

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

დავით კუპატაძე

ავტომობილების ეფექტიანობის ამაღლება შემზებით

მასალების ახალი დანამატის გამოყენებით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: ტრანსპორტი - 0407

თბილისი

2015 წელი

ხელმძღვანელები:

ტ.მ.დ. პროფესორი **გიორგი აბრამიშვილი**

ტ.მ.დ. პროფესორი **ჯუმბერ იოსებიძე**

რეცენზენტები: აკად.დოქტორი, უ.მ.მ. **დ. გვენცაძე**

ტ.მ.კ., ასოც. პროფ. **ხ. მღებრიშვილი**

დისერტაციის დაცვა შედგება 2015წლის 17 თებერვალს 15:00 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და

მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს

კოლეგიის სხდომაზე; კორპუსი 1, აუდიტორია 544^ბ

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას ქ. №77,

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო

ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებ გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი, ასოც. პროფ.

დ. ბუცხრიკიძე

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

ნაშრომის აქტუალურობა: საავტომობილო ტრანსპორტი ნებისმიერი ცივილური ქვეყნის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის ერთ-ერთი აუცილებელი ფაქტორია, რამდენადაც ის წარმოადგენს ეროვნული მეურნეობის უმნიშვნელოვანეს დარგს. მასზე მოდის საშუალოდ სატვირთო გადაზიდვებისა და მგზავრთა გადაყვანების 80%, მაგრამ ასევე მასზევე მოდის საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევების 15% და გარემო ჰაერის მავნე აირებით გაჭუჭყიანების 80%-ზე მეტი, ხოლო ავტომობილების საექსპლუატაციო ხარჯები ბევრად ჭარბობს მათი დამზადების ხარჯებს. ეს პრობლემები განუწყვეტლივ მძაფრდება ავტომობილების რაოდენობის ზრდასთან ერთად, რაც ჩვენს ქვეყანასაც ეხება, რამდენადაც ავტომობილების რაოდენობა საქართველოში თითქმის მიუახლოვდა მილიონ ერთეულს.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, უაღრესად აქტუალური გახდა ავტომობილის ეფექტიანობის შეფასების და მისი ამაღლების პერსპექტიული მეთოდების კვლევის და დამუშავების საკითხები.

დღეისათვის ავტომობილის ეფექტიანობის შეფასების შესახებ სხვადასხვა შეხედულებები არსებობს. რამდენიმე წლის წინ, ავტომობილის კონსტრუქციის შეფასებისათვის საკმარისად ითვლებოდა მისი საექსპლუატაციო თვისებების (ჩქაროსნული მაჩვენებლები, საწვავეკონომიურობა, გამავლობა, საიმედოობა, მომსახურების და რემონტის მოხერხებულობა და ა. შ.) განსაზღვრა. მაგრამ ამჟამად უკვე ცხადია, რომ მხოლოდ ტექნიკური შეფასება არაა საკმარისი ავტომობილის დამზადებისა და შემდეგ მისი ექსპლუატაციის მიზანშეწონილობის დასადგენად და სათანადო გადაწყვეტილებების მისაღებად. აუცილებელია ავტომობილის ეფექტიანობის შეფასებისათვის ტექნიკური, ეკონომიკური, უსაფრთხოების და სხვა ფაქტორების სრულყოფილად გათვალისწინება. შესაბამისად, არსებული მასალების გათვალისწინებით, ჩვენს მიერ ჩამოყალიბებულ იქნა შედარებით უფრო სრულყოფილი განმარტება: ავტომობილის ეფექტიანობა წარმოადგენს მისი საექსპლუატაციო თვისებების განზოგადებულ მა-

ჩვენებელს, რაც ძირითადად ფასდება ავტომობილის მწარმოებლურობით, ეკონომიურობითა და მოძრაობისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოებით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ავტომობილის ეფექტიანობა მოიცავს მის კონსტრუქციულ და საექსპლუატაციო ეფექტიანობებს.

შესაბამისად, გამოიკვეთა აქტუალური მეცნიერული პრობლემა, რაც მდგომარეობს შემზეთი მასალებისა და მათი დანამატების გამოყენებით ავტომობილის კონსტრუქციული ეფექტიანობის ამაღლების შესაძლებლობის გამოკვლევაში.

სამუშაოს მიზანია ავტომობილის კონსტრუქციული ეფექტიანობის მაჩვენებლების (ხანგამძლეობა, საწვავეკონომიურობა, ეკოლოგიურობა, კონსტრუქციული უსაფრთხოება) ამაღლება შემზეთი მასალების ახალი დანამატის გამოყენებით.

დასახული მიზნის მისაღწევად გადაჭრილ იქნა შემდეგი **ძირითადი ამოცანები**:

- სპეციალური ლიტერატურის მიმოხილვის და ანალიზის საფუძველზე ავტომობილის ეფექტიანობის შემაფასებელი პარამეტრების დაზუსტება და შემზეთი მასალების და დანამატების შერჩევითა და გამოყენებით მათი მნიშვნელოვნად ამაღლების მეთოდების გამოვლენა;

- კვლევის ობიექტების და მეთოდების ჩამოყალიბება, მათ შორის ახალი დანამატის ნაწილაკების სტრუქტურისა და ნანოზომების დადგენა ელექტრონული მიკროსკოპის მეთოდების გამოყენებით;

- ახალი დანამატის შემცველი სუსპენზიური სატრანსმისიო ზეთის კოლოიდური სტაბილურობის, სიბლანტე-ტემპერატურული; ანტიფრიქციული; ცვეთა-, აგლეჯა- და პიტინგსაწინააღმდეგო თვისებების ექსპერიმენტული გამო-კვლევა; მისი დამზადების ტექნოლოგიის შერჩევა და დასამზადებელი დანადგარის მთავარი პარამეტრების გაანგარიშება;

- საჭის მექანიზმის სფერული სახსრის ტრიბოლოგიური თვისებების ამაღლება გარე ჭილიბისა და საცხის მასალების ახალი დანამატით მოდიფიცირების გზით;

- წინა პუნქტებში გამოვლენილი ეფექტების გავლენით, ავტომობილის ხანგამძლეობის, საწვავეკონომიურობის, ეკოლოგიურობის და კონსტრუქციული უსაფრთხოების ამდლების შესაძლებლობის კონცეპტუალური დასაბუთება.

კვლევის ობიექტი: შემზეთი მასალების ახალი დანამატი და მისი გავლენა ავტომობილის კონსტრუქციული ეფექტიანობის შემფასებელ პარამეტრებზე.

სამუშაოს მეცნიერული სიახლე:

- გამოვლენილია ქართველ მეცნიერთა მიერ მიღებული ახალი ნახშირბადოვანი დანამატი შემზეთი მასალებისათვის, რომლის მეცნიერულმა გამოკვლევამ დაადასტურა მისი მაღალი მრავალფუნქციური ტრიბოლოგიური ეფექტიანობა, დამყარებული მის უნარზე - მოხახუნე ზედაპირებზე წარმოქმნას მაღალი ტრიბოლოგიური თვისებების მქონე მეორადი სტრუქტურები. უკანასკნელი გამოწვეულია ახალი დანამატის ნაწილაკების ამორფულობითა და ნანოდისპერსულობით, რაც სავარაუდოდ, განაპირობებს მათ მეტასტაბილურობას და, შესაბამისად, მიდრეკილებას პოლიმორფული გარდაქმნებისადმი.

- მეცნიერული კვლევის შედეგების საფუძველზე დამყარებული კონცეპტუალური დამოკიდებულებებით დასაბუთებულია, რომ ახალი დანამატის გამოყენებით განპირობებული შემზეთი და თვითშემზეთი მასალების ფუნქციონალური თვისებების ამდლებით შესაძლებელია ავტომობილების ეფექტიანობის ისეთი პარამეტრების გაუმჯობესება, როგორცაა ხანგამძლეობა, საწვავეკონომიურობა, ეკოლოგიურობა და კონსტრუქციული უსაფრთხოება.

- ნახშირბად-ბენზოლის პასტის შემცველი საზეთი ნარევიდან ბენზოლის გამორთქლვის თავისებურებათა გათვალისწინებით მოდიფიცირებული თბოფიზიკის ცნობილი ფორმულების გამოყენებით დამუშავებულია მრავალფაქტორიანი ლოჯისტიკური მოდელი, რომელიც ახალი დანამატის შემცველი მაღალხარისხოვანი სუსპენზიური სატრანსმისიო ზეთის

დასამზადებელი დანადგარის მთავარი პარამეტრების ზუსტი გაანგარიშების საშუალებას იძლევა და შეიძლება წარმატებით იქნეს გამოყენებული უკანასკნელის (კონკრეტული პირობების გათვალისწინებით) დაპროექტების დროს.

სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის მასალები მოხსენებული იქნა სტუ-ს სტუდენტთა 81-ე ღია სამეცნიერო კონფერენციაზე (თბილისი, 2014წ.); საერთაშორისო ს/ტ კონფერენციაზე - BALTRIB 2013 (ლიტვა, კაუნასი, 2013წ.); საერთაშორისო ს/ტ კონფერენციაზე „სატრანსპორტო ხიდი ევროპა - აზია“ (თბილისი, 2014წ.).

პუბლიკაციები. დისერტაციის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომი.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლის, 2 ნაწილის, 2 თავის, ძირითადი დასკვნების და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. ნაშრომი მოიცავს კომპიუტერზე დაბეჭდილ 147 გვერდს, მათ შორის 30 ცხრილს და 32 ნახაზს.

ნაშრომის მოკლე შინაარსი

შესავალში ნაჩვენებია ნაშრომის აქტუალობა, მიზანი, ძირითადი ამოცანები, მეცნიერული სიახლე და მოკლედ გადმოცემული სამუშაოს არსი.

პირველ თავში (ლიტერატურის მიმოხილვა) განხილული და გაანალიზებულია არსებული ლიტერატურული წყაროები, რომლებიც ეხება ავტომობილების ეფექტიანობას (ჩამოყალიბებულია მისი ახალი, შედარებით სრულყოფილი, განმარტება), მის შეფასებულ პარამეტრებზე (ხანგამძლეობა, საწვავეკონომიურობა, მოძრაობისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოება) გავლენის მქონე სატრანსმისიო შემზეთი მასალების, საჭის მექანიზმის სახსროვანი კვანძების საცხების და დეტალების მასალის

თვისებებს და მათი ეფექტიანი დანამატებით გაუმჯობესების გზებს.

შედეგად დასაბუთებულია სადისერტაციო ნაშრომის თემის აქტუალობა და გამოვლენილია ნაშრომის მიზნის რეალიზებისათვის დასმული ამოცანების გადაჭრის გზები.

ნაშრომის მეორე თავში (კვლევის შედეგები და განსჯა) შესწავლილია საავტომობილო სატრანსმისიო ზეთების და თვითშემზეთი მასალების ახალი დანამატი და გამოკვლეულია მისი გამოყენებით შემზეთი მასალების იმ ფიზიკურ-ქიმიური, ფუნქციური და საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესების შესაძლებლობა, რომელთა ოპტიმიზირება განაპირობებს ავტომობილის კონსტრუქციული ეფექტიანობის პარამეტრების (ხანგამძლეობა, საწვავეკონომიურობა, ეკოლოგიურობა, კონსტრუქციული უსაფრთხოება) ამაღლებას.

დადგენილია, რომ ახალი დანამატი, რომელიც საქართველოშია დამზადებული (ბენზოლის პიროლიზური კარბონიზაციით), წარმოადგენს ამორფულ და ნანოდისპერსულ (20-50 ნმ) ნახშირბადს, მას შემოკლებით დაერქვა ანდნ(ბთკ).

პირველ რიგში განხორციელდა ანდნ (ბთკ)-ის შემცველი სუსპენზიური ზეთების კოლოიდური სტაბილურობის მიღწევის შესაძლებლობის გამოკვლევა.

გამოცდილ ნივთიერებათა შორის საუკეთესო სტაბილიზატორი აღმოჩნდა დანამატი Akop-1 (ე.წ. ნიტრირებული ზეთი).

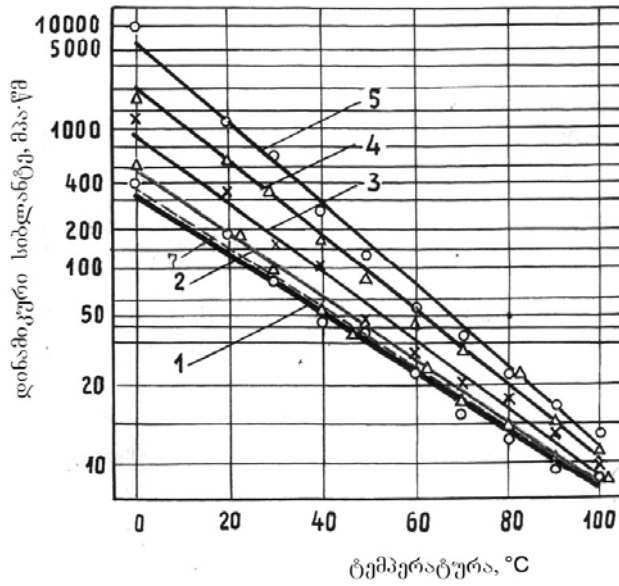
დადგენილი იქნა, რომ ახალი დანამატის შემცველი კოლოიდურად სტაბილური სუსპენზიური სატრანსმისიო ზეთი უნდა შედგებოდეს სამი ძირითადი კომპონენტისაგან: საბაზო ზეთი, დანამატი ანდნ(ბთკ), სტაბილიზატორი (Akop-1). საბაზო ზეთს უნდა ჰქონდეს კარგი სიბლანტე-ტემპერატურული და დაბალტემპერატურული თვისებები, მაღალი თერმო-ქანგვითი მედეგობა და დანამატების მიმართ კარგი მიმღებიანობა. იგი ასევე უნდა იყოს ხელმისაწვდომი და იაფი. სასურველია, რომ ამასთან ერთად მას

ჰქონდეს კარგი ცვეთასაწინაღო და ანტიკოროზიული თვისებები. ამ თვალსაზრისით, ოპტიმალურია ინდუსტრიული ზეთი II-12A.

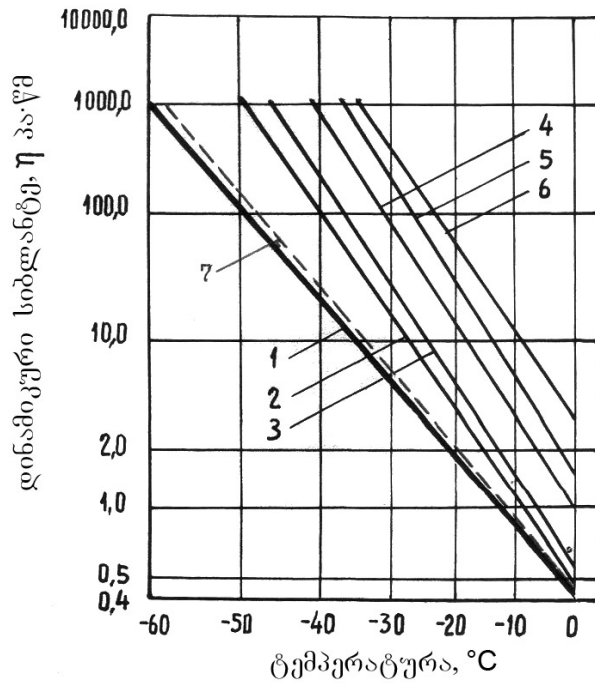
არსებული გამოცდილებისა და წინასწარი მოსასინჯი ექსპერიმენტების შედეგების საფუძველზე დადგენილი იქნა საცდელი სუსპენზიური საავტომობილო სატრანსმისიო ზეთის ოპტიმალური შემადგენლობა: „II-12A + 5%ანდნ(ბთკ) + 17,5%Akop-1“. საჭიროების შემთხვევაში, მას შეიძლება დაემატოს დეპრესორი, რაც კიდევ უფრო შეამცირებს ზეთის გაყინვის ტემპერატურას.

მოცემული ზეთის კოლოიდური სტაბილურობა საკმარისად მაღალია, რამდენადაც 6 თვის განმავლობაში იგი არ განშრევდა (დარჩა ერთგვაროვანი-ჰომოგენური), არ წარმოიქმნა ნალექი, ხოლო სუსპენზიის ზედა ზღვარის დაწვევის სიდიდემ შეადგინა სულ 6-8 მმ.

ახალი დანამატის შემცველი საცდელი ზეთის რეოლოგიური თვისებების გამოკვლევამ ტემპერატურათა დიაპაზონში +100°C-დან -50°C-მდე აჩვენა, რომ საბაზო ზეთის, Akop-1-ის და დეპრესორის AzHIII გავლენით ადგილი აქვს სიბლანტე-ტემპერატურული და დაბალტემპერატურული თვისებების გაუმჯობესებას და გაყინვის ტემპერატურის შემცირებას. შესაბამისად, დეპრესორის თანაობისას, საცდელ ზეთს აქვს უპირატესობა სასაქონლო სატრანსმისიო ზეთებთან შედარებით, რაც განსაკუთრებითაა გამოკვეთილი უარყოფითი ტემპერატურების არეში (0-დან მინუს 40°C-მდე). მისი გაყინვის ტემპერატურა ასევე საკმაოდ დაბალია (-42°C). იგი დაბალტემპერატურული თვისებებით აღემატება ცნობილი ფორმების: „შელ-შელ სპირაქს ჰევი დიუთი SAE 80“, „ესო-ესო GX SAE 80“ და სხვა სატრანსმისიო უნივერსალურ ზეთებს (ნახ. 1,2).



ნახ. 1. საცდელი და სასაქონლო სატრანსმისიო ზეთების სიბლანტის დამოკიდებულება ტემპერატურისაგან: 1 – „კოლხიდა“, 2 – TM5-12B, 3 – TCII-10, 4 – TAPI-15B, 5 – TCII-15K, 6 – ახალი დანამატის შემცველი საცდელი სატრანსმისიო ზეთი

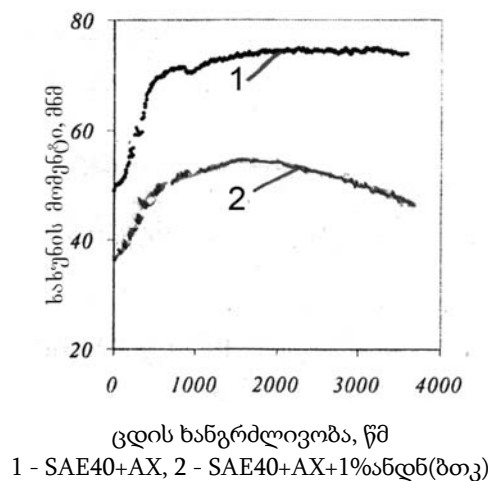


ნახ. 2. საცდელი ზეთისა და ცნობილი ფირმების უნივერსალური სატრანსმისიო ზეთების სიბლანტის დამოკიდებულება ტემპერატურისაგან: 1 – „კოლხეთი“, 2 – „შელ-შელ სპირაქს ჰვეი დიუთი SAE 80“, 3 – „ესო-ესო GXSAE80“, 4 – „ელფ-ტრანსელფ SAE 90“, 5 – „შელ-შელ სპირაქს ჰვეი დიუთი SAE 90“, 6 – „ესო-ესო GX SAE 90“, 7 – ახალი დანამატის შემცველი საცდელი სატრანსმისიო ზეთი

საცდელი ზეთი, SAE კლასიფიკაციის თანახმად, განეკუთვნება SAE 75W-80W კლასს, ე.ი. ყოველწონური სატრანსმისიო ზეთების კლასს ცივი და ზომიერი კლიმატური ზონებისთვის. შესაბამისად, სიბლანტის დაბალი დონის შენარჩუნების გამო ტემპერატურათა ფართო დიაპაზონში მას გააჩნია პოტენციალი - შეამციროს ტრანსმისიის აგრეგატებში ხახუნზე ენერგიის ჯამური დანაკარგები ზეთის შინაგანი ხახუნის სახით, რაც გამოიწვევს საწვავის ხარჯის შემცირებას საშუალოდ 2,5%-ით. შედეგად პროპორციულად შემცირდება მავნე გამონაბოლქვი აირების რაოდენობა და ავტომობილის მიერ გარემო ჰაერის დაჭუჭყიანება.

დამუშავდა აღნიშნული ზეთის მიღების ნანოტექნოლოგია, რაც გამიზნულად კვლევითი ნაწილის ბოლოშია ნაჩვენები.

სასაქონლო სატრანსმისიო ზეთებთან შედარებით, მაღალი ანტი-ფრიქციული თვისებების გამო (ცხრ. 1, ნახ. 3) ახალი დანამატებიანი საცდელი ზეთი უზუნველყოფს მცირე ხახუნს ტემპერატურათა და დატვირთვების ყველაზე ფართო ინტერვალში და შეიძლება მიჩნეული იქნეს უფრო ეფექტიანად, იმიტომაც, რომ არ იწვევს კოროზიულ-მექანიკურ ცვეთას.



ნახ. 3. ანდნ(ბთკ)-ის გავლენა ზეთ SAE 40-ის ენერგოდამზოგ თვისებებზე (დერძული დატვირთვა 300 ნ)

ახალი დანამატი, ხახუნზე ენერჯის დანაკარგების შემცირების ეფექტიანობით, მნიშვნელოვნად აღემატება გრაფიტსა და მოლიბდენის დისულფიდს, როგორც ტემპერატურათა (ცხრ. 1), ისე დატვირთვების (ცხრ. 2) ფართო დიაპაზონში. ამასთან, ცნობილია, რომ გრაფიტის და მოლიბ-დენის დისულფიდის სატრანსმისიო ზეთის დანამატებად გამოყენებით მიიღწევა ავტომობილის საწვავის ხარჯის შემცირება, რაზეც მიუთითებს ცხრ. 3-ის მონაცემები. შესაბამისად, კონცეპტუალურად დადასტურებულია ახალდანამატიანი საცდელი სატრანსმისიო ზეთის გამოყენებით ავტომობილის საწვავეკონომიურობის გაზრდის და ამით - მისი ეკოლოგიურობის ამაღლების შესაძლებლობა.

ანდნ(ბთკ)-ის შემცველი საცდელი ზეთის ცვეთა-, აგლეჯა- და პიტინგ-საწინალო თვისებების გამოკვლევებმაც დაადასტურა ახალი დანამატის მაღალი ტრიბოლოგიური ეფექტიანობა.

ოთხბურთულიან ხახუნის მანქანაზე 10-წამიანი გამოცდების მიხედვით, დატვირთვათა დიაპაზონში - 500-2820ნ, ანდნ(ბთკ) ცვეთასაწინალო თვისებებით და ზღვრული (შედულების) დატვირთვის (P_a) სიდიდით პრაქტიკულად დანამატ მპნ-ის ტოლფასია და მნიშვნელოვნად აღემატება XADO-ს (ცხრ. 4). ამასთან, 5% ახალი დანამატის შემცველი საცდელი ზეთი, ტრიბოლოგიური მაჩვენებლების (P_{30} , P_a , d_{30}) მიხედვით, პრაქტიკულად თითქმის სასაქონლო სატრანსმისიო ზეთების (ТСП-15К, ТАП-15В) დონისაა (ცხრ. 5), ხოლო 2% ანდნ(ბთკ)-ის დამატებით მნიშვნელოვნად უმჯობესდება ТАП-15В და ТСП-15К-ს ყველა მაჩვენებელი და ისინი P_{30} და P_a მიხედვით თითქმის უნივერსალური ზეთის ТАД-17и-ს ტოლფასი ხდებიან.

ცხრილი 1. ხახუნის მანქანა МАСТ-1-ზე ახალდანამატის და სხვა ზეთების გამოცდის შედეგები

ზეთები და კომპოზიციები	ხახუნის კოეფიციენტები შემდეგ ტემპერატურაზე (°C)										
	20	40	60	80	100	110	120	130	140	150	160
И-12А დანამატების გარეშე	0,114	0,124	0,134	0,144	0,156	0,166	0,182	0,202	0,221	0,240	0,256
И-12А+17,5%Акор-1	0,104	0,106	0,110	0,114	0,119	0,123	0,127	0,132	0,140	0,148	0,156
И-12А+17,5%Акор-1+5%ანდნ(ბთკ)	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,089	0,088	0,085	0,081	0,078	0,076
И-12А+17,5%Акор-1+5%MoS ₂	0,096	0,099	0,100	0,101	0,102	0,102	0,104	0,106	0,108	0,111	0,116
И-12А+17,5%Акор-1+5% გრაფიტი	0,128	0,131	0,134	0,136	0,138	0,139	0,141	0,143	0,148	0,150	0,155
И-12А+17,5%Акор-1+5% ანდნ(ბთკ)+1%АзНИИ	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,084	0,083	0,083	0,081	0,080	0,078
ТАп-15	0,096	0,097	0,098	0,101	0,111	0,119	0,130	0,142	0,149	0,155	0,159
ТСп-15к	0,090	0,092	0,094	0,097	0,104	0,109	0,114	0,120	0,125	0,131	0,136
ТСп-10	0,100	0,101	0,102	0,103	0,104	0,104	0,105	0,106	0,106	0,107	0,108
ТАД-17и	0,078	0,081	0,096	0,107	0,111	0,112	0,113	0,113	0,115	0,118	0,125
ТМ-12В	0,078	0,078	0,080	0,081	0,083	0,084	0,084	0,085	0,085	0,085	0,086
	180	200	220	240	250	260	270	280	290	300	კრიტ. ტემპ. (t _{კრიტ.}), °C
И-12А დანამატების გარეშე	0,250	0,232	0,251	0,273	-	-	-	-	-	-	120
И-12А+17,5%Акор-1	0,179	0,206	0,200	-	-	-	-	-	-	-	160
И-12А+17,5%Акор-1+5%ანდნ(ბთკ)	0,074	0,072	0,069	0,066	0,065	0,064	0,062	0,060	0,058	0,058	300
И-12А+17,5%Акор-1+5%MoS ₂	0,137	0,157	0,159	0,141	0,123	0,112	0,103	0,094	0,089	0,084	170
И-12А+17,5%Акор-1+5% გრაფიტი	0,169	0,192	0,209	0,196	0,183	0,167	0,148	0,130	0,111	0,103	160
И-12А+17,5%Акор-1+5% ანდნ(ბთკ)+1%АзНИИ	0,075	0,072	0,069	0,066	0,064	0,063	0,062	0,060	0,059	0,057	>300
ТАп-15	0,164	0,160	0,152	0,140	0,134	0,130	0,122	0,126	0,126	0,128	110
ТСп-15к	0,145	0,151	0,147	0,136	0,127	0,119	0,110	0,099	0,088	0,081	110
ТСп-10	0,109	0,115	0,127	0,140	0,139	0,135	0,128	0,124	0,122	0,122	215
ТАД-17и	0,138	0,132	0,103	0,083	0,078	0,075	0,074	0,073	0,072	0,072	160
ТМ-12В	0,086	0,088	0,070	0,061	0,059	0,059	0,060	0,062	0,062	0,068	300

ცხრილი 2. ახალი და ცნობილი დანამატების ანტიფრიქციული ეფექტიანობის ხახუნის მანქანაზე CMT-1 („ფოლადის დისკი – ფოლადის ხუნდი“, ბრუნვის სიხშირე - 400 წთ⁻¹, ცდის ხანგრძლივობა - 10 წთ) გამოკვლევის შედეგები

შემზეთი მასალა დანამატით	ხახუნის კოეფიციენტი, f				
	ღერძული დატვირთვა, ნ				
	400	700	1000	1100	1500
И-12A+17,5%Акоп-1	0,25	0,31	*	-	-
იგივე+5% ანდნ(ბთვ)	0,11	0,21	0,24	0,28	0,37
იგივე+5% გრაფიტი	0,31	0,44	0,52	0,59	0,67*
იგივე+5% MoS ₂	0,28	0,37	0,45	0,51	0,58

* - ხახუნის კვანძი შედუღდა

ცხრილი 3. საწვავის ეკონომიის ამაღლება საავტომობილო სატრანსმისიო ზეთში (SAE 80W) ხახუნის სხვადასხვა მოდიფიკატორის შეტანისას (ავტომობილის განარბენი ავტოსტრადაზე - 5000 მილი)

ხახუნის მოდიფიკატორი	საწვავის ხარჯის შემცირება (%) ზეთის ტემპერატურისას, °C	
	60	90
1% გრაფიტი	0.4	0.9
0,5% MoS ₂	0.3	0.3
1,0% MoS ₂	1.2	1.5
0,5% MoS ₂ + 0,5% გრაფიტი	0.9	1.3
0,5% მოლიბდენის დითიოფოსფატი	2.7	3.4
1% მოლიბდენის დითიოფოსფატი	3.0	3.5
0,5% მოლიბდენის დითიოფოსფატი + 0,5% გრაფიტი	2.7	3.2
0,5% მოლიბდენის დითიოფოსფატი + 0,5% MoS ₂	3.6	4.0

ცხრილი 4. მპნ-ის, ანდნ(ბთვ)-ის და XADO-ს შემცველი საცდელი ზეთების ცვეთა- და აგლეჯასაწინალო თვისებები (ოთხბურთულიანი ხახუნის მანქანა, ცდის ხანგრძლივობა - 10წმ)

ზეთის დასახელება	ბურთულების ცვეთის კვალის დიამეტრი d _{გვ} , მმ							
	ღერძული დატვირთვა P, ნ							
	500	1000	16000	2000	2370	2660	2820	3550
И-12A+5% მპნ + 17,5%Акоп-1	0,31	1,94	2,13	2,49	2,77	2,86	3,01	შედულ.
И-12A+5% ანდნ(ბთვ)+ 17,5%Акоп-1	0,33	1,98	2,17	2,52	2,81	2,90	3,05	შედულ.
И-12A+ XADO + 17,5%Акоп-1	0,32	2,32	2,88	შედულ.				

ცხრილი 5. სასაქონლო საავტომობილო სატრანსმისიო ზეთების და მპნ-ისა და ანდნ(ბთკ)-ს შემცველი საცდელი ზეთების ტრიბოლოგიური მაჩვენებლები ($P_{კრ}$, $P_{ა}$, $d_{გვ}$)

ზეთის დასახელება	ტრიბოლოგიური თვისებები		
	$P_{კრ}$, ნ	$P_{ა}$, ნ	$d_{გვ}$, მმ
И-12А+5% მპნ + 17,5%Акор-1	750	3550	0,79
И-12А+5% ანდნ(ბთკ) +17,5%Акор-1	750	3450	0,80
ТСП-15К	890	3150	0,55
ТСП-15К+2%მპნ	1250	4000	0,60
ТСП-15К+2% ანდნ(ბთკ)	1100	3550	0,68
ТАП-15В	750	3000	0,65
ТАП-15В+2%მპნ	1150	3550	0,68
ТАП-15В+2% ანდნ(ბთკ)	1100	3500	0,70
ТАД-17и	1200	4000	0,38

ახალი დანამატის აგლეჯასაწინალო თვისებები განსაკუთრებით ეფექტიანად მჟღავნდება დატვირთვებისა და მუშაობის ხანგრძლივობის ზრდასთან ერთად. მის შემცველ საცდელ ზეთს ამ მხრივ უპირატესობა გააჩნია ისეთი ცნობილი სატრანსმისიო სასაქონლო ზეთების მიმართ, როგორცაა უნივერსალური ТАД-17и, SAE 90EP (ფირმა „შელი“) და SAE 90 (ჩეხეთი). ეს ეფექტი ვლინდება ობხმ-ზე 2 საათიანი გამოცდების დროს ღერძულ დატვირთვათა დიაპაზონში 700-დან 5500 ნ-მდე, მაშინ როცა უფრო მცირე დატვირთვებისას (90-დან 700 ნ-მდე) საცდელი ზეთის ეფექტიანობა შედარებით დაბალია. შესაბამისად, ახალი დანამატის შემცველი ზეთის გამოყენება შედარებით ეფექტიანი იქნება ავტომობილების მაღალდატვირთულ სატრანსმისიო აგრეგატებში.

საცდელი ზეთი ასევე დაექვემდებარა ექსტრემალურ პირობებში გამოცდებს. მან გამოავლინა ე.წ. „შემდგომ მოქმედების“ ეფექტი ხახუნის ზონაში ზეთის მიწოდების შეწყვეტის შემდეგ. იგი შედარებული იქნა ასევე წყალ- და მტვერმედეგ ზეთთან – „მახტოლი“. ცხრილის 6 მონაცემების თანახმად, საცდელი ზეთი ნაკლებად ექვემდებარება მის ცვეთა- და აგლეჯასაწინალო თვისებებზე წყლისა და მტვერის უარყოფით გავლენას, ვიდრე „მახტოლი“. შესაბამისად, ანდნ(ბთკ) გამოირჩევა მაღალი კოროზიული და აბრაზიული ცვეთის საწინალო ეფექტიანობით.

ცხრილი 6. დანამატ ანდნ(ბთკ)-ის შემცველი საცდელი ზეთის ტრიბოლოგიური თვისებების წყალ-და მტვერმედეგობაზე (ოთხბურთულიანი ხახუნის მანქანა, ცვეთის ხანგრძლივობა - 10 წმ) გამოცდის შედეგები

ზეთის დასახელება	ცვეთა- და აგლეჯასაწინალო თვისებების მაჩვენებლები	
	d_{03} , მმ	$P_{0.5}$, ნ
„შახტოლი“	0,48	4470
იგივე + 5% წყალი	0,57	2660
იგივე + 5% მტვერი	0,71	2820
И-12А+5% მპნ + 17,5%Акоп-1	0,79	3550
იგივე + 5% წყალი	0,82	2820
იგივე + 5% მტვერი	0,85	3150
И-12А+5% ანდნ(ბთკ)+ 17,5%Акоп-1	0,80	3400
იგივე + 5% წყალი	0,84	2800
იგივე + 5% მტვერი	0,87	3100

აღნიშნულთან ერთად, რამდენადაც საცდელი ზეთის მუშაუნარიანობა, კრიტერიუმის $\sigma_{კრ}$ ($\sigma_{კრ} = 0,6670 (P_{კრ} + P_{0.5})$) მიხედვით, 27%-ით მეტია სასაქონლო ზეთებთან ТСП-15К და ТАп-15В შედარებით, მისი გამოცვლის ვადა შეიძლება გაზრდილი იქნას პრაქტიკულად იგივე სიდიდით მოცემული სასაქონლო ზეთების გამოცვლის ვადებთან შედარებით.

დადასტურებულია, რომ ანდნ(ბთკ)-ის შემცველი საცდელი სატრანსმისიო ზეთი (ცხრ. 7) პიტინგსაწინალო თვისებების დონითაც აღემატება ცნობილ სასაქონლო სატრანსმისიო ზეთებს: ТАп-15В, ТСП-15к, ТСП-10, ТСП-14гип, ТАД-17и, ТН-35903 (ფირმა „ლუბრიზოლი“, აშშ), ВР multigear (ფირმა „ბრიტიშ პეტროლეუმი“).

ცხრილი 7. საცდელი და სასაქონლო სატრანსმისიო ზეთების პიტინგსაწინალო თვისებები

ზეთების და მათი კომპოზიციების დასახელება	საშუალო დრო τ პიტინგამდე, წთ
საცდელი ზეთი (საც.ზ.):	
И-12А+5% ანდნ(ბთკ)+17,5%Акоп-1	108
ТАп-15В	53
ТСП-15к	86
ТСП-10	45
ТСП-14гип	98
ТМ5-12В	75
ТАД-17и	102
ТН-35903	74
ВР multigear	105

ამგვარად, ანდნ(ბთკ)-ის შემცველი საცდელი სატრანსმისიო ზეთის გამოვლენილი მაღალი ცვეთა-, აგლეჯა- და პიტინგსაწინაღო თვისებები და მათი შედარებით დიდი რესურსი ავტომობილის ხანგამძლეობის და ზეთის გამოცვლის ვადების გაზრდის შესაძლებლობას იძლევა, შესაბამისად, მისი გამოყენებით შემცირდება ავტომობილის ტრანსმისიის აგრეგატების სხვადასხვა სახის (მექანიკური, კოროზიული, აბრაზიული) ცვეთის, ასევე აგლეჯის, შედუღების და პიტინგის ტიპის დაზიანებების გამო სარემონტო ან შესაცვლელი დეტალების რაოდენობა და ზეთის შეცვლის ვადები მნიშვნელოვნად (25%-ზე მეტით) გაიზრდება, რაც ჯამში, დიდი ალბათობით, განაპირობებს ავტოსატრანსპორტო საწარმოებში ავტომობილის მუშაუნარიანობის აღდგენის ტექნოლოგიური პროცესების დროს გამოყოფილი მავნე ნივთიერებებით (ნამუშევარი აირები, ზეთის ნისლი, ნამუშევარი ზეთები, დაბინძურებული საწარმოო წყალი და სხვ.) გარემოს გაჭუჭყიანების ხარისხობრივ და რაოდენობრივ მინიმიზირებას და ასევე ავტომობილის ტექმომსახურებასა და რემონტზე ხარჯების შემცირებას.

აღნიშნული დადებითი ეფექტების კიდევ უფრო გაძლიერება შესაძლებელია ახალი დანამატის შემცველი საცდელი ზეთის არეში მომუშავე ხახუნის კვანძებზე ვიბრაციის შემოქმედებით. კერძოდ, ასეთი გზით, 25-49%-ით იზრდება საცდელი ზეთის არეში მოთავსებული ხახუნის კვანძების პოტინგმედეგობა.

ცნობილია, რომ ავტომობილის ხახუნის კვანძებს შორის ერთ-ერთი საპასუხისმგებლოა საჭით მართვის მექანიზმის სფერული სახსროვანი ხახუნის კვანძები, რომელთა გამართულ მუშაობაზე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ავტომობილის მოდრაობის უსაფრთხოება.

ექსპერიმენტების შედეგად დადგენილია, რომ ანდნ(ბთკ) დანამატით სფერული სახსრის გარე ჭილიბის მასალის და ცნობილი უნივერსალური საავტომობილო საცხის - Castrol-ის მოდიფიცირების (პოლიამიდ 610 + 1% ანდნ(ბთკ) და Castrol + 5% ანდნ(ბთკ)) შემთხვევაში, შესაძლებელია მოცე-

მული ხახუნის კვანძის ცვეთამედევობის და მუშაუნარიანობის საშუალოდ 15%-ით და ხახუნზე დანაკარგების ~45%-ით შემცირება, ცნობილ სასაქონლო საავტომობილო საცხებთან შედარებით (ცხრ. 8)

ცხრილი 8. ახალი დანამატის გავლენა საცხის ცვეთასაწინალო და ანტიფრიქციულ თვისებებზე

საცხი მასალა, შემცვლებები და მათი კონცენტრაცია, %(მას. ერთ)	მაჩვენებლები				
	P_3 , ნ	P_8 , ნ	d_0 , მმ	f (P=13006)	ΔJ , მკ/1000კმ
სოლიდოლი C	560	2000	0,59	0,59	0,490
იგივე + 10%ანდნ(ბთკ)	830	2500	0,32	0,33	0,408
ლითოლი-24	630	2000	0,55	0,55	0,486
იგივე + 10%ანდნ(ბთკ)	1000	2500	0,29	0,30	0,410

აღნიშნული მიუთითებს, ახალი დანამატის გამოყენებით საცხების ნარჩენებით გარემოს გაჭუჭყიანების, ასევე დეტალების და კვანძების მომსახურებისა და რემონტზე ხარჯების შემცირების და მოძრაობის უსაფრთხოების ამაღლების შესაძლებლობაზე.

ახალი დანამატის შემცველი საცდელი საავტომობილო სატრანსმისიო ზეთის გამორჩეული რეოლოგიური, ტრიბოლოგიური და საექსპლუატაციო თვისების სათანადო დონეზე უზრუნველყოფისათვის, (როცა **საჭიროა ზეთის დიდ პარტიებად დამზადება**), შერჩეული იქნა შესაბამისი საცდელი-საწარმოო დანადგარი და დამუშავდა ზეთის დამზადების **ნანოტექნოლოგია**.

მოცემული ზეთის დამზადების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი პროცესია ამორთქლებელ-ჰომოგენიზატორში მოთავსებული საბაზო ზეთის და ანდნ(ბთკ) ბენზოლის 5%-იანი პასტის ნარევიდან არასასურველი კომპონენტის - ბენზოლის გამოორთქლება.

აღნიშნული პროცესი მრავალპარამეტრიანი ამოცანაა, რისთვისაც საჭირო გახდა ცალკეული პარამეტრების განსაზღვრისათვის საჭიროა არსებული ან სპეციალურად ტრანსფორმირებული მათემატიკური მოდელების გამოყენება და მათი მიზნობრივი გაერთიანება ლოჯისტიკური (სისტემური) მიდგომით. შესაბამისად, პირველად დამუშავდა დანადგარის

მთავარი აგრეგატის - ამართ-ქლებელი ჰომოგენიზატორის მთავარი პარამეტრების გაანგარიშების ლოჯისტიკური მოდელი.

პროცესის თბოფიზიკური გაანგარიშების საწყის ეტაპს წარმოადგენს ბენზოლის გამორთქლვის პროცესის მატერიალური ბალანსის შედგენა, რასაც სამკომპონენტური ნარევის (საბაზო ზეთი, ნახშირბადი, ბენზოლი) მთლიანი რაოდენობის მიხედვით, ექნება შემდეგი სახე:

$$G_{b_{აფყ}} = G_{b_{აბ}} + (W_{ბყნ}^{b_{აფყ}} - W_{ბყნ}^{b_{აბ}}) = G_{b_{აბ}} + \Delta W_{ბყნ}, \text{ კგ} \quad (1)$$

სადაც $G_{b_{აფყ}}$ და $G_{b_{აბ}}$ არის სამკომპონენტური საზეთე ნარევის საწყისი და საბოლოო მასა, კგ;

$W_{ბყნ}^{b_{აფყ}}$ და $W_{ბყნ}^{b_{აბ}}$ – ნარევი ბენზოლის საწყისი და საბოლოო მასა, კგ;

ΔW – გამორთქლვილი ბენზოლის რაოდენობა, კგ. იგი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$\Delta W = G_{b_{აფყ}} - G_{b_{აბ}} = G_{b_{აფყ}} \left(1 - \frac{G_{b_{აბ}}}{G_{b_{აფყ}}} \right). \quad (2)$$

თუ შემოვიტანთ აღნიშვნებს:

$$\frac{G_{b_{აბ}}}{G_{b_{აფყ}}} = b_1 \text{ და } \frac{G_{b_{აბ}}}{G_{b_{აბ}}} = b_2, \text{ მაშინ} \quad (3)$$

$$\Delta W = G_{b_{აფყ}} \left(1 - \frac{b_2}{b_1} \right), \quad (4)$$

სადაც $G_{b_{აბ}}$ არის საბაზო ზეთისა და ნახშირბადის ჯამური მასა, კგ.

(2) და (3) ტოლობების მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს მატერიალური ბალანსი ასორთქლებელი კომპონენტის – ბენზოლის მიხედვით:

$$G_{b_{აფყ}} \cdot b_1 = G_{b_{აბ}} \cdot b_2, \quad (5)$$

საიდანაც

$$G_{b_{აბ}} = \frac{G_{b_{აფყ}} \cdot b_1}{b_2}. \quad (6)$$

როგორც ზემოაღნიშნულიდან ჩანს, (4) და (5) ტოლობები საშუალებას იძლევა მათში შემავალი ხუთი პარამეტრიდან ($G_{b_{აფყ}}$, $G_{b_{აბ}}$, ΔW , b_1 , b_2) სამი

პარამეტრის ცოდნის შემთხვევაში, განსაზღვრული იქნას დანარჩენი ორი პარამეტრის მნიშვნელობები.

შემდეგი ეტაპია ბენზოლის გამოორთქლისათვის დახარჯული სითბოს ჯამური ხარჯის Q_x განსაზღვრა, რაც მოიცავს სამ მდგენელს: სითბოს ხარჯს ნარევის გაცხელებაზე ბენზოლის დუღილის ტემპერატურამდე $Q_{ბ.ბ.}$, ბენზოლის გამოორთქლისათვის საჭირო სითბოს ხარჯს $Q_{ბ.ა.}$, გარემოზე გადაცემული სითბოს რაოდენობას (დანაკარგს) $Q_{ბ.გ.}$. გასათვალისწინებელია აგრეთვე ნარევის კონცენტრაციის ცვლილების (ამაღლების) შესაბამისი სითბოს დანახარჯი – ე.წ. დეჰიდრატაციის სითბო $Q_{დეჰ.}$, მაგრამ მისი სიდიდის სიმცირის გამო ($Q_{დეჰ.} < 0,5\%$) შეიძლება მისი უგულებელყოფა. შესაბამისად, თბური ბალანსის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე:

$$Q_x = Q_{ბ.ბ.} + Q_{ბ.ა.} + Q_{ბ.გ.} \quad (კჯ).$$

(7) ტოლობაში შემავალი წევრები განისაზღვრება არსებული ლიტერატურის მიხედვით. ამასთან, საჭიროა არსებული **ფორმულების ტრანს-ფორმირება სამკომპონენტური ნარევისათვის**, რაც ნიშნავს კომპონენტების მასების გათვალისწინებას და მათი სითბოტევადობების გასაშუალოებას. შესაბამისად, მიიღება:

$$Q_{ბ.ბ.} = c_b G_b (t_{დუღ.}^{ბენ.} - t_{ბაწყ.}) + c_g G_g (t_{დუღ.}^{ბენ.} - t_{ბაწყ.}) + c_d G_d (t_{დუღ.}^{ბენ.} - t_{ბაწყ.}),$$

$$Q_{ბ.გ.} = c_{ბაშ}^g (G_b + G_g + G_d)(t_{დუღ.}^d - t_{ბაწყ.}), \quad კჯ, \quad (8)$$

სადაც c_b, c_g, c_d არის საბაზო ზეთის, ნახშირბადის და ბენზოლის საშუალო სითბოტევადობები მუდმივი წნევის დროს, კჯ/(კგ°C), ხოლო $c_{ბაშ}^g$ – მათი გასაშუალოებით მიღებული ნარევის საშუალო თბოტევადობა; G_b, G_g, G_d – ზეთის, ნახშირბადის და ბენზოლის საწყისი მასები, კგ; $t_{ბაწყ.}$ და $t_{დუღ.}^d$ – ნარევის საწყისი და ბენზოლის დუღილის ტემპერატურები.

$$Q_{ბ.ა.} = \Delta W (h'' - C_{ბაშ}^d t_{დუღ.}^d), \quad კჯ, \quad (9)$$

სადაც h'' არის აპარატში წარმოქმნილი მეორადი ორთქლის ენტალპია (სითბოს შემცველობა) (კჯ/კგ);

$C_{საშ}^{\delta}$ – ბენზოლის სითბოტევადობა, კჯ/კგ;

$t_{დუღ.}^{\delta}$ – ბენზოლის დუღილის ტემპერატურა, °C.

$$Q_{\delta\beta} = a_{\beta} \cdot F_{\delta\beta} \cdot (t_{\delta\beta} - t_{\beta}) \cdot \tau_{\beta},$$

$$Q_{\delta\beta} = (a_{\beta} + a_{\delta}) \cdot F_{\delta\beta} \cdot (t_{\delta\beta} - t_{\beta}) \cdot \tau_{\beta}, \text{ კჯ}, \quad (10)$$

სადაც a_{β} და a_{δ} არის, შესაბამისად, კონვექციით და გამოსხივებით სითბოგადაცემის კოეფიციენტი, ვტ/(მ²C) ან ვტ/(მ²K); $F_{\delta\beta}$ – აპარატის გაცხელების პერანგის გარემოსთან შეხების ფართობი, მ²; $t_{\delta\beta}$ და t_{β} – აპარატის გარე კედლისა და ჰაერის ტემპერატურები, °C; τ_{β} – ნარევის გაცხელების ჯამური ხანგრძლივობა გაცხელების დაწყებიდან ბენზოლის სრულ გამოორთქლვამდე, სთ.

გასათვალისწინებელია, რომ აპარატი განთავსებულია შენობაში, ქარი გავლენას არ ახდენს თბოცვლის პროცესზე და ამიტომ:

$$a_{\beta} = 1,66(t_{\delta\beta} - t_{\beta})^{1/3}, \text{ ვტ/(მ}^2\text{K)}, \quad (11)$$

$$a_{\delta} = 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \frac{\left(\frac{T_{\delta\beta}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\beta}}{100}\right)^4}{t_{\delta\beta} - t_{\beta}}, \text{ ვტ/(მ}^2\text{K)}, \quad (12)$$

სადაც ε არის აპარატის კორპუსის სიშავის ხარისხი (მიიღება $\varepsilon = 0,9$).

ნარევის გაცხელების ჯამური ხანგრძლივობის τ_{β} -ის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\tau_{\beta} = \tau_{\beta\beta} + \tau_{\beta\delta} \text{ (სთ)}, \quad (13)$$

სადაც $\tau_{\beta\beta}$ არის ნარევის ბენზოლის დუღილის ტემპერატურამდე გაცხელების ხანგრძლივობა, სთ; $\tau_{\beta\delta}$ – ნარევიდან ბენზოლის გამოორთქლვის ხანგრძლივობა, სთ.

თავის მხრივ:

$$\tau_{\beta\beta} = \frac{G_{საწვ} \cdot C_{საშ} \cdot 1000}{K_{\beta\beta} \cdot F_{\beta\beta} \cdot 3600} \cdot \ln \frac{t_{ორთ.} - t_{საწვ}}{t_{ორთ.} - t_{დუღ.}^{\delta}}, \text{ სთ}, \quad (14)$$

$$\tau_{\beta\delta} = \frac{1000}{F_{\beta\delta} \cdot 3600} \cdot \int_{Q_{\beta\delta}}^{Q_{\delta\beta}} \frac{dQ_{\beta\delta}}{K_{\beta\delta} \cdot (t_{ორთ.} - t_{დუღ.}^{\delta})}, \text{ სთ}, \quad (15)$$

სადაც $K_{\text{ბ.გ.}}$ არის ნარევის გაცხელების დროს მასზე წყლის ნაჯერი ორთქლიდან თბოგადაცემის კოეფიციენტი, ვტ/(მ²°C); $K_{\text{ბ.ა.}}$ – წყლის ნაჯერი ორთქლიდან ნარევზე თბოგადაცემის კოეფიციენტი ნარევიდან ბენზოლის გამოორთქლვისას, ვტ/(მ²°C); $F_{\text{ბ.ფ.}}$ – აპარატის ნაჯერი ორთქლით გაცხელების ფართობი, მ²; $t_{\text{ორთ.}}$ – წყლის ნაჯერი ორთქლის ტემპერატურა, °C.

ნარევის გაცხელებისა და ბენზოლის გამოორთქლვისათვის საჭირო წყლის ნაჯერი ორთქლის ჯამური რაოდენობა $D'_{\text{ბ.ო.}}$ გამოითვლება ფორმულით:

$$D'_{\text{ბ.ო.}} = \frac{Q'_{\text{წ.}}}{\delta \cdot x}, \text{ კგ} \quad (16)$$

სადაც $Q'_{\text{წ.}} = Q_{\text{ბ.გ.}} + Q_{\text{ბ.ა.}}$; δ – ბენზოლის აორთქლების ფარული სითბო; x – გამოყენებული წყლის ორთქლის სიმშრალის ხარისხი.

აპარატის კედლებიდან გარემოზე გადაცემული სითბოს $Q_{\text{ბ.გ.}}$, ე.ი. სითბოს დანაკარგის, რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით (10).

მაშინ, $Q_{\text{ბ.გ.}}$ -ს გათვალისწინებით, ნარევის გაცხელების და ბენზოლის გამოორთქლვისათვის საჭირო წყლის ნაჯერი ორთქლის დაზუსტებული ჯამური რაოდენობა იქნება:

$$D_{\text{ბ.ო.}} = D'_{\text{ბ.ო.}} + \frac{Q_{\text{ბ.გ.}}}{\delta \cdot x}, \text{ კგ} \quad (17)$$

შესაბამისად, წყლის ნაჯერი ორთქლის ხვედრითი ხარჯი განისაზღვრება ფორმულით:

$$d = \frac{D_{\text{ბ.ო.}}}{W}, \text{ კგ/კგ} \quad (18)$$

როგორც ზემოაღნიშნულიდან ჩანს, თბური გაანგარიშების მთავარი მიზნობრივი პარამეტრების (τ_x და $D_{\text{ბ.ო.}}$) გაანგარიშებისთვის, აუცილებელია თბოგადაცემის კოეფიციენტებისა და სხვა პარამეტრების განსაზღვრა, რისი განხორციელებაც საკმარისად რთულ ამოცანას წარმოადგენს.

რამდენადაც ამაორთქლებელ-ჰომოგენიზატორში ერთდროულად მიმდინარეობს რამდენიმე თბური პროცესი – სითბოგადაცემა; გაცხელება და ნარევიდან ბენზოლის გამოორთქლვა და სხვ. შესაბამისად, საჭიროა ამ

პროცესების ცალ-ცალკე და შემდეგ ურთიერთკავშირში განხილვა. მაგალითად, საზეთე ნარევის გაცხელებისას თბოგადაცემის კოეფიციენტი შეიძლება მიღებული იქნეს მუდმივ სიდიდედ და მიზანშეწონილია მისი არსებული ფორმულების გამოყენებით გაანგარიშება. მაგრამ ამასთან, გათვალისწინებული უნდა იქნეს, რომ ბენზოლის გამოორთქლვის პროცესის შესაბამისი თბოგადაცემის კოეფიციენტი ცვალებადია, რადგან ამ პროცესში ადგილი აქვს ნარევეში ბენზოლის შემცველობის ცვალებადობას (შემცირებას). ამიტომ ნარევის გაცხელების და ბენზოლის გამოორთქლვის პროცესებისათვის თბოგადაცემის კოეფიციენტები ცალ-ცალკე უნდა განისაზღვროს და ა.შ.

აღნიშნულის გათვალისწინებით, საჭირო პარამეტრები განისაზღვრება ტეორიულ-ექსპერიმენტული გზით, რომლის შედეგები მოტანილია მითითებულ ჩვენს ნაშრომებში [3,6]. მათი გამოყენებით დადგინდა, რომ $\tau_x = 15,32$ სთ; $D_{\text{წ.თ.}} = 1169$ კგ; $d = 1,37$ კგ/კგ.

ამგვარად, ამორთქლობელ-ჰომოგენიზატორის მუშაობის ლოჯისტიკური მიდგომით განხორციელებული თერმოდინამიკური კვლევის შედეგად, დამუშავებულია კომპლექსური მათემატიკური მოდელი, რომელიც დანადგარის მუშაობის ისეთი მთავარი პარამეტრების გაანგარიშების საშუალებას იძლევა, როგორცაა არასასურველი კომპონენტის ბენზოლის სრული გამოორთქლვის დრო (τ_x) და ამისათვის საჭირო გამაცხელებელი მუშა სხეულის მთლიანი რაოდენობა ($D_{\text{წ.თ.}}$).

ძირითადი დასკვნები

1. ჩატარებული ფართო მეცნიერული კვლევების შედეგებისა და არსებული მონაცემების საფუძველზე, დამუშავებულია ავტომობილის ეფექტიანობის ახალი განმარტება და მისი ამაღლების ორიგინალური კონცეფცია, რომლის თანახმად, ახალი დანამატის გამოყენებით შესაძლებელია შემზეთი და თვითშემზეთი მასალების რეოლოგიური, ტრიბოლოგიური და

საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება და ამ გზით ავტომობილის კონსტრუქციული ეფექტიანობის ამაღლება.

2. მოხდა ავტომობილის ეფექტიანობის განმარტების სრულყოფა და იგი შემდეგი სახით ჩამოყალიბდა - ავტომობილის ეფექტიანობა წარმოადგენს საექსპლუატაციო თვისებების განზოგადებულ მაჩვენებელს, რაც ძირითადად ფასდება ავტომობილის მწარმოებლურობით, ეკონომიურობითა და მოძრაობის და ეკოლოგიური უსაფრთხოებით.

3. ელექტონული მიკროსკოპიის მეთოდებით კვლევის შედეგებით დადასტურებულია, რომ ქართველი მეცნიერების (პროფ. ე. ქუთელია, ლ. რუხაძე) მიერ ბენზოლის თერმული კარბონიზაციით მიღებული ახალი დანამატი წარმოადგენს ნანოდისპერსულ (20-50 ნმ), ამორფულ ნახშირბადს, რაც განაპირობებს მის მაღალ ტრიბოლოგიურ ეფექტიანობას. მისი მოკლე დასახელებაა - ანდნ (ბთკ).

4. დადგენილია ახალი დანამატის შემცველი საცდელი სუსპენზიური საავტომობილო სატრანსმისიო ზეთის ოპტიმალური ვარიანტის კომპონენტები და მათი კონცენტრაციები (საბაზო ზეთი - II-12A; 5% დანამატი ანდნ(ბთკ); სტაბილიზატორი - 17,5% დანამატი Akop-1 და, საჭიროების შემთხვევაში, 1% დეპრესორი AzНИИ), რაც უზრუნველყოფს მის მაღალ კოლოიდურ სტაბილურობას და მრავალფუნქციური ტრიბოლოგიური მოქმედების მექანიზმს.

5. ექსპერიმენტების შედეგად დადგენილია ახალი დანამატის შემცველი სატრანსმისიო ზეთის საბაზო ზეთად მცირე სიბლანტის ზეთების გამოყენების შესაძლებლობა, ტრიბოლოგიური თვისებების გაუარესების გარეშე, რაც დიდ პრობლემას წარმოადგენს ქიმიურად აქტიური, თუნდაც განთქმული დანამატების გამოყენების შემთხვევაში. აღნიშნული ეფექტის გამოყენებით დამუშავებული საცდელი სატრანსმისიო ზეთი გამოირჩევა მაღალი რეოლოგიური (სიბლანტე-ტემპერატურული და დაბალტემპერატურული) თვისებებით, ასევე დაბალი გაყინვის ტემპერატურით (-42°C). ამ მაჩვენებლებით მას უპირატესობა გააჩნია მსოფლიოში ცნობილი (იმავე

კლასის - SAE W70-W80) ისეთი სატრანსმისიო ზეთების მიმართ, როგორცაა „შელ-შელ სპირაქს ჰევი დიუტი SAE 80“), „ესო-ესო GX SAE 80“ და სხვ.

6. ხახუნის მანქანებზე გამოცდებით დადგენილია, რომ ანდნ(ბოკ)-ს შემცველი საცდელი სატრანსმისიო ზეთი გამოირჩევა მაღალი მრავალმხრივი ტრიბოლოგიური ეფექტიანობით. კერძოდ, ის, დატვირთვების, ტემპერატურათა და ცდების ხანგრძლივობის დიდ დიაპაზონში და, განსაკუთრებით, ამ პარამეტრების სიდიდეების გაზრდისას, ამჟღავნებს საგრძნობლად მაღალ ანტიფრიქციულ, (მექანიკურ, კოროზიულ, აბრაზიულ) ცვეთა-, აგლეჯა- და პიტინგსაწინაღო თვისებებს, ზედაპირების მაღალხარისხოვანი მიმუშავების და ექსტრემალურ პირობებში (აბრაზივის და წყლის თანაობა, ხახუნის ზონაში ზეთის მიწოდების შეწყვეტა) მუშაუნარიანობის შენარჩუნების გამორჩეულ უნარს. აღნიშნულ თვისებათა ჯამური ეფექტიანობის მიხედვით, ახალ საცდელ სატრანსმისიო ზეთს უპირატესობა აქვს ისეთი ცნობილი სასაქონლო საავტომობილო სატრანსმისიო ზეთების მიმართ, როგორცაა TH 35903 (ფირმა „ლუბრიზოლი“, აშშ), BP multigear („ბრიტიშ პეტროლიუმი“), TAB-17u, TAn-15B, TCn-15, TCn-15k (რუსეთი) და სხვა. აღსანიშნავია, რომ ფართოდ რეკლამირებულ დანამატ XADO-სთან შედარებით, ახალი დანამატი უზრუნველყოფს 1550 ნ-ით მეტ შედუღების დატვირთვას და მცირე ცვეთას.

7. პოლიამიდ-610-ში 1% ანდნ(ბოკ)-ის შეტანით ავტომობილის საჭით მართვის მექანიზმის სფერული სახსროვანი ხახუნის კვანძის გარეჭილობი გახდა ეფექტიანი თვითშემზეთ დეტალი. აღნიშნული სახსრის ეფექტიანობა კიდევ უფრო იზრდება მისი შეზეთვისას საცდელი პლასტიკური საცხით „Castrol +5% ანდნ(ბოკ) + 5% MoS₂. შესაბამი-სად, უკანასკნელისა და პოლიამიდ - 610 + 1% ანდნ(ბოკ)-ის კომბინაციის გამოყენება, უდანამატო პოლიამიდ-610-ის და Castrol-ის კომბინაციასთან შედარებით, უზრუნველყოფს საჭის მექანიზმის მნიშვნელოვანი კვანძის ცვეთის, ხახუნის შემცირებას და მისი ზღვრული დატვირთვის და მუშაუნარიანობის გაზრდას.

8. ახალ დანამატთან საცდელი საავტომობილო სატრანსმისიო ზეთის დასამზადებელი დანადგარის მრავალფაქტორიანი სამუშაო პროცესისადმი ლოჯისტიკური მიდგომით განხორციელებული თერმოდინამიკური კვლევის შედეგად, პირველადაა დამუშავებული კომპლექსური მათემატიკური მოდელი, რომელიც დანადგარის ისეთი მთავარი პარამეტრების ზუსტი გაანგარიშების საშუალებას იძლევა, როგორცაა ბენზოლის გამოორთქვლის დრო და ამ პროცესის რეალიზებისათვის საჭირო წყლის ორთქლის რაოდენობა. აღნიშნული მათემატიკური მოდელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას სუსპენზიური ზეთების დასამზადებელი და ნამუშევარი ზეთების სარეგენერაციო დანადგარების გაანგარიშება-დაგეგმარების დროს.

9. ფართომასშტაბიანი ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების და არსებული მასალების ანალიზის შედეგად დადგენილია, რომ ახალი დანამატის გამოყენებით (რომელიც, ცნობილ სასაქონლო საავტომობილო ზეთებთან შედარებით, ზეთის რეოლოგიური და ტრიბოლოგიური თვისებების გაუმჯობესებით განაპირობებს ტრანსმისიის აგრეგატებში ენერჯის დანაკარგების (70-80°C ტემპერატურისას) 2-ჯერ, კოროზიული ცვეთის - 80%-ით, აბრაზიული ცვეთის 30%-ით, პიტინგის 25%-ით, მიმუშავებისას ზედაპირის სიმქისის 3-ჯერ, საჭის მექანიზმის სფერული სახსრის ცვეთის 15%-ით და ხახუნზე დანაკარგების 45%-ით შემცირებას, აგრეთვე ზეთის მუშაუნარიანობისა 25%-ით გაზრდას და ა.შ.) შესაძლებელია ავტომობილის ხანგამძლეობის, საწვავეკონომიურობის, ზეთების გამოცვლის ვადების, მოძრაობის და ეკოლოგიური უსაფრთხოების გაზრდა, ავტომობილის ადგილიდან დაძვრის გადაადვილება და გაქანების დროის, ტექნიკური მომსახურებისა და სარემონტო ხარჯების შემცირება, რაც ჯამში გამოიწვევს ავტომობილის ეფექტიანობის მნიშვნელოვან ამაღლებას.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი
ასახულია შემდეგ პუბლიკაციებში:

1. Iosebidze J.S., Chkheidze A.P., Kupatadze D.O., Abramishvili G.S. Improvement in the durability of motor car tribounits by vibrostimulation of tribosynthesis of graphite-diamond surface structures. Georgian Engineering News, №4 – 2013, 45-47p.
2. Иосебидзе Д.С. Подгуркас И.А., Купатадзе Д.О., Абрамишвили Г.С. и др. Исследование возможности повышения долговечности агрегатов трансмиссии добавлением присадки нового типа к автомобильным маслам, Georgian Engineering News, №4, 2013, 48-51p.
3. Iosebidze J., Kiguradze O., Khutsishvili G., Chitaishvili G., Abramishvili G., Kupatadze D. Elaboration of the model for thermal calculation of evaporator-homogenizer for production of oil containing amorphous nanodispersed carbon. Balttrib 2013, VII International scientific conference, 2013, Kaunas, 33-39p.
4. Iosebidze J.S., Kupatadze D.O., Khvedelidze M.M., Abramishvili G.S. Improvement of the efficiency of spherical joint friction units of the steering mechanism. Transport bridge EUROPE-ASIA, GTU, 2014, 40-43p.
5. აბრამიშვილი გ. რუხაძე ლ., იოსებიძე ჯ., კუპატაძე დ. და სხვ. მანქანების ხანგამძლეობის გაზრდა ალმასის ნანოკრისტალების შემცველი ზედაპირული სტრუქტურების ტრიბოსინთეზის უნარიანი ზეთების გამოყენებით. სტუ-ს გრანტის ანგარიში. თბილისი, 2010წ.
6. Иосебидзе Д.С. Купатадзе Д.О., Абрамишвили Г.С. и др. Разработка логистической модели для определения теплофизических параметров установки для изготовления нанотехнологией автомобильных суспензионных масел. «Транспорт», №1-4, 2014, 10-14с.

ABSTRACT

The work is dedicated to the improvement of vehicles efficiency by application of lubricant materials new additives. It consists from an introduction, two parts, two chapters, main conclusions and list of references.

In the first chapter (Literature Review) were considered and analyzed existing references relating to vehicle efficiency (was formulated its new, relatively complete, definition), its assessment parameters (durability, fuel efficiency, traffic and environmental safety) having impact on transmission lubricant materials, steering gear mechanism joints lubricants and properties of the detail's materials and by application of their effective additives to improve the ways.

In the second chapter (research results and discussion) is studied automotive transmission oils and self-lubricant materials new additives and is investigated due its application of lubricant materials in the physical-chemical, functional and operational features to improve the possibility of optimizing the conditions the vehicle's structural performance parameters (durability, fuel efficiency, ecological, structural safety) improvement.

It is defined that the new additives that are made in Georgia from benzene pyrolysis carbonization, represents the amorphous nano disperse (20-50 μm) carbon, it's was abbreviated as andn (btk).

Due the results of experiments is defined that the new additive containing rheological properties, as well as the low freezing temperature, has the advantage before the world-famous transmission oils, such as "shell-shell spirax heavy duets SAE 80"), "Esso-Esso GX SAE 80" and so forth. It also shows markedly high antifriction, (mechanical, corrosive, abrasive) wear-, break- and fitting-resistance properties, surfaces high-quality running-inn and extreme conditions (compatibility with abrasive and water, cessation oil supply to the friction zone) featured the ability to maintain operability. Due the mentioned properties total efficiency, new experimental transmission oil has the advantage of a well-known commodity automotive transmission oils, such as TH 35903 (firm "Lubrizol", US), BP multigear ("British Petroleum").

Due the analysis of research results and existing materials is defined that by application of new additives (which, in comparison with the well-known commodity motor oils, reduce energy losses in transmission aggregates up to 2 times, corrosive

wear – up to 80%, the abrasive wear up to 30%, pitting up to 25%, running-inn of surface roughness up to 3 times, the steering gear mechanism spherical joint wear by 15% and friction losses up to 45%, as well as up to 25% increasing in oil functionability etc.) will be possible to improve the efficiency of the vehicle.