

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მერაბ ღლონტი

**საავტომობილო დიზელის ეკოლოგიურობის ამაღლების
შესაძლებლობის კვლევა წვის პროცესის მოდელირებით**

სადოქტორო პროგრამა – ტრანსპორტი

შიფრი _____

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2018

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში

სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

საავტომობილო ტრანსპორტის დეპარტამენტი

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: ტ.მ.დ., პროფესორი ჯუმბერ იოსებიძე

ტ.მ.დ., პროფესორი თამაზ ნატრიაშვილი

რეცენზენტები: ტ.მ.დ., პროფესორი ო. გელაშვილი

ტ.მ.დ., პროფესორი ე. მაჭავარიანი

დისერტაციის დაცვა შედგება 2018 წლის ____ ივლისს ____ საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე.

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 68, I კორპუსი, აუდიტორია ____

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცენტრალურ სამეცნიერო ბიბლიოთეკაში.

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული

მდივანი: ტ.მ.კ., პროფესორი ნ. ნათბილაძე

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

ნაშრომის აქტუალურობა: თანამედროვე მსოფლიოს წინაშე მდგარი გლობალური (ეკოლოგიური და ენერგეტიკული) პრობლემების გადაჭრა უშუალოდაა დაკავშირებული შიგაწვის ძრავებთან, რადგან ისინი ბუნებრივი საწვავის ძირითადი მომხმარებლები და გარემოს დაბინძურების ერთ-ერთი მთავარი მიზეზთაგანია. ეს პირველ რიგში ეხება საავტომობილო დეგუმიან ძრავებს, რამდენადაც ავტომობილების რაოდენობამ დღეისათვის მსოფლიო მასშტაბით უკვე გადააჭარბა მილიარდ ერთეულს და მათზე მოდის დიდ ქალაქებში ატმოსფერული ჰაერის დაჭუჭყიანების 80 %-ზე მეტი. ამასთან, 2050 წლისათვის მოსალოდნელია ავტომობილების რიცხვის 3-ჯერ გაზრდა და, არსებული პროგნოზების თანახმად, ისინი ძირითადად კვლავ შიგაწვის ძრავებით იქნებიან აღჭურვილი, რაც კიდევ უფრო ამძაფრებს ზემოაღნიშნულ პრობლემას. უნდა აღინიშნოს, რომ ისეთი ფაქტორები, როგორცაა: მაღალი მქკ, კარგად ორგანიზებული წარმოების ტექნოლოგიები (სიახლეების სწრაფი დანერგვა სერიულ წარმოებაში და ასევე სწრაფი რეაგირება საბაზრო მოთხოვნებზე) და გაბატონებული (დომინირებული) მდგომარეობა ენერჯის სხვა ავტონომიურ წყაროებთან შედარებით, ფაქტობრივად გამორიცხავს ახლო მომავალში ალტერნატიული ძრავების გამოჩენას და მათ ფართო დანერგვას.

დღეისათვის, მიუხედავად ბენზინზე მომუშავე ძრავების საწვავის ეკონომიურობის ზრდისა, რაც პირველ რიგში ძრავას ელექტრონული მართვის სისტემის დანერგვითაა გამოწვეული, ისინი საწვავის ეკონომიურობის მხრივ კვლავ საგრძნობლად (~ 20–30 %-ით) ჩამორჩებიან საწვავის უშუალო შეფრქვევის მქონე დიზელებს. ეს მიუთითებს ავტოტრანსპორტის დიზელიზაციის პერსპექტიულობაზე, მაგრამ თანამედროვე ტექნიკის დონე არ იძლევა ეკოლოგიურად უვნებელი გამონაბოლქვის მქონე დიზელისძრავიანი ავტომობილის შექმნის საშუალებას. ეს პირველ რიგში ეხება აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის (მყარი ნაწილაკების) არსებობას.

ამჟამად ყველა განვითარებულ ქვეყანაში დაკანონებულია შეზღუდვები შიგაწვის ძრავების, კერძოდ კი დიზელების, გამონაბოლქვ აირებში არსებულ ისეთ ოთხ მავნე კომპონენტზე, როგორცაა: აზოტის ჟანგეულები $[NO_x]$, ჭვარტლი (მყარი ნაწილაკები), ნახშირჟანგი $[CO]$ და ნახშირწყალბადის შენაერთები $[C_mH_n]$. აქედან პირველი ორი ყველაზე სახიფათოა ადამიანის, ფლორისა და ფაუნისათვის.

თანამედროვე მეცნიერული კვლევების შედეგების თანახმად შიგაწვის ძრავების ეკოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესება შეიძლება სამი ძირითადი გზით:

1. ძრავას ცილინდრში მიმდინარე რთული ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების, კერძოდ კი წვის პროცესის, სრულყოფით (ანუ პროცესის ისე წარმართვით, როცა წვის პროდუქტები მავნე კომპონენტების მინიმალურ რაოდენობას შეიცავს);
2. წვის პროდუქტების გამომშვებ სისტემაში სხვადასხვა სახის ნეიტრალიზატორის დაყენებით;
3. ალტერნატიული საწვავების (ბუნებრივი გაზის, წყალბადის, მცენარეული წარმოშობის სპირტებისა და ზეთების და სხვ.) გამოყენებით.

პირველი მიმართულება გამოიყენება აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის წარმოშობის გამომწვევი მიზეზების წინააღმდეგ და ამ მხრივ მასშტაბური კვლევები წარმოებს გერმანიაში (პროფესორები: J. Warnatz, P. Pischinger, G. Wachtmeister და სხვ.), აშშ-ში (პროფესორები: J. Heywood, G. Lavoie, L. Dodge, R. Campbel), იაპონიაში (პროფესორები: H. Hiroyasu, K. Akihama, Y. Takatori, K. Inagaki და სხვ.).

მეორე მიმართულება, პირველისგან განსხვავებით, უზრუნველყოფს წვის შედეგად წარმოშობილი მავნე კომპონენტების განეიტრალებას. ამ მხრივ განსაკუთრებით აქტიურ კვლევებს აწარმოებენ დიზელების ისეთი ცნობილი მწარმოებლები, როგორებიც არიან: MAN, Daimler-Benz, BMW (გერმანია), General Motors (აშშ), Mitsubishi (იაპონია) და სხვ.

ალტერნატიული საწვავების გამოყენება, მართალია, ამცირებს მავნე კომპონენტების გამოყოფას, მაგრამ სრულად არ გამორიცხავს მათ არსებობას (განსაკუთრებით აზოტის ჟანგეულებისას). ამას ადასტურებს პროფესორების: T. Lieuwen, V. Yang, R. Yetter, A. Boehman (აშშ), O. Le Corre (საფრანგეთი), S. Sazhin (ინგლისი) და სხვათა გამოკვლევები.

აღნიშნული მიმართულებების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის კონცენტრაციების შემცირების მეთოდებს შორის ე. წ. „მიზნების კონფლიქტია“, რაც გამოიხატება იმაში, რომ ერთის (მაგალითად $[NO_x]$ -ის) შემცირება იწვევს მეორის (ჭვარტლის) კონცენტრაციის გაზრდას და პირიქით. ამის გამო შიგაწვის ძრავების მკვლევრებიცა და მწარმოებლებიც იძულებულნი არიან, აირჩიონ კომპრომისული გზა, რომელიც ითვალისწინებს ერთ-ერთი მათგანის შემცირებას მეორის გაზრდის ხარჯზე. პრობლემის გადაჭრას ართულებს ის ფაქტიც, რომ ძრავას ციკლის მაქსიმალური ტემპერატურის შემცირებას, ანუ $[NO_x]$ -ის მინიმიზაციას (თერმოდინამიკის კანონების თანახმად), მივყავართ მქც-ის შემცირებისაკენ (ანუ საწვავის ხარჯის გადიდებისაკენ).

დიზელის მუშაობის კლასიკურ პროცესში აზოტის ჟანგეულები წარმოიქმნება დიზელის საწვავისა და ჰაერის ჰეტეროგენული ნარევის წვისას იმ ლოკალურ ზონებში, რომლებშიც ნარევი თავის შემადგენლობით უახლოვდება სტექიომეტრიულ ნარევს, ხოლო ტემპერატურა T_i მეტია – 1800 K-ზე ($T_i > 1800 K$). ჭვარტლი კი წარმოიქმნება იმ ლოკალურ ზონებში, რომლებშიც ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის α_{3i} მნიშვნელობები ნაკლებია 0,6–0,7-ზე ($\alpha_{3i} < 0,6–0,7$).

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, დღეისათვის აქტუალურ მეცნიერულ პრობლემას წარმოადგენს დიზელისათვის წვის პროცესის სრულყოფის ისეთი მეთოდის დამუშავება, რომლის რეალიზების დროსაც ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტისა α_{3i} და ტემპერატურის T_i ლოკალური მნიშვნელობები არ იქნება იმ დიაპაზონებში, რომლებშიც აზოტის ჟანგეულები და ჭვარტლი წარმოიქმნება. მრავალრიცხოვანი კვლევების შედეგების

თანახმად, ასეთი შედეგი მიიღწევა ახალი, ალტერნატიული წვის პროცესის მოდელირებით და კვლევის ნავიე-სტოქსის ფუნდამენტური განტოლებების გამოყენებით.

წინამდებარე ნაშრომი ეძღვნება შიგაწვის ძრავების ეკოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესებას აღნიშნული გზით. მისი გამოყენება აქტუალურია ავტომობილების არამწარმოებელი ქვეყნებისათვის (როგორცაა მაგალითად, საქართველო), რადგან პროცესის რეალიზება არ მოითხოვს ძრავაში კონსტრუქციული ცვლილებების შეტანას ან სამუშაო პროცესის პრინციპულ შეცვლას.

სამუშაოს მიზანია: საავტომობილო დიზელის ეკოლოგიურობის ამაღლების შესაძლებლობების კვლევა წვის პროცესის მოდელირებით.

დასახული მიზნის მისაღწევად გადაჭრილი იქნება შემდეგი ძირითადი ამოცანები:

1. დიზელის სამუშაო პროცესის სრულყოფის თანამედროვე მეთოდების ანალიზის შედეგად ახალი, ალტერნატიული (ნაწილობრივ ჰომოგენური) წვის პროცესის, როგორც აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის კონცენტრაციების ერთდროული შემცირების მეთოდის, უპირატესობის დასაბუთება არსებულ მეთოდებთან შედარებით და მისი მოდელირებისათვის კონცეფციის დადგენა.
2. საავტომობილო დიზელებისათვის ნავიე-სტოქსის სამგანზომილებიან ფუნდამენტურ განტოლებათა სისტემაზე დაფუძნებული ახალი, ალტერნატიული (ნაწილობრივ ჰომოგენური) წვის პროცესის მათემატიკური მოდელის დამუშავება.
3. დიზელის ცილინდრში წვის პროცესში აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის წარმოქმნის მექანიზმების დაზუსტება და განსაზღვრა.
4. დიზელის ახალი, ალტერნატიული (ნაწილობრივ ჰომოგენური) წვის პროცესის მოდელის ვერიფიკაცია ექსპერიმენტული ინდიკატორული დიაგრამების გამოყენებით.
5. სერიული საავტომობილო დიზელის – 3M3 5145.10-ის მაგალითზე

ამოხსნის რიცხვითი მეთოდით ეკოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესების შესაძლებლობების კვლევა და დიზელში ნარევეწარმოქმნისა და წვის პროცესებზე გავლენის მქონე ფაქტორების (კუმშვის ხარისხის, ჰაერის დაგრიგალების ინტენსიურობის, საწვავის მრავალჯერადი შეფრქვევისა და ნამუშევარი აირების რეცირკულაციის ხარისხის) ოპტიმიზირება.

6. ახალი, ალტერნატიული წვის პროცესით მომუშავე პერსპექტიული დიზელების ეკოლოგიური ეფექტიანობის პროგნოზირება.

კვლევის ობიექტი: საავტომობილო დიზელის ახალი, ალტერნატიული (ნაწილობრივ ჰომოგენური) წვის პროცესი.

სამუშაოს მეცნიერული სიახლე:

1. დღეშიანი ძრავების ეკოლოგიური და ეფექტური მაჩვენებლების გასაუმჯობესებლად ალტერნატიული წვის პროცესების შემუშავებისადმი მიძღვნილი ძირითადი პუბლიკაციების ღრმა ანალიზის შედეგად პირველად დასაბუთებული ახალი, ალტერნატიული (ნაწილობრივ ჰომოგენური) წვის პროცესის, როგორც დიზელის წვის პროდუქტებში აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის ერთდროული შემცირების მეთოდის, მნიშვნელოვანი უპირატესობა ცნობილ ტრადიციულ და ალტერნატიულ მეთოდებთან შედარებით. ასევე, ფორმულირებულია ძირითადი პრობლემები, რომელთა გადაწყვეტაა საჭირო ახალი, ალტერნატიული წვის პროცესის დასამუშავებლად, და ნაჩვენებია, რომ მათ გადასაწყვეტად მიზანშეწონილია მათემატიკური მოდელირების მეთოდების გამოყენება და დიზელის ცილინდრში მიმდინარე თბოფიზიკური პროცესების გადაწყვეტა ნავიე-სტოქსის ფუნდამენტური განტოლებებით. ამასთან ერთად, მოდელირების მეთოდების შექმნა, განვითარება და დანერგვა საგრძნობლად შეამცირებს დაფინანსების მოცულობასა და შესრულების ვადებს ახალი ძრავების შექმნისა თუ არსებული ძრავების სრულყოფის საქმეში.
2. შიგაწვის ძრავების ცილინდრშიგა პროცესების მოდელირება ჰიდრო-

გაზოდინამიკური კონცეფციით, რომელიც ტრადიციული თერმოდინამიკური მიდგომისაგან განსხვავებით ტურბულენტურობას ითვალისწინებს, შემუშავებულია დიზელის სამუშაო პროცესის მათემატიკური მოდელი. იგი დაფუძნებულია მოძრაობის რაოდენობის (ნავიე-სტოქსის), ენერჯის (ფურიე-კირხოფის), მასის უწყვეტობისა და დიფუზიის (ფიკის) სამგანზომილებიან, არასტაციონარულ ფუნდამენტურ განტოლებებზე, რომლებიც ფავრის მეთოდითაა გასაშუალებელი და ჩაწერილია რეინოლდსის ფორმით. მოდელის რიცხვითი რეალიზება ხორციელდება ფირმა AVL List GmbH-ის მიერ დამუშავებული 3D-CFD FIRE-ის პროგრამული კომპლექსის გამოყენებით.

3. დგუშიან ძრავებში წვის ტურბულენტური პროცესებისათვის შერჩეული მაგნუსენ-ჰარტაგერის მოდელი, ტურბულენტური წვის სიჩქარის გასაანგარიშებლად არ საჭიროებს სამუშაო ტანის პარამეტრების ფლუქტუაციის გაანგარიშებას და ტურბულენტურობის გავლენას არაცხადი სახით ითვალისწინებს ემპირიული კოეფიციენტების საშუალებით. ექსპერიმენტული ინდიკატორული დიაგრამების საფუძველზე განსაზღვრული ემპირიული კოეფიციენტების მნიშვნელობები უზრუნველყოფს უშუალო შეფრქვევისა და ჰეტეროგენული წვის მქონე სწრაფვლიანი დიზელის წნევისა და სითბოს გამოყოფის ექსპერიმენტული და გაანგარიშებული მნიშვნელობების კარგ თანხვედნას. ექსპერიმენტული ინდიკატორული დიაგრამის გამოყენებით არჩეული წვის მოდელის ვერიფიკაციამ, გვიჩვენა გაანგარიშებით მიღებული შედეგების საიმედოობა და ასევე დაადასტურა ტრადიციული და ალტერნატიული წვის პროცესის მქონე დგუშიან ძრავებში ეფექტური და ეკოლოგიური მაჩვენებლების გასაუმჯობესებლად სხვადასხვა კონსტრუქციული და სარეგულაციო ფაქტორის გავლენის შესასწავლად ამ მოდელის გამოყენების მიზანშეწონილობა.

სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის მასალები მოხსენებულ იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 86-ე ღია

საერთაშორისო კონფერენციაზე (თბილისი 2018) და საერთაშორისო საავტომობილო სამეცნიერო ფორუმზე – სსსფ-2017 „ინტელექტუალური სატრანსპორტო სისტემები“ (მოსკოვი, 2017).

პუბლიკაციები. დისერტაციის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო ნაშრომი ცნობილ რეფერირებად სამეცნიერო-ტექნიკურ ჟურნალებში.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლის, 2 თავის, დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. ნაშრომი მოიცავს კომპიუტერზე დაბეჭდილ 107 გვერდს. მათ შორის 13 ცხრილსა და 37 ნახაზს.

ნაშრომის მოკლე შინაარსი

შესავალში ნაჩვენებია ნაშრომის აქტუალობა, მიზანი, ძირითადი ამოცანები და მეცნიერული სიახლე.

ნაშრომის პირველ თავში (ლიტერატურის მიმოხილვაში) განხილულია და გაანალიზებულია არსებული ლიტერატურული წყაროები, რომლებიც მიძღვნილია საავტომობილო შიგაწვის ძრავების ეკოლოგიურობისადმი და ასევე მისი ამალლების მეთოდების სრულყოფისადმი დიზელის ძრავაში მიმდინარე წვის პროცესის მოდელირებით.

თანამედროვე საავტომობილო დიზელების ეკოლოგიური პრობლემები. განხილულია თანამედროვე ძრავათმშენებლობის, კერძოდ სატრანსპორტო ძრავათმშენებლობის, განვითარების პერსპექტივები. ნაჩვენებია, რომ დღეშიანი ძრავები, როგორც ბუნებრივი საწვავი რესურსების ძირითადი მომხმარებლები, თავადაა დედამიწის ბუნებრივი ეკოლოგიური წონასწორობის ძირითადი დამრღვევი, რომლებიც ატმოსფეროში აფრქვევენ შემდეგ მავნე ნივთიერებებს, როგორცაა: აზოტის ჟანგეულები [NO_x], მყარი ნაწილაკები (რომელთა ძირითადი კომპონენტია ჭვარტლი), ნახშირჟანგი [CO] და ნახშირწყალბადის შენაერთები [C_mH_n]. მიუხედავად ამისა დღეშიანი

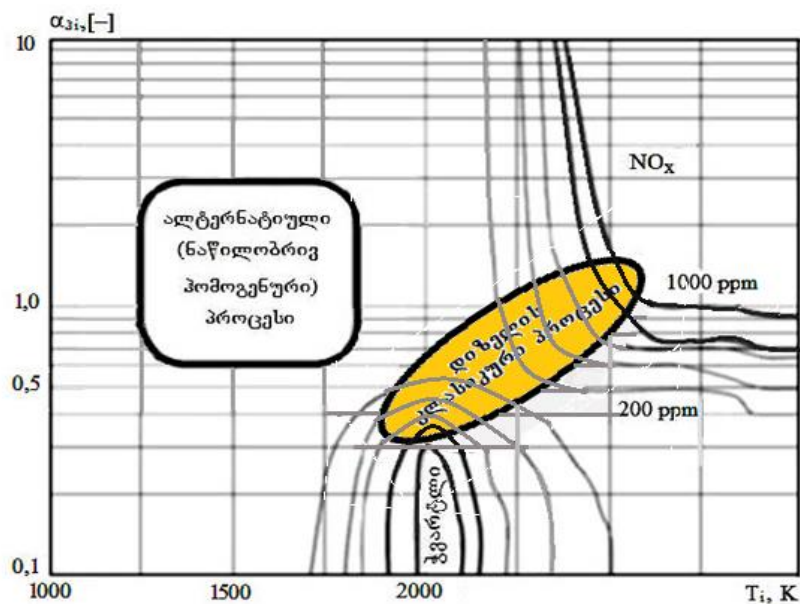
ძრავების პერსპექტივების პროგნოზირებისას გასათვალისწინებელია ისიც, რომ: დღემდე სხვა თბურ ძრავებთან შედარებით მათ საწვავის კუთრი ხარჯის მხრივ კონკურენტი არ ჰყავთ და დღუშიანი ძრავების თითქმის 150 წლის არსებობის განმავლობაში შექმნილია მასობრივი წარმოების ისეთი ტექნოლოგიები, რომ მათი თვითღირებულება გაცილებით ნაკლებია სხვა თბური ძრავების თვითღირებულებაზე. ეს პირველ რიგში ეხება საწვავის უშუალო შეფრქვევის მქონე დიზელებს, რაც ავტოტრანსპორტის დიზელიზაციის პერსპექტიულობაზე მიუთითებს. ამ ძრავებში ენერგეტიკული და ეკოლოგიური ამოცანების გადაწყვეტის გზები არა მარტო განსხვავდება ერთმანეთისაგან, არამედ ხშირად ეწინააღმდეგებიან კიდევ ერთმანეთს, რაც „მიზნების კონფლიქტიდან“ ჩანს. ამდენად, დღუშიანი ძრავების, კრძოდ კი უშუალო შეფრქვევის დიზელების წვის პროცესის შემდგომი სრულყოფა აქტუალურ საკითხად რჩება.

ეკოლოგიურობის ასამაღლებლად საავტომობილო დიზელების სამუშაო პროცესის სრულყოფის თანამედროვე მეთოდების ანალიზი. განხილული და გაანალიზებული წყაროებიდან ჩანს, რომ გასული საუკუნის 70-იან წლებში, მსოფლიო ნავთობის კრიზისისას, საწვავის უშუალო შეფრქვევის მქონე დიზელები ფართოდ იქნა გამოყენებული მსუბუქ ავტომობილებში. სხვადასხვა საავტომობილო ფირმის მიერ ჩატარებული მრავალრიცხოვანი კვლევა საშუალებას გვაძლევს, ვამტკიცოთ, რომ ეფექტური დიზელის ძრავების შესაქმნელად აუცილებელია, დამუშავდეს დიზელის წვის პროცესი და მოგვარდეს ამ პროცესის სრულყოფის მთავარი პრობლემა – „მიზნების კონფლიქტი“ ორ ძირითად ტოქსიკურ კომპონენტს (აზოტის ჟანგეულებსა და ჭვარტლს) შორის, რადგან ერთის შემცირებას თან სდევს მეორის ზრდა და პირიქით. არაერთი ექსპერიმენტული ცდით დამტკიცებულია, რომ „მიზნების კონფლიქტის“ ასახსნელად აუცილებელია ძრავას მთელი სამუშაო ციკლის განმავლობაში მუშა ტანის ლოკალური, არასტაციონარული პარამეტრების ცვლილებების ცოდნა. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე ნაჩვენებია, რომ სამუშაო ციკლის ლოკალური პარამეტრების გამოსაკვლევად საიმედო გზაა

ცილინდრში მიმდინარე არასტაციონარული პროცესებისა და ტურბულენტური წვის პროცესის სამგანზომილებიანი მოდელირება.

დადგენილია, რომ დიზელის ძრავების ტრადიციული წვის პროცესების ალტერნატივაა ჰომოგენური თვითაალება (HCCI – Homogeneous Charge Compression Ignition – ჰომოგენური მუხტის შეკუმშვით აალება). ხანდახან იხმარება – „კონტროლირებადი თვითაალება“ (CAI – Controlled Auto Ignition). ასეთი ძრავა არის დიზელისა და ოტოს თერმოდინამიკური ციკლით მომუშავე ძრავას კომბინაცია. აქვე განხილულია ჰიბრიდული ძრავების ვარიანტები და სქემატურადაა გამოსახული დიზელის, ბენზინისა და HCCI პროცესიანი ჰიბრიდული ძრავას სამუშაო ციკლები. ასევე განხილულია პირველი HCCI პროცესის მქონე ლოჰმანის ძრავა, ამ პროცესის ცნობილი ვარიანტები და დაფიქსირებულია, რომ HCCI პროცესი არის პერსპექტიული მიმართულება, რომლითაც შესაძლებელია ძრავას საიმედო მუშაობის უზრუნველყოფა.

დიზელებისათვის ეკოლოგიურად მაღალეფექტიანი ახალი, ალტერნატიული (ნაწილობრივ ჰომოგენური) წვის პროცესის მოდელის დამუშავების აუცილებლობის დასაბუთება. ნაშრომის ამ ნაწილში ნაჩვენებია, რომ კლასიკურ დიზელის პროცესში (საწვავის უშუალო შეფრქვევით) ჰეტერო-



ნახ. 1. აზოტის ჟანგეულებისა და ჰვარტლის წარმოქმნის დიაპაზონები ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტისა და ტემპერატურის ლოკალური მნიშვნელობების მიხედვით

გენული ნარევის წვის პროცესი ხასიათდება ორი ძირითადი სტადიით (ფაზით): კინეტიკურით და დიფუზურით. ასევე აღინიშნულია, რომ ცილინდრში წარმოქმნილი ლოკალური კონცენტრაციები როგორც აზოტის ჟანგეულებისა, ასევე ჭვარტლის მყარი ნაწილაკებისა, უპირველეს ყოვლისა, დამოკიდებულია ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტისა და ტემპერატურის ლოკალურ მნიშვნელობებზე (ნახ. 1).

1-ლ ნახ-ზე ნაჩვენებია, რომ დიზელის ეკოლოგიური მახასიათებლების მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება სავსებით რეალურია, თუ ის იმუშავებს ახალი, ალტერნატიული (ნაწილობრივ ჰომოგენური) წვის პროცესით, რომლის დროსაც ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტისა α_{3i} და ტემპერატურის T_i ლოკალური მნიშვნელობები არ იქნება იმ დიაპაზონებში, რომლებშიც აზოტის ჟანგეულები და ჭვარტლი წარმოიქმნება.

დასკვნის სახით აღნიშნულია, რომ:

1. ახალი, ალტერნატიული წვის პროცესის მეთოდების დამუშავების აუცილებლობა განპირობებულია დიზელის ტრადიციული ციკლის თვისებით – „მიზნების კონფლიქტით“, რომლის გადაწყვეტა გულისხმობს ისეთი ალტერნატიული წვის პროცესის გამოყენებას, რომელიც ამ მავნე კომპონენტების ერთდროულ შემცირებას შეძლებს;
2. ამ ახალი, ალტერნატიული წვის პროცესით ეკოლოგიური და ეფექტური მახასიათებლების პროგნოზირებისათვის აუცილებელია ცილინდრში მიმდინარე პროცესები, ტურბულენტური წვა და მავნე ნივთიერებების წარმოქმნა აისახოს სამგანზომილებიანი მოდელირებით, რომელიც დაეყრდნობა ჰიდრო-გაზოდინამიკისა და ქიმიური კინეტიკის ფუნდამენტურ განტოლებებს.

ნაშრომის მეორე თავში (კვლევის შედეგები და მათი განსჯა) მოყვანილია საწვავი ნარევის წვის დროს მიმდინარე რთული ფიზიკურ-ქიმიური პრიცესების მოდელირების გზით კვლევისა და ოპტიმიზირების შედეგები, რომელთა საფუძველზე დამუშავებულია ახალი ალტერნატიული (ნაწილობრივ ჰომოგენური) წვის პროცესის მათემატიკური მოდელი.

ჩატარებულია მისი ვერიფიკაცია ექსპერიმენტული ინდიკატორული დიაგრამების მიხედვით და დადგენილია მისი გამოყენების ეკოლოგიური ეფექტიანობა, დიზელის გამონაბოლქვში $[NO_x]$ -ისა და ჭვარტლის შემცველობების მაქსიმალური და ერთდროული შემცირების თვალსაზრისით. ასევე, მოყვანილია წვის პროცესის ახალი მოდელის გამოყენებისას, პერსპექტიული დიზელების ეკოლოგიური მაჩვენებლების პროგნოზირების შედეგები.

საავტომობილო დიზელებისათვის ნავიე-სტოქსის სამგანზომილებიან ფუნდამენტურ განტოლებათა სისტემაზე დაფუძნებული ახალი, ალტერნატიული (ნაწილობრივ ჰომოგენური) წვის პროცესის მათემატიკური მოდელის დამუშავება. ამ ნაწილში ნაჩვენებია, რომ ალტერნატიული წვის პროცესის კვლევისათვის გამოიყენება დიზელის სამუშაო ციკლის სამგანზომილებიანი, არასტაციონარული მათემატიკური მოდელი, რომელიც ეფუძნება ფუნდამენტურ განტოლებებს, როგორცაა: მოძრაობის რაოდენობის (ნავიე-სტოქსის), ენერჯის (ფურიე-კირჰოფის), მასის შენახვისა (უწყვეტობისა) და დიფუზიის (ფიკის) (კონცენტრაციის) განტოლებები. ისინი შეიძლება, ჩაიწეროს მუდმივობის განზოგადებული კანონის სახით, რომლის თანახმადაც არასტაციონარული და კონვექციური ნაკადების ჯამი დიფუზური და საწყისი ნაკადების ჯამის ტოლია:

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho\Phi) + \operatorname{div}(\rho\vec{W}\Phi) = \operatorname{div}(\Gamma_\Phi \operatorname{grad}\Phi) + S_\Phi \quad (1)$$

სადაც ρ სიმკვრივეა, \vec{W} – სიჩქარის ვექტორი, Φ – ნებისმიერი დამოუკიდებელი ცვლადი, Γ_Φ – მიმოცვლის კოეფიციენტი, S_Φ – წევრი, რომელიც შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს როგორც გენერაციის S_{Φ_g} და ანიჰილაციის S_{Φ_a} ნაკადების სხვაობა, ანუ $S_\Phi = S_{\Phi_g} - S_{\Phi_a}$. კონკრეტული სახე Γ_Φ და S_Φ და ასევე S_{Φ_g} და S_{Φ_a} დამოკიდებულია Φ ცვლადის არსზე (იხ. ცხრილი 1) და შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმით (1) განტოლებიდან ვღებულობთ მოძრაობის რაოდენობის (ნავიე-სტოქსის), ენერჯის (ფურიე-კირჰოფის),

დიფუზიისა (ვიკის) (კონცენტრაციის) და მასის შენახვის (უწყვეტობის) განტოლებებს.

1-ლ ცხრილში მოყვანილია დიზელის სამუშაო ციკლის მათემატიკური მოდელის ძირითადი განტოლებები.

ცხრილი 1. დიზელის სამუშაო ციკლის მათემატიკური მოდელის ძირითადი განტოლებები

<p>მუდმივობის კანონის განტოლებები, როგორც გადატანის განზოგადებული</p> $\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho \Phi) + \operatorname{div}(\rho \vec{W} \Phi) = \operatorname{div}(\Gamma_{\Phi} \operatorname{grad} \Phi) + S_{\Phi} \Leftrightarrow \frac{\partial}{\partial \tau}(\rho \Phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho W_j \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) + S_{\Phi}$ <p>დიფერენციალური განტოლებების კერძო შემთხვევები</p>		
<p>$\Phi = W_i, \Gamma_{\Phi} = \mu,$ $S_{\Phi} = G_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + V_{\mu}$</p> <p>მოძრაობის რაოდენობის მუდმივობის განტოლება (ნავიე-სტოქსის განტოლება)</p>	საწყისი ფორმა	$\rho \frac{DW_i}{D\tau} = G_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial W_i}{\partial x_j} + \frac{\partial W_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial W_k}{\partial x_k} \right) \right]$
	რეინოლდ- სის ფორმა	$\bar{\rho} \frac{D\bar{W}_i}{D\tau} = \bar{G}_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\bar{\mu} \left(\frac{\partial \bar{W}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{W}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \bar{W}_k}{\partial x_k} \right) - \bar{\rho} \bar{W}_i \bar{W}_j \right]$
	ახალი უცნობები	<p>სადაც $\bar{\rho} \bar{W}_i \bar{W}_j$ – რეინოლდსის ტურბულენტური დამაბულობის ტენზორია, განსაზღვრული სიჩქარის პულსაციური მდგენელებიდან;</p> <p>$\bar{\tau}_{ij} = \bar{\mu} \left(\frac{\partial \bar{W}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{W}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \bar{W}_k}{\partial x_k} \right)$ – ბლანტი (ტურბულენტური) დამაბულობის ტენზორი, განსაზღვრული სიჩქარის კომპონენტების გასაშუალებული მნიშვნელობებიდან.</p>
<p>$\Phi = H, \Gamma_{\Phi} = \frac{\lambda}{c_p},$ $S_{\Phi} = \frac{\partial p}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\tau_{ij} W_j) + G_j W_j + w_r Q_r + \frac{\partial q_{Rj}}{\partial x_j}$</p> <p>ენერჯიის (ფურიე- კირხოფის) მუდმივობის განტოლება</p>	საწყისი ფორმა	$\rho \frac{DH}{D\tau} = G_j W_j + \frac{\partial p}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\tau_{ij} W_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + w_r Q_r + \frac{\partial q_{Rj}}{\partial x_j}$
	რეინოლდ- სის ფორმა	$\bar{\rho} \frac{D\bar{H}}{D\tau} = \bar{G}_j \bar{W}_j + \frac{\partial \bar{p}}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\tau}_{ij} \bar{W}_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} - c_p \bar{\rho} \bar{T} \bar{W}_j \right) + \bar{w}_r \bar{Q}_r + \frac{\partial \bar{q}_{Rj}}{\partial x_j}$
	ახალი უცნობი	$c_p \bar{\rho} \bar{T} \bar{W}_j$ – ენტალპიის ტურბულენტური გადატანა $\bar{\rho} c_p \bar{T}$ სიჩქარის ფლუქტუაციის მეშვეობით \bar{W}_j .

$\Phi = 1, \Gamma_\Phi = 0,$ $S_\Phi = 0.$ მასის შენახვის (უწყვეტობის) განტოლება	საწყისი ფორმა	$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho W_j) = 0$
	რეინოლდ- სის ფორმა	$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \bar{W}_j) = 0$
$\Phi = \frac{C_l}{\rho}, \Gamma_\Phi = D_l \rho,$ $S_\Phi = \dot{m}_l$ დიფუზიის (ფიკის) (კონცენტრაციის) განტოლება	საწყისი ფორმა	$\frac{DC}{D\tau} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) + \dot{m}$
	რეინოლდ- სის ფორმა	$\frac{D \bar{C}}{D\tau} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} - \overline{C' W_j'} \right) + \dot{m}$ $\overline{C' W_j'}$ – მასის კომპონენტის ტურბულენტური დი- ფუზური გადატანა, რომლის კონცენტრაციაა C, W_j' სიჩქარის ფლუქტუაციის მეშვეობით.
განტოლებებში გამოიყენება ინდექსის (i, j, k = 1,2,3) მიხედვით შეჯამების წესი (ორჯერ განმეორებადი), ხოლო გასაშუალება ხორციელდება ფავრის მიხედვით, ე. ი. სიმკვრივე გამოიყენება წონით ფუნქციად.		

განტოლებების გასაშუალება ხორციელდება ფავრის მეთოდით, რის შედეგადაც ისინი რეინოლდსის განტოლებების სისტემის სახეს იღებენ.

ნაჩვენებია, რომ სამუშაო პროცესის მოდელირება ხორციელდება ტურბულენტური წვის მაგნუსენ-ჰარტაგერის (Magnussen-Hjertager) ცნობილი მოდელით. მისი უპირატესობაა ის, რომ იგი არ საჭიროებს პარამეტრების ტურბულენტურ ფლუქტაციებს, მაგრამ აუცილებელია ემპირიული კოეფიციენტების შემოყვანა და მათ განსასაზღვრად კი საკვლევი დიზელის ექსპერიმენტული ინდიკატორული დიაგრამების გამოყენება.

ეს მოდელი გულისხმობს, რომ ჰაერისა და საწვავის ნარევის ორთქლის წვა მიმდინარეობს მყისიერად და ამიტომ წვის საშუალო სიჩქარეს \bar{w}_r აქვს შემდეგი სახე:

$$\bar{w}_r = \frac{A}{\tau_t} \bar{\rho} \min \left(\bar{m}_{\text{საწვ}}, \frac{\bar{m}_{\text{O}_2}}{L_0}, B \frac{\bar{m}_{\text{წვ.პრ.}}}{1 + L_0} \right), \quad (2)$$

სადაც $\bar{m}_{\text{საწვ}}, \bar{m}_{\text{O}_2}, \bar{m}_{\text{წვ.პრ.}}$ – შესაბამისად რეაგენტების (საწვავისა და ჟანგბადის) და წვის პროდუქტების მასების საშუალო მნიშვნელობებია; L_0 – ჰაერის მასური

სტექიომეტრიული რაოდენობაა; $\tau_i = \bar{k} / \bar{\varepsilon}$ – ტურბულენტური შერევის დროის მასშტაბი; A და B ემპირიული კოეფიციენტებია, რომლებიც ითვალისწინებს ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე ტურბულენტურობის პარამეტრებისა და საწვავის სახის გავლენას. ამიტომ კონკრეტული შემთხვევის განსაზღვრისათვის ისინი მოითხოვს დაზუსტებას წვის ექსპერიმენტული მონაცემების შესაბამისად.

ამგვარად, ტურბულენტურობის მოდელი უნდა გავიგოთ როგორც (ალგებრული ან დიფერენციალური) განტოლებების სისტემა, რომელიც შეიცავს რეინოლდსის განტოლებების სისტემის უცნობ სიდიდეებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ სისტემის ჩაკეტვას. აქვე აღვნიშნავთ, რომ ორგანტოლებიან ტურბულენტურ მოდელებს შორის ყველაზე უფრო გავრცელებულია $k-\varepsilon$ მოდელი, რომელშიც ერთი განტოლება არის გადატანის ტურბულენტურობის კინეტიკური ენერჯის \bar{k} -ს განტოლება, ხოლო მეორე – ამ ენერჯის დისიპაციის სიჩქარის $\bar{\varepsilon}$ -ის განტოლება. ტურბულენტური ნაკადების ფართო დიაპაზონისათვის $k-\varepsilon$ მოდელი საკმაოდ სიზუსტის, ეკონომიურობისა და ცდომილებებისადმი მდგრადობის გამო ყველაზე უფრო მისაღებია საინჟინრო ამოცანებში გამოსაყენებლად და წინამდებარე სამუშაოში სწორედ ტურბულენტურობის $k-\varepsilon$ მოდელია გამოყენებული.

მოდელის რიცხვითი რეალიზება ხორციელდება ფირმა AVL List GmbH-ის მიერ დამუშავებული 3D-CFD FIRE-ის კოდით.

დიზელის ცილინდრში წვის პროცესში აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის წარმოქმნის მექანიზმების დაზუსტება და განსაზღვრა. ნაშრომის ამ ნაწილში განისაზღვრა, რომ დიზელის ძრავას ცილინდრში მიმდინარე წვის პროცესში აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის კონცენტრაციების გაანგარიშება, კერძოდ, აზოტის ჟანგეულების კონცენტრაციებისა ხორციელდება ზელდოვიჩის თერმული მექანიზმის საფუძველზე, ხოლო ჭვარტლის კონცენტრაციების კი ფროლოვის მიერ შემოთავაზებული გლობალური კინემატიკური მექანიზმის გამოყენებით.

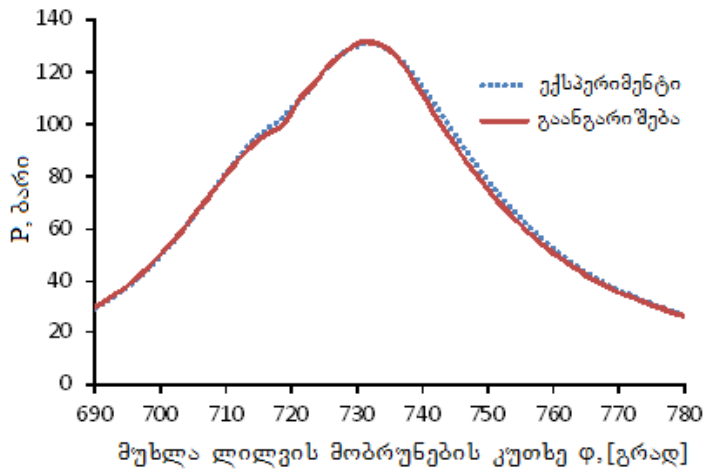
დიზელის ახალი, ალტერნატიული (ნაწილობრივ ჰომოგენური) წვის პროცესის მოდელის ვერიფიკაცია ექსპერიმენტული ინდიკატორული დიაგრამების გამოყენებით. დღუშიანი ძრავას ცილინდრში წვის პროცესის მოდელირების საიმედოობისათვის ნაშრომში გამოყენებულია მაგნუსენ-ჰარტაგერის მოდელის A და B ემპირიული კოეფიციენტების განსაზღვრის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ექსპერიმენტულად მიღებულ ინდიკატორულ დიაგრამაზე. ამისათვის აღებული იყო დიზელ 3M3 5145.10-ის ინდიკატორული დიაგრამები. ეს ოთხტაქტიანი დიზელი განკუთვნილია როგორც 3,5 ტონამდე ტვირთამწეობის მსუბუქი და სატვირთო ავტომობილებისათვის, ასევე საგზაო და არასაგზაო მიკროავტობუსებისათვის.

ინდიკატორული დიაგრამები აღებული იყო საკვლევი ძრავას მუშაობის ნომინალური სიმძლავრის რეჟიმისა ($N_e=85$ კვტ) და მაქსიმალური მბრუნე მომენტის რეჟიმის ($M=265$ ნმ) დროს. დიზელის (3M3 5145.10.) გამოცდის სხვადასხვა რეჟიმის ძირითადი პარამეტრები მოყვანილია მე-3 ცხრილში.

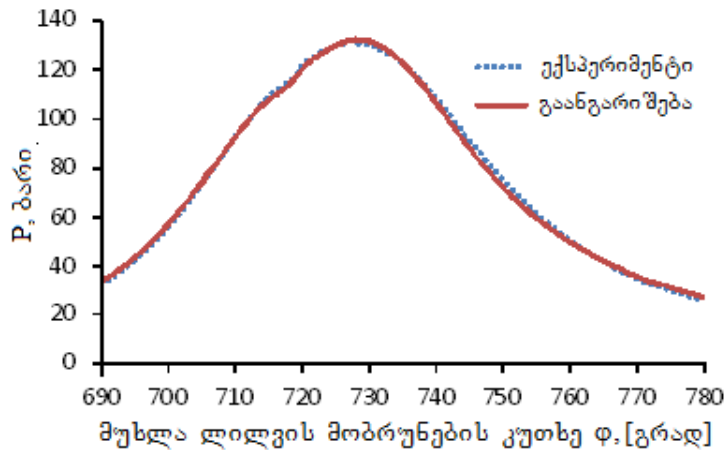
ცხრილი 7. საკვლევი ძრავას გამოცდის რეჟიმების პარამეტრები

დიზელ 3M3 5145.10	$N_{e\text{ნომ}}$	$M_{\text{მmax}}$	$p_e=4,5$ ბ
ბრუნვის სიხშირე – n , წთ ⁻¹	4000	2000	2000
წნევა შემშვებ კოლექტორში – p_a , ბარი	2,2	1,9	1,25
ტემპერატურა შემშვებ კოლექტორში – T_a , K	374	374	374
საწვავის ციკლური მიწოდება – m_c , მგ/ციკლი	50	44	17,5
შეფრქვევის ხანგრძლივობა – $\Delta\varphi_{\text{შეფრქ.}}$, მლმკ °	27	21	11
შეფრქვევის წინსწრების კუთხე – $\varphi_{\text{შეფრქ.}}$, მლმკ ° ზმწ-მდე	6,5	6	4

ჩატარებული რიცხვითი ექსპერიმენტებით განისაზღვრა A და B ემპირიული კოეფიციენტები, რომლებიც უზრუნველყოფს ექსპერიმენტული და გაანგარიშებული ინდიკატორული დიაგრამების კარგ თანხვედნას (ნახ. 2 და ნახ. 3). ზემოაღნიშნული უფლებას გვაძლევს, გამოვიყენოთ მაგნუსენ-ჰარტაგერის მოდელი დღუშიანი ძრავების ტრადიციული და ალტერნატიული წვის პროცესების კვლევისათვის მისი ეკოლოგიური და ეფექტური მაჩვენებლების გამოსაკვლევად.



ნახ. 2. 3M3 5145.10 დიზელის ექსპერიმენტული და გაანგარიშებული ინდიკატორული დიაგრამების შედარება. მაქსიმალური მობრუნის მომენტის რეჟიმი ($N_e=53$ კვტ, $n=2000$ წთ⁻¹)

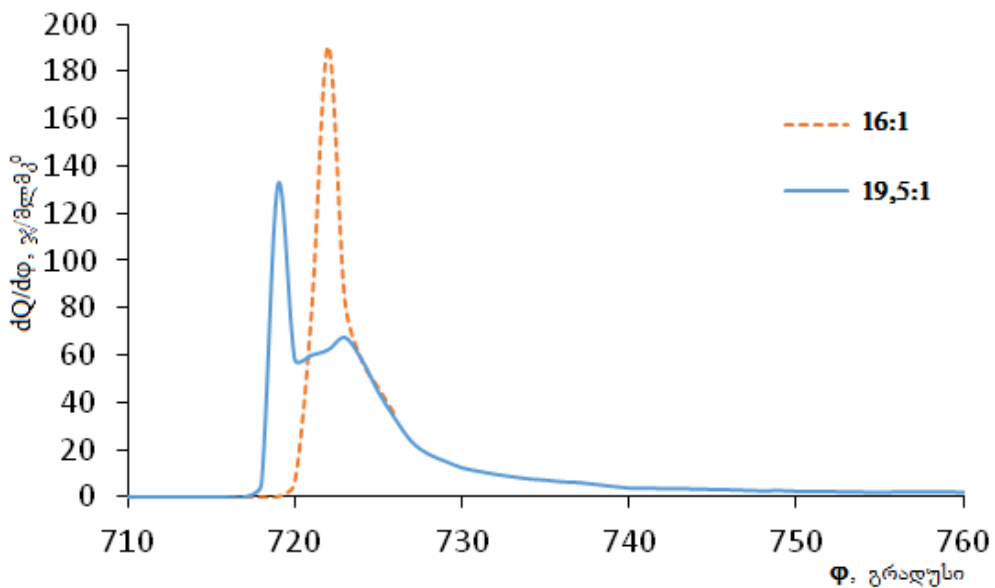


ნახ. 3. 3M3 5145.10 დიზელის ექსპერიმენტული და გაანგარიშებული ინდიკატორული დიაგრამების შედარება. ნომინალური სიმძლავრის რეჟიმი ($N_e=85$ კვტ, $n=4000$ წთ⁻¹)

სერიული საავტომობილო დიზელის – 3M3 5145.10-ის მაგალითზე ამოხსნის რიცხვითი მეთოდით ეკოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესების შესაძლებლობების კვლევა და დიზელში ნარევეწარმოქმნისა და წვის პროცესებზე გავლენის მქონე ფაქტორების (კუმშვის ხარისხის, ჰაერის დაგრიგალების ინტენსიურობის, საწვავის მრავალჯერადი შეფრქვევისა და ნამუშევარი აირების რეცირკულაციის ხარისხის) ოპტიმიზირება.

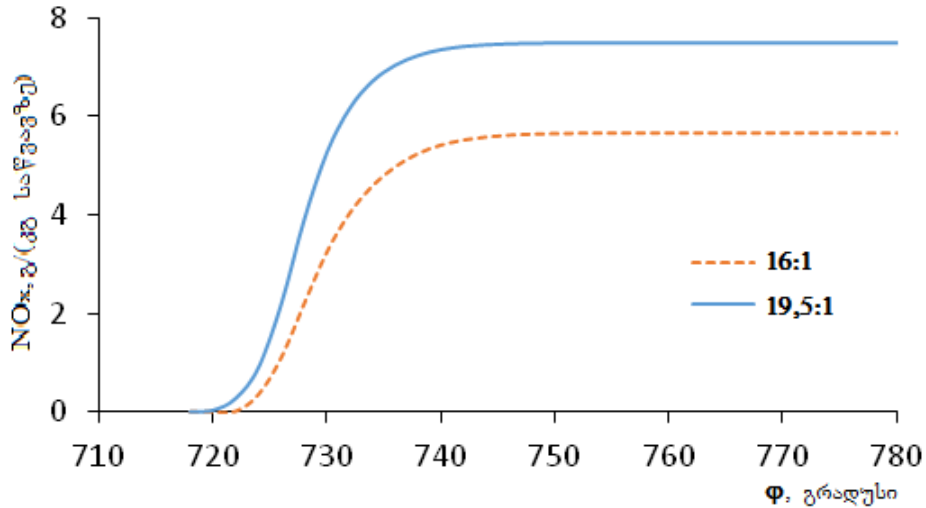
კუმშვის ხარისხის გავლენა. ნაშრომის ამ ნაწილში ნაჩვენებია, რომ დიზელის ძრავას ცილინდრში მიმდინარე წვის პროცესში აზოტის

ჟანგეულებისა და ჭვარტლის კონცენტრაციები განისაზღვრება როგორც დროის (მუხლა ლილვის მობრუნების კუთხის) ფუნქციები წვის კამერის ლოკალურ ზონებში, რაც საკვლევი ძრავას სამუშაო პროცესის სამგანზომილებიანი მათემატიკური მოდელის გამოყენებითაა შესაძლებელი. ნაჩვენებია, რომ კუმშვის ხარისხის შემცირებით ცილინდრში საწვავის შეფრქვევის დაწყებამდე ჰაერის წნევა და ტემპერატურა მცირდება, რაც ხელს უწყობს თვითაალების შეფერხების პერიოდის არსებით გადიდებას (ნახ. 4). როგორც ჩანს, შემცირებული კუმშვის ხარისხის დროს ნარევის წვისას ერთი მკვეთრად გამოკვეთილი მაქსიმუმით წვის კინეტიკური მექანიზმი სჭარბობს. ამ დროს თბოგამოყოფის სიჩქარის მაქსიმალური მნიშვნელობა არის 195 ჯ/მლმკ⁰.



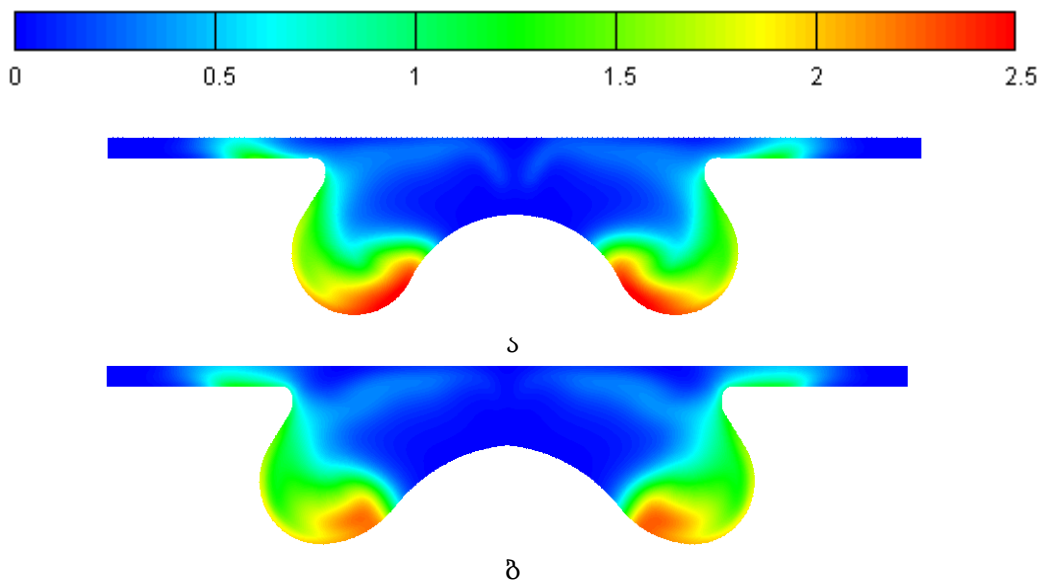
ნახ. 4. თბოგამოყოფის სიჩქარეები კუმშვის ხარისხის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს ($p_e=4,5$ ბარი, $n=2000$ წთ⁻¹)

თბოგამოყოფის მაქსიმალური სიჩქარის ზრდის მიუხედავად (ნახ. 4), კუმშვის ხარისხის შემცირებისას ცილინდრში ლოკალური ტემპერატურების მაქსიმალური მნიშვნელობების შემცირების ხარჯზე წვის პროცესში მცირდება აზოტის ჟანგეულების ემისია 25 %-ით, რაც მტკიცდება მე-5 ნახ-ზე წარმოდგენილი გრაფიკებით.



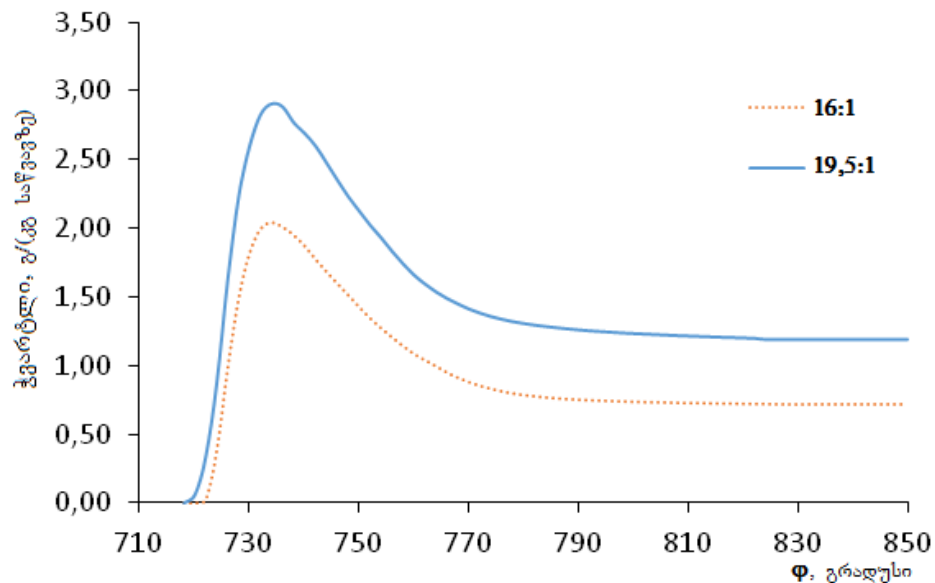
ნახ. 5. საკვლევი დიზელის ცილინდრში აზოტის ჟანგეულების კონცენტრაციის ცვლილება კუმშვის ხარისხის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს ($p_e=4,5$ ბარი, $n=2000$ წთ⁻¹)

უნდა აღინიშნოს, რომ წვის კამერის ზომების გადიდებით შესაძლებელია იმ საწვავის წილის შემცირება, რომელიც ხვდება დეგუმის კედლებს. ეს კარგად ჩანს მე-6 ნახ-ზე, რომელზეც წარმოდგენილია მყისიერი ლოკალური მნიშვნელობები ჰაერის გამოყენების კოეფიციენტისა $\lambda=1/\alpha_3$. ის არის ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის შეზღუდვით სიდიდე, რომელიც ახასიათებს საწვავისა და ჰაერის თანაფარდობას.



ნახ. 6. ჰაერის გამოყენების კოეფიციენტის ლოკალური მნიშვნელობების ველი კუმშვის ხარისხის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს: ა – 19,5:1, ბ – 16 ($p_e=4,5$ ბარი, $n=2000$ წთ⁻¹). დეგუმის მდებარეობა – მუხლა ლილვი მობრუნებულია 10^0 -იანი კუთხით ზმწ-ის შემდეგ

საწვავი ნარევის ჰომოგენიზაციის ხარისხის გადიდების გამო, ანუ წვის კამერაში საწვავის უფრო თანაბარი განაწილებით (ნახ. 6) და წვის დიფუზური სტადიის შემცირებით (ნახ. 4), რაც გამოწვეულია ნაკლები კუმშვის ხარისხიანი წვის კამერის გამოყენებით და თვითაალების შეფერხების პერიოდის გადიდებით, შესაძლებელი ხდება ჭვარტლის გამოტყორცნის შემცირება 40 %-ით (ნახ. 7) და მისი მნიშვნელობის დაყვანა 0,72 გ/(კგ საწვავზე).



ნახ. 7. საკვლევი დიზელის ცილინდრში ჭვარტლის კონცენტრაციის ცვლილება კუმშვის ხარისხის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს ($p_c=4,5$ ბარი, $n=2000$ წთ⁻¹). დგუშის მდებარეობა – მუხლა ლილვი მოზრუნებულია 10^0 -იანი კუთხით ზმწ-ის შემდეგ

ამ ნაწილშივე მოყვანილია განხილული კუმშვის ხარისხების მნიშვნელობებისას საკვლევი დიზელის ცილინდრში აზოტის ჟანგეულების და ჭვარტლის ჭვარტლის კონცენტრაციების მყისიერი მნიშვნელობები.

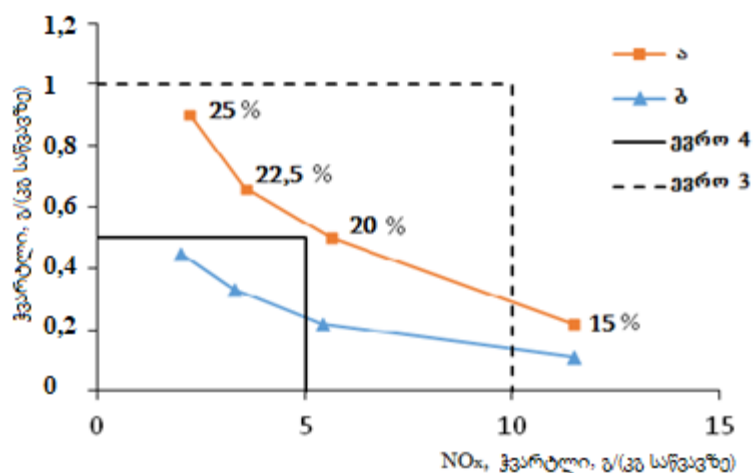
ამრიგად, კუმშვის ხარისხის შემცირებით საკვლევი დიზელის ნამუშევარ აირებში შესაძლებელია, ერთდროულად შევამციროთ აზოტის ჟანგეულებისა (ნახ. 5) და ჭვარტლის (ნახ. 7) კონცენტრაციები.

მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ნარევეწარმოქმნისა და წვის პროცესების ინტენსიფიკაციით, რომელიც ჩატარდა საწვავის სამჯერადი შეფრქვევით, შესაძლებელია, უფრო დაბალი კუმშვის ხარისხით არა მხოლოდ შევინარჩუნოთ, არამედ გავზარდოთ კიდევ ბაზური დიზელის ეფექტური მაჩვენებლები. კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ:

1. მაქსიმალური მაბრუნე მომენტის რეჟიმზე შესაძლებელია: საწვავის ეფექტური კუთრი ხარჯი g_e დაახლოებით 3 %-ით შევამციროთ, მაქსიმალური მაბრუნე მომენტი M_{max} – 3 %-ით, ხოლო ციკლის მაქსიმალური წნევა p_z კი 10 %-ით გავზარდოთ;
2. ნომინალური სიმძლავრის რეჟიმზე შესაძლებელია: საწვავის ეფექტური კუთრი ხარჯი g_e დაახლოებით 6 %-ით შევამციროთ, ხოლო ციკლის მაქსიმალური წნევის p_z -ის უმნიშვნელო შემცირების დროს კი ნომინალური სიმძლავრე $N_{e\ nom}$ – 7 %-ით გავზარდოთ.

შემშვები ჰაერის დაგრიგალების გავლენა. ჰაერის დაგრიგალების ინტენსიურობა არის ჰაერის გრიგალის ბრუნვისა და მუხლა ლილვის ბრუნვის სიხშირის ფარდობა, ანუ $D_n \stackrel{\text{def}}{=} \frac{n_d}{n}$. ნაწილობრივი დატვირთვის რეჟიმები არის სერიული ძრავების ეკოლოგიური მაჩვენებლების შემდგომი გაუმჯობესების გასაღები. კვლევებით დადგინდა, რომ ეკოლოგიური სტანდარტების შესაბამისი მავნე გამონაბოლქვების უფრო ზუსტი პროგნოზირებისათვის აუცილებელია ამ რეჟიმებზე შევსების ტაქტის გათვალისწინება.

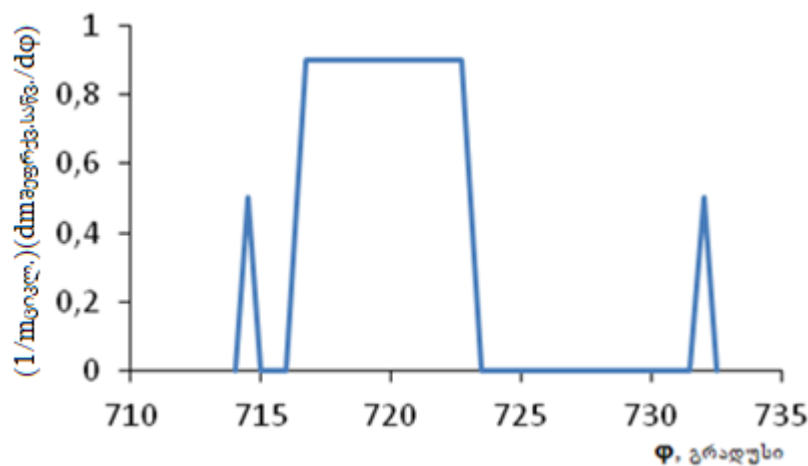
საკვლევი დიზელის ცილინდრში აზოტის ჟანგეულებისა და ჭკარტლის მოდელირების შედეგები დაგრიგალების სხვადასხვა ინტენსივობის მნიშვნელობისას, ნარ-ის ხარისხისა და ევრო ნორმების გათვალისწინებით წარმოდგენილია მე-8 ნახ-ზე.



ნახ. 8. აზოტის ჟანგეულებისა და ჭკარტლის გამოტყორცნა ნარ-ის ხარისხისა და შემშვებული ჰაერის დაგრიგალების სხვადასხვა ინტენსივობის დროს: ა – $D_n=1$; ბ – $D_n=2$ ($p_e=4,5$ ბარი, $n=2000$ წთ⁻¹)

მე-8 ნახ-დან ჩანს, რომ რეცირკულაციის ხარისხის ზრდით იზრდება ჭვარტლის, ხოლო აზოტის ჟანგეულების ემისია კი მცირდება. ჰაერის დაგრივების ინტენსივობისა და ნარ-ის ხარისხის ოპტიმალური მნიშვნელობების დროს ($D_r=2$ და 22,5 %) ნამუშევარ აირებში აზოტის ჟანგეულების კონცენტრაციაა 3, 31, ხოლო ჭვარტლისა კი 0,33 გ/(კგ საწვავზე), რაც აკმაყოფილებს ევრო 4-ის ნორმებს.

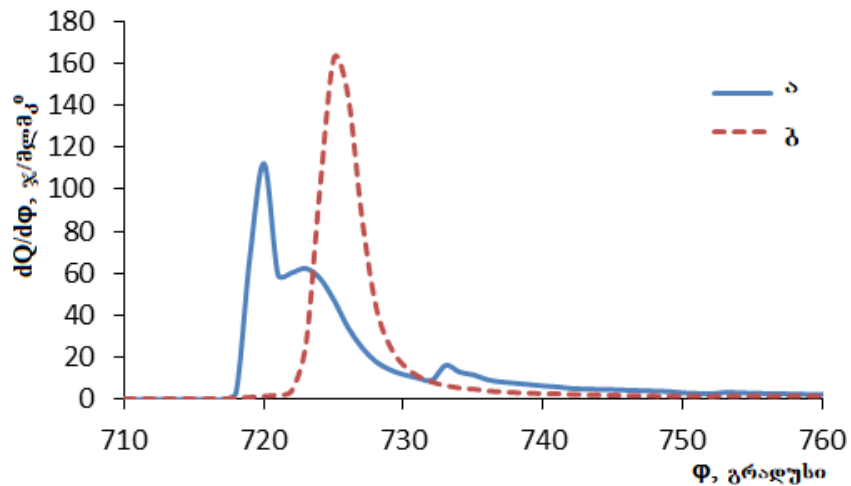
საწვავის მრავალჯერადი შეფრქვევა და ნამუშევარი აირების რეცირკულაციის ხარისხი. თანამედროვე დიზელების განვითარების დიდი პროგრესი ძირითადად განპირობებულია Common Rail-ის ტიპის საწვავმიმწოდ აკუმულატორული სისტემის დანერგვით, რომელიც ძრავას მუშაობის რეჟიმების მიხედვით უზრუნველყოფს საწვავის მიწოდების მახასიათებლის ფორმირებასა და მართვას. ჩვენ მიერ აპრობირებული იყო ერთი ციკლის განმავლობაში მრავალჯერადი შეფრქვევის რამდენიმე ვარიანტი, რომელთაგან შეირჩა ერთი ციკლის განმავლობაში სამჯერადი შეფრქვევის ვარიანტი (ნახ. 9), რომლის დროსაც საკვლევი დიზელისათვის აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის უკეთესი კომპრომისი მიიღწევა.



ნახ. 9. საკვლევი დიზელის საწვავის ალტერნატიული მახასიათებელი სამჯერადი შეფრქვევისას ($p_e=4,5$ ბარი, $n=2000$ წთ⁻¹). აქ და შემდეგ ნახაზებშიც მუხლა ლილვის მობრუნების კუთხე $\varphi=720^\circ$ შეესაბამება ზედა მკვდარ წერტილს. φ – მუხლა ლილვის მობრუნების კუთხე

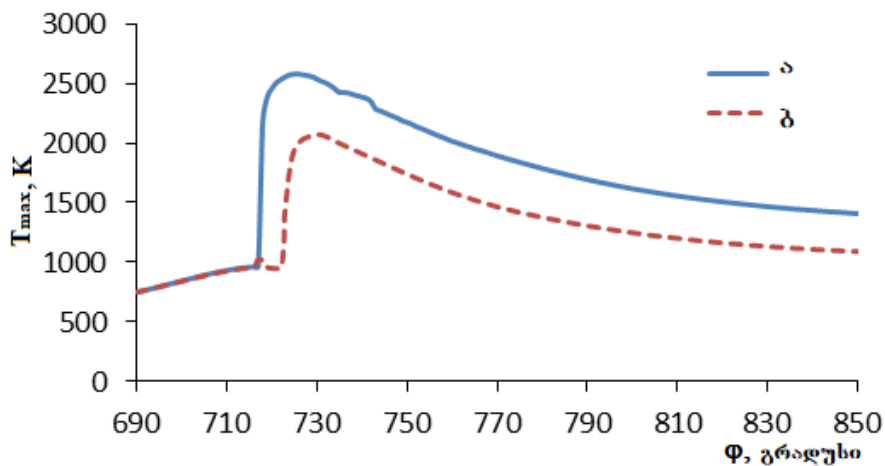
HCCI პროცესის გამოყენებული კონცეფციების უმეტესობა მიეკუთვნება ე. წ. LTC-ს (Low Temperature Combustion) წინასწარ არეულ და ჰომოგენიზირებული ნარევის დაბალტემპერატურულ წვას, რომელსაც

მიეკუთვნება შემოთავაზებული ნაწილობრივ ჰომოგენური წვის პროცესი სამჯერადი შეფრქვევით (ნახ. 9). იგი ხორციელდება საწვავის შეფრქვევის უცვლელი მომენტის დროს შეფრქვევის ხანგრძლივობის მლმკ-ის 2⁰-ით შემცირებისა და ნამუშევარი აირების რეცირკულაციის (ნარ-ის) საგრძნობლად გადიდებული ხარისხის – 50 %-ის ხარჯზე.



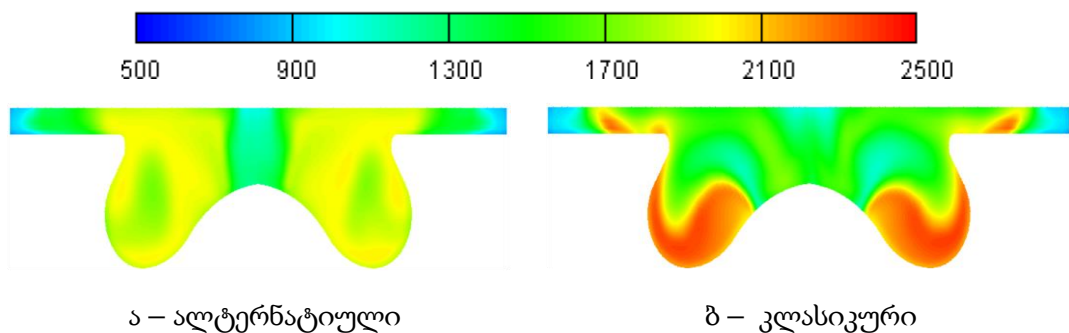
ნახ. 10. თბოგამოყოფის სიჩქარეები: ა – კლასიკური (ტრადიციული) წვის პროცესი ($p_e=4,5$ ბარი, $n=2000$ წთ⁻¹); ბ – ნაწილობრივ ჰომოგენური წვის პროცესი ($p_e=4,1$ ბარი, $n=2000$ წთ⁻¹)

მიუხედავად თბოგამოყოფის სიჩქარის საგრძნობი ზრდისა, მაქსიმალური ლოკალური ტემპერატურები რეცირკულაციის მაღალი ხარისხის გამო არ აღემატება 2100 K-ს (ნახ. 11).



ნახ. 11. წვის კამერაში მაქსიმალური ლოკალური ტემპერატურები: ა – კლასიკური (ტრადიციული) წვის პროცესი ($p_e=4,5$ ბარი, $n=2000$ წთ⁻¹); ბ – ალტერნატიული წვის პროცესი ($p_e=4,1$ ბარი, $n=2000$ წთ⁻¹)

დიზელის ცილინდრში წვის პროცესის დროს ნარევის ჰომოგენიზაციის ხარისხზე შეიძლება, ვიმსჯელოთ მიღებული ტემპერატურული ველებით. მე-12 ნახ-ზე ნათლად ჩანს ლოკალური ტემპერატურების თანაბარი განაწილება. ამ დროს სხვაობა მაქსიმალურსა და მინიმალურ ლოკალურ ტემპერატურებს შორის ალტერნატიული წვისას 1100 K-ია, კლასიკურ პროცესში კი 1600 K.



ნახ. 12. წვის კამერის მოცულობაში ლოკალური ტემპერატურების ველები (K) დგუშის ზმწ-ის რაიონში ყოფნის დროს: ა – ალტერნატიული წვის პროცესი ($p_e=4,1$ ბარი, $n=2000$ წთ⁻¹); ბ – კლასიკური (ტრადიციული) წვის პროცესი ($p_e=4,5$ ბარი, $n=2000$ წთ⁻¹)

ნაწილობრივ ჰომოგენური წვის პროცესის რიცხვითი ექსპერიმენტების შედეგები ნარ-ის ხარისხის z-ის ($n=2000$ წთ⁻¹) სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს მოყვანილია მე-3 ცხრილში.

ცხრილი 3. ნაწილობრივ ჰომოგენური წვის პროცესის მაჩვენებლები ნარ-ის ხარისხის z-ის ($n=2000$ წთ⁻¹) სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს

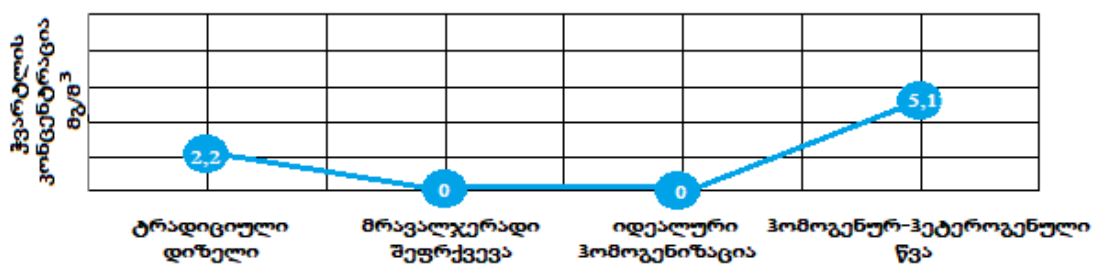
ნარ-ის ხარისხი, z, %	NO, გ/(კგ საწვ.)	ჰვარტლი, გ/(კგ საწვ.)	ξ_e , გ/(კვტ.სთ)	p_e , ბარი
45	0,032	0,22	260	4,3
50	0,005	0,15	275	4,1
55	0,001	0,09	304	3,7

მე-3 ცხრილიდან შეიძლება, დავასკვნათ, რომ ყველაზე ოპტიმალური ვარიანტი არის ისეთი ნაწილობრივ ჰომოგენური წვის პროცესის ორგანიზება, როცა ნარ-ის ხარისხი 50 %-ის ტოლია და მაშინ გამონაბოლქვ აირებში აზოტის ჟანგეულების რაოდენობაა 0,005, ხოლო ჰვარტლისა კი 0,15 გ/(კგ საწვავზე).

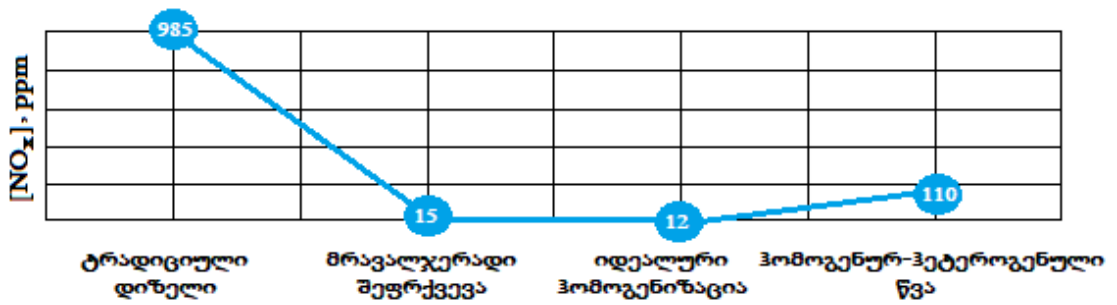
ახალი, ალტერნატიული წვის პროცესით მომუშავე პერსპექტიული დიზელების ეკოლოგიური ეფექტიანობის პროგნოზირება. ნაწილობრივ ჰომოგენიზებული ნარევის ალტერნატიული წვის პროცესების სხვადასხვა კონცეფციის კვლევის შედეგების თანახმად პერსპექტიულ დიზელებად ითვლება ნაწილობრივ ჰომოგენური წვის სხვადასხვა ალტერნატიული პროცესით მომუშავე ის ძრავები, რომლებიც დამუშავებულია დაიმლერ-ბენცის სერიული ოთხტაქტიანი დიზელის OM 500-ის ბაზაზე. ქვემოთ მოყვანილია დიზელ OM 500-ის მუშა პროცესის განხორციელების ვარიანტები წვის პროცესის სხვადასხვა კონცეფციის დროს:

1. ტრადიციული (სერიული) დიზელი გაყოფილი (ორჯერადი) შეფრქვევითა და ჰეტეროგენული წვით;
2. დიზელი მრავალჯერადი (ციკლის განმავლობაში ხუთჯერადი) შეფრქვევითა და ნაწილობრივ ჰომოგენური წვით;
3. შეშვების პროცესში შეფრქვევის მქონე ბუტანზე კონვერტირებული დიზელი, რომელიც უზრუნველყოფს ჰაერბუტანის ნარევის თითქმის ჰომოგენურ წვას;
4. ციკლის განმავლობაში ხუთჯერადი შეფრქვევის დიზელი დაცალკევებული (ჰომოგენურ-ჰეტეროგენული) წვით (Split combustion).

ჩვენ მიერ დამუშავებული 3D მოდელის საშუალებით მიღებული ტრადიციული (სერიული) დიზელისა და ჰომოგენური წვის სხვადასხვა მუშა ციკლში აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის პროგნოზირების შედეგებიდან ნახ.13 და ნახ.14) ჩანს, ჭვარტლისა და აზოტის ჟანგეულების ემისიის მინიმუმი



ნახ. 13. ჭვარტლის კონცენტრაციის (მგ/მ³) პროგნოზირების შედეგები წვის პროცესის ჰომოგენიზაციის კონცეფციაზე დამოკიდებულებით



ნახ. 14. აზოტის ჟანგეულების კონცენტრაციის (ppm) პროგნოზირების შედეგები წვის პროცესის ჰომოგენიზაციის კონცეფციაზე დამოკიდებულებით

მიიღწევა იდეალური ჰომოგენიზაციის დროს და დიზელის საწვავის მრავალჯერადი შეფრქვევით მიღებული ნაწილობრივი ჰომოგენიზაციით.

ზემოაღნიშნულის შესაბამისად, მაგალითის სახით გამოვიკვლიეთ ახალი, ალტერნატიული (ნაწილობრივ ჰომოგენური) წვის პროცესის ეფექტიანობა წყალბადზე მომუშავე დიზელის ეკოლოგიური მაჩვენებლების გასაუმჯობესებლად. კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ ახალი მოდელის გამოყენება წვის პროდუქტებში NO_x-ების შემცველობას 1470 ppm-დან 950 ppm-მდე ამცირებს.

დასკვნები

1. საავტომობილო დიზელის ეკოლოგიურობის ამაღლებისათვის **დამუშავდა** ახალი, ალტერნატიული (ნაწილობრივ ჰომოგენური) წვის პროცესის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ნავიე-სტოქსის სამგანზომილებიან არასტაციონარულ განტოლებებზეა დაფუძნებული. კვლევის შედეგებით **დადგინდა** ნარევეწარმოქმნისა და წვის პროცესებზე მოქმედი ფაქტორების (კუმშვის ხარისხის, შემავალი ჰაერის დაგრიგალების, საწვავის მრავალჯერადი შეფრქვევისა და ნამუშევარი აირების რეცირკულაციის) ოპტიმალური პარამეტრები. გამოყენებული წვის პროცესის კლასიკური – მაგნუსენ-ჰარტაგერის მოდელით ძრავას წვის პროცესის გაანგარიშებისათვის **განისაზღვრა** ემპირიული კოეფიციენტების მნიშვნელობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ექსპერიმენტული და

განგარიშებით მიღებული ინდიკატორული დიაგრამების კარგ თანხედენას. ახალი წვის პროცესი ისეა ორგანიზებული, რომ ჰაერის შესაბამისი სიჭარბის კოეფიციენტისა და ტემპერატურის ლოკალური მნიშვნელობების დიაპაზონებში აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის წარმოქმნა თითქმის არ ხდება, რაც უზრუნველყოფს გამონაბოლქვ აირებში მათი შემცველობის ერთდროულ შემცირებას და ევრო-5-ის მოთხოვნების დაკმაყოფილებას. მოდელის რიცხვითი რეალიზება ხორციელდება FIRE-ის ცნობილი პროგრამული კომპლექსის გამოყენებით. დამუშავებული მოდელის გამოყენება: საგრძნობლად შეამცირებს დიზელების სრულყოფის შესაბამის ხარჯებსა და დროს; ეფექტურია წყალბადზე მომუშავე დიზელების ეკოლოგიურობის ასამაღლებლად, რამდენადაც ჰაერწყალბადის ნარევის წვის პროდუქტები პრაქტიკულად არ შეიცავენ ჭვარტლს და საქმე ძირითადად აზოტის ჟანგეულების კონცენტრაციის შემცირებას ეხება.

2. დღეისათვის არ არსებობს ტრადიციული საწვავისათვის დამუშავებული ჭვარტლის წარმოქმნის საიმედო (ფუნდამენტური) მოდელი, როგორცაა, მაგ., აზოტის ჟანგეულებისათვის სემიონოვ-ზელდოვიჩის მექანიზმი. ამიტომ გამოიყენება ის მექანიზმები, რომლებიც დამუშავებულია სამოდელო საწვავებისათვის. ასეთია, მაგ., ს. ფროლოვის მიერ დიზელის სამოდელო საწვავის ($C_{14}H_{30}$ – ტეტრადეკანი) ბაზაზე შექმნილი კინეტიკური მოდელი. ამასთან ერთად, აუცილებელია, რომ დიზელის ეკოლოგიური მახასიათებლების გასაუმჯობესებლად აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის წარმოქმნის საერთო მოდელში აუცილებლად იყოს გათვალისწინებული შემვების ტაქტი, რადგანაც ტექსტური განგარიშების შედეგების თანახმად ძრავას წვის კამერაში NO-სა და ჭვარტლის წარმოქმნაზე მაქსიმალური გავლენა შეინიშნება ნაწილობრივი დატვირთვის რეჟიმზე. ამ დროს შემვების ტაქტის გათვალისწინებით განგარიშებული პროგნოზით ჭვარტლის გამოდევნა 42 %-ით დაბალია, ხოლო აზოტის ჟანგეულების ემისია კი 9 %-ით მაღალი, ვიდრე შემვების

ტექტის გაუთვალისწინებლობის შემთხვევაში.

3. დიზელის წვის პროცესის გაანგარიშების ამოცანების გადასაჭრელად ნავიესტოქსის სამგანზომილებიან არასტაციონარულ განტოლებებზე დაფუძნებული მათემატიკური მოდელის გამოყენებით საკვლევი ძრავასათვის **შეირჩა**: ალტერნატიული ვარიანტი – საწვავის სამჯერადი შეფრქვევა, **განისაზღვრა**: წვის კამერის რაციონალური კონსტრუქცია, ნამუშევარი აირების რეცირკულაციის ხარისხი და შეშვებული ჰაერის დაგრიგალების ინტენსიურობის სიდიდე, რამაც განაპირობა აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის ემისიის ერთდროული შემცირება. ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ ამავე დროს შესაძლებელი გახდა ძრავას ეფექტური მახასიათებლების არა მარტო შენარჩუნება, არამედ რამდენადმე გაუმჯობესებაც კი, რაც ნარევეწარმოქმნისა და წვის პროცესების სრულყოფის შედეგია.
4. სერიული დიზელის 3M3 5145-10-ის მაგალითზე ალტერნატიული წვის პროცესის რიცხვითი ექსპერიმენტების მეთოდით ჩატარებული კვლევის შედეგად **დადგენილია**, რომ აღნიშნული წვის პროცესის მოდელის რეალიზებისას მაქსიმალური ლოკალური ტემპერატურები ნარჩენი აირების (ნარ-ის) რეცირკულაციის მაღალი ხარისხის ($z=50\%$) გამო არ აღემატება 2100 K-ს, როცა კლასიკურ პროცესში 2500 K-ია. ასევე, აღინიშნება ლოკალური ტემპერატურების თანაბარი განაწილება და სხვაობა მაქსიმალურსა და მინიმალურ ლოკალურ ტემპერატურებს შორის ალტერნატიული წვისას 1100 K-ია, კლასიკურ პროცესში არსებული 1600 K-ის ნაცვლად. შესაბამისად, მაქსიმალური ლოკალური ტემპერატურებისა და ჟანგბადის შემცველობის შემცირების გამო პრაქტიკულად შესაძლებელი გახდა აზოტის ჟანგეულების წარმოქმნის თითქმის სრულად ბლოკირება, რომელთა გამოტყორცნამ ალტერნატიული წვის პროცესისას შეადგინა 0,005 გ/(კგ საწვავ.), რაც ევრო-6-ის მაჩვენებელზე უკეთესია. ასევე ნარევის ლოკალური პარამეტრების ველების გათანაბრებამ და წვის დიფუზიური სტადიის შემცირებამ შესაძლებელი გახდა ჭვარტლის

ემისიის შემცირება 0,15 გ/(კგ საწვ.)-მდე. ევრო-6-მდე – 0,1 გ/(კგ საწვ.)-მდე ჭვარტლის ემისიის დონის გარანტირებული დაყვანა შესაძლებელია გამონაბოლქვი აირების დამატებითი გაწმენდით – მყარი ნაწილაკების ფილტრის საშუალებით, რაც კლასიკურ დიზელთან შედარებით გაცილებით ნაკლებ დანახარჯებს მოითხოვს.

5. **დამუშავებულია** ალტერნატიული წვის პროცესით მომუშავე პერსპექტიული დიზელების ეკოლოგიური მახასიათებლების პროგნოზირების მეთოდი (დაიმლერ-ბენცის სერიული დიზელის OM 500-ის მაგალითზე). სადისერტაციო ნაშრომში დამუშავებული 3D მოდელის გამოყენებით ჩატარებული ნაწილობრივ ჰომოგენიზებული ნარევის ალტერნატიული წვის პროცესების სხვადასხვა კონცეფციის კვლევის შედეგების თანახმად, ჭვარტლისა და აზოტის ჟანგეულების ემისიის მინიმუმი მიიღწევა იდეალური ჰომოგენიზაციითა და ნაწილობრივი ჰომოგენიზაციით.

6. დისერტაციის შესრულების პროცესში მიღებული შედეგები სრულყოფენ ცოდნას კომპიუტერულ ჰიდრო-გაზოდინამიკაში გაფართოვდა – 3D მოდელების გამოყენების სფეროები მათში ქიმიური კინეტიკის მოდულისა და გასაანგარიშებელი სისტემის – ძრავას ცილინდრისა და დგუშისა და სარქველების (მოდრავი საზღვრების) ჩართვით. მიღებული შედეგები ასევე, აღრმავებენ და სრულყოფენ ცოდნას ფუნდამენტური მეცნიერების ისეთ სფეროში, როგორცაა შიგაწვის ძრავების თეორია. კერძოდ, ძრავას ცილინდრში მიმდინარე პროცესების მახასიათებელ გასაშუალოებულ და ინტეგრალურ პარამეტრებს ჩაენაცვლა დროში ცვალებადი ლოკალური პარამეტრები. ამით შესაძლებელი გახდა წვის კამერაში აზოტის ჟანგეულებისა და ჭვარტლის ლოკალური კერების წარმოშობის დროისა და ადგილის განსაზღვრა, რაც ამ კერების ლიკვიდაციის და ამით ამ ორი მავნე კომპონენტის ერთდოულად შემცირების საშუალებას იძლევა.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი ასახულია შემდეგ პუბლიკაციებში

1. მ. ლლონტი, რ. ქავთარაძე, თ. ნატრიაშვილი, დიზელის სამუშაო პროცესის სრულყოფის მეთოდებისა და ახალი, ალტერნატიული, ნაწილობრივ ჰომოგენური წვის პროცესის შესახებ, სამეცნიერო რეფერირებადი ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“ (ISSN 0310-7061), თბილისი, 2016, №1(721), გვ. 24-40.
2. მ. ლლონტი, რ. ქავთარაძე, ჯ. იოსებიძე, დიზელის ძრავას წვის კამერაში ჭვარტლის წარმოქმნის მექანიზმი და მისი კონცენტრაციის გაანგარიშება, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“ (ISSN 1512-3537), თბილისი, 2017, №3(40), გვ. 5-14.
3. Р. З. Кавтарадзе, Т. М. Натриашвили, М. Г. Глонти, Э. В. Бахрамов, **Частично-гомогенное сгорание традиционных и альтернативных топлив в дизелях, Часть I. Способ гомогенизации сгорания**, Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе» (ISSN 2073-1329), Москва, 2018, № 1 (61), ст.37-52.
4. Р. З. Кавтарадзе, Т. М. Натриашвили, М. Г. Глонти, Э. В. Бахрамов, **Частично-гомогенное сгорание традиционных и альтернативных топлив в дизелях, Часть II. Стратегия впрыскивания топлива**, Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе» (ISSN 2073-1329), Москва, 2018, № 2 (62), ст.9-24.
5. T. Natriashvili, R. Kavtaradze and M. Glonti, Improvement of ecological characteristics of the hydrogen diesel engine, Reports of a International Automobile Scientific Forum IASF-2017 „Intelligent Transport System“, Moscow: NAMI, 18-19 October, 2017, To cite this article: T. Natriashvili et al 2018, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 315/1/012018, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/315/1/012018>

ABSTRACT

The dissertation work is devoted to such an actual scientifically and practically problem as rise of the diesel ecological compatibility is.

In the chapter one of the work are analyzed literature sources related with the mentioned problem and topicality of the dissertation theme is ascertained.

In the chapter two are given the results of the research and analysis of the problem under consideration.

A significant advantage of a new, alternative (partially homogeneous) combustion process as a method of simultaneous reduction of the nitric oxides and soot in the diesel exhausted gases is ascertained in comparison with the known traditional and alternative methods. The main problems are formulated as well, whose solution is necessary for development of a new, alternative burning process and it is shown that for their solution it is expedient to use methods of mathematical modeling.

A mathematical modeling of the internal combustion engines working process implies: mathematical description of the nonstationary, thermal and physical processes proceeding in the cylinder (development of the model), solution of the drawn up system of equations (realization of the model) and experimental verification of the results obtained by the calculation (verification of the model).

For study of a new, alternative burning process is developed and verified experimentally a 3D model of the internal combustion engine working process that is based on the equations of momentum (Navie-Stox), energy (Fourier-Kirchhoff), diffusion (Fick) and three-dimensional non-stationary fundamental equations of continuity. The mentioned equations were solved with the use of the numerical methods, namely method of check volumes. At the first stage the mentioned equations were averaged by the method of Favre after which they took a form of the system of Reynolds equations. The equations were added to this system that are the models of turbulency, combustion process and generation of the harmful substances (nitric oxides and soot).

The developed and used mathematical models are characterized by sufficient reliability. And guarantee of reliability of the mathematical models is stipulated by their verification that implies a comparative analysis of the results of modeling of the pressure variation in the engine cylinder and experimental data. With the use of the working process model developed in the work, where the burning process is described according to Magnussen-Spartagen concept, the empirical coefficients were determined that provide a good coincidence of the experimental and calculated indicator-diagrams.

By the research into possibilities of improvement of ecological indices of the serial automobile diesel 3M3 5145.10 with the use of the numerical method of solution the optimal values of the factors having influence on the mixture formation and burning processes (degree of reduction, coefficients of intensity of the air turbulence, fuel multiple injection and recirculation of the exhausted gases) were made more precise.

It was ascertained that the new, alternative, partially homogeneous burning process developed by us provides variation of local values of the two parameters having a decisive importance for ecology – temperature and air surplus coefficient in the combustion chamber within such limits where nitric oxides and solid particles (soot) do not nearly generate. On the example of the serial automobile diesel is ascertained advantage of the offered method of simultaneous reduction of these harmful substances in the combustion products in comparison with the traditional heterogeneous burning process. Generation of the nitric oxides is blocked almost entirely by this method – down to 0,005 g/(kg of fuel) that is better than index of Euro-6 and soot concentration is reduced down to 0,15 g/(kg of fuel). A guaranteed reduction of the soot emission level down to that of Euro-6 (0,1 g/kg of fuel) is

possible by additional cleaning of the exhausted gases with the use of the filter of solid particles that requires far fewer expenses in comparison with the classical diesel.

It should be noted that a new, alternative burning process can be realized without serious changes in the construction of automobile diesel with the use of the modern fuel-feeding and recirculation systems.

The results obtained in the process of the dissertation implementatin perfect the knowledge in computer hydro-aerodynamics. The sphere of application of the 3D models is widened by connecting to them a module of chemical kinetics and piston and valves (moving borders) of the system under calculation – the engine cylinder. The knowledge is also deepened in such sphere of fundamental sciences as theory of internal combustion engines is. Namely, the averaged and integral characteristic parameters of the processes proceeding in the engine cylinder were replaced by the variable in time local parameters. Thus, determination of time and location of generation of the local sources of the nitric oxides and soot in the combustion chamber became possible that allows to liquidate these sources and consequently decrease simultaneously both harmful components.

