

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

თორნიკე ნეკაშვილი

ძვრისადმი მდგრადი საგზაო ფენილების კონსტრუირება

სადოქტორო პროგრამა: „საგზაო ინფრასტრუქტურა და მიწისქვეშა

ხელოვნური ნაგებობები“

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2021 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
სამშენებლო ფაკულტეტი
საგზაო დეპარტამენტი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი,
პროფესორი - თეიმურაზ მექანარიშვილი

რეცენზენტები: 1. აკადემიური დოქტორი, ვახტანგ ჯღამაია
2. ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი,
პროფესორი, კონსტანტინე მჭედლიშვილი

დაცვა შედგება 2021 წლის 27 თებერვალს, 15⁰⁰ საათზე,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის
საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია
560,

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო
ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ გვერდზე.

ავტორეფერატი დაიგზავნა 2021 წლის “-----“-----.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი
პროფესორი

დ. ტაბატაძე

შესავალი

ნაშრომის აქტუალურობა: თანამედროვე საავტომობილო გზების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მდგომარეობის ერთ-ერთ ძირითად განმსაზღვრელ მახასიათებელს წარმოადგენს საგზაო სამოსის სიმტკიცე. იგი არსებით ზეგავლენას ახდენს ისეთ ფაქტორებზე, როგორცაა მოძრაობის სიჩქარე და უსაფრთხოება. საქართველოს საავტომობილო გზების ქსელის ძირითადი ნაწილი წარმოდგენილია არახისტი საგზაო სამოსებით. დაკვირვებებმა ცხადყო, რომ პროექტირებისას განსაზღვრული მომსახურების ვადის განმავლობაში ადგილი აქვს მთელი რიგი სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მაჩვენებლების შემცირების კომპლექსურ ფაქტორებს. ხსენებული მაჩვენებლების შემცირების ტემპზე არსებითად ზემოქმედებს მოძრავი დატვირთვების ციკლური ბუნება და კლიმატური ფაქტორების ზეგავლენა, რაც მთლიანობაში განაპირობებს მომსახურების ვადების შემცირებას.

წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალობას წარმოადგენს არსებულ ნორმატიულ-ტექნიკურ დოკუმენტაციაში მოცემული არახისტი საგზაო სამოსების გაანგარიშების მეთოდის კრიტიკული შეფასება. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე ნაშრომში დამუშავებულია საგზაო სამოსების ახალი ტიპის საანგარიშო სქემები ვიბრაციული დატვირთვების გათვალისწინებით.

ნაშრომში წარმოდგენილმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ საგზაო სამოსის კონსტრუქციული ფენების პარამეტრების დინამიკური ძალების გათვალისწინებით შერჩევა საშუალებას იძლევა რხევით პროცესებზე ანტიფაზური ზემოქმედებით შემცირდეს მოძრავი დატვირთვებით გამოწვეული ვიბრაციის უარყოფითი გავლენა.

ნაშრომში ასევე დამუშავებულია არახისტი საგზაო სამოსის და მიწის ვაკის დასაფუძვნებელი გრუნტის ვიბრაციული რხევების გავლენა მის

ექსპლუატაციის პერიოდზე, რომლებიც ვითარდება მოძრავი სატრანსპორტო საშუალებებისგან გზის საფარზე დარტყმითი-იმპულსური ზემოქმედების შედეგად. აღსანიშნავია, რომ ნორმატიულ დოკუმენტაციაში წარმოდგენილი საგზაო სამოსის კონსტრუქციის გაანგარიშების მეთოდებში დატვირთვის ეს ფაქტორი არ არის გათვალისწინებული. ამიტომ, პროექტირებისა და მშენებლობის სფეროში თანამედროვე ტექნოლოგიური მიღწევების და ხარისხიანი საგზაო-სამშენებლო მასალების გამოყენების მიუხედავად, არახისტი საგზაო სამოსის ნაადრევი რღვევა დღემდე აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს. ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე იკვეთება აუცილებლობა, დამუშავდეს საგზაო სამოსის ფენების სისქეებისა და მასალის გვარობის დინამიკური ფაქტორების გათვალისწინებით შერჩევის კომპლექსური მეთოდიკა, რომელშიც მაქსიმალურად იქნება ასახული მოძრავი დატვირთვებით გამოწვეული სპეციფიკური ზემოქმედება და პარალელურად მისადაგებული იქნება საქართველოსთვის დამახასიათებელ რთულ და მრავალფეროვან კლიმატურ ფაქტორებთან.

ჩვენს მიერ შემუშავებული არახისტი საგზაო სამოსის გაანგარიშების მეთოდის პრაქტიკაში დანერგვა საშუალებას მოგვცემს, ეკონომიკური ეფექტურობის პირობებში, გავაუმჯობესოთ სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო პარამეტრები და პარალელურად გავზარდოთ მომსახურების ვადები. წარმოდგენილი შედეგი ასევე განაპირობებს ეკოლოგიური მდგომარეობის გააუმჯობესებას.

ეკონომიური ეფექტი:

- რამდენადმე გაზრდილია გეგმიური მოვლა-შეკეთების და საერთო მომსახურების ვადები, რაც მთლიანობაში მნიშვნელოვან ფინანსურ ეკონომიას იძლევა.
- წარმოდგენილი მეთოდით საგზაო სამოსის კონსტრუქციის დანიშვნისას

საშუალება გვეძლევა ძირითადი აქცენტი გაკეთდეს ქვედა ფენებზე, რომლებიც თავის მხრივ იაფფასიან მასალებს წარმოადგენენ და საკონპენსაციოდ მოვახდინოთ ასფალტბეტონის სისქეების მაქსიმალური ოპტიმიზაცია, რაც საშუალებას იძლევა დაიზოგოს დეფიციტური და ძვირადღირებული მასალა.

ეკოლოგიური ეფექტი:

- იქიდან გამომდინარე, რომ შემცირებულია ბიტუმის მოხმარება (ასფალტბეტონის რაოდენობის შემცირების საფუძველზე), რომელიც წარმოადგენს ეკოლოგიურად საკმაოდ მავნე პროდუქტს, მნიშვნელოვნად შეამცირებს გარემოს დაბინძურების ფაქტორს.
- ამავდროულად, რამდენამდე შემცირებულია წარმოების პროცესებისათვის განკუთვნილი ეკოლოგიურად მავნე პროდუქტების მოხმარება და პარალელურად ადგილი აქვს ენერგო რესურსების მნიშვნელოვან დაზოგვას.
- გაზრდილი გეგმიური შეკეთების და მოვლა-შენახვის სამომავლებს შორის ინტერვალი შეამცირებს მშენებლობის პერიოდში მომსახურე მანქანა-მექანიზმების მიერ გარემოში გამოფრქვეულ მავნე აირებსა და ცვეთის შედეგად წარმოქმნილ მყარ ნარჩენებს, რაც ოცდამეერთე საუკუნის ცივილიზაციის პირობებში ნომერ პირველ გლობალურ პრობლემად არის მიჩნეული.

ყოველივე ზემოთქმული საკითხები დეტალურად განხილულია დისერტაციაში, რაც განსაზღვრავს მის აქტუალობას.

კვლევის ობიექტი:

- არახისტი საგზაო სამოსის კონსტრუქცია

დისერტაციის მიზანს წარმოადგენს:

- საველე და ლაბორატორიულ პირობებში არახისტი საგზაო სამოსის კონსტრუქციის ნაადრევი რღვევის გამომწვევი კომპლექური მიზეზების დადგენა და მათი თავისებურებების ანალიზის საფუძველზე გაანგარიშების სპეციალური მეთოდების შემუშავება;
- არახისტი საგზაო სამოსის კონსტრუქციაზე ავტომობილის დარტყმითი ზემოქმედებისას წარმოქმნილი თავისუფალი მილევადი რხევების არსებობის დადასტურება და მათი მნიშვნელობის გაანალიზება;
- არახისტი საგზაო სამოსის რღვევის მეანიზმის გაანალიზება დინამიკური დატვირთვების და ანტიფაზური ძალების მოქმედების გათვალისწინებით.
- თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე არახისტი საგზაო სამოსის კონსტრუქციის მომიჯნავე ფენების პარამეტრების და მასალათა გვარობის შერჩევა მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების კომპლექსური ოპტიმიზაციით.

სამეცნიერო სიახლე:

- საგზაო სამოსების ექსპლუატაციის მრავალწლიანმა დაკვირვებამ აჩვენა, რომ მომსახურების ვადის შემცირების ერთ-ერთ ფაქტორს წარმოადგენს საავტომობილო ტრანსპორტის ვიბრაციული ზეგავლენით გამოწვეული რხევები, რაც არ არის გათვალისწინებული საგზაო სამოსის გაანგარიშების დღემდე არსებულ მეთოდებში. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე ნაშრომის სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს ვიბრაციული დატვირთვებისგან გამოწვეული რხევების გათვალისწინება საგზაო სამოსის საანგარიშო სქემებში და მათი ანტიფაზებით კომპენსირება.
- ვიბრაციული დატვირთვებისგან გამოწვეული რხევების კომპენსირების მეთოდის საფუძველზე დინამიკური მახასიათებლების და მასალის გვარობის კომპლექსური შერჩევა.

- არახისტი საგზაო სამოსის კონსტრუქციის სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდის შემუშავება მომიჯნავე ფენების დინამიკური ანტიფაზური ძალების მოქმედების პარციალური სიხშირის თანაფარდობის სათანადო შერჩევის და გათვალისწინების გზით.

სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება:

- შექმნილია ვიბრომედეგი საგზაო სამოსის კონსტრუქციები დინამიკური მახასიათებლების და მასალის გვარობის კომპლექსური ოპტიმიზაციის გზით.
- ვიბრომედეგი საგზაო სამოსის კონსტრუქციების გამოყენება იძლევა შესაძლებლობას გავზარდოთ გეგმიური შეკეთების და რეაბილიტაციებს შორის პერიოდი, რომელიც მოგვცემს მნიშვნელოვან ეკონომიურ ეფექტს.
- აღნიშნული მეთოდით დაპროექტებული საგზაო სამოსის კონსტრუქციის გამოყენების შემთხვევაში ხდება ნავთობპროდუქტების რაციონალური ხარჯვა, რაც განსაკუთრებით გრძელვადიან პერსპექტივაში დადებითად აისახება, როგორც ეკოლოგიური კუთხით ასევე ქვეყნის საერთო ეკონომიკაზე.
- მკვრივი და ფოროვანი ასფალტბეტონის სისქეების მაქსიმალური ოპტიმიზაცია საშუალებას იძლევა დაიზოგოს დეფიციტური მასალა და მოგვცეს ეკონომიური ეფექტი.

არახისტი საფარის ნაადრევი რღვევა გამოწვეულია ობიექტური და სუბიექტური მიზეზების მთელი კომპლექსით:

- ბოლო წლებში სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობის მკვეთრი მატება, რაც იწვევს მოძრაობის ინტენსივობის და საექსპლუატაციო ვადაში გზის კონსტრუქციის დატვირთვების რაოდენობის შესაბამის ზრდას.
- მოხდა ხარისხობრივი ცვლილებები სატრანსპორტო ნაკადების

სტრუქტურაში, კერძოდ: გაიზარდა მძიმე მრავალღერძიანი სატვირთო მანქანებისა და ავტომატარებლების წილი ღერძზე გაზრდილი დატვირთვით.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:

- სადისერტაციო ნაშრომი შედგება: შესავლის , სამი თავის (ლიტერატული მიმოხილვა, კვლევის შედეგები და მათი განსჯა, დასკვნა) და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. ნაშრომი წარმოდგენილია 115 ნაბეჭდ გვერდზე. იგი შეიცავს 27 ნახაზსა და 14 ცხრილს.

ნაშრომის აპრობაცია:

დისერტაციო მასალები მოხსენებული იქნა:

- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 86-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე. თბილისი 2018.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები და ზოგადი დასკვნები:

პირველ თავში განხილულია ასფალტბეტონის სტრუქტურული მდგრადობის საკითხები; ასფალტბეტონის ბზარების მიმართ მდგრადობის უზრუნველყოფის თეორია; ბზარების მიმართ მდგრადობის შეფასების მეთოდები; ვიბრაციის სპეციფიკური ზეგავლენა არახისტ საგზაო სამოსზე და მის გამძლეობაზე. აგრეთვე აღწერილია ვიბრაციული პროცესების დამახასიათებელი სპეციფიკური თვისებები.

მეორე თავში მოცემულია ვიბრაციული დატვირთვების გათვალისწინება არახისტ საგზაო სამოსების გაანგარიშების ახალი მეთოდის შედგენისას. საგზაო სამოსების ფენებში ვიბრაციის გავრცელება დამოკიდებულია კონკრეტული მასალის საკუთრივ დინამიკურ პარამეტრებზე (მასა, სიმტკიცე, დისიპაციის დონე), რაც საგზაო სამოსების ვიბრაციული დატვირთვის შემცირებული დონით ლავირების ფართო შესაძლებლობებს იძლევა.

რხევითი პროცესების კვლევისას საჭირო არ არის სტატისტიკური დატვირთვის გათვალისწინება, რადგან სამოსის კონსტრუქციის სტატისტიკური დეფორმირების ძალები აბალანსებენ სტატისტიკურ დატვირთვას. ამ დატვირთვის სიდიდე საგზაო სამოსის სიხისტის პარამეტრების მიხედვით ქმნის სტატისტიკური წონასწორობის ხაზს, რის შესაბამისადაც ფიქსირდება საგზაო სამოსების ფენების მასების რხევითი მოძრაობა.

სამოსის კონსტრუქციის დინამიკური დატვირთვის ძირითად სახეობად გვევლინება მისი ელემენტების ვიბრაცია. საველე კვლევებმა აჩვენა, რომ სამოსის კონსტრუქციის დატვირთვა არა მხოლოდ მოძრავი საავტომობილო ტრანსპორტიდან ხორციელდება, არამედ საგზაო ფენების საკუთარი მრავალსიხშირიანი ვიბრაციის ხარჯზეც. ეს ვიბრაცია წარმოადგენს მრავალფენიანი საგზაო სამოსის და მიწის ვაკისის გრუნტის თავისუფალი მიღევადი რხევების პროცესს. ფენების ერთობლივი რხევების წარმოქმნისას ფორმირდება ვიბრაციული პროცესები, რომლებიც ხასიათდება სამოსის კონსტრუქციის თავისუფალი რხევების საერთო სიხშირეებით, რომელთა რაოდენობა შეესაბამება ვერტიკალურ სიბრტყეში თავისუფლების ხარისხებს ან ფენების რაოდენობას, მიწის ვაკისის გრუნტის ჩათვლით.

სამოსის კონსტრუქციის დეფორმირების მთელი პროცესი საანგარიშო მონაკვეთებში შეიძლება დაიყოს ორ ეტაპად:

I ეტაპი - სატრანსპორტო საშუალებების საავტომობილო გზაზე მოძრაობისას სამოსის კონსტრუქციის ყოველ მონაკვეთზე მოქმედებს დამაბულობის სწრაფად მოქმედი იმპულსების დიდი რაოდენობა. მათი სიდიდე და ხანგრძლივობა დამოკიდებულია სატრანსპორტო საშუალებების სიჩქარეზე და ტიპებზე. აგრეთვე, ბორბლის შეხების ფართზე და საფარზე არსებული დინამიკური უსწორმასწორობის გამო ადგილი აქვს მათი გავლენის ურთიერთქმედების პროცესს. ეს ორი ფაქტორი წარმოადგენს ავტომობილის გავლის შემდეგ ფორმირებულ რხევების წარმოქმნისას სამოსის კონსტრუქციის

ფენებში. დატვირთვის იმპულსური ხასიათი და მცირე დარტყმითი ზემოქმედება განაპირობებს სამოსის კონსტრუქციის რხევების წარმოქმნას, სწორი საფარის არსებობის შემთხვევაშიც.

II ეტაპი - სამოსის კონსტრუქციაში ავტომობილის გავლის შემდეგ ვითარდება ფენების და დასაფუძვნილებელი მიწის ვაკისის გრუნტის თავისუფალი მილევადი რხევების პროცესი ანუ ე.წ. „ვიბრაციული დატვირთვა“.

სამოსის კონსტრუქციის საგზაო საექსპლუატაციო ვარგისიანობის და გამძლეობის გასაზრდელად აუცილებელია შემცირდეს მათი რხევების დონე. ვინაიდან კონსტრუქციის ელემენტების რხევები თავისუფალია, რხევების დონეების შემცირების ძირითადი მექანიზმი უკავშირდება თვით საგზაო ფენების დინამიკური პარამეტრების ცვლილებას. აუცილებელია მომიჯნავე საგზაო ფენების დინამიკური ძალების მოქმედების ანტიფაზური პრინციპის რეალიზება. ამ შემთხვევაში, რხევების დროს თითოეულ ფენაში წარმოქმნილი დინამიკური ძალები დაუპირისპირდებიან მომიჯნავე ფენის ანალოგიურ ძალებს, რითაც შეამცირებენ დინამიკურ დატვირთვას როგორც ცალკეულ ფენებში, ისე მთელ კონსტრუქციაში. მომიჯნავე ფენების დინამიკური ძალების ანტიფაზური მოქმედება ხორციელდება პარციალური სიხშირის თანაფარდობის სათანადო შერჩევის გზით. სიხშირეების ეს თანაფარდობა შეიძლება გარდაიქმნას მომიჯნავე ფენების სისქეებისა და მასების თანაფარდობაში.

ვიბრომედეგი სამოსის კონსტრუქციის გაანგარიშება უნდა დაეფუძნოს მომიჯნავე ფენების სისქეების ოპტიმალურ თანაფარდობას. საგზაო სამოსის ფენების სისქეების თანაფარდობა უნდა გაანგარიშდეს პარციალური სიხშირეების შესაბამისი შეთავსების საფუძველზე ისე, რომ უზრუნველყოფილი იქნას მომიჯნავე ფენების დინამიკური ძალების მოქმედების ანტიფაზურობის პრინციპი.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეთოდით არახისტი საგზაო სამოსის გაანგარიშება დამატებით უნდა მოიცავდეს შემდეგ ეტაპებს:

- ჯაჭვური დინამიკური მოდელის ფორმირება, რომელიც შეესაბამება მომიჯნავე ფენების პარციალური სიხშირეების კომბინაციის შესაბამის შერჩევას, სამოსის კონსტრუქციის რხევების დინამიკურ მაჩვენებლების პარალელურად.
- სამოსის კონსტრუქციის დინამიკური ჩალუნვების ამპლიტუდური საანგარიშო მახასიათებლების განსაზღვრა.
- ჩალუნვების დინამიკური ამპლიტუდების მოდელირება.

ვიბრაციული დატვირთვის გათვალისწინებით, არახისტი საგზაო სამოსების გაანგარიშების მეთოდიკას უნდა დაემატოს საანგარიშო დატვირთვის დინამიკური (ვიბრაციული) განსაზღვრის ალგორითმი. ასეთი ალგორითმის მეთოდის ილუსტრაციისთვის გამოიყენება ფენებში დინამიკური ძალების ვიბრო-დონეების შეფასების კრიტერიუმები. ამ ალგორითმის დახმარებით გამოთვლილი საანგარიშო დატვირთვის სრული რაოდენობა საშუალებას მოგვცემს გაანგარიშების ეფექტი მივმართოთ დრეკადი ჩალუნვისადმი მდგრადობის არსებითი ამაღლებისაკენ.

მაგალითის სახით, საგზაო სამოსის კონსტრუქციის გაანგარიშებისას ვხელმძღვანელობთ მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტით ОДН 218.046-01, სადაც მეორე ტექნიკური კატეგორიისათვის საექსპლუატაციო ხანგრძლივობა განსაზღვრულია 15 წლით. ჩავთვალოთ, რომ საექსპლუატაციო ვადის ბოლოს მოძრაობის ინტენსივობის დაყვანილი მაჩვენებელი შეადგენს 1800 მანქ/დღე-ღამე, ხოლო ინტენსივობის პერსპექტიული მატება ყოველწლიურად - 4%.

ვიბრაციული დატვირთვის გათვალისწინების გარეშე, საანგარიშო დატვირთვის ჯამურმა საანგარიშო რაოდენობამ, საავტომობილო გზის 15 წლის ექსპლუატაციის პერიოდში უნდა შეადგინოს $\sum N_p = 2.927.209$ ავტ.

დასაშვები დრეკადი ჩალუნვის გამოსათვლელად, ვიყენებთ საანგარიშო დატვირთვიდან გამომდინარე საერთო მოთხოვნადი დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობას, რამაც უნდა შეადგინოს არა ნაკლებ 220 მპა, ხოლო მარაგის კოეფიციენტი 1,2-ზე დაბალი არ უნდა იყოს.

ΣN_F -ის გათვალისწინებით, მივიღებთ, რომ სამოსის კონსტრუქციის მოთხოვნადმა დრეკადობის მოდულმა ზემოთ ხსენებული მარაგის კოეფიციენტის და პერსპექტიული ინტენსივობის მატების გათვალისწინებით უნდა შეადგინოს არა ნაკლებ 288 მპა.

დასმული პრინციპიალური ამოცანის გადასაწყვეტად ჩვენს მიერ მოდელირებული იქნა 6 ერთული ნაირსახეობის საგზაო სამოსის კონსტრუქცია (შემადგენელი მასალების სახესხვაობებისა და სისქეების ვარიაციებით). ქვემოთ მოცემულ ცხრილებში ასახულია ხსენებული კონსტრუქციების ამგები ინვიდუალური მასალების და სათანადო სისქეების მაჩვენებლები, რომელიც მთლიანობაში აკმაყოფილებს ზემოთხსენებული ნორმებით გათვალისწინებულ დრეკადობის მოდულს.

ხსენებული ვარიანტებისთვის დრეკადი ჩალუნვის სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტების გათვალისწინებით ვასკვნით, რომ 1-5 ვარიანტებს გააჩნიათ დრეკადობის მოდულის მარაგის კოეფიციენტები მოთხოვნილ მინიმუმზე ქვემოთ (ანუ ნაკლები 1,2-ზე).

სამოსის კონსტრუქციის ამგები ფენების სისქეები და სათანადო დინამიკური პარამეტრები (ვარ. 1-5). **ცხრილი 1.**

ვარ-ის №	დინამიკური პარამეტრები														
	ფენის სისქე, მ					მასა, კნ*ს²/მ					სიმტკიცე, კნ/მ*10³				
	$h_{1ბრ}$	$h_{1კარ}$	$h_{2შავ}$	$h_{2ფრა}$	h_5	$m_{1ბრ}$	$m_{1კარ}$	$m_{2შავ}$	$m_{2ფრა}$	m_5	$c_{1ბრ}$	$c_{1კარ}$	$c_{2შავ}$	$c_{2ფრა}$	c_5
1	0,04	0,05	0,10	0,27	0,30	1,82	2,18	3,80	9,23	10,54	128	100	60	94,5	30
2	0,04	0,15	0,11	0,17	0,20	1,82	6,55	4,18	5,81	7,03	128	300	66	59,5	20
3	0,05	0,09	0,11	0,17	0,20	2,28	3,93	4,18	5,81	7,03	160	180	66	59,5	20
4	0,05	0,13	0,11	0,12	0,25	2,28	5,68	4,18	4,10	8,79	160	260	66	42,0	25
5	0,05	0,07	0,08	0,18	0,30	2,28	3,06	3,04	6,15	10,54	160	140	48	63,0	30

სამოსის კონსტრუქციის ამგები ფენების დრეკადობის. ცხრილი 2.

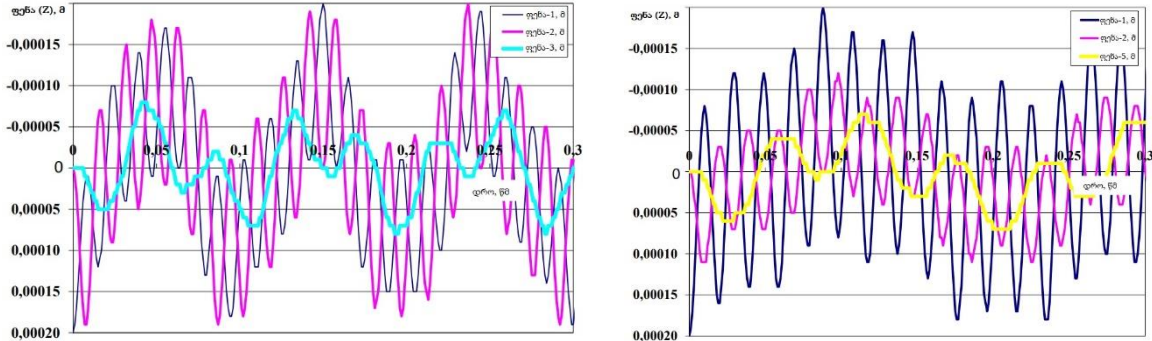
ვარიანტის №	დრეკადობის მოდული მჰა					K _{პარ}	სამოსის საერთო სისქე, სმ	C _{სრ} *103, კნ/მ
	ქვიშა	ფრ. ლორდი	შავი ლორდი	ა/ზ ფოროვ.	ა/ზ მკვრივი			
1	100	189	234	280	320	1,45	76	243,2
2	100	154	210	430	448	2,03	67	300,16
3	100	154	210	310	352	1,60	62	218,24
4	100	133	180	330	384	1,74	66	253,44
5	100	157,5	189	240	320	1,45	68	217,60

მოდულების და საერთო (სრული) დრეკადობის მოდულები (ვარ. 1-5).

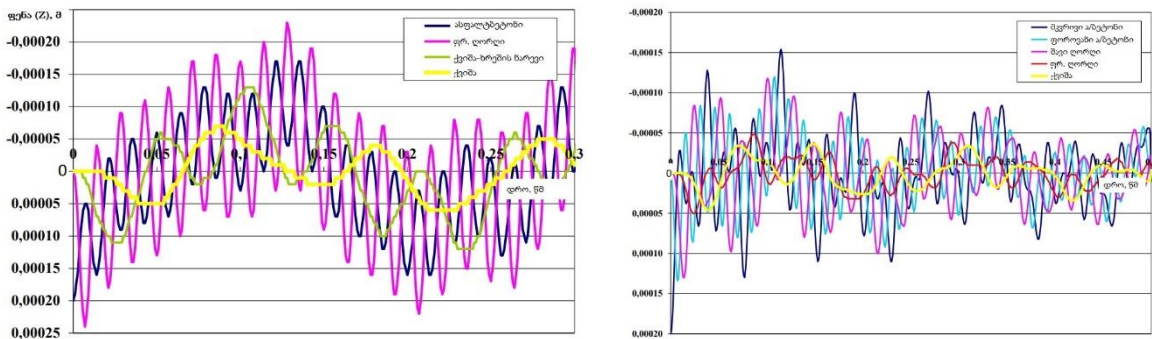
ზემოთ მოცემული ცხრილებიდან იკვეთება, რომ ყველაზე მაღალი საერთო დრეკადობის მოდული გააჩნია იმ ვარიანტის კონსტრუქციას, რომელშიც მაღლი საკუთრივი დრეკადობის მოდულის მქონე მასალის მაღალი სისქეებია გამოყენებული. ხსენებული მაღალი საკუთრივი დრეკადობის მოდულის მქონე მასალა ბიტუმინერალური შემკვრელით არის წარმოდგენილი. ცხრილში მოცემული ვარიანტებიდან ამ ეტაპისთვის რაციონალურ გადაწყვეტილებად შეიძლება ჩაითვალოს მე-5 ვარიანტი, რადგანაც ზედაპირის საერთო დრეკადობის მოდული რამდენადმე აჭარბებს ნორმებით გათვალისწინებულ მოთხოვნად დრეკადობის მოდულს, სადაც ამ უკანასკნელში გათვალისწინებულია მარაგის და პერსპექტიული ინტენსივობის მატების კოეფიციენტები. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ თავის მხრივ მეორე ვარიანტი აგრეთვე რამდენადმე აჭარბებს მეხუთე ვარიანტის საერთო დრეკადობის მოდულს, თუმცა მეხუთე ვარიანტი მასალების ოპტიმიზაციით და ეკონომიკური ეფექტიანობით ბევრად აღემატება მეორე ვარიანტს.

მიუხედავად იმისა, რომ ჩამოთვლილი ხუთი ვარიანტიდან ყველა მათგანის შემთხვევაში დაკმაყოფილებულია მოთხოვნადი დრეკადობის მოდული (მეტნაკლები გადაჭარბებით), თუმცა არსად არ არის ვიზრაციული დატვირთვების უარყოფითი ზეგავლენა. ამ უკანასკნელი ფაქტორის

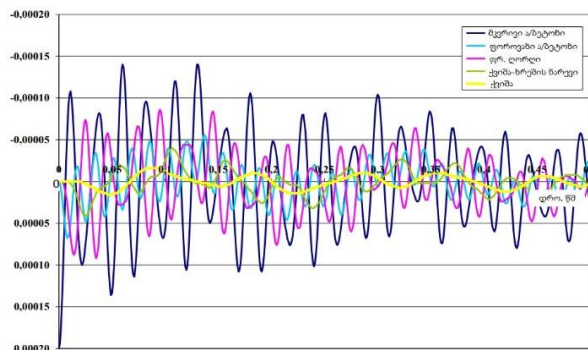
თვალსაჩინოებისათვის აგებული იქნა გრაფიკები, სადაც ნათაღ ჩანს ზემოთხსენებული ვარიანტების ამგები კონსტრუქციული ფენების ვიბრაციული ბუნება მოძრავი დატვირთვების ზემოქმედების ფონზე.



ნახ. 1. საგზაო სამოსის ფენების გადაადგილების დროზე დამოკიდებულება თავისუფალი რხევების პირობებში. მარცხნიდან ვარიანტი №1 და №2



ნახ. 2. საგზაო სამოსის ფენების გადაადგილების დროზე დამოკიდებულება თავისუფალი რხევების პირობებში. მარცხნიდან ვარიანტი №3 და №4



ნახ. 3. საგზაო სამოსის ფენების გადაადგილების დროზე დამოკიდებულება თავისუფალი რხევების პირობებში. ვარიანტი №5

როგორც, ზემოთ მოცემული გრაფიკებიდან იკითხება ყველაზე მაღალი ვიბრაციის გავრცელების სიხშირე ფიქსირდება მე-5 ვარიანტში, ხოლო

ამპლიტუდა ყველაზე დაბალია. საწინააღმდეგო გარემოებაა პირველ ვარიანტში, სადაც გავრცელების სიხშირე ყველაზე დაბალია, ხოლო ამპლიტუდა კი - ყველაზე მაღალი. ხსენებული გარემოებებიდან გამომდინარე ვიბრაციული ზეგავლენის უარყოფითი ფაქტორი პირველი და მეხუთე ვარიანტის კონსტრუქციებში იწვევს ძვრის დეფორმაციებს.

წარმოდგენილ გრაფიკებზე დაყრდნობით საშუალება გვეძლევა გავანალიზოთ კონკრეტული ნაირსახეობის მასალაში ვიბრაციის გავრცელების ხასიათი (სიხშირე და ამპლიტუდა). აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ვიბრაციის გავრცელების ამპლიტუდა დამოკიდებულია მასალის გვარობაზე, ხოლო სიხშირე კი მასალის სისქეზე. ვინაიდან შერჩეული მასალების ნაირსახეობები ფიქსირებულია მოქმედი ნორმატივებით და მათი გაუმჯობესება დისერტაციის მიზანს არ წარმოადგენს ლავირებას ვახდენთ საგზაო სამოსის ამგები მასალების სისქეებზე, რომელთა გაზრდითაც საშუალება გვეძლევა შევამციროთ ვიბრაციის გავრცელების სიხშირე. აღნიშნული ვითარებიდან გამომდინარე პარციალური სიხშირეების თნაფარდობის ოპტიმიზაციით შესაძლებელია მეხუთე ვარიანტით წარმოდგენილი კონსტრუქცია (რომელიც გამოირჩევა მასალების ოპტიმიზაციით და ეკონომიკური ეფექტიანობით) წარმოვაჩინოთ გაუმჯობესებული პარამეტრებით, რომელიც განხილულია ქვემოთ მოცემულ ცხრილში მე-6 ვარიანტის სახით.

საგზაო სამოსის ქვედა ფენების სისქის გაზრდით შესაბამისად მცირდება ვიბრაციის გავრცელების ფაქტორი, ამავდროულად იზრდება სიმტკიცის საერთო მაჩვენებელი. საერთო დრეკადობის მოდული მე-5 ვარიანტისთვის შეადგენს 320 მპა, ხოლო მე-6 ვარიანტისთვის 352 მპა. სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი მე-5 და მე-6 ვარიანტების შემთხვევაში შესაბამისად შეადგენს 1,45-ს და 1,60-ს. მაგალითისთვის, ჩვენს მიერ განხილულ მე-4 ვარიანტს

საერთო დრეკადობის მოდული გააჩნია 284 მპა-ს ოდენობით, ხოლო სიმტკიცის საერთო კოეფიციენტი 1,74.

სამოსის კონსტრუქციის მე-5 ვარიანტის ოპტიმიზაცია დინამიკური პარამეტრების გათვალისწინებით. ვარიანტი 6. **ცხრილი 3.**

კონსტრუქციის ფენები	დინამიკური პარამეტრები				დინამიკური ძალები, კნ
	ფენის სისქე, მ	ფენის მასა, კნ/ს ² /მ	ფენის სიმტკიცე, კნ/მ*10 ³	პარციალური სიხშირე, ჰერცი	
ა/ზ მკვრივი	0,05	2,28	160	42,18	2,77
ა/ზ ფოროვანი	0,07	3,06	140	49,87-36,4-34,0	4,07
შავი ლორღი	0,08	3,04	48	39,6-34,2-20,0	3,23
ფრაქც ლორღი	0,30	10,26	105	19,4-10,89-16,1	6,36
ქვიშა	0,40	14,06	40	16,2-13,8	5,91

მოძრავი ბორბლის ქვეშ საგზაო სამოსის ჩალუნვების მნიშვნელობები განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$I = \frac{P \times D}{E_{საერთო}} (1 - \mu^2), \quad (1)$$

სადაც P არის მანქანის წონა. P=0.6 მპა, D=0,37m, $\mu=0.3$ $I_{საანგარიშო} = 0,202 \cdot 1 \frac{1}{E_{საერთო}}$

ვიბრაციული დატვირთვის ძალური დონეების შესაფასებლად, დინამიკური ჩალუნვებიდან გადავიდეთ დინამიკურ დატვირთვებზე პირველი ფორმულიდან მიღებული დამოკიდებულების მიხედვით.

$$P_{ვვ} = \frac{l \times E_{საერთ.}}{D \times (1 - \mu^2)} \quad (2)$$

სადაც, l - სამოსის კონსტრუქციის დინამიკური ჩალუნვაა, ხოლო P_{ვვ} - ვიბრაციული დატვირთვა, მპა.

საანგარიში დატვირთვის დაყვანის საერთო რაოდენობა ვიბრაციული ფაქტორის გათვალისწინებით, განისაზღვრება როგორც:

$$\sum N_{p ვობ} = (S_n + 1) \sum N_p \quad (3)$$

სადაც, N_p - საექსპლუატაციო პერიოდში საანგარიში დატვირთვის დატანის ჯამური გაანგარიშებული რაოდენობაა.

საგზაო სამოსების კონსტრუქციის ვარიანტების მიხედვით S_n მაჩვენებლის მიღებული მნიშვნელობების შესაბამისად N_p ვიხ გაუტოლდება: ვარიანტი-2. $N_p=15.423.464$; ვარიანტი-3. $N_p=7.110.190$; ვარიანტი-4. $N_p=6.779.416$; ვარიანტი-6. $N_p =3.735.118$

საგზაო სამოსის სიმტკიცის მოთხოვნილი მოდული გამოვთვალოთ მე-12 ფორმულით, შესაბამისად მივიღებთ: ვარიანტი-2. $E_{საჟ}=359$ მპა; ვარიანტი-3. $E_{საჟ}=326$ მპა; ვარიანტი-4. $E_{საჟ}=324$ მპა; ვარიანტი-6. $E_{საჟ}=298$ მპა.

$K_{პრ}=1,2$ დასაშვები დრეკადი ჩაღუნვით სიმტკიცის მარაგის მინიმალური კოეფიციენტის უზრუნველსაყოფად საგზაო სამოსის სიმტკიცის საერთო მოდულებს ვიბრაციის გათვალისწინებით უნდა ქონდეთ შემდეგი მნიშვნელობები: ვარიანტი-2. $E_{საჟ}=431$ მპა; ვარიანტი-3. $E_{საჟ}=391$ მპა; ვარიანტი-4. $E_{საჟ} =389$ მპა; ვარიანტი-6. $E_{საჟ}=357$ მპა

სიმტკიცის საერთო მოდული ვიბრაციის გათვალისწინების გარეშე შეადგენს: ვარიანტი-2. $E=448$ მპა; ვარიანტი-3. $E=352$ მპა; ვარიანტი-4. $E=384$ მპა; ვარიანტი-6. $E=352$ მპა.

დრეკადობის ზოგადი მოდულების შედარებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ $K_{პრ}=1.2$ -ს დრეკადობის მოდულებით, ვხედავთ რომ ვიბრაციული დატვირთვის გათვალისწინებით, დრეკადი ჩაღუნვით საგზაო სამოსის სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად, საჭიროა გაიზარდოს სიმტკიცის მოდული საგზაო სამოსის კონსტრუქციისთვის მე-3 ვარიანტში 39 მპა-ით, მე-4 ვარიანტში 6 მპა-ით, და მე-6 ვარიანტში 5 მპა-ით.

აქედან გამომდინარეობს, რომ ვიბრაციული ფაქტორის გათვალისწინებით, არ შეინიშნება პირდაპირი დამოკიდებულება დრეკადი ჩაღუნვის საჭირო სიმტკიცის უზრუნველყოფასა და E დრსაერთო სიდიდეს შორის. ამ ფაქტორის გათვალისწინებით სიმტკიცის მაჩვენებლების უზრუნველსაყოფად, პირველ რიგში უნდა განხორციელდეს ვიბრაციის დაბალი დონის უზრუნველმყოფელი საგზაო სამოსის ფენების სისქის ან

სიხშირის თანაფარდობების დინამიკური შერჩევა. მაგალითად $E_{\text{დრსრული}}$ და $E_{\text{სრული}}$ სიდიდის შედარება მე-3 და მე-6 ვარიანტებში, რომელთაც ერთნაირი $E_{\text{სრული}}=352$ მპა აქვთ აჩვენებს, რომ მე-3 ვარიანტში აუცილებელია $E_{\text{სრული}}$ -ის გაზრდა 39 მპა-ით და მე-6 ვარიანტში მხოლოდ 5 მპა-ით.

ვიბრო დატვირთვის გათვალისწინებისას საგზაო სამოსის ყველა კონსტრუქციული ვარიანტიდან, მე-6 ვარიანტის ჩათვლით, არ აკმაყოფილებს სიმტკიცის მაჩვენებლებს, სიმტკიცის მარაგის მოთხოვნილი მინიმალური კოეფიციენტით, მთელი დაგეგმილი საექსპლუატაციო ვადის განმავლობაში. თუმცა, სხვა ვარიანტებთან შედარებით, მე -6 ვარიანტი მოითხოვს მინიმალურ გამკვრივებას. ამასთან დაკავშირებით, მივიღებთ ამ კონსტრუქციულ ვარიანტს, როგორც საფუძველს საგზაო სამოსის ვიბროდაცული კონსტრუქციის ფორმირებისთვის.

ყველა შესწავლილი კონსტრუქციული ვარიანტისთვის სამოსის ფენებში საკუთრივი სიხშირეების განაწილების აგებული გრაფიკების რიცხოვრივი მნიშვნელობები შეტანილია ცხრილში, სადაც სიხშირეების აღნიშვნები შეესაბამება დიფერენციალურ განტოლებებს.

სამოსის ამგები ფენების სიხშირეების განაწილების ცხრილი. **ცხრილი 4.**

ვარიანტის №	წრიული რხევა. რად/წმ											
	$\omega_{1\text{მკ}}$	$\omega_{1\text{ფორ}}$	$\omega'_{1\text{მკ}}$	$\omega'_{1\text{ფორ}}$	$\omega_{2\text{შლ}}$	$\omega'_{2\text{შლ}}$	$\omega'_{2\text{ფლ}}$	$\omega_{2\text{ფლ}}$	$\omega'_{2\text{ფლ}}$	$\omega'_{2\text{ფლ}}$	ω'_{5}	ω'_{5}
1	265	214	242	323	126	162	205	101	80	129	95	109
2	265	214	140	256	126	268	296	101	107	147	92	106
3	265	214	202	294	126	207	243	101	107	147	92	106
4	265	214	168	272	126	249	279	101	127	162	69	87
5	265	214	229	313	126	215	249	101	88	134	77	94

განტოლებების შესაბამისად, ხუთფენიან საგზაო სამოსში შეიძლება გამოიყოს სიხშირეების სამი ჯგუფი - პარციალური სიხშირეები ან მომიჯნავე ფენების მყარი ურთიერთკავშირის სიხშირეები - $\omega_{1\text{მკ}}$, $\omega_{1\text{ფორ}}$, $\omega'_{2\text{შლ}}$, $\omega'_{2\text{ფლ}}$, ω'_{5} ; ფენების საკუთარი სიხშირეები, თუ ფენებს წარმოვიდგენთ როგორც ერთ

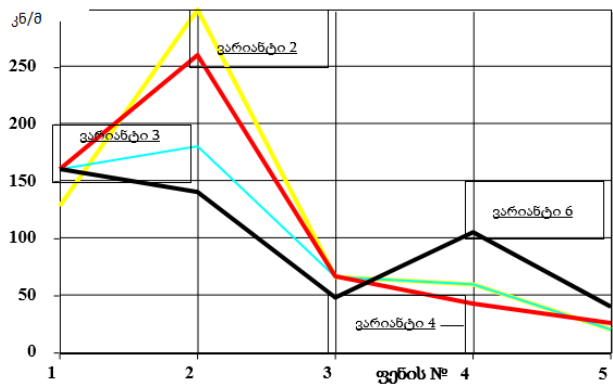
ეტაპიან ობიექტებს $ა1_{კვ}$, $ა1_{ფორ}$, $ა2_{შლ}$, $ა2_{ფ}$; და სიხშირის კოეფიციენტები $ა1_{ფორ}$, $ა2_{შლ}$, $ა2_{ფ}$, $აჯ$. ამასთან გამოყენებულია შემდეგი აღნიშვნები: $1_{ა33}$ - საფარის ზედა ფენა მკვრივი ასფალტბეტონისგან, $1_{ფორ}$ - საფარის ქვედა ფენა ფოროვანი ასფალტ ბეტონისგან, $2_{შლ}$ - საფუძვლის ზედა ფენა შავი ღორღისგან, $2_{ფლ}$ - საფუძვლის ქვედა ფენა ფრაქცირებული ღორღისგან, 5 - ქვესაგები ფენა ქვიშისგან.



ნახ. 4. სიხშირეების განაწილება საგზაო სამოსის ფენებში

გრაფიკი ასახავს საგზაო სამოსის ფენების სიხშირეთა თანაფარდობის თავისებურებებს ყოველი კონსტრუქციული ვარიანტისთვის. გრაფიკულ დამოკიდებულებებს აქვთ ოთხი საერთო წერტილი საგზაო სამოსის ფენების საკუთარი სიხშირეების მიხედვით $ა$, ამ წერტილებს შორის მომიჯნავე ფენების დრეკადი ურთიერთკავშირის სიხშირეები და სიხშირის კოეფიციენტებია, რომლებიც შემდგომ საერთო ვიბრაციულ ფონს ქმნიან. ზუსტად ეს სიხშირეები ახასიათებენ საგზაო სამოსის რხევითი ფენების საერთო ურთიერთქმედებას.

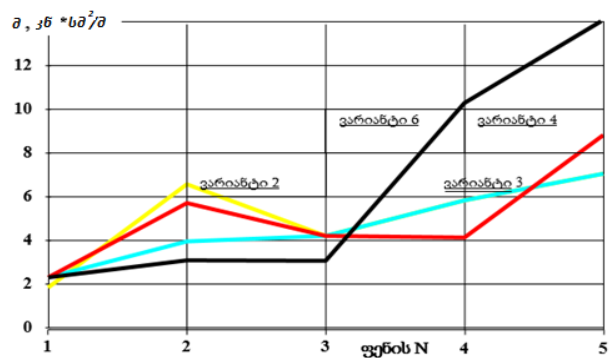
რადგან სიხშირეები წარმოადგენს საგზაო სამოსის ფენების მასის და სიხისტის ფუნქციებს, გამოვიკვლიოთ ამ პარამეტრების განაწილება სხვადასხვა კონსტრუქციული ვარიანტების ფენებში. ნახ.5-ზე წარმოდგენილია სიხისტეების განაწილება საგზაო სამოსის ფენებზე



ნახ. 5. სიხისტეების განაწილება საგზაო სამოსის ფენებზე

ამ გრაფიკზე ვიბროდაცულობის კონსტრუქცია უფრო მკაფიოდაა გამოსახული. სამოსის კონსტრუქციის ვიბრო დატვირთვის შესამცირებლად აუცილებელია შავი ღორღის საფარსა და ფენაში სიხისტის შემცირება (სიმტკიცის მაჩვენებლებთან დაკავშირებულ გარკვეულ ზღვრამდე), და ფრაქცირებული ღორღის და ქვიშის ფენაში გაზრდა.

განვიხილოთ საგზაო სამოსის ფენების მასის განაწილება (ნახ. 3). აქედან გამომდინარეობს, რომ ყველაზე სასურველი კონსტრუქცია მცირე მასებით ზედა სამ ფენაშია და დიდი მასები თქვედა ფენებში.



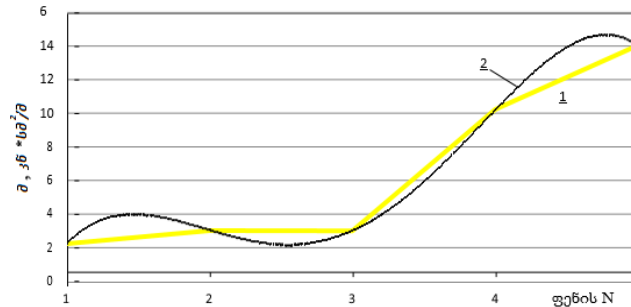
ნახ. 6. მასის განაწილება საგზაო სამოსის ფენებზე

მე-5 და მე-6 გრაფიკების შედარებით ვხედავთ რომ საგზაო სამოსის სამი ზედა ფენისთვის აუცილებელია ერთდროულად შემცირდეს სიხისტის და მასის სიდიდეები და გაიზარდოს იგივე პარამეტრები ქვედა ფენებში. სიხშირეებმა წარმოქმნილმა როგორც სიხისტის და მასის დამოკიდებულება, ამ პარამეტრების შეცვლისას შეიძლება შეინარჩუნონ თავიანთი თავდაპირველი მნიშვნელობა.

საგზაო სამოსების კონსტრუირებისას, როდესაც ხდება ვიბრაციული ფაქტორის გათვალისწინება პროექტირების და გაანგარიშების არსებული მეთოდების დებულებების შეცვლის გარეშე, აუცილებელია გაანგარიშდეს არა თვით საგზაო სამოსის ფენების სისქეები, არამედ მათი თანაფარდობა მომიჯნავე ფენებისთვის.

ასეთი თანაფარდობის ალგორითმის შესაქმნელად ჩვენ გამოვიყენებთ მე-6 ვარიანტის საგზაო სამოსის პარამეტრებს, რომელსაც აქვს ყველაზე დაბალი მაჩვენებელი S_n . ნახ. 6-დან ამ ვარიანტისთვის გამოვყოფთ მასის გავრცელების ხაზს და დამატებით ავაგებთ პირველი ფენის მასასთან საგზაო სამოსის ყველა ფენის შეფარდების გრაფიკულ დამოკიდებულებას.

ნახ. 7-ზე ნაჩვენებია ტეხილი ხაზი 1, რომელიც წარმოადგენს საგზაო სამოსის ფენებზე მასების განაწილებას.



ნახ. 7. მასების განაწილება საგზაო სამოსის ფენებზე (ვარიანტი 6)

საგზაო საფარის ფენების სისქეების აუცილებელი შერჩევის მათემატიკურ მოდელს, ვიბროდაცული საგზაო სამოსის ფორმირებისთვის აქვს შემდეგი სახე:

$$h_i = (-0.3417i^{-4} + 4.0043i^{-3} - 15.659i^{-2} + 24.413i - 11.417) \frac{\rho_1}{\rho_i} * h_1, \text{მ} \quad (4)$$

ამ მათემატიკური მოდელის საფუძველზე საგზაო სამოსის ფენების სიხისტის აუცილებელი თანაფარდობა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$c_1 = (-0,779i^4 + 9,1295i^3 - 35,70i^2 + 55,661i - 26,03) \frac{\rho_1}{\rho_i} * h_1 * E_i * 10^3, \text{კნ/მ} \quad (5)$$

აუცილებელი ფენების საკუთარი სიხშირეები, რაც გამოითვლება ფორმულების საფუძველზე, შეიძლება განისაზღვროს, შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$\omega_i = \sqrt{\frac{(-0.3417i^{-4} + 4.0043i^{-3} - 15.659i^{-2} + 24.413i - 11.417)}{(-0.3417i^{-4} + 4.0043i^{-3} - 15.659i^{-2} + 24.413i - 11.417)}} * \frac{\rho_1}{\rho_i} * h_1 * E_i * 10^3, \text{ რად/წმ} \quad (6)$$

ფენებში ერთობლივი სიხშირეები აუცილებელია გამოითვალოს გამოსახულებებით:

$$\omega''_{i+1} = \sqrt{\frac{c_i + c_{i+1}}{m_{i+1}}} \quad \text{და} \quad \omega'_{i+1} = \sqrt{\frac{c_i}{m_{i+1}}} \quad (7)$$

საგზაო სამოსის ამა თუ იმ ფენის მასალის შეცვლისას, ფენების საჭირო სიხშირეების გასაანგარიშებლად შეიძლება გამოვიყენოთ დამოკიდებულებები, ხოლო მათში შემავალი ინერციული და სიხისტის პარამეტრები განვსაზღვროთ.

შემუშავებული ფუნქციონალური დამოკიდებულებების გამოყენებით, შესაძლებელია განვახორციელოთ არახისტი საგზაო სამოსის დაპროექტება ვიბრაციული ფაქტორის გათვალისწინებით. ამავდროულად აუცილებელია მივიღოთ საგზაო სამოსის მომიჯნავე ფენების სისქეების საჭირო თანაფარდობა სამოსის კონსტრუქციების დინამიკური ძალების და დინამიკური ჩალუნვების შემცირებული დონეების მისაღწევად.

მათემატიკური მოდელის მიხედვით (4) შექმნილია ვიბროდაცული საგზაო სამოსის ანალოგიური კონსტრუქცია და ჩატარებულია შედარებითი ანალიზი.

ახლა შევექმნათ კონსტრუქციული ვარიანტი 7, პირველი ფენის სისქით $h_{1\text{მკვ}}=0.05$ მ. მივიღებთ, რომ $h_{1\text{ფორ}}=0.08$ მ, $h_{2\text{შლ}}=0.11$ მ, $h_{2\text{ფლ}}=0.32$ მ და $h_5=0.42$ მ. საგზაო სამოსის საერთო სისქე მე-6 ვარიანტთან შედარებით გაიზრდება 8 სმ-ით, ხოლო დრეკადობის საერთო მოდული იქნება 368 მპა.

მე-7 ვარიანტის მიხედვით დაპროექტებული საგზაო საფარის კონსტრუქციის მინუსად შეიძლება ჩაითვალოს შედარებით დიდი საერთო სისქე, რაც შეადგენს 98 სმ-ს. ამასთან, გასათვალისწინებელია რომ ამ სისქის უდიდესი ნაწილი მოდის ქვიშის ქვესაგებ ფენაზე (42 სმ) და ფრაქციული ღორღის საფუძვლის ფენაზე (32 სმ). ამავ დროს, საფარის მთლიანი სისქე საკმაოდ მცირეა და შეადგენს მხოლოდ 13 სმ-ს.

ჩვენს მიერ შემუშავებული მეთოდიკიდან გამომდინარე, სამოსის კონსტრუქციის დაგეგმვის პროცესის პირველ ეტაპზე აუცილებელია გაანგარიშების სქემაში წინასწარ შერჩეული დინამიკური პარამეტრების გათვალისწინება, ხოლო მეორე ეტაპზე განისაზღვროს საგზაო სამოსის საანგარიშო ექსპლუატაციის ვადა. ქვემოთ მოცემულ ფორმულაში ასახულია ექსპლუატაციის პერიოდში დაყვანილი ავტომობილების საერთო რაოდენობა.

$$\sum N_p = 0.7 * N_p * \frac{K_c}{q^{T-1}} * T * K_n \quad (8)$$

სადაც: N_p – მოძრაობის ინტენსიობაა ექსპლუატაციის ვადის დასასრულს, ავტ/დღე-ღამე; $\sum N_p$ – მუშაობის მთლიანი პერიოდის განმავლობაში ინტენსიობის ჯამი, ავტ; $K_c = \frac{q^t - 1}{q - 1}$ დაჯამების კოეფიციენტი; q – წლების მიხედვით ინტენსიურობის მომატება; T – წელიწადში საანგარიშო კლიმატური დღეების რაოდენობა; დღე; K_n – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს საშუალო მოსალოდნელიდან ჯამური მოძრაობის გადახრის ალბათობას.

15 წლიანი ექსპლუატაციის პირობებში ვიბრაციული დატვირთვის გათვალისწინების $\sum N_{p15}$ შეადგენს 2.927.209 ავტ. საანგარიშო დატვირთვის ამგვარი რაოდენობა რეალიზდება ნორმატიულ ვადამდე. ამ შემთხვევაში, პირობითი დინამიურობის კოეფიციენტი "a" იქნება მაჩვენებელი, რომელიც ახასიათებს $\sum N_{p15}$ ნაადრევ მიღწევას.

საგზაო სამოსის ექსპლუატაციის მე-15 წლისთვის მოძრაობის პირობით ინტენსიურობას განვსაზღვრავთ შემდეგი დამოკიდებულებით.

$$N_{p\text{დინ}} = \frac{\sum N_{p\text{დინ}} * (q-1) * q^{T-1}}{140.8(q^t-1)} \quad (9)$$

საგზაო სამოსის ექსპლუატაციის ვადის დასადგენად საანგარიშომაჩვენებლები ვიბრაციული ფაქტორის გათვალისწინებით. **ცხრილი 5**

ვარიანტის №	დატვირთვის დატანის ჯამური რაოდენობა, ავტ		მოძრაობის პირობითი ინტენსიურობა ავტ/დღე-ღამე		საგზაო სამოსის ექსპლუატაციის საანგარიშო ვადა, წელი	
			ექსპლუატაციის ვადის ბოლოს	პირველ წელს		
	$\sum N_p$	$\sum N_{p\text{დინ}}$	$N_{p\text{დინ}}$	$N_{p\text{დინ} I}$	$T_{\text{ექს}}$	$T_{\text{ექს. დინ}}$
2	2.927.209	15.423.464	9474	5470	15	2,25
3	2.927.209	7.110.190	4368	2522	15	5,17
4	2.927.209	6.779.416	4164	2404	15	5,42
6	2.927.209	3.735.118	2294	1324	15	10,92
7	2.927.209	3.948.805	2426	1400	15	10,17
8	2.927.209	4.946.983	3039	1754	15	7,83

პირველი წლის მოძრაობის პირობითი ინტენსიურობა შესაძლებელია განისაზღვროს შემდეგნაირად:

$$N_{p\text{დინ}} = \frac{N_{p\text{დინ}}}{q^{t-1}} \quad (10)$$

ამრიგად, ვიბრაციის ფაქტორების გათვალისწინებით, საგზაო სამოსის ექსპლუატაციის ვადის გამოანგარიშებისთვის აუცილებელია გამოსახულებაში ჩავსვათ „ა_{დინ}“ და $\sum N_p$.

მე-5 ცხრილის მასალების ანალიზი აჩვენებს, რომ ვიბრაციული ფაქტორის გათვალისწინებისას, არახისტი საგზაო სამოსის ექსპლუატაციის საანგარიშო ვადები ნორმატიულ $T_{\text{ექს}}$ -ზე მნიშვნელოვნად დაბალია. რაც უფრო უარესია დინამიკური თანაფარდობა საგზაო სამოსის ფენების პარამეტრებს შორის, მით უფრო მოკლეა საანგარიშო საექსპლუატაციო ვადა. აღვნიშნოთ, რომ ცხრილში წარმოდგენილი ექსპლუატაციის საანგარიშო ვადები ახლოს არის რეალურ ექსპლუატაციურ მაჩვენებლებთან. მე-6 და მე-7

კონსტრუქციული ვარიანტები, რომლებიც უზრუნველყოფს შემცირებულ ვიბროდატვირთვას, იძლევა შესაძლებლობას, გაიზარდოს ექსპლუატაციის საანგარიშო ვადა მინიმუმ 20%-ით.

ჩვენს მიერ შემუშავებული მეთოდიკის თანახმად, საგზაო სამოსის ექსპლუატაციის ვადა განხილული ამოცანისთვის გამოითვლება:

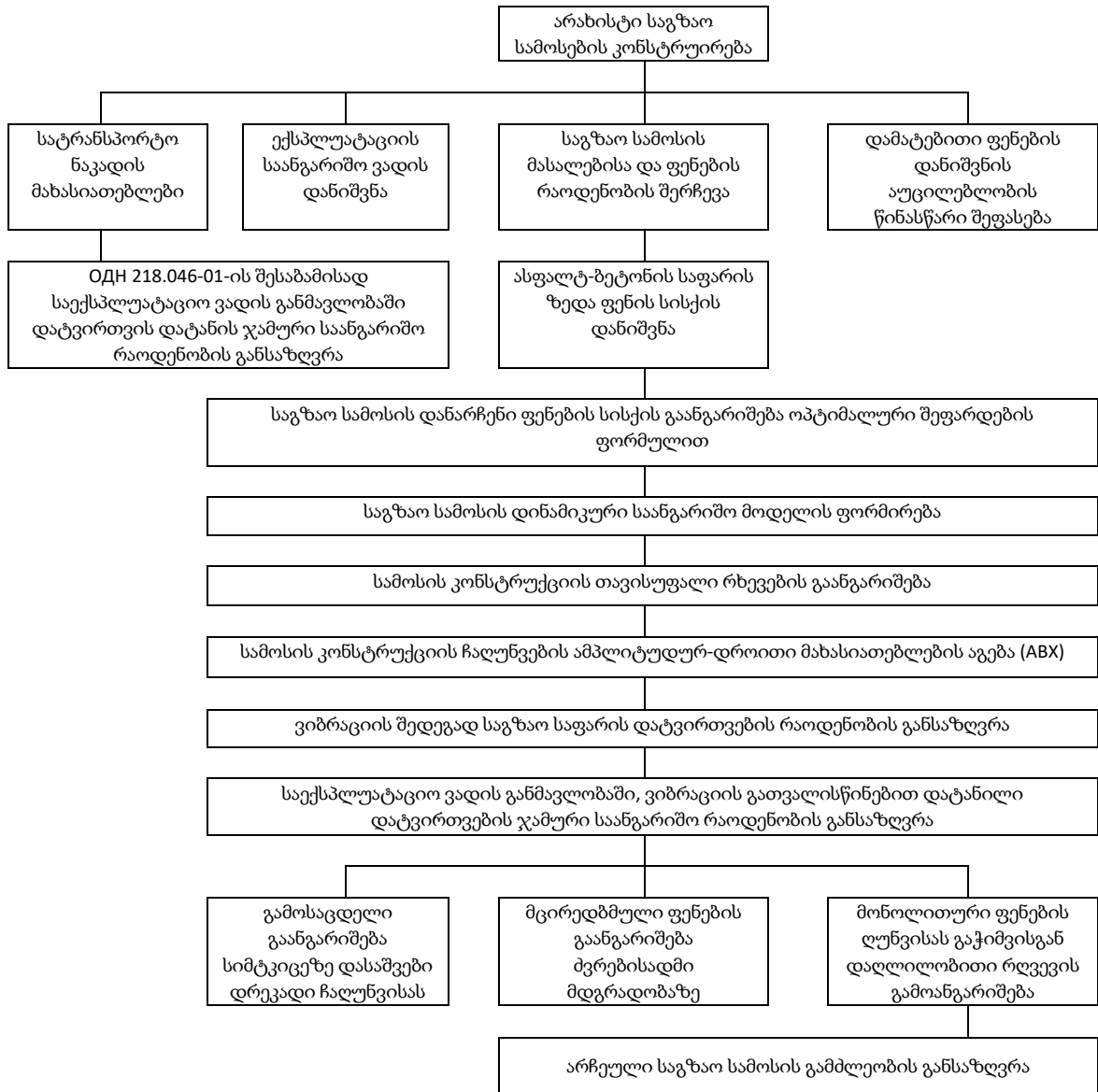
$$T_{\text{ქს}} = \frac{\log(a_{\text{დინ}}*q) - \log(a_{\text{დინ}}*q + \sum N_{p25}(1-q))}{\log q} \quad (11)$$

$$a_{\text{დინ}} = \sum N_{p\text{დინ}25} \frac{(q-1)*q^{t-1}}{q^t - 1}$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩანაცვლებით (ჩასმით), მივიღებთ, რომ $T_{\text{ქს}}$ შეადგენს 14 წელსა და 11 თვეს. ამრიგად, საგზაო სამოსი გზის მომიჯნავე ფენების დინამიური სიხშირის თანაფარდობით და 25 წელზე გათვლილი პირობითი საექსპლუატაციო ვადით, უზრუნველყოფს 15 წლიან რეალურ საექსპლუატაციო ვადას, რომელიც უკვე შეესაბამება ნორმატიულ საანგარიშო მნიშვნელობას.

სამოსის კონსტრუქციების გაანგარიშების ზოგადი კომპლექსის საფუძველი უნდა იყოს ვიბრაციისგან დაცული საგზაო სამოსის გაანგარიშების მეთოდიკა, რომელიც ემყარება არახისტი სამოსის კონსტრუქციების ვიბრაციული რღვევის თეორიის პრინციპებს და მიმდინარე დარგობრივი საგზაო სტანდარტების საერთო მზიდუნარიანობის გამოთვლის მეთოდიკას. ვიბრომედეგი კონსტრუქციის გაანგარიშის მეთოდიკა წარმოდგენილია ბლოკური სქემით

ბლოკ-სქემის მიხედვით გამოყენებულია საგზაო სამოსის საანგარიშო ან პროგნოზირებული ექსპლუატაციის ვადის ცნება, ვიბრაციული დატვირთულობის არსებობის გათვალისწინებით. პროგნოზირებული, ვიბრაციული დატვირთვების გათვალისწინებით, საექსპლუატაციო ვადა შედარებულია გზის კონსტრუქციის დანიშნულ (ნორმატიულ) საექსპლუატაციო ვადასთან.



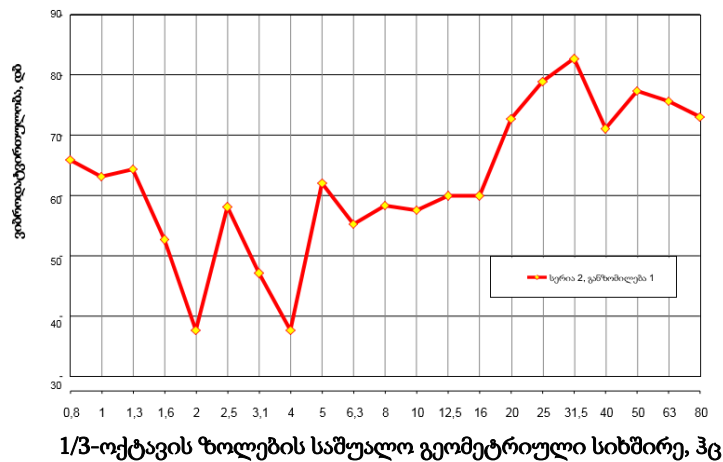
ნახ. 8. არახისტი საგზაო სამოსების კონსტრუქციების ბლოკ-სქემა, ვიბრაციული ფაქტორის გათვალისწინებით.

საველე ექსპერიმენტის პროცესში საგზაო სამოსის ვიბრაციის გასაზომად გამოყენებული იყო: SVAN 948, აქსელერომეტრი DYTRAN ტიპი 3143 M1 და Brüel & Kjaer 4294 ვიბრაციის კალიბრატორი.

გაზომვები ჩატარდა საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისად შემდეგი მეთოდით: NT ACOU 082-1991 (NORDTEST METHOD) და NS 8176E-1999 (NORSK STANDART).

საველე გაზომვების შედეგად, მიღებული იქნა ამპლიტუდურ-სიხშირული სპექტრი და ამპლიტუდურ-დროითი მახასიათებლები გამოცდების სამ სერიაში აჩქარებით ექვსი განზომილებით. რხევითი პროცესის სიხშირული შემადგენლობის ანალიზისთვის ყველაზე აშკარაა ექსპერიმენტული ამპლიტუდურ-სიხშირული სპექტრი ვიზუალიზაციისას.

სტატისტიკური დამუშავების შედეგად მიღებული იქნა სიხშირეების შემდეგი პიკური მნიშვნელობები: დაბალი სიხშირე 0,8 - 1,3 - 2,5 - 5,0 ჰც; შუა სიხშირეები 8,0 - 12,5 - 16,0 - 20,0 ჰც; მაღალი სიხშირე 31,5 - 50,0 ჰც.



ნახ. 9. სამოსის კონსტრუქციის ექსპერიმენტული ამპლიტუდურ-სიხშირული სპექტრი დარტყმითი დატვირთვის შემდეგ

ასევე გამოვლენილია სიხშირეები, რომელთაც აქვთ ნაკლები გამეორება, მაგრამ წარმოდგენილია სპექტრებში 1,0 - 3,1 - 10,0 - 25,0 და 63,0. აღსანიშნავია, რომ სიხშირის დიაპაზონი შეესაბამება სიხშირეების 1/3 ოქტავურ ზოლს. ეს ნიშნავს, რომ მაპროფილებელი სიხშირის ზუსტი მნიშვნელობა შეიძლება მდებარეობდეს 1/3 ოქტავური ინტერვალის შიგნით. მაგალითად, თუ აჩქარების პიკური მნიშვნელობა მდებარეობს 8,0 ჰც სიხშირეზე, მაშინ მაპროფილებელი სიხშირის ზუსტი მნიშვნელობა, მეზობელ ინტერვალებში მყოფი, შეიძლება იყოს ამ სიდიდეზე როგორც ნაკლები ისე მეტი.

ამასთან, 1/3 ოქტავური ანალიზის უპირატესობა ისაა, რომ სიხშირის ინტერვალი იმდენად შევიწროებულია, რომ სიხშირის ზუსტი

მნიშვნელობიდან გადახრის ცდომილება ითვლება საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისად მისაღებ საზღვრებში.

დასკვნა.

1. საგზაო კონსტრუქციაზე დინამიკური (მოძრავი) დატვირთვების ზემოქმედებისას, წარმოიქმნება თავისუფალი მიღევადი რხევები, რომლებიც გარკვეული დროის ინტერვალში ფორმირდება დამატებითი დინამიკური ჩაღუნვების სახით. ამიტომ, საგზაო სამოსის კონსტრუქციის სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის შემოტანილი უნდა იყოს დამატებითი პარამეტრი P_{333} (ვიბრაციული დატვირთვა, მპა), რომელიც უზრუნველყოფს სამოსის კონსტრუქციის ვიბრაციული დატვირთვებისადმი მდგრადობას.
2. შემუშავდა საგზაო სამოსის მომიჯნავე ფენების სიხშირეების დინამიკური თანაფარდობის მათემატიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას იძლევა სამოსის კონსტრუქციაში რხევითი პროცესები გამოვსახოთ დინამიკური ძალების ანტიფაზური მოქმედებით. შემუშავებული მეთოდით საგზაო სამოსის მომიჯნავე ფენებში გამოყენებული კონკრეტული მასალების პარციული სიხშირეებისა და სისქეების თანაფარდობის ოპტიმალური შერჩევის შედეგად მცირდება ვიბრაციული დატვირთვების ზემოქმედება.
3. დამუშავდა არახისტი საგზაო სამოსის ეფექტური გაანგარიშების ალგორითმი (მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე) ვიბრაციული ფაქტორების გათვალისწინებით, რომელმაც საშუალება მოგვცა მოგვეხდინა სამოსის ოპტიმალური კონსტრუქციების შერჩევა და განგვესაზღვრა საექსპლუატაციო ვადებზე მოქმედი რეალური ფაქტორები.
4. თეორიული კვლევებით დადგინდა, რომ არახისტი საგზაო სამოსის ვიბრაციული რღვევის პროცესის მოდელისთვის მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ერთსიბრტყიანი ჯაჭვური მოდელები, რომლებიც

ფორმირდება სამოსის კონსტრუქციის ამგებ ფენებში თავისუფალი რხევების გავრცელების სიხშირეების ტოლობის საფუძველზე. ასევე დადგინდა მრავალფენიანი სამოსის რხევების პროცესის მოდელირების ურთიერთდამოკიდებულება ვიბრაციული დატვირთვის ძალურ და დეფორმაციულ მაჩვენებლებს შორის.

5. სხვადასხვა შემადგენლობისა და სისქის საგზაო სამოსის ექსპერიმენტალური კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ მაღალი სიხშირის ვიბრაციის პირობებში რხევის ამპლიტუდა მინიმალურია, ხოლო დაბალი სიხშირის დროს - მაქსიმალური. ორივე შემთხვევაში ადგილი აქვს ძვრის ძალების გააქტიურებას და სამოსის ნაადრევ რღვევას, რადგან ამპლიტუდა დამოკიდებულია სამოსის შედგენილობაზე, ხოლო სიხშირე - სამოსის სისქეზე. აგებული გრაფიკული გამოსახულებების (რხევების ჩანაწერების) ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ განხილული რვა ვარიანტიდან ვიბრაციული დატვირთვების მიმართ საუკეთესო მაჩვენებლები აქვს მეშვიდე ვარიანტს, რომლის კონსტრუქციული ფენების სისქეები შემდეგია:

- საფარის ზედა ფენა, წვრილმარცვლოვანი მკვრივი ა/ზ ნარევი 5 სმ.
- საფარის ქვედა ფენა, მსხვილმარცვლოვანი ფოროვანი ა/ზ ნარევი 8 სმ.
- საფუძვლის ზედა ფენა, შავი ღორღი სისქით 11 სმ.
- საფუძვლის ქვედა ფენა ფრაქციული ღორღი 0-40 (მმ) სისქით 32 სმ.
- ქვესაგები ფენა ქვიშახრეშოვანი ნარევი სისქით 42 სმ,

6. გაანგარიშებებით განისაზღვრა სხვადასხვა სიჩქარით მოძრავი მრავალღერძიანი (2; 5; 6) სატვირთო ავტომობილების მიერ საფარში აღძრული დინამიკური ძალები, როგორც მოძრაობის სიჩქარის ფუნქცია. ექსპერიმენტალური კვლევების შედეგად მიღებულმა გრაფიკებმა აჩვენა, რომ საშუალო დინამიკური ძალების გავლენა ვიბრომედევ საგზაო სამოსში გაცილებით ნაკლებია იმ სამოსებთან მიმართებით, რომლებიც მოწყობილია ვიბრაციული ფაქტორის გაუთვალისწინებლად.

7. კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ თუ გზის კონსტრუქციის დასაშვები დრეკადი ჩალუნვისა და მონოლითური ფენების მიერ ლუნვისას დაჭიმულობისგან მიღებული დადლილობითი რღვევისადმი წინააღმდეგობის სიმტკიცის კოეფიციენტები ნორმატიულზე დაბალია, მაშინ კონსტრუქცია განმტკიცება უნდა მოხდეს ასფალტ-ბეტონის საფარის ზედა ფენის სისქის გაზრდით ვიბრაციულ დატვირთვებზე გადაანგარიშების საფუძველზე. რისთვისაც საჭიროა ვიბროდატვირთულობის კოეფიციენტების გამოყენება.
8. დამუშავებულია არახისტი საგზაო სამოსების კონსტრუქციებისა და გაანგარიშების ბლოკ-სქემა, სადაც საგზაო სამოსის გამძლეობის კრიტერიუმები გათვალისწინებულია ვიბრაციული დატვირთვების შესაბამისად.
9. ჩვენს მიერ ჩატარებული სავსე ექსპერიმენტების საფუძველზე რომელიც განხორციელდა SVAN 948, აქსელერომეტრი DYTRAN ტიპი 3143 M1 და Brüel & Kjaer 4294 ვიბრაციის კალიბრატორის გამოყენებით დადგინდა, რომ საგზაო სამოსის ფენებში დისიპაციის დონის შეფასება შეიძლება განხორციელდეს წარმოდგენილი ექსპერიმენტული ამპლიტუდურ-დროითი მახასიათებლების ანალიზით. ამპლიტუდურ-დროითი მახასიათებლებისგან გამომდინარეობს, რომ რხევების სრული მიღება დარტყმითი დატვირთვის შემდეგ ხდება საშუალოდ 3.5 წმ-ის შემდეგ.
10. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ ვიბრაციული დატვირთვისას საგზაო სამოსის მზიდუნარიანობისა და ექსპლუატაციის ვადის გაზრდის მთავარ ფაქტორს წარმოადგენს, როგორც კონსტრუქციის დრეკადობის საერთო მოდულის გაზრდა, ასევე სპეციალური მათემატიკური მოდელით საგზაო სამოსის მომიჯნავე ფენების პარამეტრების ფარდობითი შერჩევა. აღნიშნული მიდგომით არახისტი სამოსის კონსტრუქციის გაანგარიშება უზრუნველყოფს რეალური საექსპლუატაციო ვადის გაზრდას მინიმუმ 20%-ით.

დისერტაციის თემასთან დაკავშირებული პუბლიკაციები

1. ნეკაშვილი.თ. ვიბრაციის ზეგავლენა არახისტი საგზაო სამოსზე და მის გამძლეობაზე. საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, №4(53), 2019,თბილისი, საქართველო. ISSN 1512-3936.
2. პაპუაშვილი.თ, ნეკაშვილი.თ. ვიბრაციული პროცესების დამახასიათებელი თვისებების აღწერა. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, №2(54), 2020,თბილისი, საქართველო. ISSN 1512-3936.
3. პაპუაშვილი.თ, ნეკაშვილი.თ. მექანარიშვილი.თ. არახისტი საგზაო სამოსის პროექტირების მეთოდიკა ვიბრაციული დატვირთვების გათვალისწინებით. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, №2(54), 2020,თბილისი, საქართველო. ISSN 1512-3936.
4. პაპუაშვილი.თ, ნეკაშვილი.თ. ავტომანქანების მოძრაობის გაანგარიშებითი სიჩქარის სიდიდის დასაბუთება არახისტი გზის საფარის პროექტირებისას მათი ვიბრაციული დატვირთვის გათვალისწინებით. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, №2(55), 2020,თბილისი, საქართველო. ISSN 1512-3936
5. ნეკაშვილი თ. ფერდობების მდგრადობის გაზრდის ზოგიერთი ღონისძიება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 86-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თბილისი 2018.

Abstract

Transport-operation of modern roads is one of the main defining characteristics of the condition strength of road wear. It has a significant impact on such factors as speed and safety. The main part of the Georgian road network is represented by solid-paved asphalt. Observations revealed, that during the designing process, there are numerous factors of reduction of performance indicators relating to transport. Significantly affects the rate of decline of these indicators. The cyclical nature of moving loads and climatic factors impact, which as a whole leads to a reduction in service life.

The dissertation, "Design Of Shear Resistant Road Pavements", discusses one of the most important problems of the Georgian road industry in terms of asphalt pavement, which is a large part of all solid-paved roads in Georgia. Due to the difficult climatic conditions of the country, the actual service life of paved road repairs is much lower than the norm, which leads to an annual increase in the volume of repair works and more financial investments in the road industry.

According to the observations, the actual service life of the asphalt-concrete pavement is reduced in some sections compared to the reporting time. The combination of insufficient development of Georgia's road network, which is low compared to European countries, and the unsatisfactory condition of the existing roads hinders the development of the entire national economy of the country.

The study found that one of the reasons for the low durability used in the exploitation of asphalt pavement is their elevated level of vibration load. The negligence of this type of load leads to the fact that the characteristics of insufficient firmness of the asphalt pavement is considered at the design stage.

During vibration loading, significant frequency deformations (bends) occur in all elements of road construction, which simultaneously increase the amount of design load during the service life of the asphalt pavement. Due to this, the road layers and the asphalt-concrete pavement break down too early.

Based on the complex of conducted studies, a variety of practical recommendations are proposed, aimed at improving the design quality and improving the performance of road pavement. Therefore, designing and Modern technological advances in the field of construction and Despite the use of quality road-building materials, solid-paved Premature rupture of road clothes is still a topical problem. In view of all the above, there is a need for Process the thickness and material of the roadway layers Sampling complex, taking into account dynamic factors, A methodology that will maximally reflect rolling loads Caused by specific impacts and in parallel Will be typical and complex for Georgia With climatic factors. Based on the complex studies conducted, there is necessity of Practical recommendations for design Improving the quality of methodology and certain road clothes Improving the performance of the range. Due to the factors it became possible to create a vibro-resistant Roadway constructions of dynamic characteristics and materials Through complex optimization of the genus. In turn vibro-resistant The use of roadway constructions allows us to increase the period between scheduled repairs and rehabilitations, which Will give us a significant economic effect . Designed by this method, It happens in case of using road construction Rational consumption of petroleum products (dense and porous Allows maximum optimization of asphalt concrete thicknesses Save deficient material), which is especially durable, The run will have a positive impact on both the ecological aspect as well On the overall economy of the country.