

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

инж. Величка Росенова Георгиева

**ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ВИДА ГОРИВО
ВЪРХУ РАБОТНИЯ ПРОЦЕС НА ДИЗЕЛОВ
ДВИГАТЕЛ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертация за получаване на образователна и
научна степен “доктор”**

**професионално направление 5.1 Машинно инженерство
по докторска програма Двигатели с вътрешно горене**

Научен ръководител:

1. доц. д-р инж. Красимир Цанов Богданов
2. доц. д-р инж. Радостин Димитров Димитров

Рецензенти:

1.
2.

Варна
2025г.

Дисертационният труд е обсъден на 25.03.2025 г. в катедра “Транспортна Техника и Технологии” и насочен за защита.

Автор: инж. Величка Росенова Георгиева

**Заглавие: „ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ВИДА
ГОРИВО ВЪРХУ РАБОТНИЯ ПРОЦЕС НА ДИЗЕЛОВ
ДВИГАТЕЛ“**

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

инж. Величка Росенова Георгиева

**„ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ВИДА ГОРИВО
ВЪРХУ РАБОТНИЯ ПРОЦЕС НА ДИЗЕЛОВ
ДВИГАТЕЛ“**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертация за получаване на образователна и
научна степен “доктор”**

Варна
2025г.

Дисертационният труд съдържа 134 страници, включително 51 фигури, 12 таблици, 57 формули, оформени в 4 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 57 заглавия, от които 28 на кирилица и 29 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на г. от ч. в на открито заседание на жури сформирано със заповед на Ректора №/..... г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересуващите се в Докторантски център, стая 318 НУК.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Актуалност на проблема

С нарастващите екологични изисквания и нуждата от устойчива енергийна политика биогоривата привличат все по-голям интерес като алтернативен източник на енергия за двигатели с вътрешно горене. В условията на повишено замърсяване в резултат на вредните емисии в отработилите газове и изчерпването на петролните ресурси, биодизеловото гориво и другите видове възобновяеми горива се разглеждат като възможност за намаляване на вредните емисии и зависимостта от изкопаемите горива.

2. Цел и задачи на дисертацията

Основна цел на настоящия дисертационен труд е изследване на работния процес на дизелов двигател с директно впръскване и електронно управление при работа с различни смеси на дизелово и биодизелово гориво.

Задачите за постигане на поставената цел са:

1. Избор на теоретичен термодинамичен модел за пресмятане на работния процес в двигателя с изискуемите съотношения биодизелово гориво.

2. Разработване на методика и компютърна програма за пресмятане на ключови параметри, характеризиращи работния процес на изследвания двигател.

3. Провеждане на експериментални изследвания с дизелово гориво (без добавка на биодизел), смеси с биодизелово гориво в съотношения B10, B30, B50 чрез снемане товарни характеристики при различни честоти на въртене на колянвия вал.

4. Математическа обработка на масивите от данни от получените от експерименталните изследвания резултати и създаване на графични зависимости.

5. Анализиране на получените резултати и изготвяне на изводи спрямо получените зависимости.

3. Обект и предмет на изследване

За обект на експерименталното изследване е избран двигател Fiat 1.9 JTD, монтиран в лаборатория на Русенски университет „Ангел Кънчев“.

4. Методи на изследване

Използвани са специализирани измервателни уреди за регистриране и запис на бързо променящи се величини използвани при двигателите с вътрешно горене. При обработката на получените експериментални резултати и анализирането им са използвани математически и експериментални методики включващи специализирани компютърни програми за пресмятане, изчертаване, визуализиране и обработване на получените резултати от проведените експерименти.

5. Място на изследване

Теоретичните и експериментални изследвания необходими при разработването на дисертацията са проведени в катедра „Двигатели и транспортна техника“ в Русенски университет „Ангел Кънчев“.

6. Научна новост на изследването

Като научна новост може да се определи създаването на модел за определяне, анализ и оценка на ключовите фактори, оказващи влияние върху ефективното планиране и управление на производствения капацитет на индустриалните предприятия.

7. Практическа ценност на изследването

Изследване на развитието на работния процес, продължителността и промяната на параметрите по време на процеса горене при двигатели с система за впръскване на гориво “Common Rail” с използването на биодизелови смеси.

8. Аprobация на изследването

Основните резултати от изследванията са докладвани и публикувани в следните научни форуми и издания:

Конференции:

- Научна конференция „Интелигентната специализация – иновативна стратегия за регионална икономическа трансформация“ гр. Русе, 2016 г. -1 публикация;
- 56-та Научна конференция Индустрия 4.0. Бизнес среда. Качество на живот гр. Русе , 2017 г. – 1 публикация;
- Научна конференция на Русенски университет „Ангел Кънчев“ и Съюз на учените – Русе, 2019 г. -1 публикация;
- Научно-техническа конференция ЕКО Варна, 2016 г. -1 публикация;
- Международна конференция „ЕКО ВАРНА“ 2024 -1 публикация;

9. Публикации по дисертационния труд

Основните етапи от разработването на дисертационния труд са отразени и представени в 5 научни публикации, списък на които е приложен в края на автореферата. Един от публикуваните научни труда е самостоятелен, а останалите четири са в съавторство с научния ръководител.

Номерацията на фигурите представени в автореферата е номерацията от дисертационния труд.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ВЪВЕДЕНИЕ

С нарастващите екологични изисквания и нуждата от устойчива енергийна политика биогоривата привличат все по-голям интерес като алтернативен източник на енергия за двигатели с вътрешно горене. В условията на глобалното затопляне и изчерпването на петролните ресурси, биодизелът и другите видове възобновяеми горива се разглеждат като възможност за намаляване на вредните емисии и зависимостта от изкопаемите горива.

Дизеловите двигатели играят ключова роля в транспорта, индустрията и селското стопанство, поради своята висока ефективност и издръжливост. Въпреки това, традиционните дизелови горива допринасят за значителни емисии на азотни оксиди (NO_x), въглероден оксид (CO) и фини прахови частици (PM), което налага търсенето на екологично по-чисти алтернативи. Биодизеловото гориво и биогоривата от различни източници (растителни масла, животински мазнини, микроводорасли и др.) имат потенциала да променят работния процес на дизеловия двигател, като повлияят върху работния процес, ефективността, емисиите и експлоатационните характеристики.

Настоящата дисертация има за цел да изследва влиянието на вида на горивото върху работния процес на дизелов двигател, като се фокусира върху добавянето на различни количества биодизелово гориво към дизелово гориво и техният ефект върху работния процес, мощностните характеристики и екологичните показатели. Чрез експериментални и аналитични методи ще бъде оценено влиянието на различните горивни смеси върху процеса на горене и емисиите на отработилите газове.

Резултатите от изследването ще допринесат за по-доброто разбиране на въздействието на биогоривата върху работата на дизеловите двигатели и ще предложат насоки за оптимизация на тяхното използване в транспорта и индустрията.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА РАБОТА НА ДИЗЕЛОВ ДВГ С БИОГОРИВА

Транспортният сектор е един от най-сложните и важните за развитието на световната икономика. Той е силно обвързан с новите тенденции в областта на науката и иновациите в технологиите. Голяма част от нововъведенията са обвързани с намаляване на замърсяванията от автомобилния транспорт.

В последните години съществено нараства неблагоприятното въздействие на околната среда от автомобилния транспорт. Експлоатацията на автомобилите е свързана със замърсяването на въздуха, почвата и водата с отработили газове и консумативи, шумово замърсяване, които в крайна сметка водят до повишена заболяемост на населението.

През 1972 г. се въвеждат първите международни норми за ограничаване на емисиите от въглероден оксид (CO) и въглеродороди (HC) в Европейската общност. През годините са въведени и ограничения за азотни оксиди (NO_x) и твърди частици.

От 1992 г. емисиите от изгарянето на горивата в двигателите с вътрешно горене се регулират от единен европейски стандарт за вредни емисии. Този стандарт включва ограничения към отработилите газове и важи само за нови автомобили продадени в страни членки на европейския съюз. С този стандарт са лимитирани емисиите на азотни оксиди (NO_x), въглеродороди (HC), въглероден оксид (CO) и твърди частици (PM), които са в сила за определени за лекотоварни и тежкотоварни автомобили, трактори и други, като корабният и самолетния транспорт за момента не са включени в него. Класификацията на типовете превозни средства е дефинирана от директива 2001/116/ЕС.

При двигатели, работещи с дизелово гориво съставът на лятното и зимното гориво не оказва влияние на количеството CO и NO_x и не влияе в голяма степен на количеството HC . И при двата вида гориво е установено, че количествата HC и

димността са практически еднакви.

При работа на ДВГ с алтернативни горива количеството и видът на отделните химични съединения се определят главно от химичния състав на горивото и от начина на протичане на процесите смесобразуване и горене.

За различните превозни средства съществува различен стандарт. Съответствието се определя от работата на двигателя в стандартизирани тестови цикли. Стандартите обикновено се разглеждат като: Евро 1, Евро 2, Евро 3, Евро 4, Евро 5 и т.н... Правната рамка е определена в серия от изменения на директивата от 1970г. (70/220/ЕЕС). Ограниченията на оригиналната директива 70/220/ ЕЕС са заменени от единен европейски стандарт за емисиите в отработилите газове. По долу са представени накратко всички Евро стандарти.

- Евро 1 - стандарт за излъчваните емисии от автомобилите, произведени в ЕС след 1992 г. Този стандарт е заменен със стандарт Евро 2 през 1995 г. (91/441/ЕЕС & 93/59/ЕЕС).

- Евро 2 - стандарт за излъчваните емисии от автомобилите, произведени в ЕС след 1995 г. Този стандарт е заменен със стандарт Евро 3 през 1999 г. (94/12/ЕЕС & 96/69/ЕЕС).

- Евро 3 - стандарт за излъчваните емисии от автомобилите, произведени в ЕС след 1999 г. Този стандарт е заменен със стандарт Евро 4 през 2005 г. (98/69/ЕЕС).

- Евро 4 - стандарт за излъчваните емисии от автомобилите, произведени в ЕС след 2005 г. За достигане на изискванията на този стандарт, ДВГ е задължително да използват системи за каталитична редукция и за рецикулация на отработилите газове (98/69/ЕС & 2002/80/ЕС).

- Евро 5 - стандарт за излъчваните емисии от автомобилите, произведени в ЕС след 2009г. (715/2007/ЕЕС).

- Евро 6 - стандарт за излъчваните емисии от автомобилите, произведени в ЕС след 2014г. (715/2007/ЕЕС).

- Евро 7 – ще влезе в сила от 2030 г., включва освен емисиите от отработили газове и емисиите от износването на гумите и на частици от спирачната система. Освен това с него се въвеждат изисквания за дълготрайността на акумулаторната батерия.

При стандарт Евро 1 всички вредни емисии за бензинови и дизелови двигатели са еднакви, с изключение на твърдите частици, които се получават само при дизеловите двигатели. В стандарт Евро 2 за дизеловите двигатели има по-строг стандарт за СО, но се допуска по-високо съдържание на NOx. При Евро 3 се забелязва значително понижаване в допустимите количества вредни емисии. Това се дължи, основно за споразумението в Киото - първото глобално споразумение за опазване на околната среда, основано на пазарен принцип за регулиране, изразяващ се в международна търговия с квоти за вредни емисии. В Протокола от Киото е визирано намаляването на общо девет вида газови емисии от типовете CO₂, CH₄, N₂O и три вида флуорирани промишлени газове: HFC (хидрофлуоровъглеродороди), PFC (перфлуоровъглеродиди) и SF₆, които предизвикват глобалното затопляне.

Държавите от Приложение В на Протокола поемат количествени задължения за намаляване или ограничаване на емисиите вредни газове. Основните задължения са поети от развитите индустриално държави, например Европейският съюз трябва да намали емисиите с 8 %.

В резултат на това се въвежда Директива 2003/30/ЕО, относно насърчаването на използването на биогорива и други възобновяеми горива за транспорт. Тя бива отменена от Директива 2009/28/ЕО, която поставя задължителна цел за минимум десет процентен дял (10%) на биогорива от потреблението на бензин и дизелово гориво в транспорта до 2020 г..

От 2012 година е уточнено добавянето на биодизелово гориво към дизелово гориво, като се добавят минимум шест процента (6%) биодизелово гориво към дизеловото гориво със „Закон за енергията от възобновяеми източници“. През 2023 година е допълнен закона със изискването поне 2 процента от биодизела да се произведени от биогориво от ново поколение суровини тип „А“.

Биодизеловото гориво се получава от растителни и животински мазнини, които се обработват с алкохол. [4, 6, 7, 13, 42, 43, 45, 57] В зависимост от използвания алкохол за преработката маслото, биодизеловото гориво може да се раздели на метилово и етилово. Обикновено се предпочита метанолът, поради ниската си цена и свойствата му. По-късата му верига допринася за по-просто и по-бързо реагиране.

Суровините за получаване на биодизел са:

- първо поколение – масла от слънчоглед, рапица, соя, сусам, лен, кокосово, маслиново и др.;

- второ поколение – масла от рицин, тютюн, памук и др.;

- трето поколение – отпадни и животински мазнини, водорасли;

Най-често срещаните технологии за производство на биодизел са:

- микроемулгиране;

- пиролиза (термичен крекинг);

- трансестерификация.

Микроемулгирането е метод, при който растителните масла се смесват с разтворители, за да се намали високият им вискозитет, ниската течливост и други недостатци на биодизеловите горива. Получените микроемулсии са прозрачни и стабилни колоидни смеси с размер на частиците между 1 и 150 nm. Най-често използваните разтворители са метанол, етанол и бутанол, като n-бутанолът е най-подходящ заради по-високата стабилност и по-ниския вискозитет на сместа. Въпреки предимствата си, микроемулсиите могат да доведат до въглеродни отлагания и непълно изгаряне при използване като гориво.

Пиролизата включва термично разлагане на органична биомаса при ограничено количество кислород, в резултат на което се получават пиролизно масло, газове, пепел и въглища. Количествата на отделените продукти зависят от различни фактори като състава на биомасата, температурата, съдържанието на вода и параметрите на процеса. Пиролизата може да се проведе и с катализатор (каталитична пиролиза), който улеснява разкъсването на молекулярните връзки и образуването на по-малки молекули. Полученият активен въглен също може да бъде използван повторно.

Трансестерификацията е един от най-разпространените методи за производство на биодизел. Процесът описва химична реакция, при която един естер се преобразува в друг чрез замяна на алкилова група. Реакцията протича между триглицериди и алкохол, като най-често използваните алкохоли са метанол и етанол. Метанолът е предпочитан заради ниската си цена, химичните си свойства и способността си да реагира бързо. В резултат на трансестерификацията се получават естери на висши мастни киселини (като метилови или етилови естери) и глицерин като страничен продукт, който е с по-висока плътност. Обикновено алкохолът се използва в излишък, за да се увеличи добивът на естери и да се ускори процесът. В зависимост от наличието на катализатор, трансестерификацията може да бъде каталитична или некаталитична

При каталитичната естерификация катализаторът се разтваря в алкохол чрез разбъркване в малък реактор. Обикновено се използва метилов алкохол и натриева основа като катализатор, като количеството на основата е около 0,3% от използваното растително масло. Маслото се намира в отделен реактор, към който се добавя сместа от катализатора и алкохола. Получената смес се разбърква интензивно в продължение на 2 часа. В резултат на реакцията се образуват две течни фази: естер и глицерол. Глицеролът, като по-тежка фаза, се утаява на дъното след няколко часа. Първоначалното разделяне започва след около 10 минути, но пълното отделяне на двете фази завършва след над 24 часа.

След като процесът на разделяне приключи, се добавя вода в количество, равно на 5,5% от обема на маслото, и сместа се разбърква в продължение на 5 минути, след което се оставя да престои. След утаяването глицеринът се отделя, а естерният слой остава в реактора.

Измиването на естера протича в два етапа. Първият включва добавяне на смес от вода (28% от обема на маслото) и 1 g дъбилна киселина на литър вода. Тази смес се добавя към естера и се разбърква, докато се въведе въздух във водния слой, за да се улесни пречистването. След като естерният слой стане прозрачен, водният разтвор се източва. Във втория етап се добавя вода в същото количество (28% от обема на маслото) за окончателно измиване.



Фиг. 1.5 .Производство на биодизел

При обработката на 100 kg растително масло и 11 kg метанол се получават 100 kg метилов естер и 11 kg глицерин, който може да се използва като суровина в други производства. Съществуват автоматизирани инсталации, които извършват този процес, предлагани от различни компании.

Естери могат да се произвеждат и от отпадъчни мазнини, събрани от домакинства и заведения за обществено хранене. Тези масла съдържат по-голямо количество мастни киселини в сравнение с рафинираните масла. За неутрализиране на мастните киселини се добавя натриева основа, която улеснява образуването на естери. Важно е количеството основа да бъде прецизно дозирано, тъй като прекомерната или недостатъчната ѝ употреба може да доведе до образуване на нежелан страничен продукт – сапун.

За да се избегне този ефект, към отпадъчното масло се добавя натриева основа на малки порции, докато се достигне pH 8-9. След неутрализирането на мастните киселини се прилага стандартният метод за естерификация, използван при рафинираните масла.

В някои европейски страни ежегодно се събират и преработват десетки хиляди тонове отпадъчни растителни масла, които се използват като суровина за производство на биодизел.

Биодизеловото гориво е алтернативно гориво, което може да се използва в дизелови ДВГ както самостоятелно, така и в смеси с обикновено дизелово гориво. Различните смеси се обозначават с буквата „B“ и число, което показва процента на биодизел в сместа [4, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20]:

- B5 - 5% биодизелово гориво, 95% дизелово гориво;
- B30 - 30% биодизелово гориво, 70% дизелово гориво;
- B100 - 100% биодизелово гориво;

Използването на биодизелово гориво има следните предимства:

- има добра смесимост с дизеловото гориво;
- съдържанието на около 11% кислород в молекулата му подобрява горенето;
- намаляване вредните емисии (CO намалява с 10%-30%; HC -30%, дисперсни частици – до 40%;
- намаляват SOx;
- има по-висока пламна температура (над 150°C) в сравнение с дизеловото гориво (64°C), което го прави по-малко пожароопасно гориво;
- може да има по-високо цетаново число.

При употреба на биодизелово гориво съществуват и следните проблеми:

- биодизеловото гориво (B100) не може да се използва при отрицателни температури на околната среда;
- по-високи емисии на NOx в отработилите газове;
- изисква се по-честа смяна на горивните филтри на ДВГ;
- гумените материали с които е в контакт биодизеловото гориво трябва да бъдат от силиконов каучук или да се заменят с метални;
- при повишена киселинност на биодизеловото гориво (зависи от източника за получаване) по-бързо се износват детайлите на горивната уредба и бутало-цилиндровата група на ДВГ;
- в студено време се увеличава нагарообразуването.

Изводи:

След направен анализ на изследванията по въпроса за използването на смеси на биодизел с дизелово гориво се вижда, че липсват публикувани подробни данни за развитието на работния процес, продължителността и промяната на параметрите по време на процеса горене при двигатели със система за впръскване на гориво “Common Rail”.

Интерес представлява и промяната на неравномерността на отделните цикли, продължителността на отделните периоди и изменението в топлоотделянето по време на процеса горене, за които няма публикувани задълбочени изследвания.

ГЛАВА II - ТЕОРЕТИЧНО ПРЕСМЯТАНЕ НА ПРОЦЕСИТЕ В ДВГ ПРИ РАБОТА С ДИЗЕЛОВО ГОРИВО И БИОДИЗЕЛ

Теоретичните пресмятания са направени с помощта на специализиран програмен продукт DIESEL-RK. Продуктът е предназначен за термодинамични и топлинни изчисления, както и за анализ на работните процеси при двутактови и четиритактови дизелови двигатели, както с атмосферно, така и с принудително пълнене. Изчисленията в програмата се основават на двузонов модел, който в максимална степен съответства на явленията, протичащи в дизеловите двигатели с вътрешно горене [24]. Чрез прилагане на RK-модел е възможно да се симулира смесообразуването и изгарянето в дизелов двигател. Симулационният метод на RK-модела е разработен от проф. Разлейцев през 1990-1994 г. След това този метод е модифициран и допълнен от д-р Кулешов. RK-моделът използва следните параметри при пресмятането: форма на профила на разпръсквача и възможност за многократно впръскване; размер на капките; посока на струите в горивната камера; динамика на развитието на разпръскването на горивото; динамика и профил на завихряне на сместа; взаимодействие на впръснатото гориво с въздушен вихър и стените на цилиндъра.

Методът отчита условията на формиране на сместа при всяко впръскване на гориво, отчита въздушните потоци в близост до стената на цилиндъра, както и взаимодействие между тези потоци в цилиндъра и в близост до стената му. RK-моделът позволява определяне на вредните емисии и излъчването на твърди частици в зависимост от смесообразуването и условията на работния процес. Програмният продукт дава възможност да се намери оптималната форма на горивната камера на буталото, посоките на разпространение на горивната струя, диаметрите и броя на отворите в дюзата, интензивността на завихряне на въздуха и сместа и други параметри от работния процес.

За изчисляването на термодинамичните показатели и процеси са използвани следните формули:

Теоретично количество въздух, необходимо за изгаряне на 1кг гориво:

За пълното изгаряне на горивото е необходимо определено количество въздух, което се определя от елементарния състав на горивото;

$$L_o = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) \quad [\text{kmol/kg}] \quad (2.2)$$

където C, H, O са масовите части на основните елементи на горивото:

Действително количество въздух, участващо при изгарянето на 1 кг гориво:

$$L = \alpha \cdot L_o \quad [\text{kmol/kg}] \quad (2.3)$$

Количество прясна горивна смес

Тя се състои от въздух и изпарено гориво и нейното количество се определя от израза;

$$M_i = L + \frac{1}{m_f} \quad [\text{kmol/kg}] \quad (2.4)$$

където m_f е молекулната маса на горивото, стойността на която е дадена в таблица 2.1

Общо количество на газовете в края на процеса горене

При изгарянето на гориво-въздушната смес, изгорелите газове основно се състоят от: въглероден диоксид CO_2 , водна пара H_2O , азотни оксиди N_2 използван кислород O_2 .

$$M_2 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,792 \cdot \alpha \cdot L_o \quad [\text{kmol/kg}] \quad (2.5)$$

Коефициент на остатъчни газове

Коефициентът на остатъчни газове γ_r дава оценка за качеството на почистване на цилиндъра от отработилите газове. С увеличаването на стойността на γ_r се намалява количеството на пряното работно вещество постъпващо в цилиндърите на двигателя през време на процеса пълнене.

$$\gamma_r = \frac{T_{oc} + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r}, \quad (2.6)$$

където: T_{oc} – температура на околната среда, [K]

ΔT – температура на подгряване на пряното работно вещество, [°]

T_r – температура на остатъчните газове, [K]

p_r – налягане на остатъчните газове, [MPa]

p_a – налягане в края на процеса пълнене, [MPa]

ε – степен на сгъстяване.

Коефициент на пълнене

Коефициентът на пълнене η_v характеризира съвършенството на напълване на цилиндъра на двигателя със свеж заряд. Той представлява отношение на действителното количество пряно работно вещество постъпило в цилиндъра, отнесено към теоретичното, при еднакви температура и налягане.

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{p_{oc}} \cdot \frac{T_{oc}}{T_{oc} + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}, \quad (2.7)$$

където: ε – степен на сгъстяване,

p_a – налягане в края на процеса пълнене, [MPa]

p_{oc} – налягане на околната среда, [MPa]

T_{oc} – температура на околната среда, [K]

ΔT – температура на подгряване на пряното работно вещество, [°]

T_r – температура на остатъчните газове, [K]

дие γ_r – коефициент на остатъчните газове.

Пресмятане на процеса горене:

При двигателите работещи по цикъл с подвеждане на топлина при $V=\text{const}$. уравнението на горене има вида:

$$\frac{\xi_z \cdot (H_u - \Delta H_u)}{(1 + \gamma_r) \cdot M_1} + (\mu C'_v)_O \cdot t_c = \mu_r \cdot (\mu C''_v)_Z \cdot t_z \quad [\text{kJ/kmol}] \quad (2.8)$$

където: ξ_z – коефициент на използване на топлина;

H_u – Долна топлина на изгаряне на горивото [kJ/kg];

$\Delta H_u = 119\,950 \cdot (1 - \alpha) \cdot L_o$ – неизползвана топлина при горене [kJ/kg];

γ_r – коефициент на остатъчните газове;

M_1 – количество прясна горивна смес, [kmol/kg];

$\mu C'_v$ – среден молен специфичен топлинен капацитет на работната смес в края на процеса съгъстяване при $V = \text{const.}$, [kJ/(kmol.K)]

$$(\mu C'_v) = \frac{1}{1 + \gamma_r} \cdot \left[(\mu C_v)_{fa} + \gamma_r \cdot (\mu C''_v) \right] \quad [\text{kJ/(kmol.K)}] \quad (2.9)$$

където: $(\mu C_v)_{fa}$ – среден молен специфичен топлинен капацитет на въздуха при $V = \text{const.}$, [kJ/(kmol.K)]

$(\mu C''_v)$ – среден молен специфичен топлинен капацитет на отработилите газове при $V = \text{const.}$, [kJ/(kmol.K)];

$t_c = T_c - 273$ – температура в края на процеса съгъстяване, [°C];

μ_r – действителен коефициент на молно изменение;

$t_z = T_z - 273$ – максимална температура при процеса горене, [°C]

Индикаторен коефициент на полезно действие

Индикаторният КПД показва каква част от топлината получена от изгарянето на горивото се преобразува в полезна работа, като отчита всички топлинни загуби от процесите за един действителен работен цикъл.

$$\eta_i = \frac{p_i \cdot I_o \cdot \alpha}{H_u \cdot 10^{-3} \cdot \eta_v \cdot \rho_{air}}, \quad (2.10)$$

където: p_i – действително средно индикаторно налягане, [MPa];

$I_o = m_{air} \cdot L_o$ [kg/kg] – теоретично количество въздух необходимо за изгаряне на 1 кг. гориво, изразено чрез молекулната маса на въздуха

$m_{air} = 28,97$ [kg/kmol];

α – въздушно отношение;

H_u – долна топлина на изгаряне на горивото, [kJ/kg];

η_v – коефициент на пълнене;

ρ_{air} – плътност на въздуха по време на процеса пълнене в [kg/m³].

От формула 2.10 се вижда, че η_i не е постоянна величина и се изменя в зависимост от режима на работа на двигателя.

Индикаторен специфичен разход на гориво

Индикаторният специфичен разход на гориво показва какво количество гориво в грамове, изразходва двигателя за един час работа за да развие мощност от един киловат.

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot 10^{-3} \cdot \eta_i} \quad [\text{g/kW.h}] \quad (2.11)$$

където: H_u – долна топлина на изгаряне на горивото, [kJ/kg];

η_i – индикаторен коефициент на полезно действие;

Средно ефективно налягане

Това е условно налягане с постоянна стойност, което действа върху буталото по време на процеса разширение и извършената от него работа е равна на ефективната работа извършена за един пълен цикъл в цилиндъра на двигателя. Чрез повишаване стойността на средното ефективно налягане се подобрява извършената работа от буталото в единица ходов обем, което допринася за създаване на нови по – леки и компактни двигатели.

$$p_{em} = p_i - p_m \quad [\text{MPa}], \quad (2.12)$$

Механичен КПД на двигателя

Механичният КПД дава сравнителна оценка за големината на механичните загуби в двигателя и представлява отношение на средното ефективно налягане към индикаторното налягане. Намаляването на стойността на η_m е пропорционално на увеличаването на загубите в двигателя. Стойността на η_m може да се увеличи чрез: намаляване на загубите от триене, намаляване на загубите на мощност за задвижване на спомогателни агрегати към двигателя и също така чрез увеличаване на натоварването до определени граници.

$$\eta_m = 1 - \frac{p_{em}}{p_i}, \quad (2.13)$$

Ефективен КПД на двигателя

Ефективният КПД на двигателя оценява каква част от общото количество топлина внесено в двигателя се използва за извършване на полезна работа, като отчита всички топлинни и механични загуби в двигателя.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m \quad (2.14)$$

Ефективен специфичен разход на гориво.

Ефективният специфичен разход на гориво показва какво количество гориво в грамове се изразходва от двигателя за получаване на един киловат ефективна мощност, за период от един час.

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot 10^{-3} \cdot \eta_e} \quad [\text{g/kW.h}] \quad (2.15)$$

Изводи:

Направените термодинамични изчисления показват подробна информация за промяната на параметрите в двигателя и чрез тях може да бъде направен анализ на влиянието на различни параметри върху протичането на процеса горене. Предимство на метода е, че е възможно теоретично да се оптимизира работния процес при необходимост за конкретен двигател.

С увеличаване количеството на биодизелово гориво в горивната смес нараства максималното налягане в цилиндъра по време на процеса горене. Увеличава се максималната скорост на нарастване на налягането и несъществено максималната температура за цикъл. Съкращава се времето на горене.

С така направените изчисления се решава задача 1 поставена в глава I.

ГЛАВА III - ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАБОТНИЯ ПРОЦЕС НА ДИЗЕЛОВ ДВИГАТЕЛ ФИАТ 1,9JTD

1. Цел на експерименталното изследване.

Експерименталните изследвания имат за цел изследване на работния процес, токсичността на отработилите газове и характерни параметри при работа на двигателя с 100 %, обемни дизелово гориво **B0** и смеси с биодизелово гориво в съотношения: 90%, обемни дизелово гориво и 10%, обемни биодизелово гориво **B10**, 70%, обемни дизелово гориво и 30%, обемни биодизелово гориво **B30**, 50%, обемни дизелово гориво и 50%, обемни биодизелово гориво **B50**. При провеждане на експерименталните изследвания са снети товарни характеристики за четирите вида гориво при честоти на въртене на колянвия вал 1500 min^{-1} , 2000 min^{-1} , 2500 min^{-1} , 3000 min^{-1} , 3500 min^{-1} и съпротивителен момент 50 Nm, 75 Nm, 100 Nm, 125 Nm.

Основни задачи при експерименталното изследване са:

- Индициране на двигателя и изследване на топлоотделянето;
- Измерване и анализиране на токсичните компоненти в отработилите газове;
- Измерване и сравняване на мощностно-икономическите показатели на двигателя;
- Определяне на индикаторните и ефективни показатели на двигателя;
- Сравняване на изследваните показатели при работа с описаните четири вида горива.

1.1 Обект на изследване:

Експерименталните изследвания са проведени в лаборатория към Русенски университет „Ангел Кънчев“.

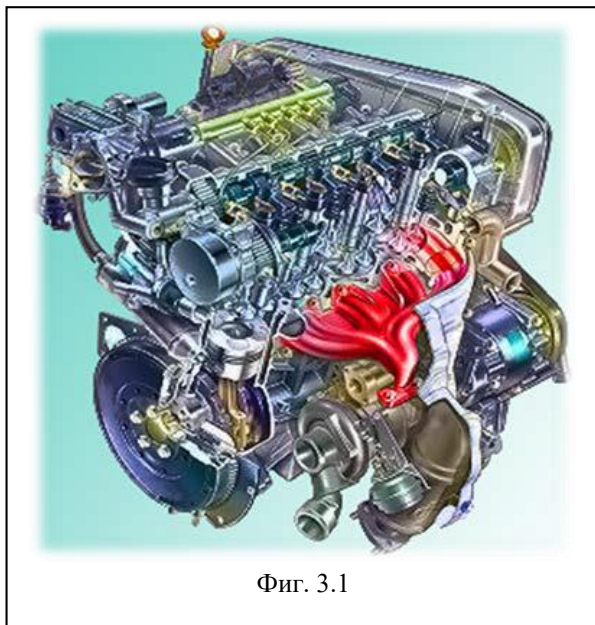
Обекта на изследване е дизелов двигател Fiat 1.9 JTD, с технически параметри показани на таблица 3.1.

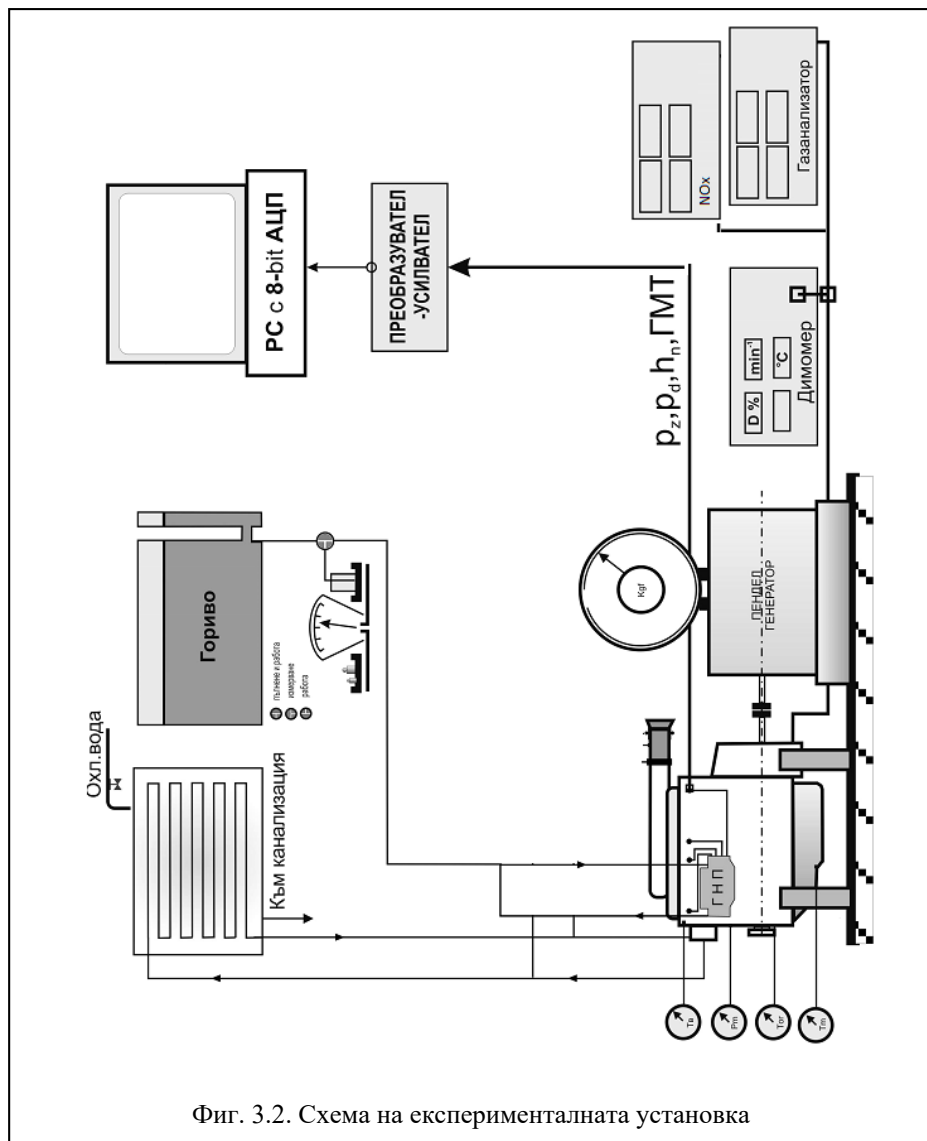
№	Параметър	Стойност
1	Производител	Fiat
2	Година	2002
3	Код на двигателя	188 A2.000
4	Генерация	Palio Weekend (178)
5	Работен обем на двигателя [dm^3]	1,910
6	Диаметър на цилиндъра [mm]	82,00
7	Ход на буталото [mm]	90,40
8	Степен на сгъстяване	18,5

9	Номинална мощност при честота на въртене на колянния вал [$\text{kW}/\text{min}^{-1}$]	60/4000
10	Номинален въртящ момент при честота на въртене на колянния вал [$\text{Nm}/\text{min}^{-1}$]	196/1500
11	Ред на работа на двигателя	1-3-4-2
12	Тип охлаждане	Принудително – водно
13	Тактност	Четири тактов
14	Смесобразуване	Вътрешно
15	Пълнене	Принудително
16	Горивна система	Common-rail
17	Брой и разположение на цилиндрите	4, редови

1.2 Описание на експерименталната установка:

Изпитваният двигател (фиг. 3. 1) е закрепен чрез стойка към фундамента на лабораторията. Двигателят е присъединен към уравновесена постоянно токова електрическа спирачка с независимо възбуждане към изходящия вал на предавателната кутия. Охлаждането е принудително, водно като автоматична система поддържа необходимата работна температура в граници около 95°C . Схема на експерименталната установка за работа на ДВГ е показана на фигура 3.2.





От дясно на двигателя са монтирани: термодвойка за измерване на температурата на отработилите газове, система за охлаждане на двигателя с електромагнитен клапан, дюза за измерване разхода на постъпващият в двигателя въздух и с преобрзувател за измерване на честотата на въртене.

1.3 Използвани горива

За провеждане на експерименталните изследвания са използвани дизелово гориво със спецификация показана на фиг. 3.3 и биодизелово гориво със спецификация на фиг. 3.4.

ЛУКОЙЛ „ЛУКОЙЛ ЕЛЪТ АРИЕ“ ОООД	ФИРМЕНА СПЕЦИФИКАЦИЯ	ФС 05-01-24
Гориво за изпитвателна техника и трактори (СР)		
Изготвил, Мениджър Метрология и Контрол по качеството М. Нинев	Утвърдил, Директор по развитие Г. Раков	

I. Технически изисквания

Показатели	Дименсия	Норми	Методи за изпитване
1	2	3	4
Цвят		max 1,5	ASTM D 1500 БДС ISO 2049
Корония на медна пластинка (3h при 50°C)	клас	max 1	БДС EN ISO 2160 ASTM D 130
Плътност при 15°C	kg/m ³	815,0-845,0*	БДС EN ISO 3675 ASTM D 1298 БДС EN 116 IP 309
Гранична температура на филтруемост през студен филтър, CFPP зима	°C	max -15	БДС EN ISO 3405 ASTM D 86
Дестилационни характеристики: - до 250°C дестилат - до 350°C дестилат - 95(VV)% дестилат при	%(V/V)	max 65	БДС EN ISO 3104 ASTM D 445
	%(V/V)	min 85	
	%	max 360	
Кинематичен вискозитет при 40°C	mm ² /s	2,0 – 4,50	БДС EN ISO 3104 ASTM D 445
Плавна температура в затворен типел	°C	min 55	БДС EN ISO 2719 ASTM D 93
Съдържание на сира	mg/kg	max 10,0	БДС EN ISO 20846 ASTM D 5453
Съдържание на вода	mg/kg	max 200	БДС ISO 12937
Общо количество онечиставания	mg/kg	max 24	БДС EN 12662 IP 440

 ЛУКОЙЛ „ЛУКОЙЛ ЕЛЪТ АРИЕ“ ОООД	ФИРМЕНА СПЕЦИФИКАЦИЯ	ФС 05-01-24	
Гориво за изпитвателна техника и трактори (СР)			
Косов остатък (на 10% остатък от дестилация)	% (m/m)	max 0,30	БДС EN ISO 10370 ASTM D 4530
Цетанов индекс		min 46,0	БДС EN ISO 4264
Цетаново число		min 49,0	БДС EN ISO 5165
Окислителна стабилност	g/m ³	max 25	БДС EN ISO 12205 ASTM D 2274
Смазочна способност при 60°С	µm	max 460	БДС ISO 12156-1
Полициклически арили	% (m/m)	max 8	БДС EN 12916
Пепел	%(m/m)	max 0,01	БДС EN ISO 6245 ASTM D 482
Съдържание на метилови естери на мастни киселини (FAME)	% (V/V)	-	БДС EN 14078
Температура на помълчване (СР)	°C	max – минус 8	БДС EN ISO 3015
Съдържание на манган	mg/l	max 2	БДС EN 16576

- * – *Ниво Е – зима – от 16.10. до 15.04.

2. Описание на продукта

Продуктът е лесно запаляема течност. Предназначен е за двигатели с компресионно запалване за изпитвателна техника и трактори.

3. Метод на производство и вземане на проби

3.1. Получава се чрез смесване на дестилатни фракции от първична и вторична преработка на нефт. Допуска се влагане на присадаки.

3.2. Вземането на проби се извършва на партиди съгласно БДС ISO 3170.

„Партида“ е количество от един и същ вид или марка течен гориво, еднородно по качествените си показатели, произведено по една и съща технология, съхранявано в един или повече резервоари и съпроводено с един документ за изпитване.

Фиг.3.3 Спецификация на използваното дизелово гориво

LABORATORY
CORRECT TEST CONTROL LTD

RUE – 1001, Yambol Blvd, No 180.

Phone: +359 050 817 010;

e-mail: info@ctc.bg

ANALYSIS REPORT

№ 990 / 05.11.2024

1 Product: Biodiesel – 100 % FAME

4 Date: 04.11.2024

2 Type of sample: (Shore line R 301, Petrol base Type R 301)

5 Sample identification: 01909024

3 Customer: Astra Bioplast Ltd

6 Quantity: Bottle 4 x 1,0 L

No	Test	Unit	Method	Limits – BDS EN 14214:2012/A2:2015	Test results
1	Density at 15 °C	kg/m ³	BDS EN 15621:2004	860,0	863,0
2	Cetane number		BDS EN 14110:2015	51,0	52,2
3	Sulfur content	mg/kg	BDS EN 1507:2004	-	10,0
4	Sulfur ash content	% (m/m)	BDS EN 1507:2004	-	0,02
5	Kinematic viscosity at 40 °C	mm ² /s	BDS EN 15621:2004	3,50	3,50
6	Cu strip corrosion (3 hrs at 50 °C)	rating	BDS EN 15621:2004	Class 1	1A
7	Total contamination	mg/kg	BDS EN 15621:2004	-	24
8	Water content	% (m/m)	BDS EN 15621:2004	-	0,05
9	CFPP (Cold filter plugging point)	°C	BDS EN 118:2015	-	minus 15
10	Acid number	mg KOH/g	BDS EN 14104:2021	-	0,50
11	Iodine number	g/100 g	BDS EN 14111:2022	-	120
12	Flash point	°C	BDS EN 15621:2004	101	117,0
13	Emulsion content	% (m/m)	BDS EN 14104:2021	96,5	-
14	Lovibond Acid Methyl Ester content	% (m/m)	BDS EN 14104:2021	-	12,0
15	Polyunsaturated fatty acid methyl ester content	% (m/m)	BDS EN 14104:2021	-	1,00
16	Methanol content	% (m/m)	BDS EN 14110:2015	-	0,20
17	Monoglyceride content	% (m/m)	BDS EN 14104:2021	-	0,10
18	Diglyceride content	% (m/m)	BDS EN 14104:2021	-	0,05
19	Triglyceride content	% (m/m)	BDS EN 14104:2021	-	0,20
20	Elemental content	% (m/m)	BDS EN 14104:2021	-	0,02
21	Total glycerol content	% (m/m)	BDS EN 14104:2021	-	0,05
22	Metals I group (Na+K)	mg/kg	BDS EN 14104:2021	-	5,0
23	Metals II group (Ca+Mg)	mg/kg	BDS EN 14104:2021	-	5,0
24	Phosphorus content	mg/kg	BDS EN 14104:2021	-	4,0
25	Oxidation stability at 110 °C	h	BDS EN 14112:2021	8,0	-

Chief of Laboratory Control Test Center Ltd

D-01, str. P. Kofchev

Фиг.3.4 Спецификация на
използваното биодизелово гориво

Фиг.3.4 Спецификация на използваното биодизелово гориво

2. Методика за експерименталното изследване.

Измервани и изчислявани величини:

При провеждане на експерименталните изследвания са измерени следните величини:

- Натоварване към двигателя;
- Честота на въртене на колянвия вал;
- Разход на гориво;
- Разход на постъпващият в двигателя въздух;
- Изменение на налягането в цилиндър на двигателя;
- Начало на впръскване на горивото;
- Температура на отработилите газове;
- Температура на охлаждащата течност;
- Температура на околната среда;
- Барометрично налягане на въздуха;
- Влажност на въздуха;
- Съдържание на CO , CO_2 , O_2 , HC , NO_x в отработилите газове;
- Димност (съдържания на твърди частици в отработилите газове).

След провеждане на експерименталното изследване са изчислени следните величини:

- Часов и специфичен разход на гориво;
- Количество гориво за един цикъл;
- Коефициент на пълнене;
- Въздушно отношение;
- Мощностно-икономически показатели;
- Индикаторни показатели;
- Изменение на температурата в цилиндъра;
- Скорост на нарастване на налягането;
- Скорост на топлоотдаване.

4. Обработка на получените експериментални данни:

За регистриране диаграмите на изменение на налягането в цилиндъра се използва АЦП, като така се съкращава времето за последващата обработка на експерименталните данни. При използването на тази методика възникват проблеми от изчислително естество, като апаратни смущения, които се характеризират с големи и случайни отклонения на произволни места по изследваната крива, също така диаграмата на изменението на налягането в цилиндъра трябва да бъде гладка функция, която да може да се подложи на последващо диференциране [9].

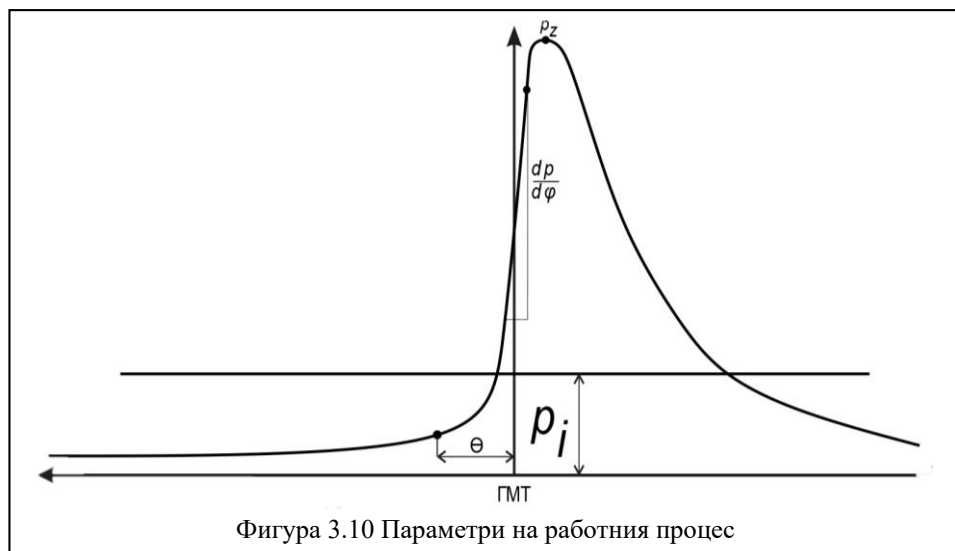
След като се запишат няколко характеристики, те трябва да се обработят с цел получаването на една представителна характеристика. Следващата обработка на тази представителна характеристика има за цел да се определи динамиката на топлоотделяне и характеристиката на активното топлоотделяне на изследвания ДВГ.

Параметри на процеса горене:

При изпитването на двигателя се измерват и изчисляват различни величини, непосредствено характеризиращи работния процес на двигателя. Това са:

- налягането на работното тяло в цилиндъра на двигателя по ъгъла на завъртане на колянвия вал, $p = f(\varphi)$;
- скоростта на нарастването на налягането $dp/d\varphi$;
- максималното налягане в цилиндъра p_z ;
- средното индикаторно налягане p_i ;
- моментната стойност на честотата на въртене на колянвия п;
- индикаторната мощност N_i ;
- въртящият момент M_b ;
- ефективната мощност N_e ;
- токсичността на отработилите газове;
- температурата на околната среда, охлаждащата течност и др. необходими за измерванията температури;
- разходът на въздух и гориво;
- ход на иглата на дюзата и др.

На фигура 3.10 са показани някои от параметрите на процеса горене, които се отчитат от индикаторната диаграма:



За определяне на максималната скорост на нарастване на налягането е използвана следната формула:

$$\left(\frac{dp}{d\varphi}\right)_{\max} = \mu \cdot tg(\beta) \quad (3.35)$$

където: $\mu = \mu_p / \mu_\varphi$ – мащабен коефициент на индикаторната диаграма.

За определяне на динамиката на топлоотделяне и характеристиката на активното топлоотделяне се използва анализ на топлоотделянето основан на първия закон на

термодинамиката [8, 10, 18]. Чрез обработка на данни от реална индикаторна диаграма, към получените резултати се добавят и топлинните загуби в следствие на износване на двигателя, увеличени хлабини и др. Затова при пресмятанията за определяне на характеристиката на активно топлоотделяне $X_a = f(\varphi)$ се извършват без да се отчитат тези топлинни загуби при процеса горене.

При пресмятанията се използва методика на Б. Шароглазов [28], според която уравнението по линията на горене от индикаторната диаграма може да се раздели на отделни участъци за които може да се запише първия закон на термодинамиката в следния вид:

$$Q_{x_{1+2}} = \mu C_{V_{1+2}} \cdot (T_2 - T_1) + \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (3.36)$$

където: $Q_x 1 \div 2$ – използваната топлина за повишаване на вътрешната енергия и за осъществяването на работа в разглеждания участък $1 \div 2$ по индикаторната диаграма;

$\mu C_v 1 \div 2$ – молен специфичен топлинен капацитет при постоянен обем в разглеждания участък $1 \div 2$ по индикаторната диаграма;

$p dV$ – работа извършена от газовете при промяна на обема в цилиндъра от V_1 до V_2 ;

Температурата на газовете във всеки един момент се определя от уравнението:

$$T = \frac{T_c}{p_c \cdot V_c} \cdot \frac{p \cdot V}{\beta} \quad (3.37)$$

където: β – действителен коефициент на молно изменение,

$\beta = M_0 + M_r + \Delta M / M_0 - M_r$, M_0 – маса на свежото работно вещество [kmol];

M_r – маса на отработените газове [kmol];

ΔM – увеличение на масата на работното вещество за интервал от време t . Когато $t = 0 \rightarrow \Delta M = 0$ и при $t = t_z \rightarrow \Delta M = \Delta M_{\max}$. За всеки един момент от време $\Delta M = \Delta M_{\max} \cdot X_a$.

T_c , p_c , V_c – температура, налягане и обем в момента на начало на видимото горене;

p , V – текущи налягане и обем на цилиндъра.

Характеристика на активно топлоотделяне X_a се нарича частта от отделеното количество топлина във функция от завъртането на колянния вал.

$$X_a = \frac{Q_x(\varphi)}{\xi_z \cdot H_u \cdot q_c} \quad (3.38)$$

където: $Q_x(\varphi)$ – количество топлина внесено в цилиндъра на двигателя по време на процеса горене в даден момент от завъртането на колянния вал;

ξ_z – коефициент на използване на топлината (отчита топлинните загуби вследствие на непълното изгаряне на горивото, несъвършенството на работния процес и т.н.);

H_u – долна топлина на изгаряне на горивото [kJ/kg];

q_c – циклова порция гориво.

Резултатите от пресмятанията се представят в графичен вид, показан на фигура 3.11.

След направените пресмятания, от графиките могат да се отчетат:

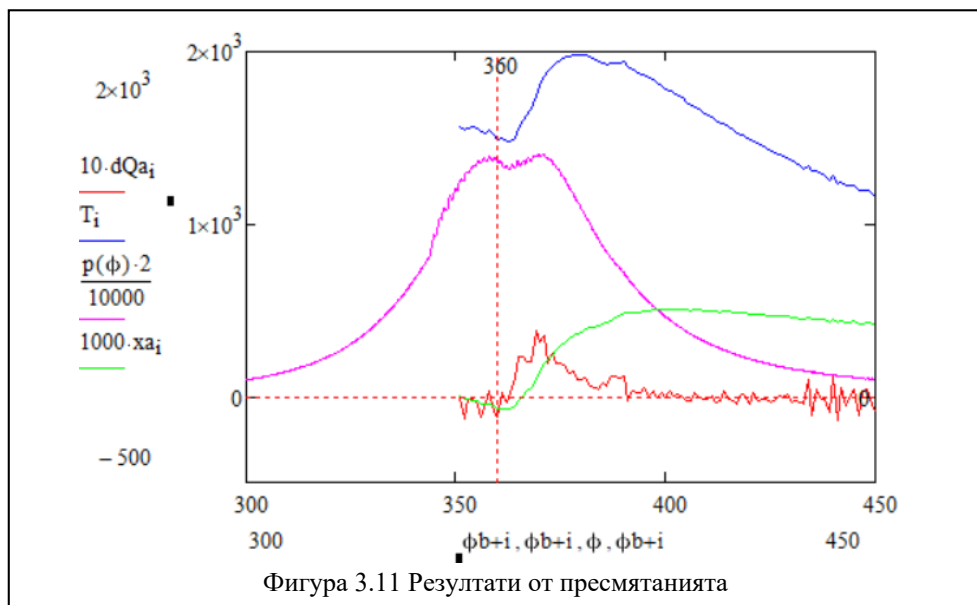
$T_{\max}$ – максималната температура по време на процеса горене [K];

ϕ_z – ъгъл от завъртане на колянния вал отговарящ на момента на максимално налягане в цилиндъра [deg];

p_z – максимално налягане в цилиндъра на двигателя по време на процеса горене [MPa];

$Q_{x \max}$ – максимална стойност на топлоотделянето [J/deg];

$X_{a \max}$ – максимална стойност на отношението на активното топлоотделяне [%];



Фигура 3.11 Резултати от пресмятанията

Изводи:

Разработената методика и програми за изчисляване на параметрите на работния процес на двигателя чрез обработка на индикаторната диаграма е с необходимата точност и прецизност и позволява подробно анализиране на протичащите по време на процеса горене явления.

Използваните преобразуватели за измерване на изменението на налягането в цилиндъра, за измерване честотата на въртене на колянния вал, апаратурата за запис на данни на фирмата Kistler и използването на USB AUTOSCOPE, дава възможност за много точно и прецизно отчитане и записване на необходимите данни, с което се свежда до минимум възможността за допускане на грешки при измерванията и отчитанията на съответните параметри.

По този начин се дава решение на задача 2 поставена в глава I.

Глава IV. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

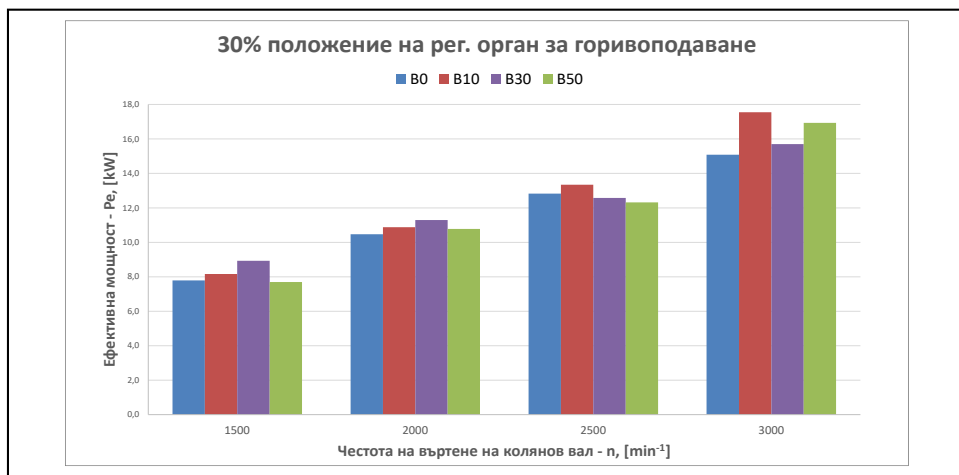
Направени са измервания с дизелово гориво, и смеси с биодизел с съотношения: 90% дизел и 10% биодизел **B10**, 70% дизел и 30% биодизел **B30**, 50% дизел и 50% биодизел **B50**. При провеждане на експерименталните изследвания са снети товарни характеристики при честоти на въртене на колянвия вал 1500 min^{-1} , 2000 min^{-1} , 2500 min^{-1} , 3000 min^{-1} и съпротивителен момент 50 Nm, 75 Nm, 100 Nm, 125 Nm.

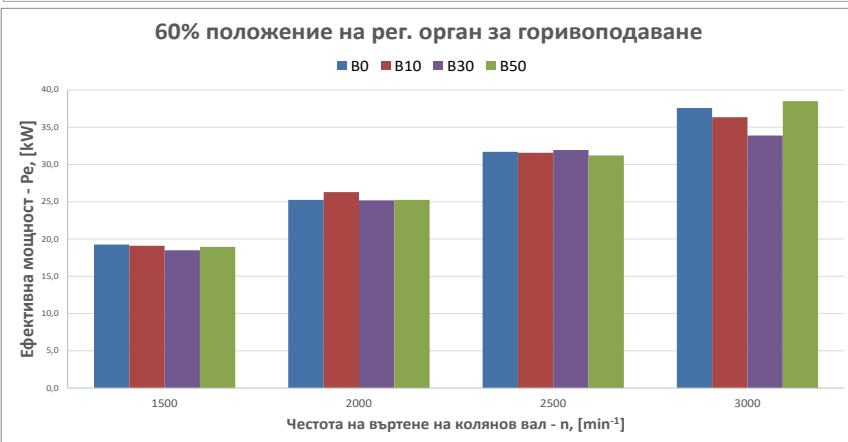
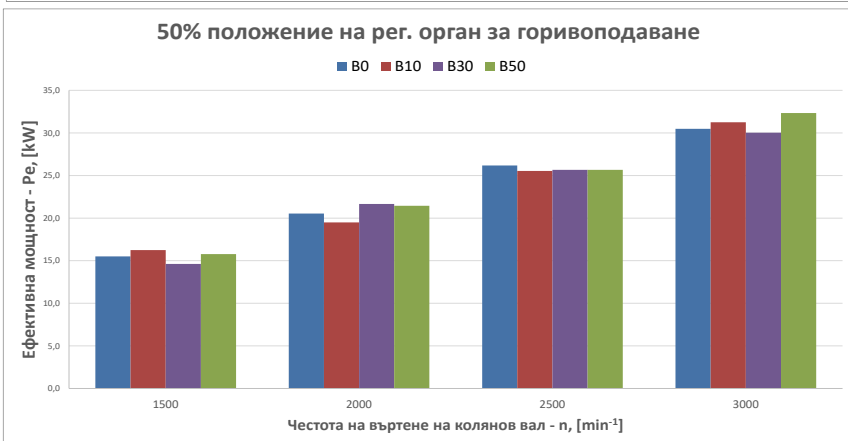
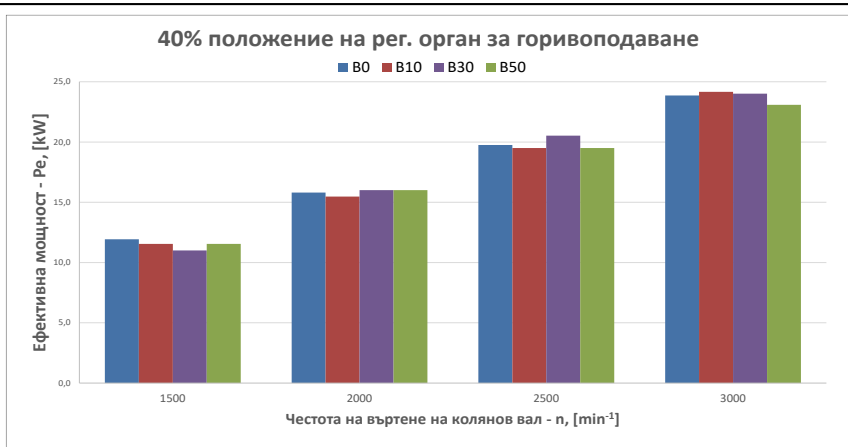
Представени са резултатите от изменението на ефективните, индикаторните, екологичните показатели.

Измерени са всички емисии от отработилите газове, но в дисертацията са разгледани тези, които биха се променили със образуването на биодизелови смеси.

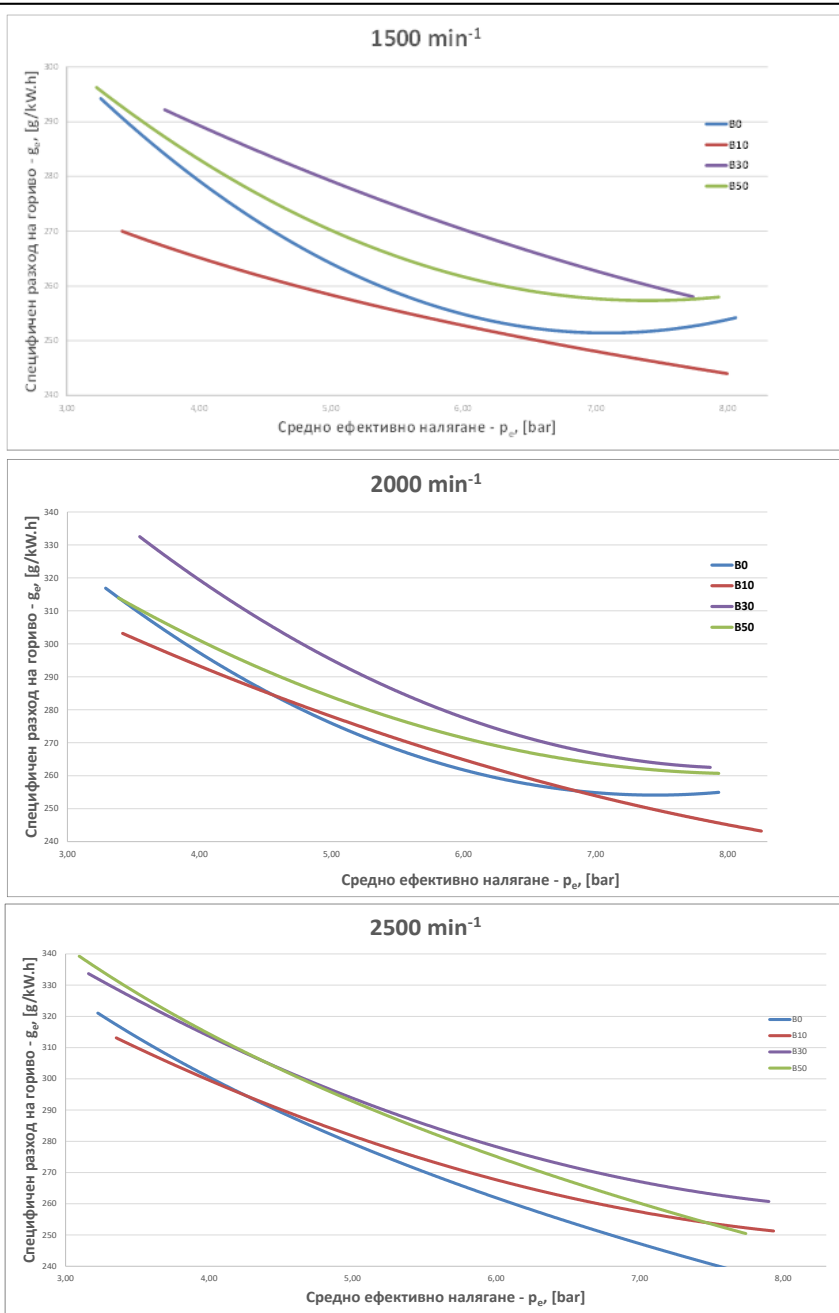
МОЩНОСТНО- ИКОНОМИЧЕСКИ ПОКАЗАТЕЛИ

Фигура 4.1 показва изменението на ефективната мощност на двигателя, при дизелово гориво и горивни смеси от дизелово гориво с добавено биодизелово гориво, при съотношения 10%, 30% и 50% и честоти на въртене на колянвия вал – 1500 min^{-1} , 2000 min^{-1} , 2500 min^{-1} , 3000 min^{-1} . В целия измерван честотен диапазон не се наблюдават съществени разлики в изменението на мощността в зависимост от различните смеси на горивата. Най-голяма разлика от 15% е отчетена при ниските натоварвания и честота на въртене на колянвия вал от 3000 min^{-1} , между B0 и B10. При най-голямото изследвано натоварване – 60% положение на регулиращия орган на горивоподаване, отново при честота на въртене на колянвия вал от 3000 min^{-1} , между B30 и B50 е отчетена най-голяма разлика в ефективната мощност, която е 12%. При останалите режими на работа разликите са от порядък от около 2-3%. Разликите се дължат на различната калоричност на отделните горивни смеси, но тъй като горивата са с близки физико-химични свойства, съответно и получаваните разлики са минимални.

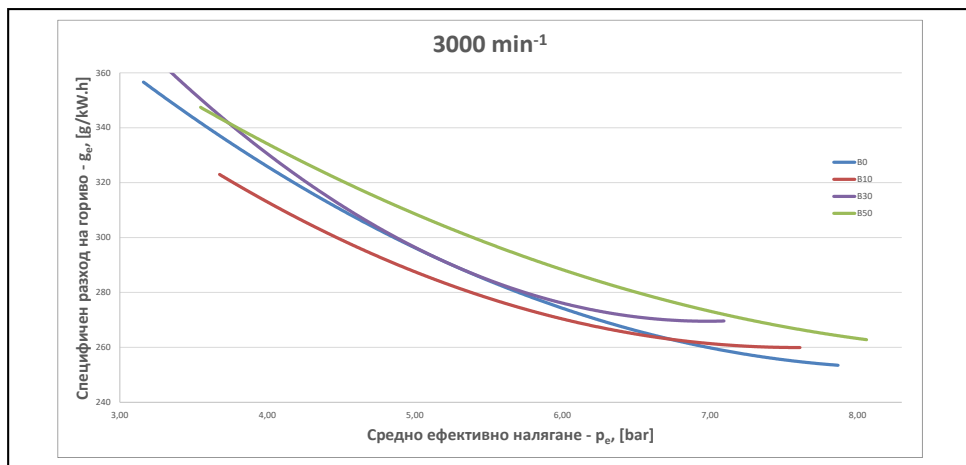




Фиг. 4.1. Отчетена мощност при процентно положение на регулиращия орган за горивоподаване, P_e , [kW]

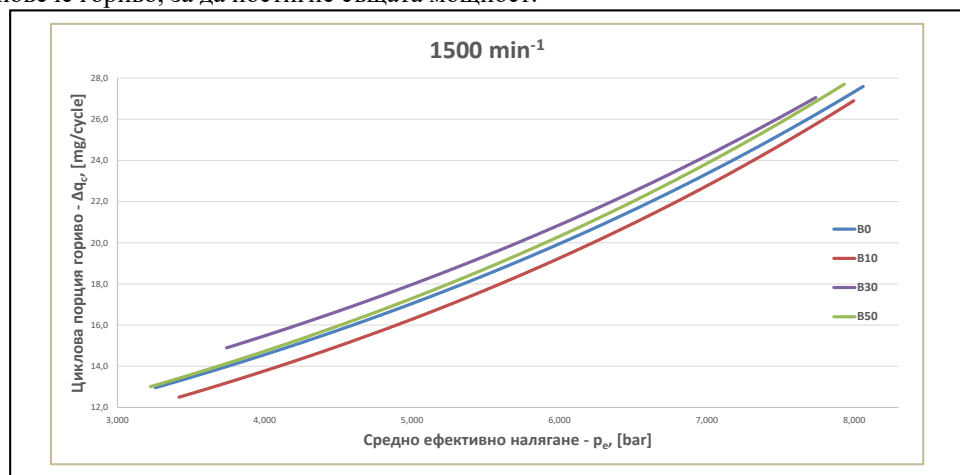


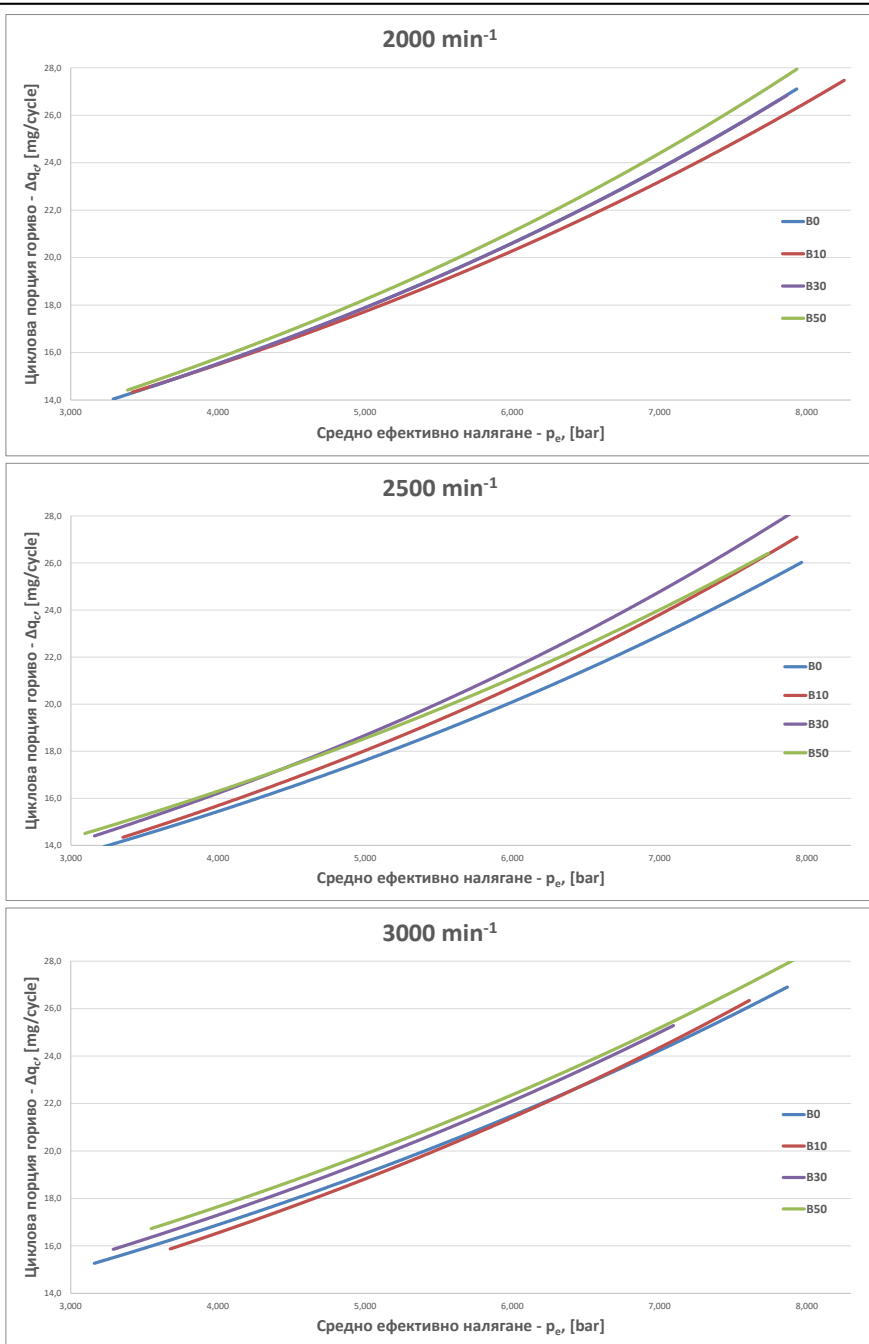
Фиг. 4.2. Товарни характеристики - изменение на ефективния специфичен разход на гориво g_e при 1500 min⁻¹, 2000 min⁻¹, 2500 min⁻¹, 3000 min⁻¹, [g/kW.h]



Фигура 4.2, представя специфичния разход на гориво, за дизелово гориво и горивни смеси от дизелово гориво с добавено биодизелово гориво, при съотношения 10%, 30% и 50% при честоти на въртене на колянвия вал – 1500 min⁻¹, 2000 min⁻¹, 2500 min⁻¹, 3000 min⁻¹. Всички криви на специфичния разход показват, че със намаляване на средното ефективно налягане p_e , специфичният разход на гориво g_e нараства. Това е очакван резултат, тъй като при ниско натоварване двигателят работи неефективно.

При измерванията с дизелово гориво B0 се наблюдава най-нисък специфичен разход на гориво при почти всички работни точки, като това се дължи на по-високата топлина на изгаряне на дизеловото гориво, спрямо смесите с биодизелово гориво. При биодизелова смес B10, кривите са близки до тази на B0, като се забелязва леко повишаване на разхода на гориво, особено при по-ниски натоварвания. Това също е в резултат от по-ниската калоричност на биодизеловото гориво. При високо съдържание на биодизелово гориво и при честота на въртене на колянвия вал 3000 min⁻¹, B50 специфичният разход е най-висок. Това показва, че двигателят изразходва повече гориво, за да постигне същата мощност.





Фиг. . 4.3. Товарни характеристики- изменение на цикловата порция гориво $q_{ц}$ при 1500 min⁻¹, 2000 min⁻¹, 2500 min⁻¹, 3000 min⁻¹, [mg/cycle]

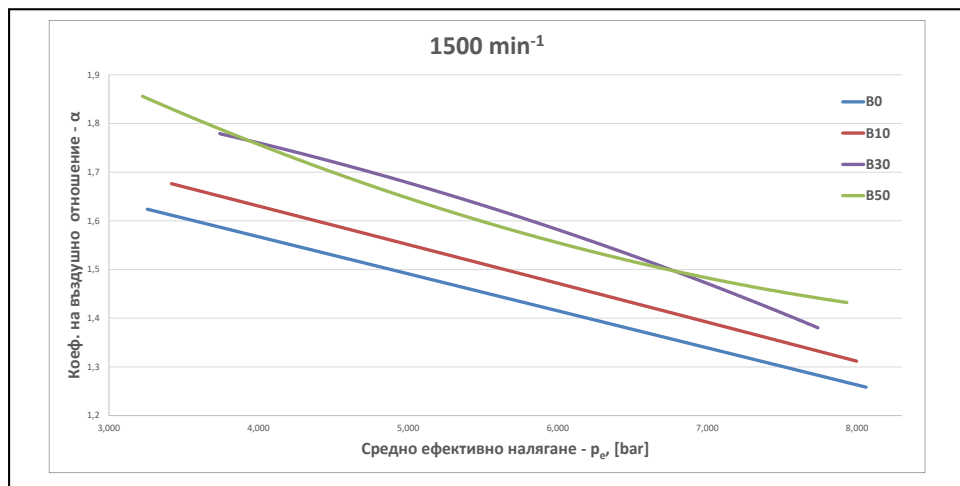
Фигура 4.3 представя изменението на цикловата порция гориво във функция на средно ефективното налягане при различни честоти на въртене на колянния вал. Кривите от измерванията имат растящ характер, като с увеличаване на натоварването се въпръсква по-голямо количество гориво, за да не се намали мощността на двигателя при използване на гориво с по-ниската долна топлина на изгаряне на биодизеловото гориво.

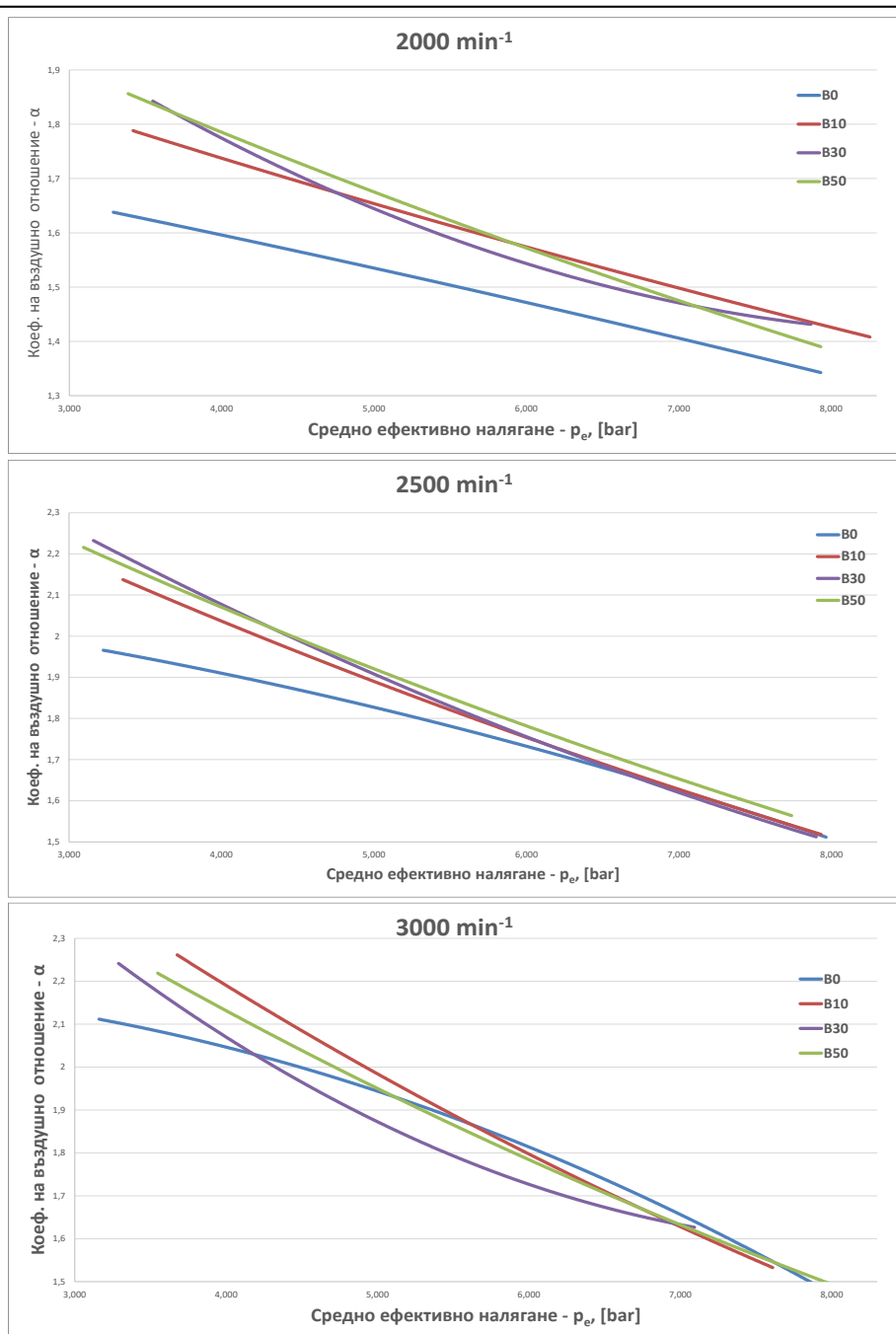
При честота на въртене 1500 min^{-1} , при точките с високи натоварвания по-ясно се забелязва разликата между горивата. При 3000 min^{-1} при всички смеси се наблюдава голяма разлика при различните смеси. Това се дължи на въпръскването на по-голямото количество гориво, което компенсира разликата в енергийното съдържание на използваното гориво.

На фиг. 4.4 са показани товарните характеристики за различни смеси на дизелово и биодизелово гориво, като се изследва въздушното отношение на горивовъздушната смес във функция на средно ефективното налягане. При B0 (дизелово гориво) са измерени по-високи стойности за въздушното отношение при всички измерени точки в сравнение със смесите с биодизел. Това може да бъде обяснено с по-високата топлина на изгаряне на дизеловото гориво.

При смес B10 се наблюдава леко намаляване на въздушното отношение в сравнение с B0, което може да се дължи на увеличеното количество биодизелово гориво, което има по-ниска топлина на изгаряне от дизеловото гориво.

Значително по-ниски стойности за въздушното отношение в сравнение с B0 и B10 се забелязват при измерванията със смеси B30 и B50. Тази тенденция подчертава влиянието на биодизела върху горивовъздушната смес, като добавянето на биодизелово гориво намалява топлината на изгаряне и увеличава нуждата от повече въздух за изгаряне на едно и също количество гориво.



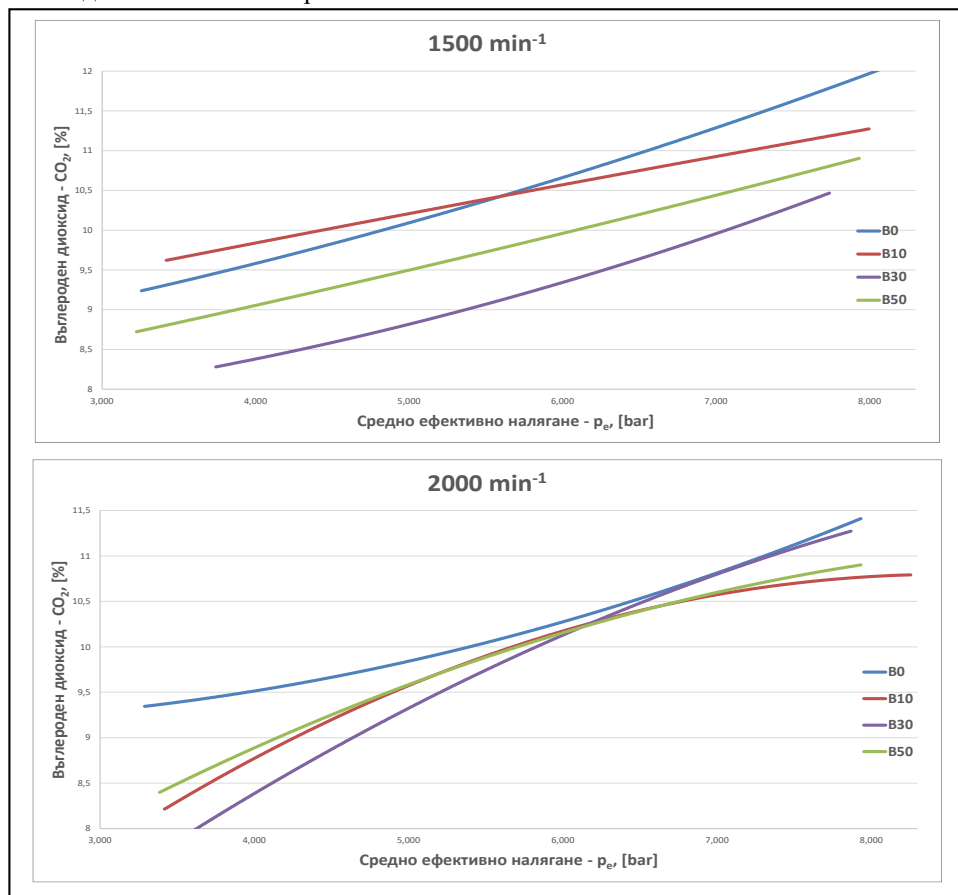


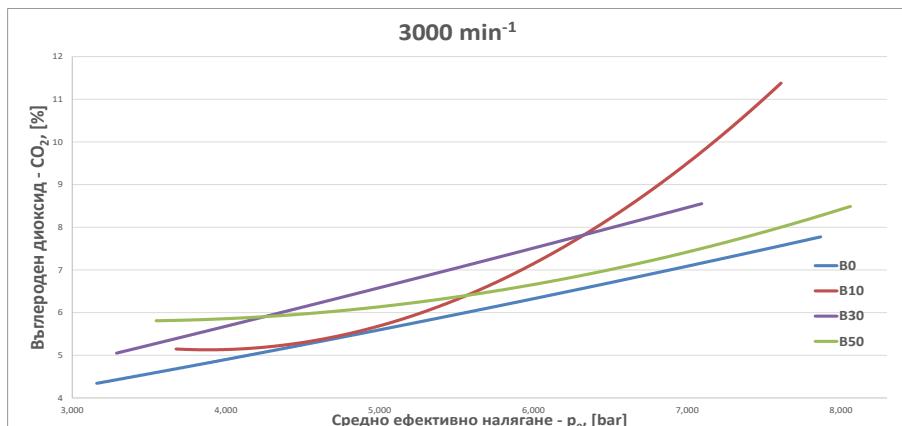
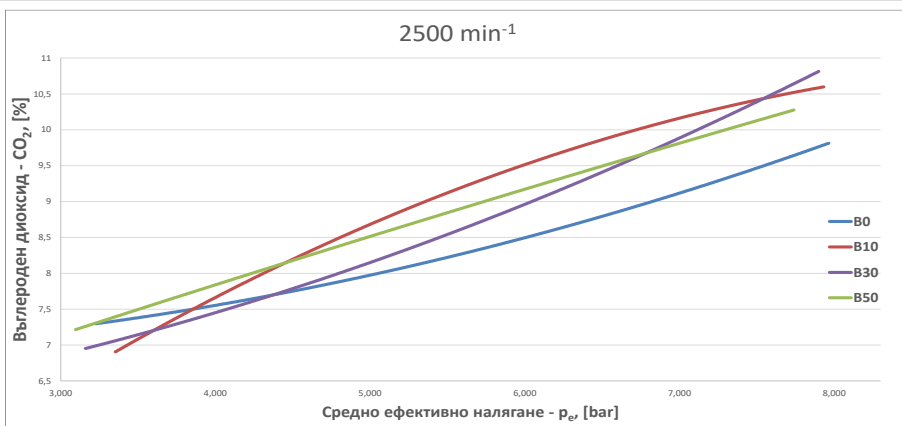
Фиг. . 4.4. Товарни характеристика- изменение на коеф. на въздушното отношение – α при 1500 min⁻¹, 2000 min⁻¹, 2500 min⁻¹, 3000 min⁻¹

ЕКОЛОГИЧНИ ПОКАЗАТЕЛИ НА ДВГ

На фигура 4.5 са показани измененията на емисиите на въглероден диоксид (CO_2) в отработилите газове на дизелови двигатели, използващи различни смеси на дизелово и биодизелово гориво, във функция от средно ефективното налягане (p_e). За всички смеси и натоварвания, с увеличаването на средно ефективното налягане се увеличава и концентрацията на CO_2 в отработилите газове. Това е очаквано, тъй като с увеличаване на налягането се увеличава и масата на горивото, което води до по-голямо изгаряне и следователно до по-голямо отделяне на CO_2 .

При дизеловото гориво най-ниските стойности за емисии на CO_2 са при ниски налягания, но с увеличаване на налягането, нивата на CO_2 се увеличават значително. При измерването при ниски налягания, за смес B10 емисиите на CO_2 са незначително по-големи от тези на дизеловото гориво, но с увеличаването на налягането се наблюдава равномерно нарастване на емисиите. При смеси B30 и B50 се измерват по-високи стойности за CO_2 и се наблюдава по-устойчивото им увеличение с увеличаване на налягането. Това може да бъде свързано с по-ефективното изгаряне на биодизеловите смеси при високи налягания.

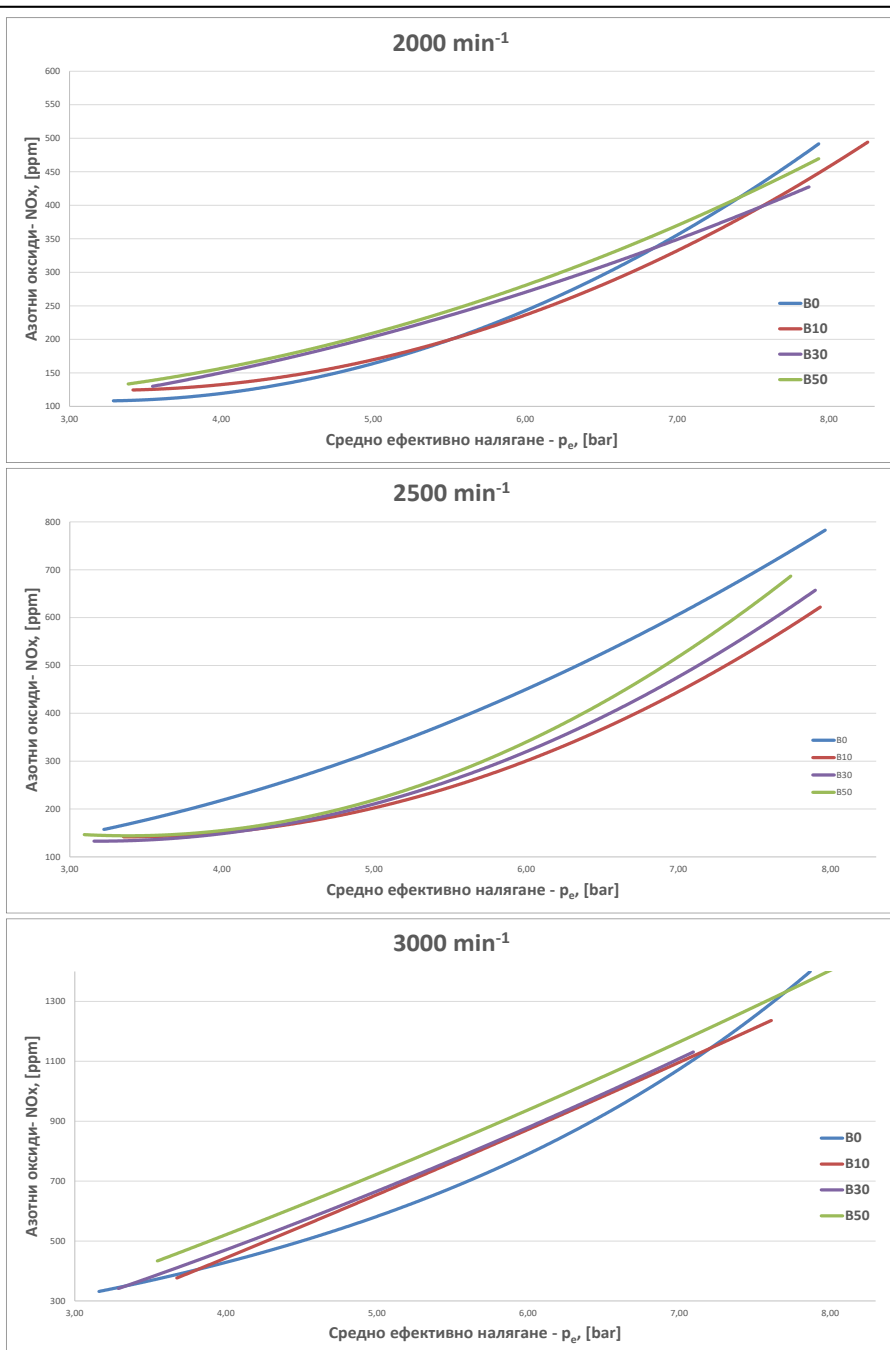




4.5. Товарни характеристики- изменение на въглеродния диоксид - CO₂ при 1500 min⁻¹, 2000 min⁻¹, 2500 min⁻¹, 3000 min⁻¹, [%]

На фигура 4.6 са показани измененията на азотните емисии (NO_x) в отработилите газове на дизелови двигатели, използващи различни смеси на дизелово и биодизелово гориво, във функция от ефективното налягане (p_e). От графиките се вижда, че при увеличаване на натоварването, азотните емисии нарастват при всички изследвани смеси. То е очаквано, защото с увеличаването на натоварването се покачва температурата в горивната камера и съответно образуването на азотните оксиди.

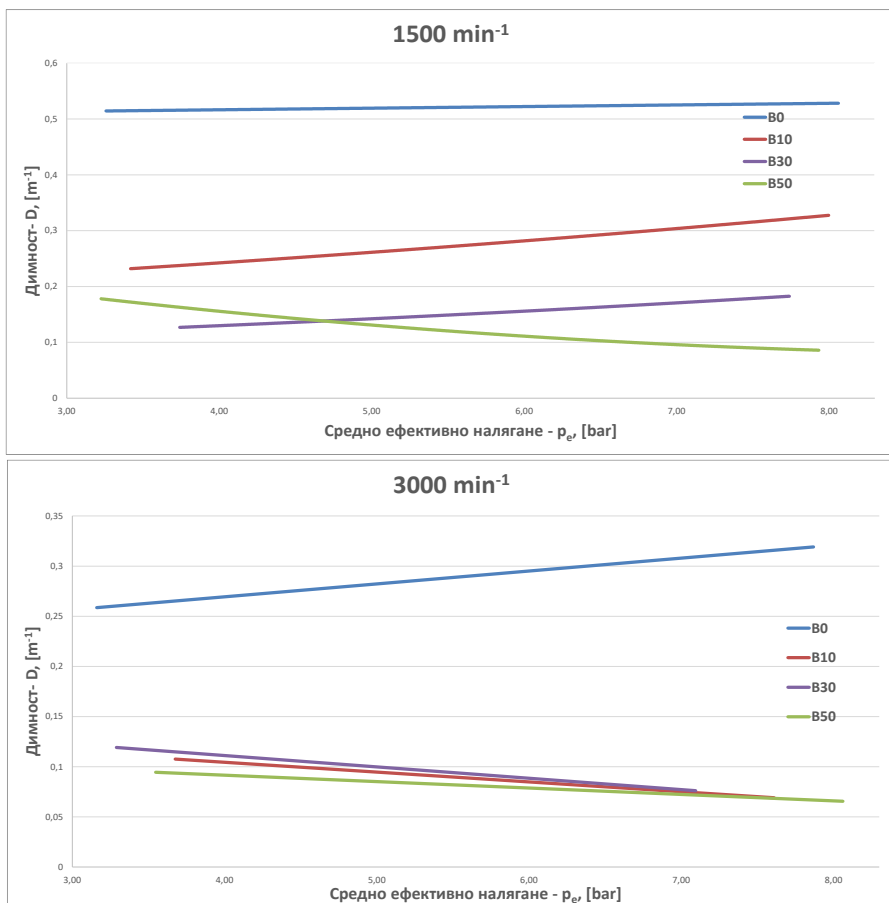
При измерванията със смеси B10 и B30 се наблюдават по-ниски нива на азотни оксиди в сравнение с дизеловото гориво B0. Това се дължи на по-ниската температура на горене на биодизела и наличието на кислород в молекулата му, което подобрява изгарянето. При смеси B30 и B50 се измерват по-високи стойности за CO₂ и се наблюдава по-устойчивото им увеличение с увеличаване на налягането. Това може да бъде свързано с по-ефективното изгаряне на биодизеловите смеси при високи налягания.



Фиг. 4.6. Товарни характеристики- изменение на азотните оксиди- NOx при 1500 min⁻¹, 2500 min⁻¹, 3000 min⁻¹, [ppm]

На фиг. 4.8 са показани измененията на димността в отработилите газове на дизелови двигатели, използващи различни смеси на дизелово и биодизелово гориво, във функция от ефективното налягане (p_e). При дизеловото гориво са измерени най-високи стойности на димност, най-вече при високи натоварвания. Това се дължи на по-бедната на кислород структура на дизела, което води до непълно изгаряне при увеличено количество гориво.

При смеси B30 и B50 се наблюдава осезаемо намаляване на димността, като при смес B50 е измерена най-ниска димност.



4.8. Товарни характеристики- изменение на димността при 1500 min⁻¹ и 3000 min⁻¹, [m⁻¹]

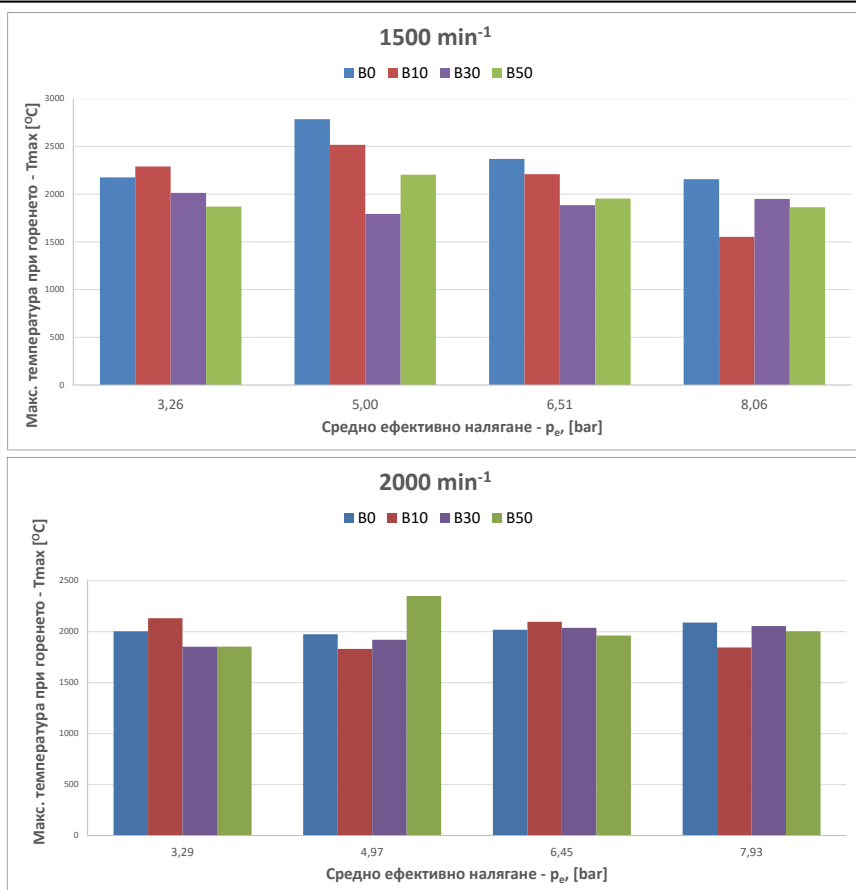
ПОКАЗАТЕЛИ НА РАБОТНИЯ ПРОЦЕС

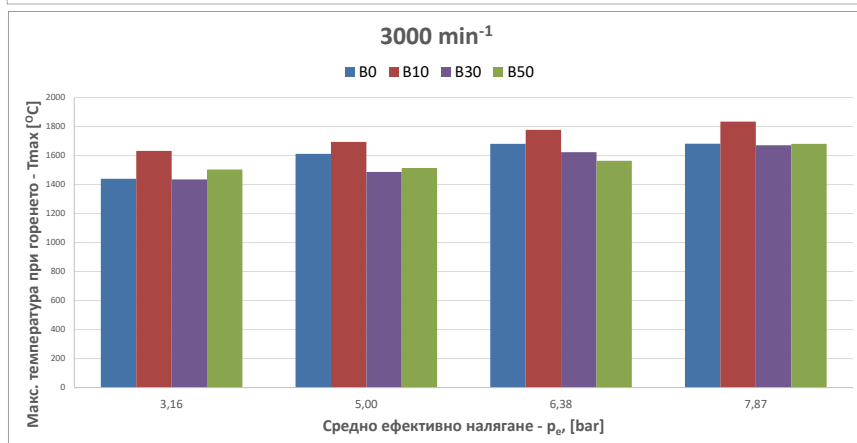
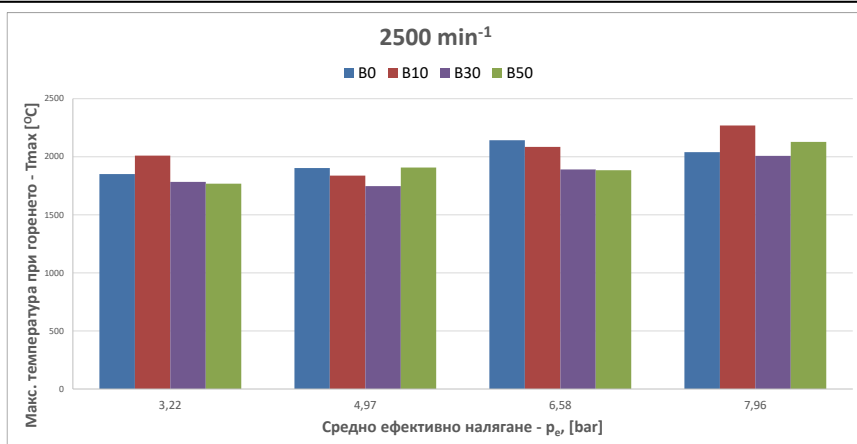
На фиг. 4.14. е показано изменението на максимална температура при горенето на дизелови двигатели, използващи различни горивни смеси. При 1500 min^{-1} и 2000 min^{-1} се наблюдава малка промяна в температурата на горене с промяна на налягането. Това може да означава, че при по-ниски обороти реакцията на горене е по-стабилна и по-малко чувствителна към промени в налягането.

При 2500 min^{-1} и 3000 min^{-1} се наблюдава по-голямо нарастване на температурите с увеличаването на налягането, особено за смесите B30 и B50. По-високите обороти могат да увеличат динамиката на горенето, водейки до по-високи максимални температури.

При дизеловото гориво се наблюдава постепенно увеличение на температурата с увеличаване на налягането и оборотите, но като цяло има по-ниски стойности в сравнение със смесите, съдържащи биодизел.

За биодизеловата смес B10 и по-високите честоти на въртене на к.в. и налягания се наблюдават по-високи максимални температури на горене, което може да се дължи на подобро горене поради наличието на кислород в биодизела.





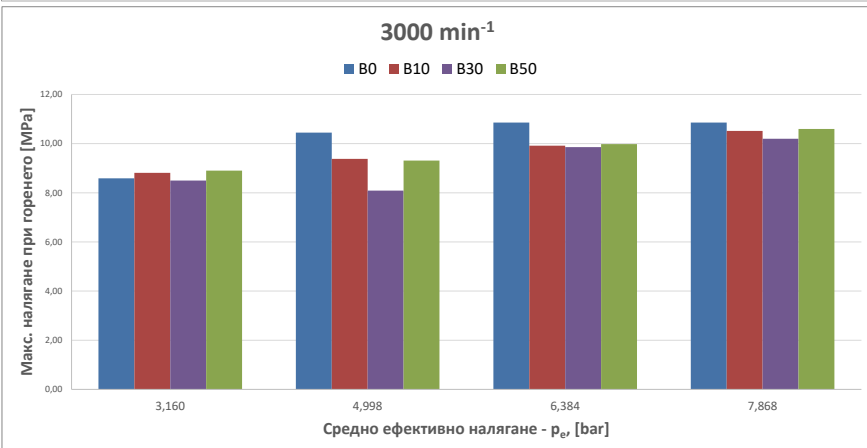
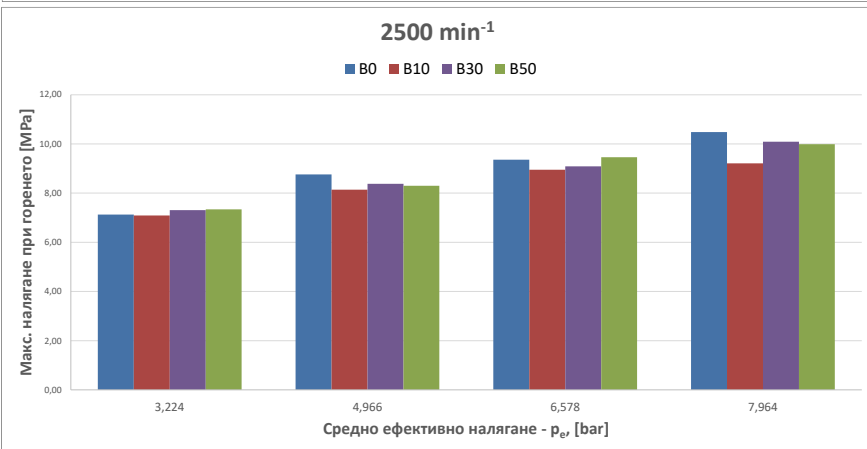
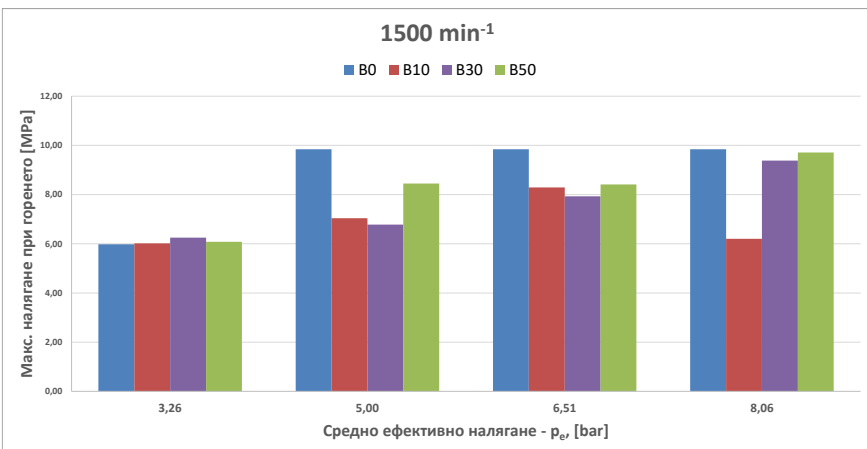
4.14. Изменение на максималната температура на горенето T_{max} при 1500 min⁻¹, 2000 min⁻¹, 2500 min⁻¹, 3000 min⁻¹, [°C]

На фиг. 4.15. е показано изменението на максималното налягане при процеса горене на дизелови двигатели, използващи различни биодизелови смеси. При 1500 min⁻¹ и 2000 min⁻¹ стойностите на максималното налягане са сравнително ниски и нарастват постепенно с увеличаването на средно ефективното налягане.

При 2500 min⁻¹ и 3000 min⁻¹ налягането нараства по-рязко с увеличаване на средно ефективното налягане, като тенденцията е по-забележима при по-високите обороти, което показва, че двигателят работи с по-големи натоварвания

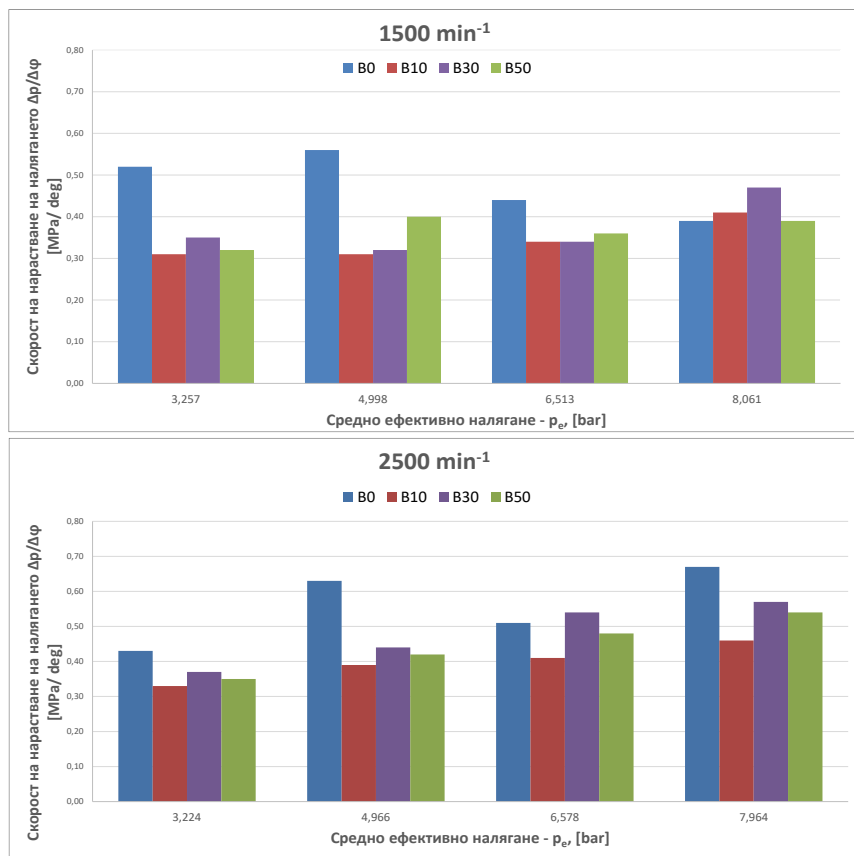
При използването на дизелово гориво се наблюдават най-ниски стойности за налягане спрямо останалите смеси при по-ниско средно ефективно налягане.

При биодизеловите смеси се наблюдават по-високи стойности на максималното налягане на горене, особено при по-високи обороти. Това може да се дължи на по-добрата ефективност на изгарянето на биодизела и по-високата кислородна наличност в горивната смес.



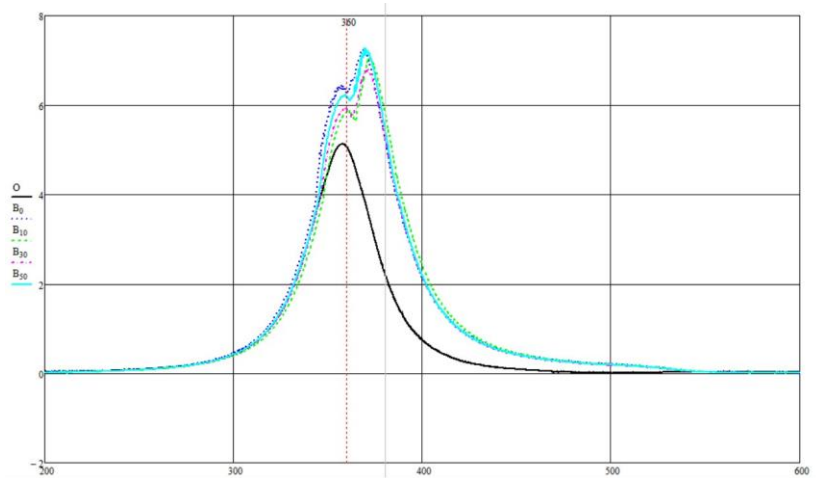
4.15. Изменение на максималното налягане при горенето при 1500 min⁻¹, 2500 min⁻¹, 3000 min⁻¹, [MPa]

На фиг. 4.16. е показано изменението на средната скорост на нарастване на налягането ($\Delta p/\Delta \phi$) за различни смеси на дизел и биодизел (B0, B10, B30, B50) при различни честоти на въртене (1500, 2000, 2500 и 3000 min^{-1}) във функция от средно ефективното налягане. При дизелово гориво се наблюдава по-високи стойности за $\Delta p/\Delta \phi$ в сравнение със смесите с биодизел при повечето измерени точки, което се дължи основно на по-високата долна топлина на изгаряне. Средната стойност на скоростта на нарастване на налягането на изпитвания двигател е от 0,3 до 0,4 MPa/deg .



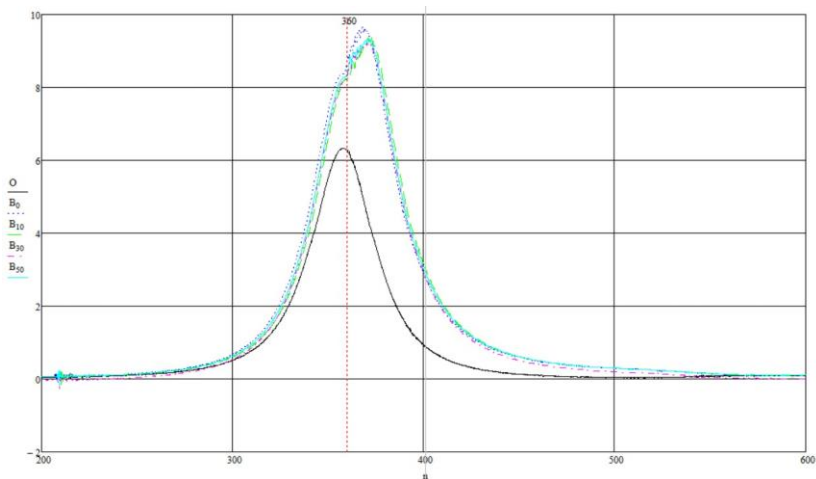
4.16. Изменение на средно нарастване на налягането ($\Delta p/\Delta \phi$) при 1500 min^{-1} и 2500 min^{-1} , [MPa/deg]

На следващите фигури 4.19. и 4.20 са показани графики на избраните представителни индикаторни диаграми, съпоставени за използваните различни горивни смеси при честоти на въртене на колянвия вал съответстващи на максимален въртящ момент (1500 min^{-1}) и максималната изследвана такава (3000 min^{-1}) с товар от 75Nm. Показаните диаграмите са ограничени от 160° преди GMT до 240° след GMT, за по добро визуализиране.



4.19. Индикаторни диаграми при 1500 min^{-1} , 75 Nm , без горене, B0, B10, B30, B50

При честота на въртене на колянвия вал от 1500 min^{-1} и натоварване 75 Nm , където има и предварително впръскване на гориво се установява, че развитието и протичането на работния процес е почти еднакъв при всички смеси. Това се дължи на предварителното впръскване за режима и ранното подготвяне на термодинамичните условия в цилиндъра. При дизеловото гориво има отчетено най-високо максимално налягане в цилиндъра, като разликата с останалите горива е в граници на до 5%. Наблюдава се ясно изразена граница на отделянето на линията на сгъстяване със и без горивен процес.



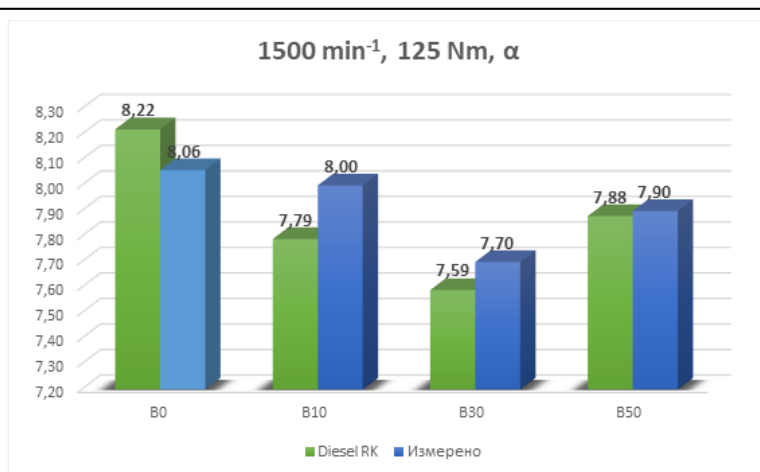
4.20. Индикаторни диаграми при 3000 min^{-1} , 75 Nm , без горене, B0, B10, B30, B50

На фигура 4.20 при честота на въртене на коляновия вал от 3000 min^{-1} предварителното впръскване се прекратява и остава само основното. При този режим се наблюдава отново най-висока стойност на максималното налягане в цилиндъра при дизеловото гориво B0. Разликата с максималното налягане при останалите горива е в граница до 3%. При използване на биодизелова добавка в горивото се наблюдава и изместване на линията на разширение надясно, т.е. след ГМТ. Това показва, че при използването на добавка от биодизелово гориво скоростта на разпространение на пламъка намалява. Разликата е $2,5^\circ$, като началото на впръскване при всички смеси е 10° преди ГМТ.

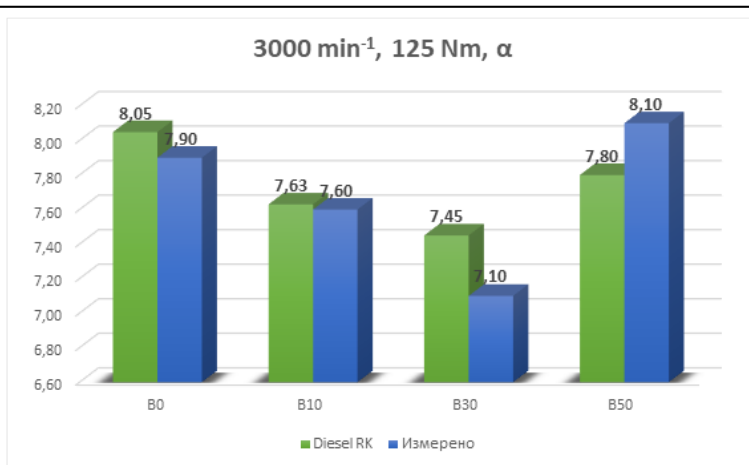
Апробация на изследването

С направените експериментални измервания е определено средно ефективното налягане, като се сравняват с изчисленото с програмния продукт Diesel-RK. За изчисленията в програмния продукт се въвеждат честотата на въртене на коляновия вал n , коефициентът на въздушно отношение α и съпротивителен момент.

Сравняваме измерените и изчислените резултати при честота на въртене 1500 min^{-1} и 3000 min^{-1} и съпротивителен момент 125 N.m . При честота на въртене на коляновия вал 1500 min^{-1} , при смес B0 (100% дизелово гориво), измереното средно ефективното налягане е по-ниско от теоретичното (1,95%), като това може да се дължи на механичните загуби. При смес B10 (10% биодизелово гориво и 90% дизелово гориво) измереното налягане е с 2,63% по-високо от теоретичното, това би могло да се обясни с по-пълно горене при малко добавено количество биогориво. При смес B30 (30% биодизелово гориво и 70% дизелово гориво) измереното налягане е с 1,45% по-високо от теоретичното. При смес B50 (50% биодизелово гориво и 50% дизелово гориво) измереното налягане е по-голямо с 0,25% по-голямо от теоретичното.



Фиг. 4.21. Сравнение на теоретичното с експериментално измереното средно ефективно налягане при честота на въртене на коляновия вал 1500 min^{-1}



Фиг. 4.22. Сравнение на теоретичното с експериментално измереното средно ефективно налягане при честота на въртене на колянвия вал 3000 min^{-1}

При честота на въртене на колянвия вал 3000 min^{-1} , при смес B0, измереното средно ефективно налягане е по-ниско от теоретичното (1,85%), като това може да се дължи на механичните загуби. При смес B10 измереното налягане е с 0,39% по-ниско от теоретичното. При смес B30 теоретичното налягане е с 4,70% по-високо от измереното. При смес B50 измереното налягане е по-голямо с 3,70% по-голямо от теоретичното.

Пресметнатите стойности в глава III за средно ефективното налягане на двигателя се различават максимум с до 4,70%. получените стойности на средно ефективното налягане при пресметнатите данни от експерименталните изследвания. **С това се потвърждава достоверността на избрания програмен продукт.**

Основни изводи и заключение

На база анализа на получените експериментални данни от изследванията по товарни характеристики и пресмятанятия на параметрите на работния процес - максималната температура на горене, максималното налягане в цилиндъра, максималната скорост на нарастване на налягането и др. при използване на различни смеси дизелово и биодизелово горива (B0, B10, B30, B50), могат да се обособят следните изводи:

1. Смесите с биодизелово гориво (B10, B30, B50) показват по-високи стойности при ефективността на двигателя, определена чрез индикаторния коефициент на полезно действие (КПД), особено при по-високи честоти на въртене на колянвия вал. Това се дължи на подобрен работен процес, поради по-високото съдържание на кислород в биодизелово гориво.

2. Биодизеловите смеси достигат по-високи максимални температури през време на работния процес, което показва по-интензивно горене. Това води до по-висока обща ефективност, но също така увеличава концентрациите в емисии на NOx.

3. С увеличаване на добавеното количество биодизелово гориво се наблюдава незначително увеличаване на мощността на двигателя, като по-големи разлики се получават при ниски натоварвания.

4. С увеличаване на концентрацията на биодизелово гориво се наблюдава намаляване на димността с до 70% в при високи натоварвания.

5. При смесите с биодизелово гориво (B10, B30, B50) е отчетено значително намаляване на скоростта на нарастване на налягането в сравнение с работата на двигателя с дизелово гориво B0.

6. При смеси B10 е отчетено най-голямо количество на отделеното количество топлина през време на работния процес, поради което при тази концентрация на горивото се получават и най-големите мощностни показатели на двигателя.

7. Най-голяма интензивност на топлоотделянето се получава отново при смес B10, като през периода на активно (бързо) горене при всички изследвани режими на работа на двигателя се отделят между 40 до 60% от общото количество топлина, внесена с горивото в двигателя.

Използването на биодизелово гориво подобрява мощностно-икономическите показатели на двигателя, влияе положително върху работния процес, като при концентрации B10 (90% дизелово гориво и 10% биодизелово гориво) се получават най-добри показатели. От друга страна използването на биодизелови добавки в горивото поставя нови предизвикателства, свързани с контрола на емисиите и горивната апаратура. Добавянето на биодизеловата добавка към дизеловото гориво и оптимизирането на параметри на работния процес на двигателя е необходимо да бъде извършена внимателно, за да е възможно да се балансират предимствата и недостатъците на двете горива и да се постигне подобряване на мощностно-икономическите показатели на двигателя, по-висока ефективност на работния процес и намаляване на излъчваните вредни емисии и твърди частици от дизеловите двигатели.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

А: НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Усъвършенстван и подобрен е математичен модел за пресмятане параметрите на работния процес от записани индикаторни диаграми. Моделът отчита изменението на налягането в цилиндъра на двигателя през 0,1 градуса от завъртане на колянния вал и отчита множество параметри от работния процес на изследвания двигател.

2. Направен е подробен анализ на възможностите за смесване на биодизелово гориво към дизелово гориво. Определени са допустимите концентрации на биодизеловото гориво към дизелово гориво и е определено влиянието им върху мощностно-икономически и екологичните показатели на двигателя.

3. Разработен е модел за пресмятане параметрите на работния процес на дизелов двигател с висока степен на достоверност.

4. Установено е влиянието и са определени мощностно-икономическите, екологичните, индикаторните, ефективните показатели и параметрите на работния процес при работа на дизелов двигател с електронна система за впръскване на гориво при различни смеси на дизелово и биодизелово гориво.

5. Създадена е база данни с показателите и параметрите на работния процес при различни режими на работа на дизелов двигател с електронна система за впръскване на гориво при различни смеси на дизелово и биодизелово гориво. Данните са приложими за сравнителен анализ, моделиране и валидиране на симулационни изчисления.

В: ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Направен е сравнителен анализ на влиянието на различните концентрации на биодизелово горивото към мощностно-икономическите, екологичните, индикаторните и ефективните показатели, както и е изследвана и определена промяната в параметрите на работния процес на дизелов двигател с електронна система за впръскване на гориво при различни смеси на дизелово и биодизелови горива.

2. Усъвършенствана и оптимизирана е опитна уредба за индициране на дизелов двигател със съвременна система за впръскване на гориво, която дава възможност за записване на бързопроменящи се величини при работа на двигателя в установени и преходни режими.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Георгиева В., Богданов Кр.–, **„Видове биогорива и добавки към стандартно дизелово гориво – предимства и проблеми“**, Научни трудове на Русенски университет – 2016, том 55, серия 4, стр: 102 – 105.

2. Георгиева В., Костадинов Д. Богданов Кр. **„Изследване показателите при работа на дизелов двигател с устройство Supertech“**, Научни трудове на Русенски университет – 2017, том 56, серия 4, стр: 31- 33.

3. Богданов Кр., Георгиева В. „Изследване влиянието на вида на горивото върху работните показатели на високочестотен дизелов двигател“, Международна конференция „ЕКО Варна“, 2018 г., стр: 191-194.

4. Georgieva V., Bogdanov Kr., “Modelling of working process of diesel engine when working with addition of biodiesel fuel”, Научни трудове на Русенски университет 2019, volume 58, book 4, p. 39-43

5. Георгиева В., „Изследване на ефективните показатели на дизелов двигател при работа със смеси на биодизелово гориво“, Международна конференция „ЕКО Варна“, 2024, стр: 90- 94.

Специални благодарности на:

Авторът благодаря на доц. д-р инж. Красимир Богданов, доц. д-р инж. Радостин Димитров, както и на всички колеги, които ме подкрепиха и ми помогнаха със своя опит и съвети да реализирам този дисертационен труд.

Благодаря на семейството ми, най-специално на баща ми, който неизменно бяха до мен през тези години и вярвах, че ще постигна успех.

Извършена е проверка за плагиатство в AI Plagiarism Checker, като не е открито плагиатство и в приложение към дисертацията са приложени докладите от проверката.

Резюме:

Дизеловите двигатели играят ключова роля в транспорта, индустрията и селското стопанство, поради своята висока ефективност и издръжливост. Въпреки това, традиционните дизелови горива допринасят за значителни емисии на азотни оксиди (NO_x), въглеродни оксиди (CO) и фини прахови частици (PM), което налага търсенето на екологично по-чисти алтернативи. Биодизелът и биогоривата от различни източници (растителни масла, животински мазнини, микроводорасли и др.) имат потенциала да променят работния процес на дизеловия двигател, като повлияят върху работния процес, ефективността, емисиите и експлоатационните характеристики.

Настоящата дисертация изследва влиянието на вида на горивото върху работния процес на дизеловия двигател. За изследването се използват смеси с добвяването на различни количества биодизелово гориво към дизелово гориво, съответно B0 (100% дизелово гориво), B10 (10% биодизелово гориво и 90% дизелово гориво), B30 (30% биодизелово гориво и 70% дизелово гориво) и B50 (50% биодизелово гориво и 50% дизелово гориво) и техният ефект върху работния процес, мощностните характеристики и екологичните показатели. Чрез експериментални и аналитични методи се оценява как различните горивни смеси влияят на процеса на горене и емисиите на отработени газове при честоти на въртене 1500 min^{-1} , 2000 min^{-1} , 2500 min^{-1} и 3000 min^{-1} .

Summary:

Diesel engines play a key role in transportation, industry, and agriculture due to their high efficiency and durability. However, traditional diesel fuels contribute significantly to emissions of nitrogen oxides (NO_x), carbon oxides (CO), and fine particulate matter (PM), which necessitates the search for more environmentally friendly alternatives. Biodiesel and biofuels from various sources (vegetable oils, animal fats, microalgae, etc.) have the potential to transform the operation of diesel engines by affecting the working process, efficiency, emissions, and operational characteristics.

This dissertation examines the impact of fuel type on the operating process of a diesel engine. The study utilizes mixtures created by adding varying amounts of biodiesel to diesel fuel: B0 (100% diesel fuel), B10 (10% biodiesel and 90% diesel fuel), B30 (30% biodiesel and 70% diesel fuel), and B50 (50% biodiesel and 50% diesel fuel), and investigates their effects on the operating process, power characteristics, and environmental indicators. Through experimental and analytical methods, this dissertation evaluates how the different fuel mixtures affect the combustion process and exhaust gas emissions at rotational speeds of 1500 min^{-1} , 2000 min^{-1} , 2500 min^{-1} , and 3000 min^{-1} .