

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор“

Автор на дисертационния труд: **маг. инж. Борислав Пламенов Пенчев**

Тема на дисертационния труд: **„Влияние на директното впръскване върху шумоизлъчването на двигатели с вътрешно горене“**

Професионално направление: **5.1 „Машинно инженерство“**

Научна специалност: **„Двигатели с вътрешно горене“**

Становище от: **доц. д-р инж. Пламен Борисов Пунов**

Представеният ми за рецензия дисертационният труд е разработен в обем от 165 стр. и се състои от въведение, основна част разделена в четири глави, анализ и изводи, използвана литература, приноси, списък на публикациите по дисертацията и декларация за оригиналност.

1. Актуалност на проблема

Темата на дисертационния труд е актуална в контекста на съвременните тенденции в развитието на автомобилните двигатели и алтернативните източници на задвижване при автомобилите. Последните тенденции показват, че преходът от конвенционални двигатели с вътрешно горене към изцяло електрически задвижвания ще продължи дълго време поради недостатъците на технологията, високата цена, недоразвитата зарядна инфраструктура и предпочитанията на клиентите. Най-голямо разпространение в съвременните автомобили намират бензиновите ДВГ с директно впръскване и свръхпълнене, използвани в директна или хибридна схема на задвижване. В същото време автомобилите оборудвани с ДВГ трябва да отговарят на строги норми за екологични показатели измервани както в стендови така и в реални пътни условия заложи с стандартите след Евро 6d и бъдещият Евро 7. В тази връзка шума от автомобилните двигатели е пряко свързан с ефективните и екологичните показатели, но също така и с нивото на комфорт. В допълнение е важно да се оцени въздействие на алтернативните горива върху показателите на бензиновите ДВГ поради налагането на използването на биоалкохоли и синтетични горива.

2. Степен на познаване състоянието на проблема.

Литературният обзор показва добро познаване на състоянието на проблема като обхваща анализ на екологичните проблеми и шумовото излъчване при бензиновите ДВГ, организацията на смесообразуването и горенето в двигателите с директни впръскване, използването на алтернативни горива и в частност изопропанол. Анализирани са източниците на шум от ДВГ, методите за тяхната оценка и начините за намаляването му. Използвани са 79 литературни източника, повечето от които са съвременни и са цитирани в първа глава от дисертацията.

3. Съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси.

Целта на дисертационния труд е дефинирана в края на първа глава, а именно:

необходимостта от проучване шумоизлъчването от автомобилни високочестотни двигатели с директно впръскване на бензин, при работата им със смеси от бензин и изопропанол във високи съотношения до 50%. Постигането на целта е свързано с изпълнение на четири основни задачи.

Изследванията в дисертационния труд са изцяло експериментални като е използван подходящ за целта двигател на фирмата Toyota, който е високочестотен бензинов с директно впръскване без свръхпълнене. Двигателят е изпитван с помощта на вихро-токова спирачка SCHENCK W230 като е окомплектован с измервателно оборудване за индициране, измерване на шум, вибрации, разход на гориво, температури както и токсични компоненти в отработените газове. Представена е подходяща методиката на обработване на данните от измерването на налягането в цилиндъра, шума и вибрациите от изследвания двигател и са описани математичните алгоритми за обработване на получените сигнали и начинът на калибриране на използваната апаратура и за изчистване на фоновия шум. Като резултати от изследването са представени получените експериментални данни за параметрите на горивоподаване, цикловото количество гориво, ъгълът на изпреварване на запалването, скоростта на нарастване на налягането в цилиндъра, максималното налягане в цилиндъра и нивото на шумоизлъчване в 72 работни точки от полето на двигателя, включително външна честотна характеристика и товарна характеристика при 3000 min^{-1} . Изследванията са проведени с бензин и смеси с бензин-изопропанол до 50% в масови единици. Представени са мощностните показатели на двигателя по външна честотна характеристика и специфичният разход (енергия) на гориво по товарна характеристика. Анализирано е влиянието върху екологичните показатели. Показани са стойностите на звуковото налягане за един работен цикъл и за последователни цикли, хармоничен и честотен анализ на индикаторната диаграма и виброускорението, както и терцоктавен анализ.

Докторантът е избрал методика и последователност на изследванията, която напълно съответства на поставената цел и задачи на дисертационния труд.

4. Приноси на дисертационния труд.

В края на дисертационния труд са представени пет научно-приложни приноса, които считам са добре формулирани от автора. Всички приноси са изведени въз основа на изследванията в дисертационния труд като първите два приноса са вследствие на изградената експериментална установка и разработена методика на обработване на високочестотни сигнали представени съответно в Глава 2 и Глава 3 на дисертацията. Останалите три приноса са изведени на база експерименталните изследвания и получените от тях резултати в Глава 4. Считам, че приносът свързан със създаване на експерименталната установка (Принос 1) и установената необходимост към ограничаване на горивоподаването от ЕБУ при повишаване на скоростта на нарастване на налягането в цилиндъра при работа на двигателя със смеси бензин-изопропанол (Принос 5) имат чисто приложен характер и могат да се причислят към създаване на нови класификации, методи на изследване, нови конструкции, технологии, и т.н. Останалите приноси са правилно класифицирани като научно-приложни и попадат в групата доказване с нови средства на съществени нови страни в съществуващи научни проблеми и теории, както и към получаване и доказване на нови факти.

Считам приносите като значими за практиката с потенциал за внедряване при използването на алкохолни горива в горивни смеси с бензин.

5. Личен принос на докторанта.

Основните резултати от изследванията в дисертационния труд са представени на научни конференции в България. Имам пряко наблюдение върху работата на докторанта при представянето му на научната конференция ЕКО Варна 2024. С оглед на степента на познаване на проблема при докладване на резултатите и факта, че една от научните му изяви е самостоятелна считам, че приносите по дисертационния труд са преди всичко лично дело на докторанта с активното участие в изследванията на научният ръководител.

6. Публикации по дисертационния труд.

Основните части от дисертационния труд са публикувани в четири публикации на български език на научни конференции в България. Всички те са публикувани в сборници от научните конференции: Научни трудове на Русенски университет – 2015, Научни трудове на Русенски университет – 2016 и ЕКО Варна – 2024 г. Всички сборници са в националния референтен списък. Една от научните публикации е самостоятелна на докторанта, а останалите са в съавторство с научния му ръководител като в една е първи автор, а в две е втори автор. Нямам информация за цитирания на научните публикации от други автори. Няма индексирани публикации по дисертацията в световните база данни Scopus и WoS.

7. Автореферат

Авторефератът на дисертационния труд е отпечатан в обем от 41 стр. и обхваща всички основни моменти от дисертацията. Разработен е съгласно изискванията за неговото оформяне като включва обща характеристика на дисертационния труд, съкратено представяне на резултатите в отделните глави и приносите.

8. Мнения, препоръки и бележки.

Към докторанта има следните препоръки и забележки:

- В края на първа глава са дефинирани целта и задачите на дисертационната работа, като допълнително е пояснено че изследванията ще се проведат експериментално върху бензинов ДВГ с директно впръскване в цилиндъра и са дефинирани допълнителни задачи към експерименталното изследване. За по добра яснота е било добре допълнителните задачи да бъдат включени към основните стъпки за изпълнение на целта на дисертационния труд;
- На Фиг. 4.11 е сравнена специфичната топлинна енергия по една товарна характеристика на двигателя. Не е отбелязано обаче, при каква честота на въртене е построена тази характеристика. От представените резултати в предходната точка се предполага, че тази честота е 3000 min^{-1} .
- В описанието на резултатите от фиг. 4.11 се говори за намаляване на разхода на гориво, а самата графика не показва разход на гориво. По-добре е да се прави оценка на показателя специфична топлина при различни горивни смеси, която е изследвана.
- Стойностите на звуковото налягане в Точка 4.6 и 4.7 са анализирани като функция от ъгъла на завъртане на колянвия вал с продължителност един работен цикъл 720 градуса по ъгъла на завъртане на колянвия вал. Това

означава, че всяка една графика съответства на един единствен режим на работа, който се дефинира с честота на въртене и натоварване. Поради тази причина всичките означения в описанието на графиките, че става въпрос за характеристики ЧХ и ТХ са излишни.

- В общите изводи се започва с извод, че директното впръскване води до повишен шум спрямо другите видове смесообразуване при бензиновите ДВГ, но в дисертационния труд никъде не е направено сравнение с шума излъчван от двигателите с индиректно впръскване.
- Препоръчвам на докторанта в бъдеще да направи усилия за публикуване на резултатите от своите изследвания на престижни международни конференции и списания, индексирани в световните база данни.

9. Заключение.

След запознаването ми с дисертационния труд мога да каже, че изследването върху шумоотделянето от двигател с директно впръскване и принудително възпламеняване при използване на изопропанол до 50% в горивната смес е актуално в контекста на продължаващия интерес към използване на бензинови двигатели в леки автомобили. Резултатите са базирани на експериментални изследвания и анализ на показателите на двигателя, шума и вибрациите в широк диапазон от работното поле. Въпреки направените забележки и препоръка, считам че в дисертационния труд има достатъчен брой приноси и са изпълнени изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България.

Предлагам на уважаемото научно жури да присъди на маг. инж. Борислав Пламенов Пенчев научно-образователната степен „доктор“ по научната специалност „Двигатели с вътрешно горене“, професионално направление 5.1 „Машинно инженерство“.

Дата: 14.02.2025 г.

Член на журито:

/доц. д-р инж. Пламен Пунов/

REVIEW

on a PhD thesis manuscript

PhD Student: **M.Sc. Eng. Borislav Plamenov Penchev**

Thesis title: **„Influence of direct injection on the noise emission of internal combustion engines“**

Professional domain: **5.1 „Mechanical Engineering“**

Scientific domain: **„Internal Combustion Engines“**

Written by: **Assoc. Prof. Plamen Borisov Punov**

The manuscript is presented in a volume of 165 pages and consists of an introduction, a main part divided into four chapters, analysis and conclusions, bibliography, contributions, a list of articles related to the thesis and a declaration of originality.

1. State of the arts

The subject of the thesis is relevant in the context of modern trends in the development of automotive engines and alternative powertrains intended for passenger cars. Recent researches show that the transition from conventional internal combustion engines to fully electric powertrains will continue for a long time due to the shortcomings of the technology, high investment cost, underdeveloped charging infrastructure and customer preferences. The most widespread in modern passenger cars are gasoline internal combustion engines with direct injection and supercharging used in a direct or hybrid drive scheme. At the same time, all vehicles equipped with internal combustion engines must meet emission standards both on WLTP homologation cycle and real road conditions set by the legislation standards post Euro 6d and the future Euro 7. In this regard, the noise from automobile engines is directly related to the engine efficiency and pollutant emissions, but also to the comfort level. In addition, it is important to assess the impact of alternative fuels on the performance of gasoline ICEs due to the imposition of the use of bio-alcohols and synthetic fuels.

2. Level of awareness of the problem.

The literature review reveals a good knowledge of the state of the problem, covering an analysis of environmental problems and noise emission in gasoline ICEs, organization of mixture formation and combustion in direct injection engines, use of alternative fuels and in particular isopropanol. The sources of noise from ICEs, methods for their assessment and approaches to reduce it are analyzed. 79 literature sources are used most of them are contemporary and are cited in the first chapter of the thesis.

3. Compliance between methodology and the aim of the thesis.

The subject of the thesis is defined at the end of the first chapter, namely: the need to study the noise emission from automotive high speed engines with direct gasoline injection when operating with mixtures of gasoline and isopropanol in high ratios up to 50%. Achieving the aim is associated with the implementation of four main tasks.

The research in the thesis is fully experimental using a Toyota engine suitable for this purpose which is a high speed gasoline engine with direct injection without supercharging. The engine was tested by means of a SCHENCK W230 eddy current brake and was equipped

with measuring equipment for indicating, noise measurement, vibrations, fuel consumption, temperatures, as well as pollutant emissions in the exhaust gases. The appropriate methodology for data processing on the measurement of in-cylinder pressure, noise and vibrations generated by the studied engine is presented as well as the mathematical algorithms for processing the acquired signals and the method of calibrating the equipment and for noise filtration are described. The results of the study are presented with the obtained experimental data on the fuel supply parameters, injected fuel quantity, ignition advance, rate of cylinder pressure, maximum cylinder pressure and noise emission level in 72 operating points of the engine operating range, including maximum engine performance on the full load and load characteristics at 3000 rpm. The studies were conducted with gasoline and gasoline-isopropanol mixtures up to 50% in mass units. The engine power at full engine load and the specific fuel consumption (energy) over load characteristics at 3000 rpm are presented. The impact on environmental indicators is also analyzed. The sound pressure values for a single operating cycle and for consecutive cycles, harmonic and frequency analysis of the indicating diagram and vibration magnitude as well as third-octave analysis are also shown.

The candidate has chosen a methodology and sequence of research that fully corresponds to the subject and objectives of the thesis.

4. Contributions.

At the end of the thesis, five scientific and applied contributions are presented which I consider well formulated by the author. All contributions are derived on the basis of the researches in the thesis with the first two contributions being a result of the developed experimental test bench and the developed methodology for data processing of high-frequency signals presented in Chapter 2 and Chapter 3 of the thesis, respectively. The remaining three contributions are derived on the basis of the experimental studies and the results obtained from them in Chapter 4. I believe that the contribution related to the development of the engine test bench (Contribution 1) and the needs to limit the injected fuel from the ECU when increasing the rate of pressure in the cylinder in case the engine is operating with gasoline-isopropanol mixtures (Contribution 5) have a purely applied nature and can be attributed to the creation of new classifications, research methods, new designs, technologies, etc. The remaining contributions are correctly classified as applied science and fall into the group of proving by new means significant new aspects of existing scientific problems and theories, as well as obtaining and proving new facts.

I consider the contributions to be significant for practice with potential for implementation in the use of alcohol fuels in fuel mixtures with gasoline.

5. Personal contributions of the candidate.

The main results in the thesis were presented at scientific conferences in Bulgaria. I have direct supervision over the work of the candidate during his presentation at the scientific conference EKO Varna 2024. Based on the knowledge of the problem when reporting the results and the fact that one of his scientific appearances is his own article, I believe that the contributions to the thesis are primarily the personal work of the candidate with the active support in the researches of his supervisor.

6. Relevant publications.

The main parts of the thesis were published in four articles in Bulgarian at scientific conferences held in Bulgaria. All of them have been published in proceedings of the scientific

conferences: Proceedings of the University of Ruse – 2015, Proceedings of the University of Ruse – 2016 and EKO Varna – 2024. All proceedings are in the national reference list. One of the scientific publications is the candidate's own paper while the rest are co-authored with his scientific supervisor. In one he is the first author and in two he is the second author. I have no information about the citations of his scientific articles by other researchers. There are no indexed articles in the referenced databases Scopus and WoS.

7. Abstract

The abstract of the thesis is printed in a volume of 41 pages and covers all the main points of the researches. It has been developed in accordance with the requirements for its design and includes a general characteristic of the thesis, a brief presentation of the results in the individual chapters and the contributions.

8. Opinion, suggestions and remarks.

I have recommendations and remarks to the candidate as follows:

- At the end of the first chapter, the aim and tasks of the thesis are defined and it is further explained that the research will be conducted experimentally on a gasoline internal combustion engine with direct injection into the cylinder while additional tasks to the experimental study are defined. For better clarity, it would have been better to include the additional tasks in the main steps for fulfilling the aim of the thesis;
- In Fig. 4.11 the specific heat energy is compared over a load characteristic of the engine. However, it is not noted what is the speed for this characteristic. From the results presented in the previous point it is assumed that this speed is 3000 rpm;
- The description of the results in the text related to Fig. 4.11 refers to a reduction in fuel consumption, but the graph itself does not show fuel consumption. It is better to discuss in the text the specific heat for different fuel blends which was revealed;
- The sound pressure values in Sections 4.6 and 4.7 are analyzed as a function of the crankshaft rotation angle with a period of one operating cycle which is 720 degrees on the crankshaft rotation. This means that each graph corresponds to a single engine operating point which is defined by the engine speed and load. For this reason, all the indications in the description of the graphs such as φ_X and T_X are redundant;
- The conclusions begin with the conclusion that direct injection leads to higher noise compared to other types of mixture formation in gasoline internal combustion engines, but nowhere in the thesis a comparison was made with the noise emitted by engines with port injection;
- I recommend to the candidate in the future to make efforts for publishing the results of his researches at prestigious international conferences and journals indexed in the referenced databases.

9. Conclusion.

After reading the thesis, I can say that the study of noise emission from a direct injection gasoline engine using isopropanol up to 50% in the fuel mixture is relevant in the context of the continuing interest in using gasoline engines in passenger cars. The results are based on experimental studies and analysis of engine performance, noise and vibration in a wide range of operating range. Despite the remarks and recommendations, I believe that the thesis contains a sufficient number of contributions and meets the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria.

In this context, I fully support the presented PhD thesis and suggest to the members of the scientific jury to graduate M.Sc. Eng. Borislav Plamenov Penchev with PhD degree in the scientific specialty "Internal combustion engines", professional domain 5.1 " Mechanical Engineering".

Date: 14.02.2025 г.

Member of jury:

/Assoc. Prof. Plamen Punov/