვლის საკეტი (33) და ჰაერი ატმოსფეროდან დაკალიბრებული შიგა საჰაერო ნახვრეტით (30) გადაედინება ელემენტის (26) სიღრუეში.

ჰიდროპნევმოამორტიზატორის აღდგენის პროცესში ჯამური დემპფირების კოეფიციენტი გამოითვლება კუმშვის პროცესის ანალოგიურად. ამორტიზატორის წინააღობის ანუ დემპფირების კოეფიციენტის საშუალო საანგარიშო მნიშვნელობა გამოითვლება დამოკიდებულებით:

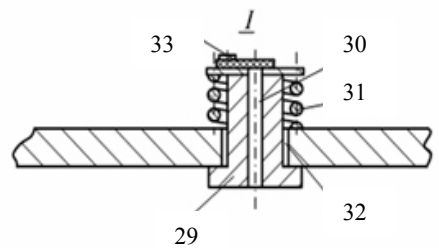
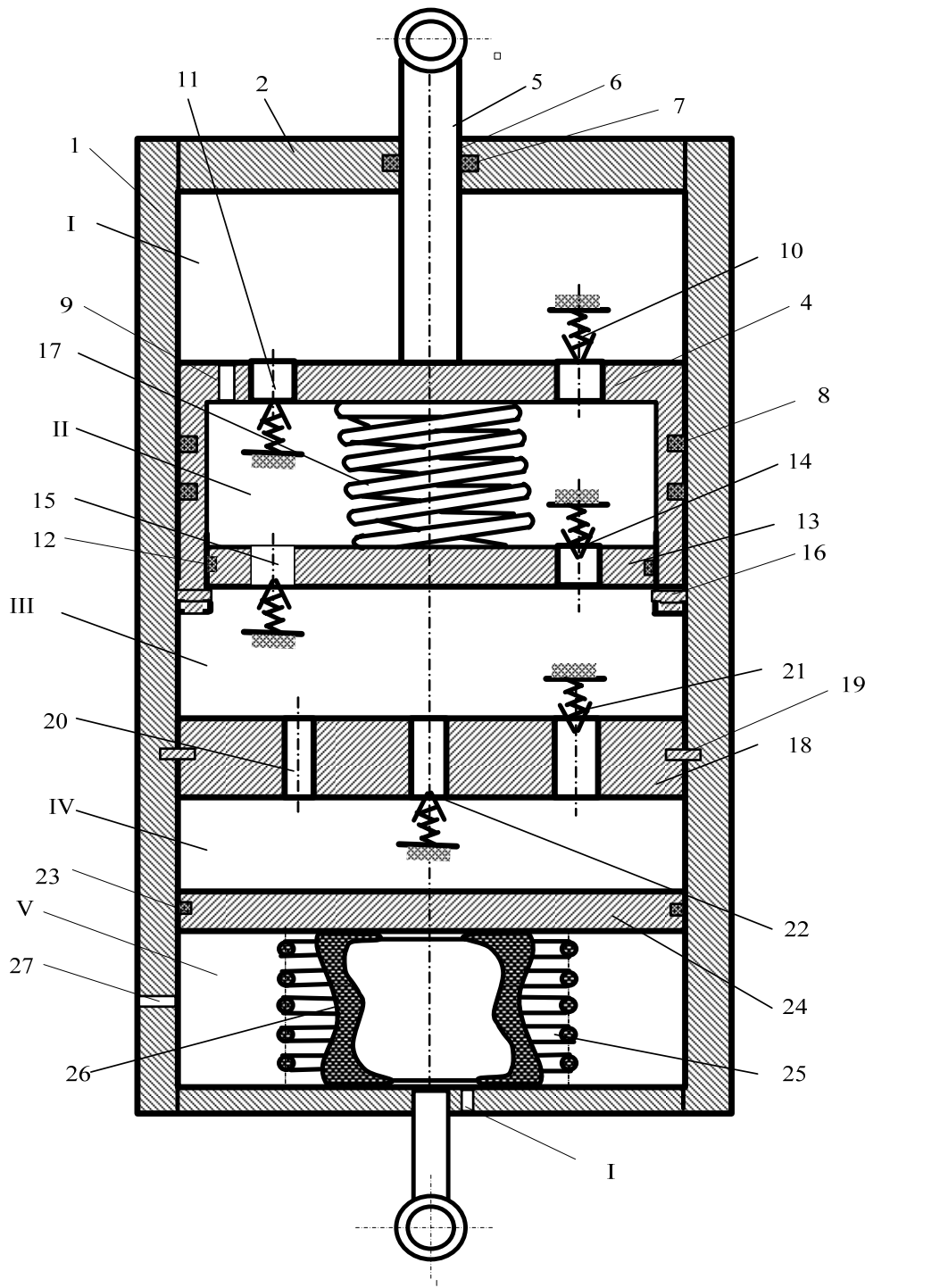
$$K_{საშ} = 0,5(K_3 + K_{აღ}) \quad (4.22)$$

სადაც $K_{აღ}$ - ამორტიზატორის აღდგენისას დემპფირების კოეფიციენტი.

საკომპენსაციო და სარქვლების დაკალიბრებულ ნახვრეტებში საამორტიზაციო სითხის გადადინების სიჩქარე იცვლება ზღვრებში 20-30მ.წმ⁻¹, ხოლო სითხის წნევები კამერებში 2,5-5,0 მპა-სა ზღვრებში.

თანამედროვე სატვირთო ავტომობილების საკიდრებში გამოყენებულ ორმილოვან ამორტიზატორებში მათ საკომპენსაციო კამერებში ხდება სითხისა და ჰაერის შერევა, ემულსიის წარმოქმნა, რაც ხელს უშლის ამორტიზატორის მუშაობის რეჟიმის დარღვევას. ამ ურყოფითი პროცესის აღმოფხვრისათვის ახალი კონსტრუქციის ერთმილოვან ჰიდროპნევმოამორტიზატორში ჰაერის კამერა იზოლირებულია სითხის კამერებისაგან. გარდა ამ დადებითი თვისებებისა ჰიდროპნევმოამორტიზატორს შეუძლია ჭოკის (5) გადაადგილების სიდიდისა და სიჩქარის მიხედვით, სარქვლების გაღების წინასწარ დადგენილი თანმიმდევრობის შედეგად მივიღოთ ჰიდრავლიკური წინაღობების, ანუ დემფირების კოეფიციენტების სასურველი სიდიდეები. ხოლო ამორტიზატორში კასრისებრი ტიპის რეზინის ელემენტისა და ჰაერის დემფირების გამოყენება საშუალებას იძლევა, გარდა დაბალსიხშირული რხევებისა ჩაიხშოს მაღალსიხშირული რხევები, რომელიც გამოწვეულია ძალოვანი აგრეგატის მუშაობით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე ჰიდროპნევმოამორტიზატორის კონსტრუქციაში კომპლექსურად თავმოყრილია რხევების ჩამხობი სისტემებისათვის დამახასიათებელი ის ძირითადი თვისებები, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას თანამედროვე ენერგოჩამხშობ მოწყობილობებში. ასეთი კონსტრუქციის ამორტიზატორების გამოყენება სრულამძრავიან სატვირთო ავტომობილების საკიდრებში, საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად შევამციროდ დარესორებული მასების რხევების გავლენა პნევმატიკური თვლების რხევებზე. შედეგად კი ამ უკანასკნელის გრუნტიან ზედაპირებთან ურთიერთქმედებისას კონტაქტის ზონაში მიიღწევა ვერტიკალური რეაქციების რხევითი ცვლილების ინტენსიურობის შემცირება და თვალზე ვერტიკალური დატვირთვების სიდიდეების სტაბილიზაცია. რაც მნიშვნელოვნად შეამცირებს გორვის წინააღმდეგობას და წვეთი-ჩამჭიდი თვისებების გაუმჯობესებით გაზრდის სრულამძრავიანი სატვირთო ავტომობილების გამავლობას.



ნახ.4.14. ჰიდროპნევმატორტიზატორი

ნიადაგის ტენიანობის განსაზღვრის მიზნით გამოყენებული იქნა ნიადაგის ტენშემცველობისა და სიმკვრივის გამზომი ხელსაწყო.

ნიადაგის ტექნიკური მიზნით გამოყენების დროს საჭიროა ნიადაგის ტენშემცველობის განსაზღვრა, დღევანდელი სტანდარტით ნიადაგის ტენის გაზომვა ხდება პირდაპირი მეთოდით, რომელიც მოითხოვს დიდ დროს. იმისათვის რომ ნიადაგის ტენშემცველობა განისაზღვროს სწრაფად საჭიროა ნიადაგის ტენზომი.

მასალების ტენის გაზომვისათვის არსებობს რამდენიმე არაპირდაპირი მეთოდი, რომელთა გამოყენებისას საჭიროა მცირე დრო, რომელიც საკმარისია ტექნოლოგიური პროცესების წარმართვისათვის. არაპირდაპირი მეთოდებიდან ყველაზე დიდი გავრცელება ჰპოვა ელექტრულმა მეთოდებმა (1) ტენზომის ზუსტი მოქმედებისათვის უპირატესი მნიშვნელობა აქვს გადამწოდს, რომლითაც არაელექტრული სიდიდე (ტენი) უნდა გარდაიქმნას ელექტრულ სიდიდედ. (წინაღობა გამტარობა).

გადამწოდს წაეყენება შემდეგი მოთხოვნები:

ა) გამზომ სქემას უნდა მიაწოდოს ზუსტი ინფორმაცია ტენის მნიშვნელობის, შესაბამისი ელექტრული სიდიდის შესახებ.

ბ) გადამწოდმა უნდა შეიგრძნოს მასალის (ნიადაგის) სიმკვრივე და კომპენსაცია გაუკეთოს მის ცვლილებას ნომინალური მნიშვნელობიდან.

გ) მასალის (ნიადაგის) თავისებურების შეგრძნება.

დ) გადამწოდმა გამზომ სქემას უნდა მიაწოდოს ზუსტი ინფორმაცია ნიადაგის ტენშემცველობის არათანაბრობაზე.

ნიადაგის ტენშემცველობის განსაზღვრისათვის არსებული ხელსაწყოების პირველადი გადამწოდს წარმოადგენს ცილინდრული ელექტროდების მქონე მოწყობილობა, რომლის ერთი ელექტროდი მოძრავია (2).

ცილინდრული ელექტროდების ნიადაგში ჩანერგვისას ხდება ელექტროდების რხევა და შესაბამისად ნიადაგის თვისებების მიხედვით ელექტროდებს შორის მანძილის დარღვევა რაც დაკავშირებული არის გაზომვის ცდომილებასთან.

ტენის გაზომვისათვის შეიძლება გადამწოდზე მიწოდებული ქნას ცვლადი ან მუდმივი დენი.

გადამწოდის მუდმივი დენით კრებისას ადგილი აქვს პოლარიზაციის მოვლენას, რის გამო გამზომი ხელსაწყოს ჩვენება დამოკიდებული არის ჩვენების ათვლის დროზე.

ამის გამო მიზანშეწონილია ნაიდაგის ტენის განსაზღვრისათვის გამოყენებული იქნას ცვლადი დენი. ამ შემთხვევაში იზომება აქტიური გამტარობა G და ტევადობა C :

$$G = \frac{2\pi\epsilon\ell}{\ln\left(\frac{d}{2r} + \sqrt{\frac{D^2}{4r^3} - 1}\right)};$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon\ell}{\ln\left(\frac{d}{2r} + \sqrt{\frac{D^2}{4r^2} - 1}\right)}$$

სადაც ℓ - ელექტროდის სიგრძე;

ϵ - დიელექტრიკული განვლილობა;

D - მანძილი ელექტროდებს შორის;

r - ხვედრითი გამტარობა.

როგორც (1) ფორმულიდან ჩანს ელექტროდებს შორის მანძილის შეცვლით გამტარობა და ტევადობა იცვლებიან საწინააღმდეგო ნიშნით, რომ შევამციროთ ელექტროდებში გადახრით გამოწვეული ცდომილება, მიზანშეწონილია ელექტროდები დ ამონტაჟებული იქნას ერთ მოძრავ სიბრტყეზე (1).

ხელსაწყო შეიცავს კორპუსს 4, რომელშიც ჩასმულია ღერო 1 ტარირებული ზამბარებით 5, და ელექტროდებს 2. ელექტროდები ფორმირებულია უშუალოდ ღეროში, ამასთან, ელექტროდებს შორის მოთავსებულია იზოლატორი 3.

ღეროზე ორივე მხარეს დამაგრებულია იზოლირებული ელექტროდები (2), ხოლო მეორე ელექტროდს წარმოადგენს თვით (1) ღერო, რომელიც შეერთებული არის მიწასთან (2) იზოლირებული ელექტროდები იზოლირებულია (1) ღეროსგან (3) იზოლიატორით. (1) ღერო მოძრაობს (4) ხუფში. ღეროს ბოლოზე არსებულ ცილინდრზე დახვეულია ტარირებული ზამბარა (5). ნაიდაგის სიმკვრივის მიხედვით იცვლება ელექტროდების დანერგვის სიგრძე ℓ და შესაბამისად გადამწოდის ელექტრული ტევადობა C და გამტარობა G (4) ხუფრი დახურულია (6) საცობით.

ხუფი (4) გაზომვის დროს მთლიანად დაიყვანება ნიადაგის ზედაპირამდე, ხოლო გადამწოდის ელექტროდები (2) დაინერგებიან ნიადაგში სიმკვრივის შესაბამის სიღრმეზე წარმოდგენილ სქემაში ელექტროდების სიგრძეა ℓ , სიგანე α იზოლიაციის სისქე ელექტროდებს შორის მანძილი d , ტევადობა C კი მიიღება ფორმულით:

$$C = \varepsilon \ell (n-1) \sqrt{\frac{a}{d} \left(1 - \ell \sqrt[3]{\frac{\varepsilon^{0.2} h}{0.5 a d^2}} \right)} 0,065 \quad (4.23)$$

ნახ.4.14-ზე ნაჩვენებია ელექტროდების განლაგება და ელექტრო სქემა.

ნიადაგი სიმკვრივის გაზრდით იზრდება დიელექტრიკული ტევადობა $\Delta\varepsilon$ -ით, შესაბამისად მცირდება ელექტროდების ნიადაგში დანერგვის სიგრძე $\Delta\ell$ -ით თუ მხედველობაში მივიღებთ რომ ელექტრომაგნიტური ველის გავრცელების სიდიდე ნიადაგისათვის $h=\infty$ ფორმულა (2) მიიღებს სახეს:

$$C = (\varepsilon + \Delta\varepsilon)(n-1) \sqrt{\frac{a}{d}} 0,065 (\ell - \Delta\ell) \quad (4.24)$$

ზამბარის და ელექტროდების სიგრძის სწორი შერჩევით შეიძლება მიღწეულ იქნას პირობა

$$\varepsilon \ell (n-1) \sqrt{\frac{a}{d}} 0,065 = (\varepsilon \pm \Delta\varepsilon) n - 1 (\ell \pm \Delta\ell) \sqrt{\frac{a}{d}} 0,065 \quad (4.25)$$

რითაც გამორიცხულ იქნას ნიადაგის სიმკვრივის ცვლილებით გამოწვეული ცდომილება ელექტროდების ირაოდენობა არ იწვევს ცდომილებას.

გამოსაკვლევი ნიადაგი, რომელიც მოთავსებული იქნება ელექტროდებს შორის შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ნახ.3-ით.

სრული გამტარობა კომპლექსურ ფორმაში გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned} Y &= G + j\omega C; \\ Y &= \sqrt{G^2 + \omega^2 C^2} \end{aligned} \quad (4.26)$$

სრული კომპლექსური წინაღობა

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{G + j\omega C} = \frac{G - j\omega C}{Y^2} = R - jXc \quad (4.27)$$

ამპერმეტრში გამავალი დენი I

$$I = UI = U\sqrt{G^2 + \omega^2 C^2}$$

სადაც $\omega c = bc$ - ტევადური გამტარობა

$\omega = 2\pi f$ - კუთხური სიხშირე.

ძირითადი დასკვნები

1. დამუშავებულია სისტემის „დარტყმითი - ვიბრაციული შემამჭიდროებელი-ფუძე“ მათემატიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას იძლევა ჩატარდეს როგორც შემამჭიდროებლის დინამიკის კვლევა, ასევე ფუძის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასება.
2. მაღალი გამავლობის ავტომობილებში გამავლობის გაუმჯობესების მიზნით დაკიდებაში ჩასმულია მძლავრი ენერგოჩამხშობი მოწყობილობა, კერძოდ ჰიდროპნევმოამორტიზატორი, რომელიც დაფუძნებულია სითხით დაკალიბრებული და ჰაერით დემპერების ეფექტზე.
3. შექმნილია „შმო-ფუძე“ დინამიკური სისტემის საანგარიშო მოდელი. გაკეთებულია დასკვნა, რომელიც უფრო სრულყოფილად ასახავს როგორც შესამჭიდროებელი მასალის ასევე „შემამჭიდროებელი-გრუნტი„ დინამიკური სისტემის თვისებები.
4. შექმნილია პნევმატიკური თვლის გრუნტთან ურთიერთქმედების გნმსაზღვრელი სტენდი და შესაბამისად სასტენდო გამოცდის მეთოდიკა, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ავტომობილის საკიდარის კონსტრუქციული პარამეტრების გვლენის შეფასება გამავლობის მახასიათებლებზე.
5. თვლის სხვადასხვა ტიპისა და მდგომარეობის გრუნტებთან მაქსიმალურად შესაძლო ჩაჭიდების ძალის ცვლილების კონზომიერების დადგენისათვის გამოკვლეულია გრუნტისა და სალტის რეზინოკორდული გარსის ძვრის წინააღმდეგობების დამოკიდებულება გრუნტის ძვრის სიდიდეზე, დადგენილია, რომ ჩაჭიდების მაქსიმალური შესაძლებლობების რეალიზება

ხდება ავტომობილის ადგილიდან დაძვრის დროს, როცა კონტაქტის სიგრძეზე გრუნტის ტანგენციალური ძვრის განაწილება ახლოს არის თანაბართან, პირიქით არათანაბარი განაწილებისას მცირდება 12...16%-ით.

6. თვლის როგორც გრუნტის ვიბრაციული შემამჭიდროებლის გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტის ვერტიკალურ დინამიკურ დატვირთვაზე $f(G)$ დამოკიდებულების დიაგრამების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დატვირთვის რხევის 1...4 ჰც-ს იზრდება 18...20%-ით, ხოლო 4 ჰც სიხშირეზე გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი იზრდება უფრო მეტად, დაახლოებით 25...30%-ით. სიხშირის 1...4 ჰც დიაპაზონში ავტომობილის შერესორებული და შეურესორებელი მასები ირხევიან როგორც ერთიანი მასა. ეს ფაქტი განსაკუთრებით თვალსაჩინოა თიხნარი გრუნტებისათვის.
7. ტენიანი თიხნარი გრუნტებისათვის (ფარდობითი ტენიანობა 40...50) თვალზე ვერტიკალური დატვირთვის რხევის ამპლიტუდის გაზრდით 1-დან 5,0 კნ-მდე გორვის წინააღმდეგობით იზრდება 1,7...1,8-ჯერ. ე.ი. თვალზე ვერტიკალური დატვირთვის რხევის ამპლიტუდების გაზრდა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტის ზრდის პროგრესულ ხასიათზე. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ რხევის სიხშირის ზრდის გავლენა 1...4 ჰც-ის დიაპაზონში (რაც დამახასიათებელია თვლის თიხნარ გრუნტებზე გორვის პროცესისათვის) უფრო მკაფიოდაა გამოხატული დატვირთვის ამპლიტუდების დიდი სიდიდეებისათვის. აღნიშნული აიხსნება იმით, რომ მაღალ სიხშირეებზე ადგილი აქვს თვლის გრუნტთან კონტაქტის ზონაში გრუნტის ვიბრაციული შემჭიდროების პროცესის მაღალ ინტენსივობას. ამ მოვლენას ადგილი აქვს ავტომობილის ტენიან თიხნარ გრუნტზე 20...30 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობისას.
8. თვლის როგორც გრუნტის ვიბრაციული შემამჭიდროებლის გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტის ვერტიკალურ დინამიკურ დატვირთვაზე $f(G)$ დამოკიდებულების დიაგრამების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დატვირთვის რხევის 1...4 ჰც-ს იზრდება 18...20%-ით, ხოლო 4 ჰც სიხშირეზე გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი იზრდება უფრო მეტად, დაახლოებით 25...30%-ით. სიხშირის 1...4 ჰც დიაპაზონში ავტომობილის შერესორებული და

შეურესორებელი მასები ირხევიან როგორც ერთიანი მასა. ეს ფაქტი განსაკუთრებით თვალსაჩინოა თიხნარი გრუნტებისათვის.

9. ტენიანი თიხნარი გრუნტებისათვის (ფარდობითი ტენიანობა 40...50) თვალზე ვერტიკალური დატვირთვის რხევის ამპლიტუდის გაზრდით 1-დან 5,0 კნ-მდე გორვის წინააღმდეგობით იზრდება 1,7...1,8-ჯერ. ე.ი. თვალზე ვერტიკალური დატვირთვის რხევის ამპლიტუდების გაზრდა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გორვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტის ზრდის პროგრესულ ხასიათზე. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ რხევის სიხშირის ზრდის გავლენა 1...4 ჰც-ის დიაპაზონში (რაც დამახასიათებელია თვლის თიხნარ გრუნტებზე გორვის პროცესისათვის) უფრო მკაფიოდაა გამოხატული დატვირთვის ამპლიტუდების დიდი სიდიდეებისათვის. აღნიშნული აიხსნება იმით, რომ მაღალ სიხშირეებზე ადგილი აქვს თვლის გრუნტთან კონტაქტის ზონაში გრუნტის ვიბრაციული შემჭიდროების პროცესის მაღალ ინტენსივობას. ამ მოვლენას ადგილი აქვს ავტომობილის ტენიან თიხნარ გრუნტზე 20...30 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობისას.