

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

Катедра Транспортна техника и технологии

инж. Борислав Пламенов Пенчев

Заглавие:

ВЛИЯНИЕ НА ДИРЕКТНОТО ВПРЪСКВАНЕ ВЪРХУ
ШУМОИЗЛЪЧВАНЕТО НА
ДВИГАТЕЛИ С ВЪТРЕШНО ГОРЕНЕ

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: проф.д-р инж.Здравко Динчев Иванов

Рецензенти:

1. доц. д-р инж. Радостин Димитров
2. доц. д-р инж. Пламен Пунов

Варна, 2024 г.

Дисертационният труд е обсъден на 23.10.2024 г. в катедра “Транспортна Техника и Технологии” и насочен за защита.

Автор: инж. Борислав Пламенов Пенчев

Заглавие: „ВЛИЯНИЕ НА ДИРЕКТНОТО ВПРЪСКВАНЕ ВЪРХУ ШУМОИЗЛЪЧВАНЕТО НА ДВИГАТЕЛИ С ВЪТРЕШНО ГОРЕНЕ“

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

инж. Борислав Пламенов Пенчев

Заглавие:

„ВЛИЯНИЕ НА ДИРЕКТНОТО ВПРЪСКВАНЕ ВЪРХУ
ШУМОИЗЛЪЧВАНЕТО НА ДВИГАТЕЛИ С ВЪТРЕШНО ГОРЕНЕ“

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

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

Варна, 2024 г.

Дисертационният труд съдържа 166 страници, включително 80 фигури, 9 таблици, и 32 математически зависимости, оформени в 5 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 79 заглавия, от които 28 на кирилица и 46 на латиница и 5 интернет източника.

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 интересувашите се в
Докторантския център, стая 318 НУК.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Предизвикателство през последните десетилетия пред всички екологични и правителствени организации е минимизиране на въглеродният отпечатък във всички отрасли, известно още като тенденция на декарбонизация. Редица от мерки подчертават глобалните усилия за намаляване на въглеродните емисии в прехода към по-устойчиви и екологично чисти енергийни системи, като: възобновяеми източници на енергия, ниско въглеродни енергийни източници, улавяне на въглерод, електрификация в транспорта и различни технологии за енергийна ефективност. При транспорта и главно при двигателите с вътрешно горене преходът към декарбонизацията се налага да бъде плавен поради масовото им разпространение. Този процес вече е в ход и това става чрез интегриране на нови технологии и използване на алтернативни горива при масовите автомобили. Комбинирането на хибридни системи и използването на алтернативни горива ще позволи реализирането на плавният преход и постепенното намаляване на въглеродният отпечатък, като същевременно ще се запазят предимствата на ДВГ. Съществува и непрекъснат стремеж за увеличаване на мощностните показатели и подобряване на горивната икономичност и емисии на вредни компоненти в отработилите газове при все по-малък литров обем и брой цилиндри. Това води до неминуемо повишаване нивата на вибрациите и шума на транспортните машини. Този факт налага задълбочено изследване на източниците и причините за високите нива на шумоизлъчване, както и подобряване на методиките за изследване и управление на вибрационните и шумови процеси.

В днешно време са се наложили високооборотните четиритактови двигатели с директно впръскване на бензин, основно поради високата си икономичност.

По отношение на екологичните характеристики използването на синтетични горива и добавки на алкохоли към състава на бензина се превърнаха в стандарт през последните години. Според разпоредбите на Европейския съюз, след 2013 година към бензинът е въведено изискването да се продава като Е5 с 5% био рафиниран етанол, а след 2022 година вече е със съдържание минимум 10% от общия обем на използваното гориво. На практика добавянето на биоетанол и други алкохоли понижава съществено парниковите емисии според различни изследвания, проведени в рамките на Европейския съюз[36].

Всяка стъпка към промяната в състава на горивото има съществено влияние на процесите, които протичат при възпламеняването на горивото. Важно е да познаваме, как и до каква степен в състава на горивото е допустимо влагането на добавки алкохол и как това се отразява на екологичните характеристики на двигателите с вътрешно горене.

Голямата част от литературният обзор[65],[69],[75] показва липсата на достатъчно изследвания точно с изопропанол бензинови смеси върху бензинови двигатели и техния ефект върху работата на двигателя и емисиите. Повечето проучвания на практика са проведени с предимно малки концентрации на изопропанол от 5%, 10%, 15% и максимум 20%. Сравняването на процентни смеси горива в стандартния бензин в двигатели с принудително запалване е от решаващо значение, за да се определи коя пропорция изопропанол разтворен в стандартното гориво е по-добра за намаляване на емисиите на отработени газове в такива двигатели. Освен това е много важно да се оцени и тяхното влияние върху въртящия момент, мощността и разхода на гориво. Като актуално отчитам, че изследванията са проведени с бензинов двигател с директно впръскване при

концентрации с до 50% в сравнение със стандартен бензин без допълнителни доработки на двигателя.

Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на дисертацията е да се проведе изследване излъчването на шум от автомобилни двигатели с директно впръскване на бензин, при работа със смеси от бензин и изопропанол в съотношение до 50%.

За постигането на тази цел могат да се формулират следните четири основни принципа:

1. Да се изработи експериментална инсталация, която да дава възможност за изследване работата на двигател с директно впръскване и принудително възпламеняване в лабораторни условия за определяне на експлоатационни, екологични и шумови характеристики
2. Да се създаде съответната методика и програми за обработка и изследване на шумовото състояние на автомобилен двигател с директно впръскване и принудително възпламеняване при работа му с различна концентрация на изопропанол, тази методика да бъде пригодна и подходяща за систематизирането и представянето на измерените резултати;
3. Да се изследва шумовото състояние на двигател работещ с изгаряне на хомогенни смеси и горивоподаване, осъществено чрез директно впръскване в цилиндъра на двигателя
4. Да се направи оценка на работата на двигател със смеси на изопропанол и да се изследва влиянието на работния процес върху шумовите характеристики.

Задачите на изследването

Задачите могат да бъдат формулирани като:

1. Да се разкрият основните закономерности на шума от работния процес.
2. Да се установят факторите, които влияят върху него и възможностите за управление на работния процес, с цел

подобряване на шумовите характеристики на двигателя.

3. Да се предложат аналитични зависимости за прогнозиране нивото на шума от работния процес при съвременни бензинови двигатели с директно впръскване.

4. Да се разработи методика за прогнозиране нивото на шума от работния процес в етапа на проектирането на бензинови двигатели с директно впръскване.

5. Да се определи как влияе на шумоизлъчването от работният процес, процентно влагане на добавки в състава на горивото.

Обектът, предметът и мястото на изследване

Задачите, които се решават в дисертационната работа се извършват, чрез експериментално изследване върху изпитваният автомобилен агрегат: бензинов четиритактов двигател с директно впръскване на гориво - тип: TOYOTA 1AZ-FSE на фирмата Toyota Motor Corporation-Япония, използван при производството на модели Toyota RAV-4, Camry, Avensis и др. между 2000-2018г. , с номинална честота на въртене $n=5500$ 1/min; и с променливи фази на газоразпределението.

Място на изследване

За решение на основната задача в лаборатория 712Б при катедра ТТТ на ТУ-Варна е съставена и изпълнена методика за стендови моторни изпитания на двигател.



Фиг.1 :Обект на изследване-Опитна установка

Методи на изследване

За постигане на заложените цели е необходимо снемане на товарни характеристики при 3000мин-1 и честотна характеристика при работа с чисто гориво бензин А95, както и смеси на бензин и изопропанол с различни процентни съотношения.

Научна новост и практическа ценност на изследването

Голямата част от проведенният литературен обзор показва, че бензиновите двигатели с многоточково впръскване извън цилиндъра могат да работят с алкохолни добавки без допълнителни преработки, но до определен лимит. Повечето проучвания на практика са проведени с предимно малки концентрации на изопропанол от 5%, 10%, 15% и максимум 20%. Като актуално отчитаме, че изследванията са проведени с бензинов двигател с директно впръскване при концентрации с до 50% в сравнение със стандартен бензин, без допълнителни доработки на двигателя.

Апробация на изследването

LIV Научна конференция на Русенски университет „Ангел Кънчев“ и Съюз на учените – 2015.

LV Научна конференция на Русенски университет „Ангел Кънчев“ и Съюз на учените – 2016.

XXX Научно-техническа конференция с международно участие „Транспорт, екология -устойчиво развитие“ ЕКО Варна 2024

Глава I

1.1. Състояние на въпроса за екологията и излъчването на шум от двигатели с принудително запалване. Двигателите с вътрешно горене (ДВГ) са основният метод за задвижване на транспортни средства повече от 140 години. Конкуренцията в автомобилното производство и строгите международни екологични норми поставят редица предизвикателства пред развитието на тези двигатели. Основните причини за доминацията на тези двигатели включват тяхната ефективност, мощност, достъпността на горивата, надеждни и технологично развити са, както и добре е развитата инфраструктура за производство, доставка, зареждане и ремонт на тези транспортни средства.

Сухопътният транспорт, е зависим от двигателите с вътрешно горене, но той е значителен източник на замърсяване и отговаря за около една пета от емисиите на парникови газове в световен мащаб. Тези емисии водят до глобално затопляне, замърсяване и повишаване на шумовото замърсяване, особено в големите градове, което пряко засяга здравето на хората. За да се справят с тези проблеми, специалистите се стремят да използват горива от възобновяеми източници и такива, които причиняват по-малко парникови газове. Алтернативните енергийни източници се разглеждат, като необходима стъпка за намаляване на зависимостта от петролни продукти.

Градските режими на работа на автомобилите, които включват празен ход и частични натоварвания, представляват около 70-90% от експлоатационното време на ДВГ. Оптимизирането на тези режими може значително да намали вредното въздействие в градските зони. Това включва внедряване на старт-стоп системи, хибридни автомобили, алтернативни горива и оптимизация на горивния процес. Тенденцията за намаляване на литровия обем на двигателите и повишаване на мощността им, известна като даунсайзинг, води до увеличаване на нивата на вибрации и шум, което налага задълбочено изследване на тези процеси и разработване на методики за тяхното управление.

1.2. Организация на горивния процес в съвременен двигател с принудително запалване

Бензиновите двигатели са претърпели множество иновации, насочени към повишаване на ефективността и намаляване на емисиите. Те са предпочитани за съвместна работа с хибридни технологии и непрекъснато се усъвършенстват. С течение на времето, системите за смесообразуване са преминали от карбуратор към моно-впръскване, многоточково впръскване и директно впръскване на гориво в цилиндъра, което е стандарт в наши дни.

Горивната камера на ДВГ представлява малък химически реактор, в който протичат сложни процеси, влияещи се от малки промени в условията. При системите с директно впръскване на бензин смесообразуването става бързо, вътре в горивното пространство, подобно на дизелов двигател. Това позволява регулиране на натоварването чрез качествено смесообразуване и разслояване на горивния заряд с локално обогатяване в зоната на запалителната свещ.

Бензиновите двигатели с директно впръскване могат да работят с обеднени смеси, което повишава тяхната ефективност и намалява емисиите на вредни компоненти. Съществуват три начина за смесообразуване, които влияят на екологичните параметри на двигателя. Директното впръскване на гориво позволява разслояване на горивния заряд, което води до по-добра икономичност и мощност.

Системите за директно впръскване предлагат значителни предимства, включително по-добра горивна икономичност, по-малки помпени загуби и по-висока степен на сгъстяване. Въпреки това, те също така имат недостатъци, като по-високи емисии на въглеродороди и азотни окиси при различни натоварвания, образуване на твърди частици, повишени нива на шум и вибрации, както и по-високи изисквания към качеството на горивото.

За да се намалят емисиите от двигатели с директно впръскване, са необходими специални системи за неутрализация на отработилите газове, включително трипътни каталитични катализатори и NOx-акумулиращи неутрализатори.

1.3. Използване на алтернативни горива и приложението им при бензинови двигатели

Декарбонизацията е глобална тенденция, която насърчава използването на алтернативни горива като етанол, метанол, изопропанол, биодизел, природен газ, водород и синтетични горива. Тези горива осигуряват плавен преход към по-чиста енергия и помагат за намаляване на емисиите в транспортния сектор. Алтернативните горива трябва да бъдат евтини, произведени от местни източници и да не изискват значителни промени в съществуващите горивни системи. Те също така не трябва да увеличават вредните емисии и шума при работа на двигателя.

Изопропанолът, както и други алкохоли, има потенциал като алтернативно гориво. Въпреки това, неговото приложение е ограничено поради производствените разходи и химическата му агресивност. Изопропанолът притежава високо октаново число и добра енергийна плътност, което го прави подходящ за масово приложение в бензинови двигатели.

1.4. Използване на изопропанол с цел намаляване на емисиите и шума при работа на двигателите с вътрешно горене

Изопропанолът има редица предимства като гориво, включително висока топлина на изгаряне, добра енергийна плътност и високо октаново число, не се разслюява при участие в смеси. Той също така има по-нисък вискозитет и по-високо съдържание на кислород в сравнение с други алкохоли. Това го прави подходящ за намаляване на емисиите при работа на двигателите с вътрешно горене.

1.5. Шумът от работата на двигателите с вътрешно горене: Същност и влияние върху човека

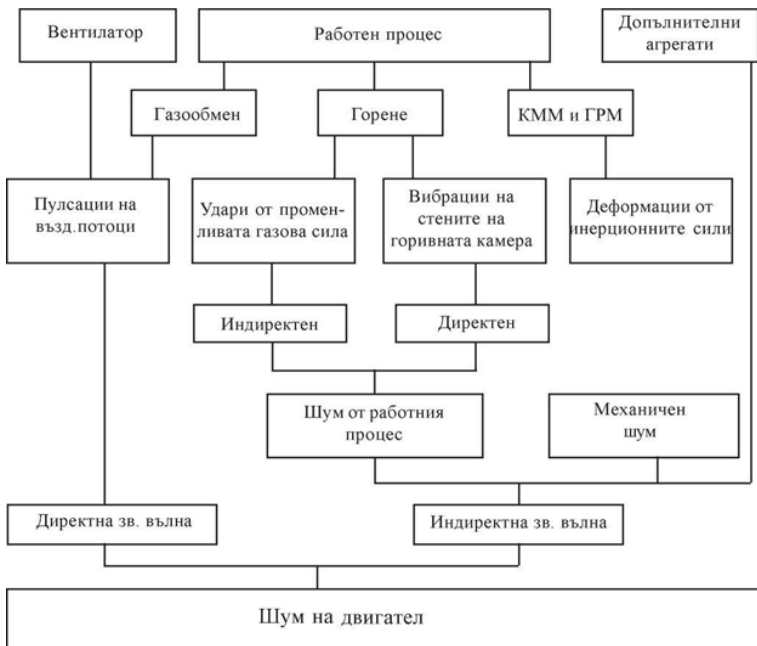
Шумът от двигателите се излъчва основно от вибрационното движение на техните компоненти. Тези вибрации създават разпространяващи се вълни, които могат да предизвикат бърза умора и понижаване на работоспособността. Шумът и вибрациите могат да причинят временна или постоянна загуба на слух и различни здравословни проблеми.

1.6. Класификация на шума от ДВГ

Шумът от двигателите с вътрешно горене се класифицира като аеродинамичен, механичен и шум от работният процес фиг. 1.2. Директният шум се излъчва от отворите на смукателната и

изпускателната системи, докато индиректният шум се образува от вибрациите на различни компоненти.

Механичният шум, шумът от допълнителните агрегати и шумът от работния процес са основните компоненти на индиректния шум.

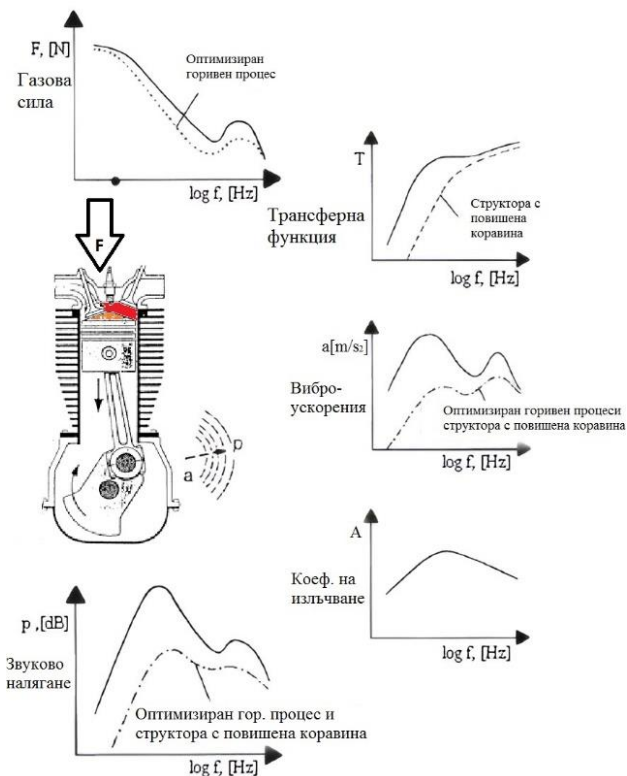


фиг.1.2 Шум на двигател с вътрешно горене

1.7. Шум от работния процес

Шумът от работния процес се дели на директен и индиректен. Директният шум зависи от кривата на нарастване на налягането в

цилиндъра, докато индиректният шум е резултат от ударите на буталото и други компоненти.



фиг.1.3

1.8. Механичен шум

Механичният шум възниква от удари и трептения на различни компоненти като буталата, клапаните, маслената и водната помпа.

Основните мерки за намаляване на този шум включват оптимизация на конструкцията и използване на демпфиращи материали.

1.9. Обобщение на литературния обзор

Въпреки неотложната необходимост от постигане на въглеродна неутралност глобално и днес бензиновите двигатели с директно впръскване са основен и предпочитан метод за задвижване при транспортните средства поради ненадминатите си предимства. Повишените съвременни изисквания за намаляване на литровия обем, при запазване или увеличаване на мощността, и намаляване на масата на силовия агрегат поставят актуалност върху въпроса за подобряване на шумоизлъчването от двигателите с вътрешно горене. Очертава се тази тема да продължи да бъде актуална, защото преходът на транспортния сектор към декарбонизация плавно ще продължи. Този процес вече е в ход и това става чрез интегриране на нови технологии и използване на алтернативни горива при масовите автомобили. Комбинирането на хибридни системи и използването на алтернативни горива ще позволи реализирането на плавния преход и постепенното намаляване на въглеродният отпечатък, като същевременно ще се запазят предимствата на двигателите с вътрешно горене за транспортните машини.

Алтернативните горива определено ще са основен енергоизточник в транспорта, въпреки че всяко от тези горива има свои предимства и недостатъци. Те ще са поредна стъпка за намаляване на емисиите в сектора на транспорта. Съвременните стандарти отдавна се прилагат по отношение на състава на горивата. Био добавките (биодизел, биоетанол) са неизменна част от масовите горива бензин и дизел. Процентното им съдържание постепенно нараства през годините, като взаимно секторите на доставка и експлоатация се приспособяват към тази промяна.

Всяка стъпка към промяната в състава на горивото има

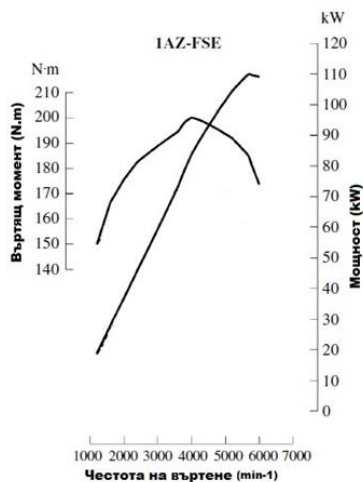
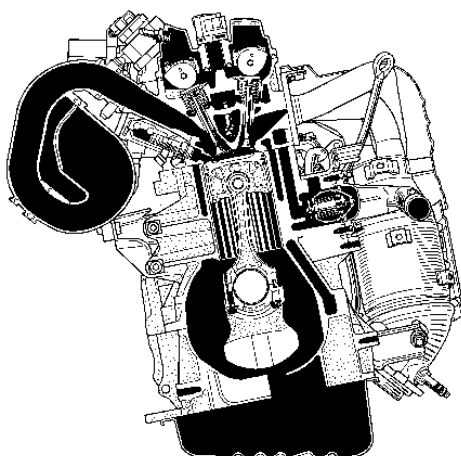
съществено влияние върху процесите, които протичат при възпламеняването на горивото. Важно е да познаваме, как и до каква степен в състава на горивото е допустимо влагането на добавки алкохол и как това се отразява на екологичните характеристики на двигателите с вътрешно горене.

Глава II

Основните задачи на настоящата работа се фокусират върху експерименталното установяване на шума и вибрациите при различни режими на работа на съвременен четиритактов двигател с директно впръскване на бензин. Изследват се параметри като налягането в цилиндъра, аванса на запалването, разхода на гориво и ефективните показатели на двигателя. Екологичните параметри и намаляването на вредните емисии също са ключови аспекти на изследването.

2.1.Обект на изследване

За обект на изследването е избран съвременен двигател с директно впръскване на бензин и принудително възпламеняване. Методиката за стендови моторни изпитания е разработена за двигател 1AZ-FSE на Toyota, параметри на който са дадени във таблица-1 и фигура-1.4 , използван в модели като Toyota RAV-4, Camry и Avensis. Изпитванията включват анализ на честотна и товарни характеристики при работа с бензин А95 и смеси с изопропанол. Смесите които ще бъдат анализирани достигат състав до 50% съдържание на изопропанол в смес с чист бензин без добавка на етанол.



фиг.1.4

Таблица 1, .Технически характеристики на обекта на изследване
Бензинов четиритактов двигател Toyota 1AZ-FSE

двигател Toyota 1AZ-FSE		
№	Параметър	Стойност
1.	Ходов обем	$V_h=1998 \text{ cm}^3$
2.	Мощност	$N_e=110 \text{ kW}$ при 5700 min^{-1}
3.	Въртящ момент	$M=196 \text{ Nm}$ при 4000 min^{-1}
4.	Брой цилиндри,	4, редови, DOHC, VVT-i
5.	Диаметър на цилиндъра	$D=86 \text{ mm}$
6.	Ход на буталото	$S=86 \text{ mm}$
7.	Степен на сгъстяване	$\varepsilon =11,0:1$
8.	Тип на охлаждане	водно
9.	Пълнене	атмосферно
10.	Горивна система,	D-4 direct injection 12Bar

2.3. Лабораторна инсталация и измервателна апаратура

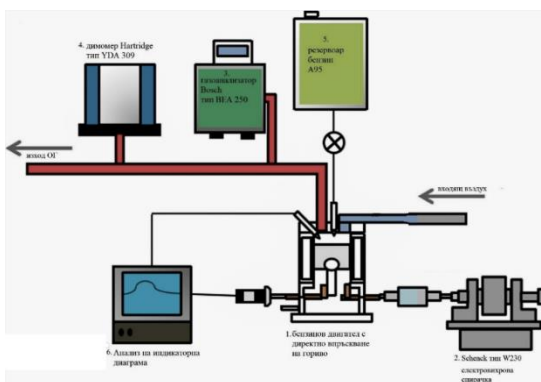
Табл.2

динамометър Schenck тип W230		
№	Параметър	Стойност
1.	Въртящ момент	750 Nm
2.	Макс. честота на въртене	7500 min ⁻¹
3.	Мощност	230 kW
4.	Инерционен момент	0,53 kg*m ²



Двигателят е монтиран на тестова инсталация с електровихров стенд SCHENCK W230, способен да изпитва двигатели с мощност до 230 kW: фиг.1.5 и таблица 2.

Инсталацията включва измервателна апаратура за динамично налягане, вибрации, шум и параметри на впръскване, като данните се обработват от аналого-цифрови преобразуватели и персонален компютър.



фиг.1.5

2.4.Методики на експерименталното изследване

Измерване на основните параметри е следното: товар чрез електровихров стенд за спирачно усилие , честота на въртене с два независими сензора формиращи прецизно положението на колянвият вал във всяка точка от експеримента, разход на гориво се определя чрез масов метод, звуково налягане се измерва чрез капсула микрофон на 1м над геометричния център на двигателя, вибрации с два независими сензора във взаимно перпендикулярни равнини в областта на първи цилиндър, температури чрез термодвойки и др.

Изчисляване на ефективната мощност, средно ефективно налягане, специфичен разход на гориво и други показатели се формират с последваща обработка на получените резултати.

Използва се още газоанализатор Bosch BEA 250 за определяне на концентрациите на CO, CO₂, NO_x, O₂ и HC в работните газове.

2.5.Погрешности при измерванията

Разглеждат се грешките при измерванията, включително грешките от възприемателите за налягане, регистрирането на горната мъртва позиция (ГМП) и обработката на индикаторните диаграми. Анализирани са методите за намаляване на тези грешки и осигуряване на точност в резултатите.

Във втора глава в обобщение се предоставя подробен преглед на обекта на изследване и тестовата инсталация, използвана за измерване и анализ на шума и вибрациите при различни режими на работа на двигателя. Представените методики и оборудване са съобразени с изискванията за точност и надеждност в експерименталните изследвания на двигателите с вътрешно горене.

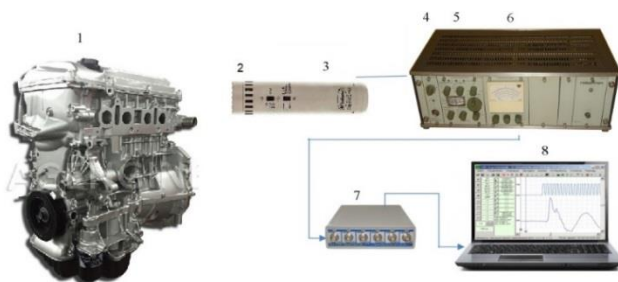
Глава III

В трета глава се разглеждат методиките за анализ на получените данни за шум и вибрации от двигатели с вътрешно горене. Основният акцент е върху определянето на звуково налягане, както и върху методите за регистриране и анализ на шума.

3.1. Определяне на звуково налягане и звукова мощност

Определянето на звуковото налягане и мощност се извършва чрез измерване на нивата в честотни ленти (октавни или терцоктавни) и използване на корекционни филтри (A, B, C, D). За научни цели, относителната ширина на честотните ленти може да бъде намалена до около 1.5%.

3.2. Методика за регистриране на шум



Фиг.1.6 Аналогово-цифров преобразувател

Използва се високоточна апаратура за спектрален анализ на шума, генериран от двигатели с вътрешно горене. Регистрацията на звуковото налягане се извършва чрез аналогово-цифров преобразувател (АЦП), който директно записва промените в нивото на звуковото налягане през фиксирани интервали от време фиг.1.6. Тези

интервали могат да бъдат програмирани, което позволява измервания на бързо изменящи се и продължителни шумови емисии.

3.3. Същност на метода

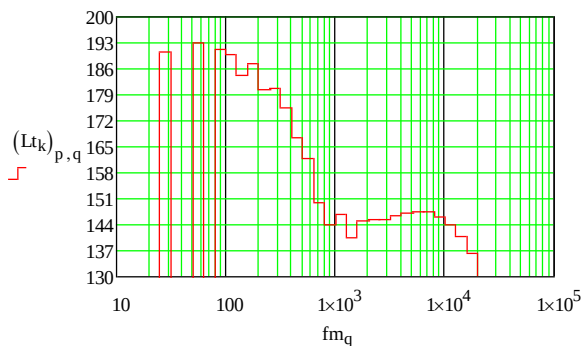
Регистрираните стойности се подлагат на предварителна обработка за отстраняване на апаратни смущения и изглаждане на диаграмите. Използват се методи като "пълзящата медиана" за премахване на случайни смущения и "пълзящите трендове" за изглаждане на данните.

3.4. Честотен анализ

Честотният анализ на звуковото налягане се извършва чрез хармоничен анализ на дискретни функции по метода на Фурие. Получените данни се използват за създаване на заградителни филтри (нискочестотни и високочестотни), които премахват паразитните звуци и нежеланите шумове.

3.5. Обработка на експериментални данни

За запис на данните от изследването се използва високоскоростен цифров осцилоскоп. Данните преминават през предварителна обработка за елиминиране на апаратните смущения и стъпаловидния характер на кривата фиг.1.7. Използват се методи за интерполация и апроксимация на таблично зададени функции, като кубичната сплайн-апроксимация.



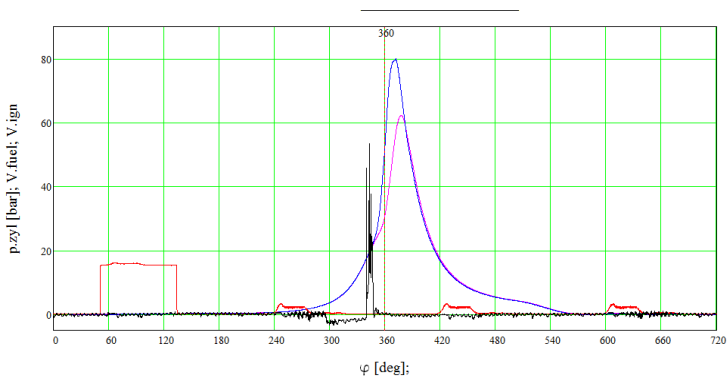
Фиг.1.7 Обработка на данни за елиминирание на апаратните смущения

В третата глава се описват методиките за измерване и анализ на шума и вибрациите от ДВГ, използвайки високоточна апаратура и усъвършенствани алгоритми за обработка на данните. Тези методики осигуряват точни и надеждни резултати, които са необходими за оптимизацията на шумовите характеристики на двигателите.

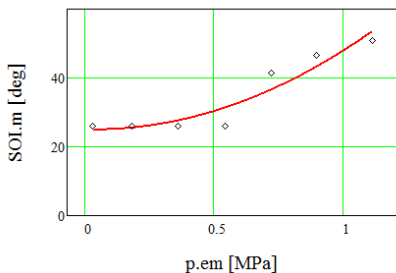
Глава IV

4.1. Параметри на горивоподаването на двигател с директно впръскване на бензин-1AZ-FSE

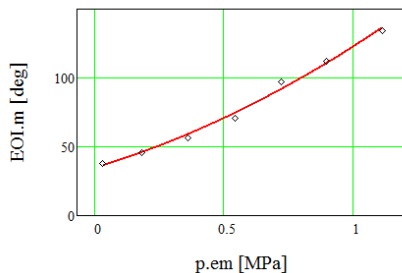
Изследването е направено, за да се установи нивото на шума и зависимостите на горивоподаването и смесообразуване при директно впръскване на горивото по време на такта пълнене. Изследвани са параметрите на впръскването на фиг.1.8, като цикловата порция, начало и край на впръскването, продължителност на впръскването, тъгъл на предварение на запалването, и налягане на впръскване на горивото, в зависимост от тъгъла на завъртане на коляновият вал за един работен цикъл от 720 [deg].



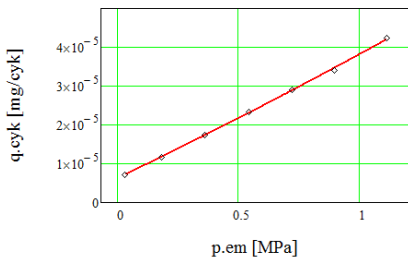
фиг.1.8 Параметрите на впръскването



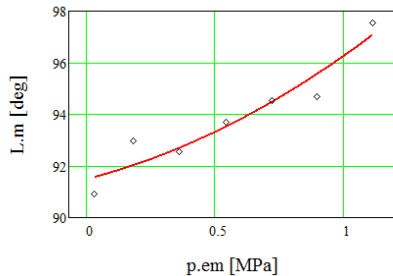
начало на впръскване



край на впръскване



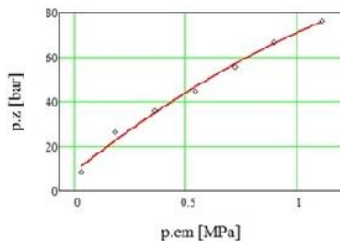
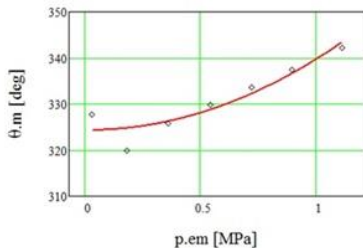
циклова порция



ниво на шума по градуси на К.В

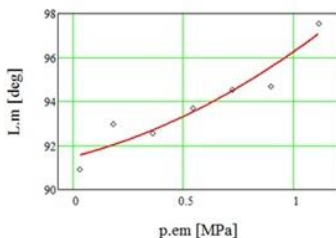
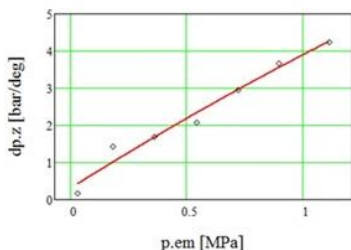
фиг.1.9 Начало и край на впръскването

От разгледаните графики фиг.1.9 за начало и край получаваме продължителността на горивоподаването в следствие на което нараства и количеството на цикловата порция. Това пряко ще окаже съществено влияние за нарастването на газовата сила в цилиндъра и от там на шумоизлъчването от работният процес.



Ъгъл на предварение на запалването θ [deg]

Налягането в цилиндъра P_z [bar]



*Скоростта на нарастване на налягането
 dp_z [bar/deg]*

Ниво на шумоизлъчването L [deg]

фиг.1.10

Показатели под влиянието на впръскването

Наблюдава се и нарастването на нивата на шум L [deg], които следват по ъгъл на завъртане на колянвият вал и заедно с нарастването

на цикловата порция се повишават със сходна характеристика по средно ефективно налягане.

В следствие на нарастване на цикловата порция се оказва влияние и на ъгъла на предвारेие на запалването $\theta[\text{deg}]$ фиг.1.10-1. Той се регулира от управлението на двигателя в следствие на поголемия обем на цикловата порция и се коригира, за да се предотвратят нежелани детонации. Това води до нарастване на максималната стойност на налягането в цилиндъра $P_z[\text{bar}]$. Така нараства и възбудителната сила(газовата сила) с характер изразен на фиг. 1.10-3. Наблюдава се и повишение на скоростта на нарастване на налягането $dP_z[\text{bar/deg}]$ фиг. 1.10-4 Представени са максималните стойности на налягането за всеки градус на завъртането на колянвият вал. При максимално натоварване за $1[\text{deg}]$ налягането в цилиндъра нараства с $dP_z = 4,25[\text{bar/deg}]$.

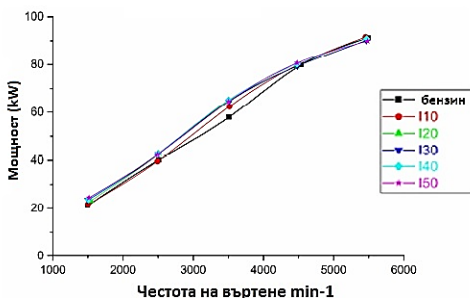
Всички графики от фиг. 1.10 по средно ефективно налягане корелират по характер и оказват влияние на нивата на измерения шум по градуси на завъртане $L[\text{deg}]$ фиг.1.10-2. Очаква се това да окаже влияние на общият излъчен шум от работния процес

4.2. Резултати за мощностно-икономически параметри и състав на отработилите газове

Изследванията включват анализ на чист бензин и смеси с изопропанол (10%-50%) при 72 режима на работа на двигателя (42 режима за товарна характеристика и 30 режима за честотна характеристика). Данните подробно са представени в таблици. След изследването на всеки състав на различните смеси горивото се изчерпва без остатък, за да не се повлияе на резултатите.

4.2. Данни за мощност и разход на гориво

- *Мощност:*



Мощността на двигателя нараства с увеличаването на изопропанол в горивната смес, особено до концентрация от 20% изопропанол.

Изопропанолът подобрява ефективността на горене, поради високото съдържание на кислород и специфична топлина на изпарение.

Увеличението на мощността е по-значително при ниски и средни обороти: 1.73%-16.52% при ниски и 7.6%-12.45% при средни обороти.

Специфичният разход на гориво намалява с увеличаването на съдържанието на изопропанол.

Намалението е по-значително при ниски натоварвания (24.37%-54.32%) и по-слабо при високи натоварвания (4.51%-12.03%).

Подобрената ефективност на горене с изопропанол намалява разхода на гориво.

4.3. Екологични характеристики при работа със смеси на изопропанол

- *Емисии на CO:*

Емисиите на въглероден оксид (CO) намаляват с увеличаването на съдържанието на изопропанол при всички честоти на двигателя.

Намалението варира между 26%-82% при ниски и 26%-85% при високи честоти.

- *Емисии на CO₂:*

Емисиите на въглероден диоксид (CO₂) се увеличават с увеличаването на изопропанола в горивната смес.

При ниски честоти увеличението е 1.3%-10.8%, а при високи честоти - 0.95%-4.2%.

- *Емисии на HC:*

Емисиите на въглеводороди (HC) намаляват с увеличаването на изопропанола в сместа.

Намалението при ниски честоти е 36.5%-6.2%, а при високи честоти - 64.8%-85.5%.

- *Емисии на NO_x:*

Емисиите на азотни оксиди (NO_x) се увеличават с нарастването на изопропанола в сместа.

Увеличението е 1%-40% при ниски честоти и 37%-198% при високи честоти.

- *Температура на отработените газове:*

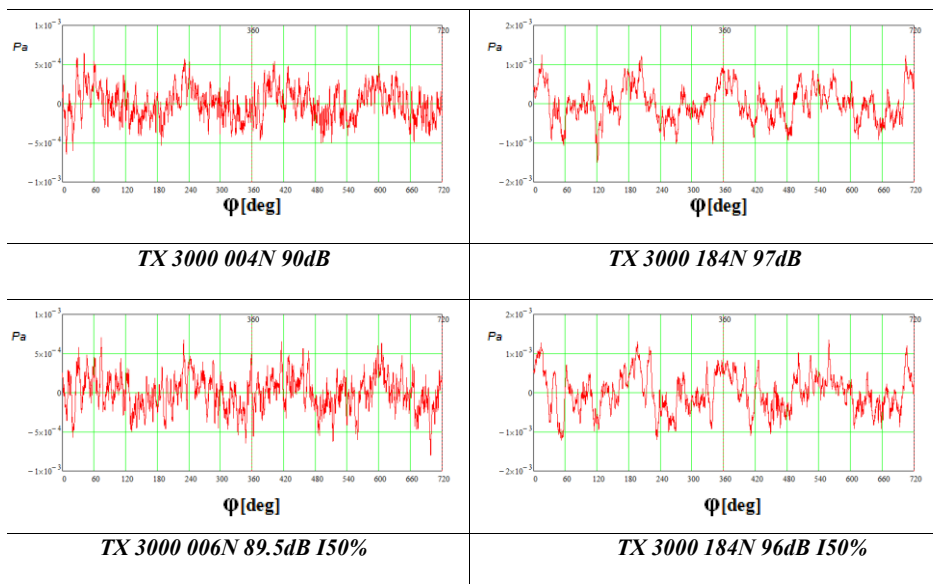
Температурата на отработените газове се увеличава с увеличаването на изопропанола в сместа.

Повишението е 0.86%-1.7% при ниски и 0.5%-11.7% при високи честоти.

4.4. Резултати от измерване на шум и вибрации

Измерванията на шум и вибрации показват, че нивата са малко по-високи при смесите с изопропанол, но остават в допустимите граници. Данните включват графики за звуково налягане, амплитуда на газовата сила, амплитуда на хармониците, виброускорение, честотен анализ и терцоктавен анализ.

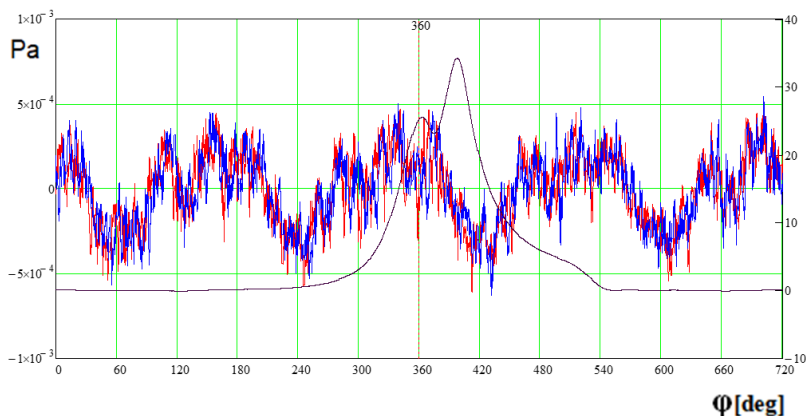
4.5. Стойности на звуково налягане



фиг.1.7 Данните на звуково налягане

Измерените стойности на част от данните на звуково налягане са представени във фигура 1,7. Предизвикателство при измерването на шум в лабораторни условия на двигател с вътрешно горене е да се изолира точно шума от двигателя независимо от съпътстващата апаратура в лабораторията. Сложно е да се осигури измерване в свободно звуково поле, защото съществува ограничението в пространството на лабораторията. Отчита се факта от появата и поведението на отразените вълни от близките стени, които не позволяват да се работи в условия на свободно звуково поле. Затова при експеримента е използван метод за измерване на звуковото налягане синхронизирано спрямо положението, ъгъла на завъртане на колянвият вал за един пълен работен цикъл- фиг.1.8 в обхвата φ 0-720 [deg]

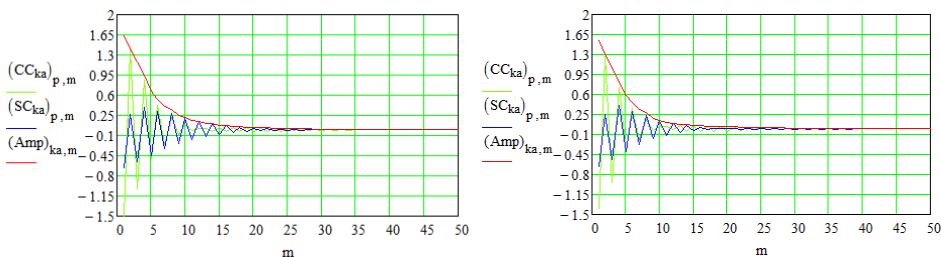
Данните показват съвпадение на звуковото налягане със сигнала при последователни цикли и потвърждават, че източникът на шума е двигателят фиг.1.8.



фиг.1.8
Последователни цикли

4.6. Хармоничен анализ

Хармоничният анализ на индикаторната диаграма показва амплитудите на газовата сила и звуковото налягане. Данните са представени във фигура 1.9 за чист бензин и смеси с 50% изопропанол.

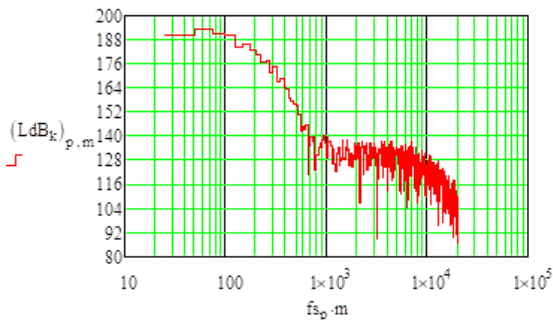


фиг.1.9

Амплитуди на газовата сила и звуковото налягане

4.8. Честотен анализ

Честотният анализ на звуковите нива и виброускоренията е проведен в осезаемата зона на човешкото ухо (0.02[kHz]-20[kHz]). Данните са представени във фигура 1.10 празен ход при работа на товарна характеристика. Резултатите са съпоставени за чист бензин и 150% в изследването.

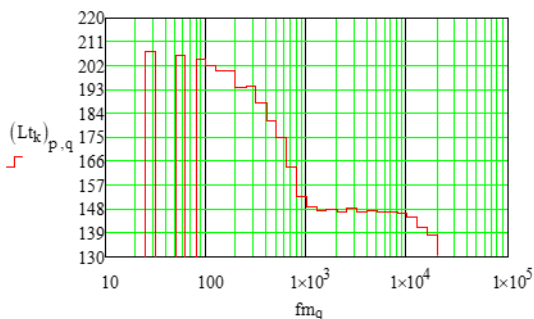


фиг.1.10

Честотният анализ на звуковите нива и вибрационните

4.9. Терцоктавен анализ

Терцоктавният анализ на звуковото налягане и виброускорението е представен в логаритмична скала за по-добра визуализация. Данните показват високи нива на налягане в областта на ниските честоти под 1000 [Hz] и намаляване на високочестотните звуци над 8000-10 000 [Hz]. На фиг.1.11 е представен терцоктавен анализ за I50% по TX3000 на максимално натоварване.



фиг.1.11 Терцоктавен анализ

Глава V

Заклучения и изводи

Резултатите от проведените изследвания показват как влияе директното впръскване и смесообразуване протичащо изцяло в цилиндъра на четиритактов двигател с принудително възпламеняване. По-време на експеримента, главна цел е била работата на двигателя

1AZ-FSE и неговите системи да не бъдат манипулирани ръчно. Изследването и получените резултати са проведени така, както той би се държал в реални експлоатационни режими на работа- без доработки.

Получените резултати показват, че при директното впръскване нарастват стойностите за началото и края на горивоподаването, увеличава се продължителността на процеса и нараства цикловата порция. Това се компенсира с намаляване ъгъла на предвारेие на запалването с цел да се предотвратят детонации и да се оползотвори максимално налягането в цилиндъра. В резултат на по-голямото предвारेие, запалването се изтегля, както и началото на реалното горене. В следствие на това термодинамичните условия протичат в по-малък обем, от което следва, че налягането от газовата сила P_z в горивната камера ще достигне по-високи стойности. Това подобрява термодинамичните показатели и съответно подобрява термичния коефициент на полезно действие, но води и до нарастване на нивата на шума. Отчитат се преки зависимости с ясна тенденция на завишаване на шумоизлъчването при работа на двигателя, и те са породени основно от работния процес.

В изводите от проведения анализ на резултатите се представя и как смесването на бензин с различни пропорции изопропанол, вариращи от 0% до 50% в стъпки от 10%, заедно с чист бензин, влияе върху функционирането на бензинов двигател с директно впръскване. Експериментално е установено, как тези смеси влияят, както на работата на двигателя, така и на шумоизлъчването.

С увеличаването на изопропанол в бензина нараства спирачната мощност на двигателя, поради високото съдържание на кислород. Мощността се изразява предимно при ниски и средни честоти на въртене. Специфичният разход на гориво от своя страна намалява с увеличаването на изопропанола в горивните смеси поради подобрената

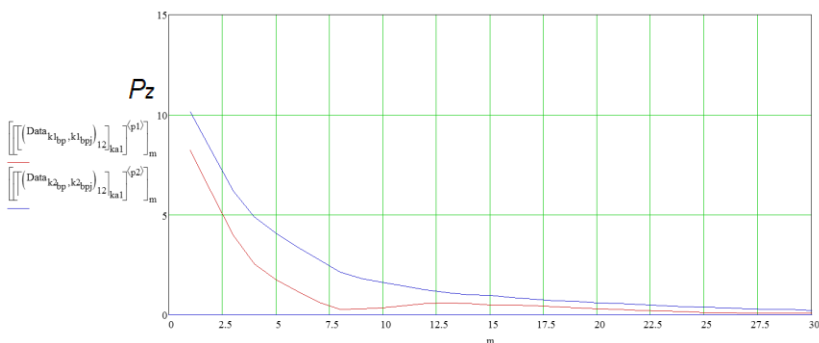
ефективност на горене. Емисиите на въглероден оксид СО намаляват с увеличаването на изопропанол отново заради повечето кислород в смесите, така се подобрява ефективността на горене, от където следва въглеродния оксид да намалява. В състава на отработилите газове съдържанието на въглероден двуокис CO_2 нараства с увеличаването на изопропанола, защото и изопропанолът, и бензинът са базирани на горива, които съдържат въглерод. Въглеводородите HC намаляват при завишаване на изопропанол поради по-пълното изгаряне, но трябва да се съблюдава за изправността на горивната система и изпаренията на гориво поради силната летливост на смесите. Стойностите на азотните оксиди NO_x в отработените газове се повишават заедно с повишаването на температурите при горене при нарастване на количеството изопропанол в бензина.

Детонационна устойчивост и термодинамични условия

С нарастване на процентното съдържание на изопропанол в бензина се увеличава и детонационната устойчивост на гориво-въздушната смес, в резултат на отнеманата от изпарението ѝ топлина. Тази детонационна устойчивост позволява на системата за управление на двигателя да предприема корекции на стойностите на предварението на подаването на електрическата искра $[\theta]$ в значително по-големи стойности, отколкото при работа с чист бензин. По-голямото предварение на запалването изтегля началото на реалното горене, при което термодинамичните условия протичат в по-малък обем. Това води до по-високи стойности на налягането от газовата сила P_z в горивната камера, подобрявайки термодинамичните показатели и съответно термичния коефициент на полезно действие, но и до нарастване на нивата на шума.

Представени са завишените стойности на амплитудите на налягането $[P_z]$ от индикаторната диаграма чрез хармоничен анализ, при гранични режими на работа с чист бензин и със смес от 50%

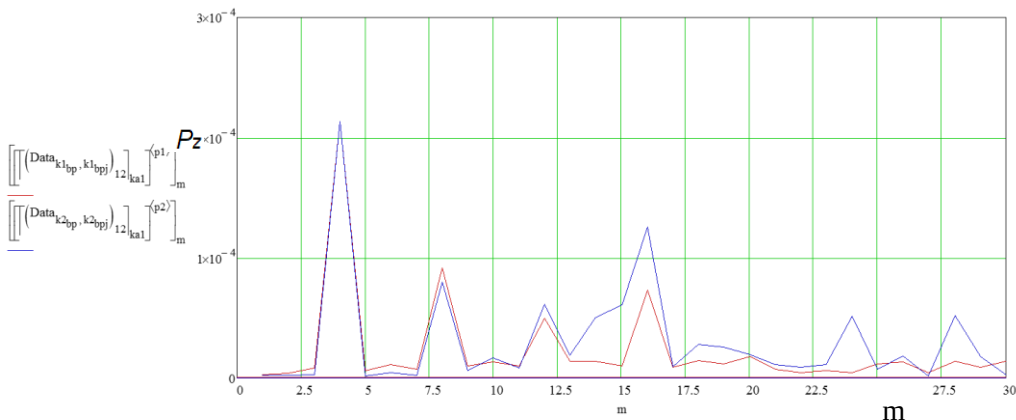
изопропанол фиг.1.12. От графиката се отчита нарастването на възбудителната сила на шума – налягането, което се развива от газовата сила в цилиндъра на двигателя. Това нарастване води до



повишаване на нивата на шума, но не може да се съди окончателно за общото нарастване на шума, тъй като не е отчетена пълната функция на конструкцията на двигателя.

Фиг.1.12

Хармоничен анализ на налягането от газовата сила

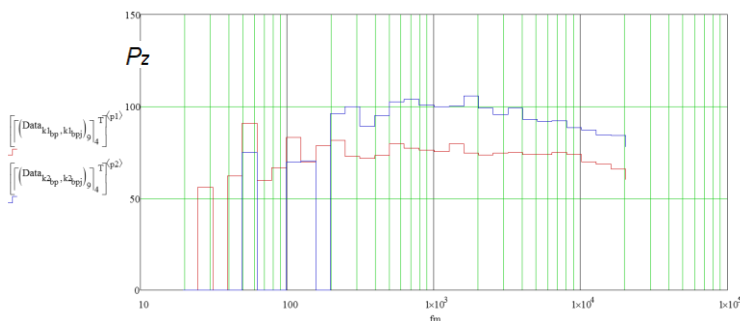


фиг.1.13

Хармоничен анализ на звуковото налягане

Фигура 1.13 представя хармоничен анализ на шума, проведен при една и съща честота на въртене (1500[min^{-1}]) за чист бензин и смес от 50% изопропанол. Резултатите показват различен спектър на хармоници спрямо възбудителната сила – налягането в цилиндъра. Спектърът на механичния шум е ясно разпознаваем в ниските честоти.

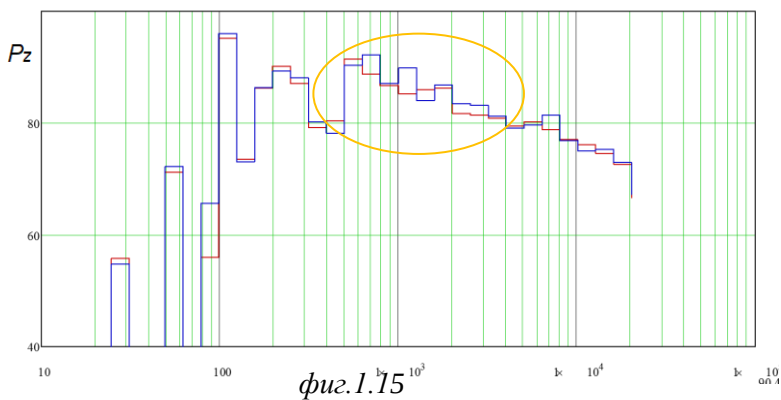
Терцоктавен анализ на звуковото налягане



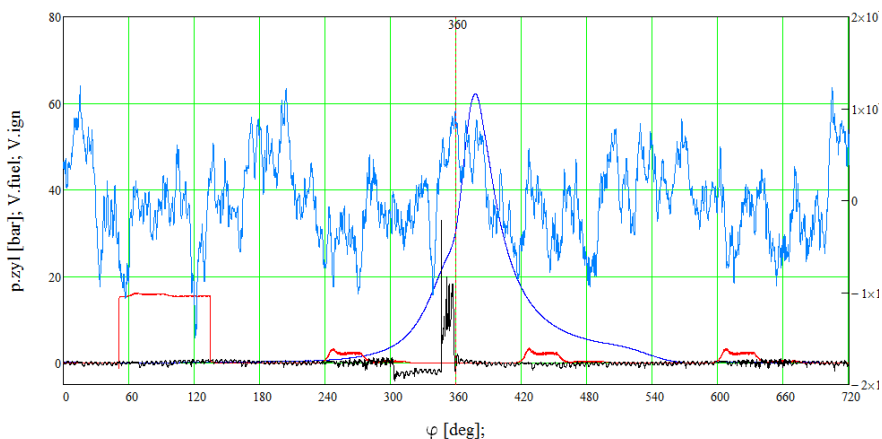
фиг.1.14

Фигура 1.14 представя терцоктавни ленти на звуково налягане при различни режими на работа по ЧХ с чист бензин (за 1500 и 5500[min^{-1}]). Анализът показва непрекъснат спектър в диапазона 300Hz до 20 000Hz и логично еквидистантно нарастване с нарастването на честотата на въртене на двигателя. Това доказва, че измереният шум произтича основно от работния процес, а не от странични източници.

Графиката фиг. 1.15 представя терцоктавен анализ на звуковото налягане при чист бензин и смес от 50% изопропанол при максимално натоварване по честотна характеристика. Основните разлики се наблюдават в обхвата на високите честоти (над 160 Hz до около 1200Hz), където се установява нарастване на звуковото налягане, което води до повишаване на нивото на измерения шум с около 0,9[dB].

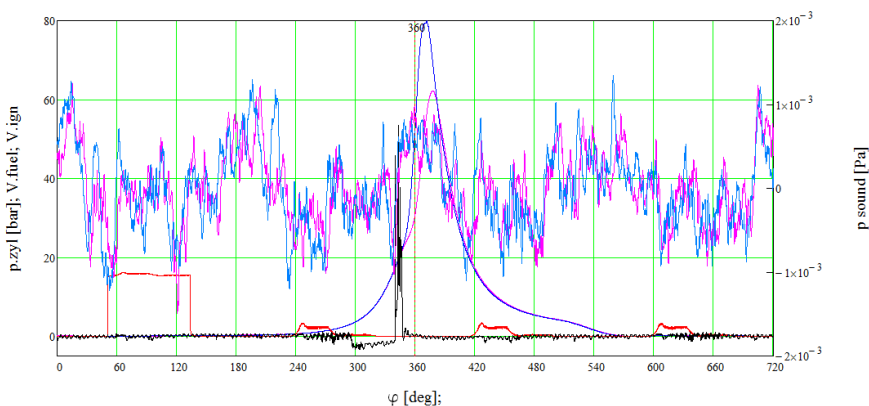


На фигура 1.16 са представени параметри на работа при TX3000 184N с Чист Бензин.



Фиг.1.16

Параметри за чист бензин: звуково налягане, ел. импулс на впръскване, налягане в цилиндър, предварение на запалване и др.



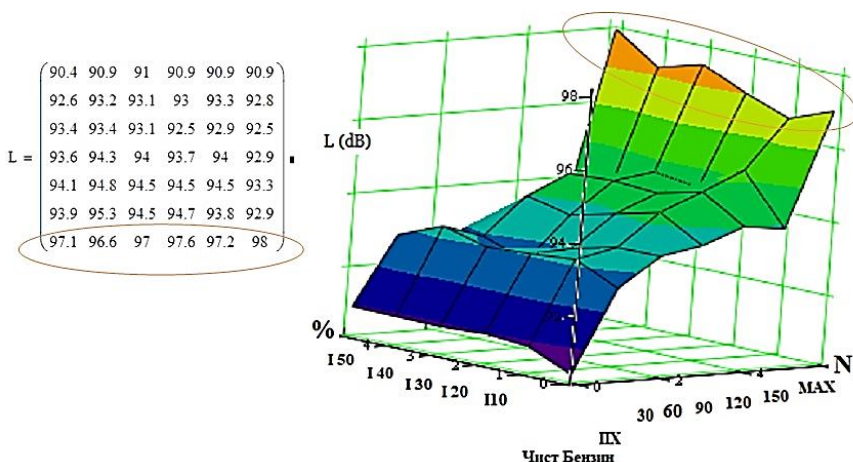
Фиг.1.17

Параметри за чист бензин и I50%: звуково налягане, ел. импулс на впръскване, налягане в цилиндъра, предварение на запалване и др.

За сравнение на фигура 1.17 са представени работа с чист бензин и I50% изопропанол при TX3000. Наблюдава се значителното нарастване на налягането в цилиндъра и изместването му в посока на горна мъртва позиция на буталото. Това е фактор, който ще повиши нивата на шумоизлъчване от работния процес.

Триизмерни графики на звуковото налягане

Представени са и триизмерни графики на нивото на звуковото налягане за всички смеси при различни режими на работа TX 3000 фиг.1.18 и ЧХ 1.19. Анализът на тези графики показва характерното нарастване на звуковото налягане с увеличаването на съдържанието на изопропанол, като най-значителното нарастване е наблюдавано при работа със смес от 50% изопропанол при максимално натоварване (98[dB]).

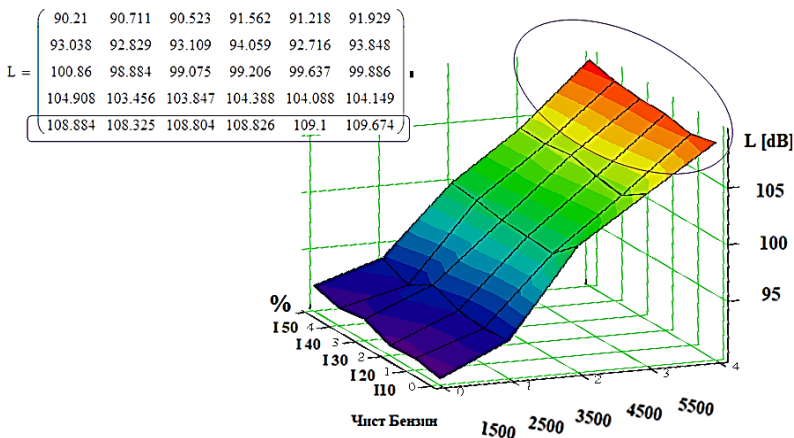


фиг.1.18

Звуково налягане-изменение за всички точки по TX3000

Извършен е честотен анализ на звуковото налягане в терцоктавни ленти за смеси с 50% изопропанол при работа на двигателя по товарна характеристика. Резултатите показват, че повишаването на шума се дължи основно на повишаване на шума в диапазона 1000-3800Hz. Сравнението на граничните режими на работа с чист бензин и 50% изопропанол показва основни разлики в диапазона 1000-4000Hz.

Изводите от изследването могат да бъдат използвани за разработване на препоръки за мероприятия по обезшумяването и оптимизиране на конструкцията на двигателя при използване на смеси с изопропанол.



фиг.1.19

Звуково налягане-изменение за всички точки по ЧХ

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Създадена е експериментална инсталация в лабораторни условия, която дава възможност за изследване работата на двигатели с директно впръскване и принудително възпламеняване за определяне на техните експлоатационни, екологични и шумови характеристики. Важен елемент в нея е системата за регистрацията на бързи процеси в реално време и възможността за тяхната синхронхронна регистрация.

2. Усъвършенствана е методиката за структуриране на базата данни, изчистване на апаратни смущения и изглаждане на

цифровите сигнали при регистрацията на бързите процеси. Методиката е приложима и за изследване на други процеси, регистрирани в реално време при работа на двигателя в експлоатационни условия за определяне на шумови характеристики.

3. Установена е възможността за работа на двигател с директно впръскване с по-високи съдържания на изопропанол в горивото. При такива смеси се регистрират по-високи стойности на максималното налягане и максималната скорост на нарастване на налягането в цилиндъра на двигателя, водещи до повишаване нивата на звуково налягане.

4. Определени са характеристиките на шумоизлъчването на двигател с директно впръскване на гориво. Извършен е честотен анализ на силите определящи нивата на излъчваният шум. Изследван е честотния диапазон на нивата на звуково налягане на работата на двигател с директно впръскване и принудително възпламеняване. Установено е, че повишаването на шумоизлъчването при работа със завишени концентрации на изопропанол се дължи основно на повишаване на шума в диапазона от 1 [kHz] до 3.8 [kHz].

5. Установява се необходимост към системата за управление на двигателя за ограничаване на горивоподаването в случай на регистрацията на завишени стойности на налягането в цилиндъра и максималната стойност на нарастване на налягането водещи до повишени нива на звуково налягане

Благодарности

Авторът иска да изрази своята благодарност към научния си ръководител проф. д-р инж. Здравко Динчев Иванов за съдействието през целия период на разработка, напътствия и подкрепа по време на дисертационната работа.

Също така изразява своята признателност и благодарност към колектива от РУ “Ангел Кънчев“ с ръководител доц. д-р инж. Симеон Илиев, за оказаната помощ за провеждането на опитите и осигуряването на чист бензин необходим за резултатите на експеримента.

Авторът изказва благодарност на всички преподаватели от катедра „Транспортна техника и технологии“ към ТУ - Варна за безценните съвети, професионален опит и насърчаване, които са му дали по време на дисертацията.

Авторът благодари на семейството си, за търпението и подкрепата, с които настоящата дисертационна работа не би била завършена.

инж. Борислав Пламенов Пенчев