

Technical University of Sofia
Faculty of Transport



SCIENTIFIC CONFERENCE
on Aeronautics, Automotive and
Railway Engineering and
Technologies

BulTrans-2016 PROCEEDINGS

Sponsored by:



September 14-16, 2016
Sozopol, Bulgaria

SCIENTIFIC COMMITTEE:

Chairman:

Prof. G. Mihov, Rector, TU Sofia, Bulgaria

Members:

Prof. A. Ams, TU- Freiberg, Germany
Prof. A. Dimitrov, TU-Varna, Bulgaria
Prof. B. Belnikolovski, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. V. Zhivkov, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. G. Kolarov, Hamburg University, Germany
Prof. G. Simic, Belgrade University, Serbia
Prof. D. Katsov, TU-Sofia, Branch Plovdiv, Bulgaria
Prof. D. Stoyanov, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. D. Stamenković, University of Niš
Prof. E. Bratschitsch, University of Graz, Austria
Prof. G. Descombes, CNAM, France
Prof. I. Kralov, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. I. Danilov, SSTU, Saratov, Russia
Prof. J. Majerčák, University of Žilina, Slovakia
Prof. K. Vesselinov, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. K. Rotaru, Air Force Academy, Romania
Prof. M. Sitarz, SUT-Katowice, Poland
Prof. M. Svitek, TU-Prague, Czech Republic
Prof. N. Nenov, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. P. Getsov, BAS, Bulgaria
Prof. P. Dimitrov, TU-Sofia, Bulgaria
Prof. R. Rusev, University of Rouse, Bulgaria
Prof. F. Massouh, Arts et Metiers ParisTech, France
Prof. H.-H. Krause, UAS, Merseburg, Germany
Prof. S. Medvedsky, University of Žilina, Slovakia

ORGANIZING COMMITTEE:

Chairman:

Assoc. Prof. B. Gigov, PhD, Dean, TU-Sofia, Bulgaria

Vice-Chairman:

Assoc. Prof. N. Nikolov, PhD

Editorial Board:

Prof. T. Evtimov, PhD
Prof. V. Stoilov, PhD
Prof. L. Kunchev, PhD
Assoc. Prof. V. Iliev, PhD
Assoc. Prof. V. Tsonev, PhD
Assoc. Prof. E. Dimitrov, PhD
Assoc. Prof. K. Velkov, PhD
Assoc. Prof. M. Todorov, PhD
Assoc. Prof. O. Krastev, PhD
Assoc. Prof. P. Sinapov, PhD
Assoc. Prof. Ts. Stoyanov, PhD

Secretariat:

Eng. Karina Kalagireva, MSc
Assist. Prof. N. Pavlov, PhD
Assist. Prof. P. Punov, PhD
Assist. Prof. Ph. Michaylov

ПРОГРАМЕН КОМИТЕТ:

Председател:

проф. Георги Михов, Ректор на ТУ-София

Членове:

проф. Алфонс Амс, ТУ-Фрайберг, Германия
проф. Ангел Димитров, ТУ-Варна
проф. Борис Белниколовски, ТУ-София
чл. кор. проф. Венелин Живков, ТУ-София
проф. Георги Коларов, UAS-Хамбург, Германия
проф. Горан Симич, Университет Белград
проф. Димитър Кацов, ТУ-филиал Пловдив
проф. Димитър Стоянов, ТУ-София
проф. Душан Стаменкович, Университет в Ниш
проф. Емилия Брачич, UAS-Грац, Австрия
проф. Жорж Декомб, CNAM, Франция
проф. Иван Кралов, ТУ-София
проф. Игор Данилов, СГТУ, Саратов, Русия
проф. Йозеф Майерчак, UŽ-Жилина, Словакия
проф. Камен Веселинов, ТУ-София
проф. Константин Ротару, Академия на ВВС, Румъния
проф. Марек Ситарж, SUT-Катовице, Полша
проф. Мирослав Свитек, ТУ-Прага, Чехия
проф. Ненчо Ненов, ТУ-София
проф. Петър Гецов, ИКИ, БАН
проф. Петър Димитров, ТУ-София
проф. Руси Русев, РУ-Русе
проф. Фауаз Масы, Arts et Metiers ParisTech, Франция
проф. Х.-Х. Краузе, UAS-Мерзебург, Германия
проф. Щефан Медведски, UŽ-Жилина, Словакия

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ:

Председател:

доц. д-р инж. Бойко Гигов, Декан, ТУ-София

Зам.-председател:

доц. д-р инж. Николай Николов

Редакционна колегия:

проф. д-р инж. Теодоси Евтимов
проф. д-р инж. Валери Стоилов
проф. д-р инж. Лило Кунчев
доц. д-р инж. Валентин Илиев
доц. д-р инж. Веселин Цонев
доц. д-р инж. Евгени Димитров
доц. д-р инж. Кирил Велков
доц. д-р инж. Михаил Тодоров
доц. д-р инж. Олег Кръстев
доц. д-р инж. Петко Синапов
доц. д-р инж. Цветан Стоянов

Научни секретари:

маг. инж. Карина Калагирева
гл. ас. д-р инж. Николай Павлов
гл. ас. д-р инж. Пламен Пунов
ас. инж. Филип Михайлов

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ СОФИЯ

ФАКУЛТЕТ ПО ТРАНСПОРТА



**НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ
С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ
по авиационна, автомобилна и
железопътна техника и технологии**

БулТранс-2016

посветена на 150 години
железопътен транспорт в България

СБОРНИК ДОКЛАДИ

14 -16 Септември 2016 г.
Морска почивна станция "Лазур" в гр. Созопол

© Издателство на Техническия университет – София
© Technical University Academic Publishing House

Редактор: Н. Николов
Editor: N. Nikolov

Докладите в този сборник са публикувани след рецензиране от
специалисти в съответната област.

The papers in this Proceedings are published after being reviewed by
experts in the respective field.

ISSN 1313-955X

СЪДЪРЖАНИЕ / CONTENTS

Пленарна сесия Plenary session

В. Василев , 150 години от пускането в експлоатация на първата железопътна линия на България Русе - Варна V. Vasilev , 150th Anniversary of the Commissioning of the First Railway Line in Bulgaria, Ruse - Varna	9
--	---

Секция: **Авиационна техника и технологии** Section: **Aeronautics**

M. Petkova , Probabilistic Characteristics of Volcanic Ash and the Impact on Bulgarian Airspace	14
Г. Маклаков , Възможности за прилагане на ГРВ-биоелектрографията за оценяване и прогнозиране на психо-физиологичното състояние на работещите в транспорта G. Maklakov , The Possibility of Applying of GRV-Bioelectrography for Assessment and for Prediction of Psychophysiological Condition of Transport Workers	19
Г. Маклаков и П. Гецов , ГРВ-технологията като принцип за изследване на изменени състояния на съзнанието при професионалната дейност на авиационния персонал G. Maklakov and P. Getzov , GRV-Technology as Principle for the Study of Altered States of Consciousness of Aviation Specialists.....	24
P. Roglev , Joined-Wing Aerodynamic Optimization under Uncertainty	28
C. Rotaru , Simplified Mathematical Model for Airplane Yaw Stability Analysis	32
Пл. Петров и Ив. Димитров , Изследване на решенията на конфликти във въздушното движение P. Petrov and I. Dimitrov , Research on the Conflict Solutions in Air Traffic	36
M. Zhelyazov , Criterion for Adaptation of the Antenna Systems with Spatial-Temporal Treatment of the Reflected Signals	40
M. Zhelyazov , Variation of Algorithm for Measuring Spatial Coordinates of Flying Object according to Information from One Stationary Radar Complex	43
Б. Тодоров, Ст. Пенчев и Д. Сейзински , Експериментално изследване на модели на мини безпилотни самолети в аеродинамична тръба B. Todorov, S. Penchev and D. Seyzinski , Experimental Study of Models of Mini UAVs in Wind Tunnel.....	46
F. Panayotov , Numerical Computation of the Induced Velocity Field of a Helicopter Rotor in Hover with the Use of the Vortex Theory	50
H. Georgieva, V. Serbezov and I. Dimitrov , Mathematical Model for Aircraft Landing Trajectory	60

Секция: **Двигатели и автомобилна техника**
Section: **Engines and Automotive Engineering**

Цв. Йорданов , Неинвазивна оценка на работата на дюза чрез анализ на промяната на температурата ѝ C. Jordanov , Non-Invasive Evaluation of the Work of the Nozzle through Temperature Change Analysis.....	63
Цв. Йорданов , Анализ на работата на дюзата при спад в налягането на комън рейл системата C. Jordanov , Analysis of the Work of the Nozzle under Reduced Pressure in Common Rail System ...	66
N. Milkov and 4 co-authors, Optimisation of Waste Heat Recovery System Operating Parameters for Diesel Engine based on Rankine Cycle.....	69
Ат. Ташев и Евг. Димитров , Резултати от предварителни стендови изпитвания на дизелови двигатели, работещи по газо-дизелов работен цикъл A. Tashev and E. Dimitrov , An Experimental Results of Compression Ignition Engines Operating in Dual-Fuel Mode.....	75
Sl. Bozhkov and 8 co-authors, The Comparative Analyze of the Automobile Crankshaft Position Sensors Signal Waveforms.....	80
Ил. Минковска, Г. Кадикянов и Г. Станева , Изследване влиянието на телесния индекс върху координатите на центъра на тежестта на ATV I. Minkovska, G. Kadikyanov and G. Staneva , A Study of the Influence of Body Index on Coordinates of the Center of Gravity of ATV	83
Р. Иванов , Изследване на устойчивостта срещу унасяне на двuosен автомобил при ускорително движение по път с надлъжен наклон R. Ivanov , A Study on the Stability of Two Axle's Lorry in Case of Accelerative Motion on Inclined Road	87
Ив. Евтимов, Р. Иванов и Г. Кадикянов , Сравнителен анализ на енергийните свойства на превозните средства I. Evtimov, R. Ivanov and G. Kadikyanov , A Comparative Analysis of the Vehicles Energy Performance.....	91
П. Иванов , Системи за подобряване на енергийната ефективност при строителни машини P. Ivanov , Systems for Improving of Energy Efficiency in Construction Machines.....	105
Р. Русанов и Б. Гигов , Изпитване на двупоточна обемна хидромеханична предавка на стенд R. Rusanov and B. Gigov , Testing of Two-Stream Volumetric Hydromechanical Gear in Laboratory	109
Г. Станева и 3 съавтори, Изследване на коефициента на сцепление на пневматична гума с експериментално покритие за трекове в промишлеността G. Staneva and 3 co-authors, A Study of Tire Grip Coefficient on Experimental Cover for Industrial Track Application	114
П. Машков, Б. Гьоч и Р. Иванов , Изследване характеристики на светодиодни лампи за автомобилни фарове P. Mashkov, B. Gyoch and R. Ivanov , An Investigation on Characteristics of Led Bulbs for Car Headlights	118

Секция: **Динамика, якост и надеждност**
на транспортната техника
Section: **Dynamics, Strength and Reliability of Vehicles**

В. Цонев и Ив. Мухтаров , Екстензометър за измерване на напречна деформация в условията на високи температури V. Tsonev and I. Muhtarov , High Temperature Extensometer for Lateral Strain Measurements.....	124
Ю. Генов и Ст. Ташков , Физическа същност и моделиране на полуактивни демпфери J. Genov and S. Tashkov , Physical Nature and Modeling of Semi-Active Dampers	128
Ю. Генов и И. Ангелов , Влияние на вертикалното разпределение на скоростта на вятъра върху динамичното натоварване на ветрогенератори от висок клас J. Genov and I. Angelov , Influence of Vertical Wind Speed Distribution on the Dynamic Loads in Large Wind Turbines	136
Ю. Генов , Многокритериален синтез на честотно-модулирано дискретно управление на полуактивно окачване - Част 1: Анализ и стратегии J. Genov , Multi Objective Synthesis of Frequency-Modulated Control of Semi-Active Suspension – Part1: Analysis and Control Strategies.....	141
Ю. Генов , Многокритериален синтез на честотно-модулирано дискретно управление на полуактивно окачване. Част 2: Многокритериален синтез J. Genov , Multi Objective Synthesis of Frequency-Modulated Control of Semi-Active Suspension – Part 2: Multi Objective Synthesis	148
М. Дюлгерова и Д. Русев , Влияние на високочестотните трептения върху огъването на кораби от нерегулярно вълнение M. Dyulgerova and D. Rusev , Effect of High Frequency Vibrations on Bending of Ships in Irregular Waves	152

Секция: **Железопътна техника и технологии**
Section: **Railway Engineering and Technologies**

Д. Кузнецов и Сл. Ангелов , Импулсно управляван инвертор Sitras® PCI D. Kuznetsov and S. Angelov , Sitras® PCI Self-commutated IGBT inverter	156
К. Велков, Ол. Кръстев и С. Велков , Методика за извършване на спирачни изпитания на железопътни возила с помощта на преносима мобилна система K. Velkov, O. Krystev and S. Velkov , Methodology for Performance of Braking Tests on Railway Vehicles with Portable Mobile System	158
К. Велков и 3 съавтори , Изчисляване параметрите на спирачната система на локомотив MDD-4 K. Velkov and 3 co-authors , Calculation of the Brake System Parameters for Locomotive MDD-4	162
Св. Славчев и 3 съавтори , Изчислителни модели и якостен анализ на талига Y-27 S. Slavchev and 3 co-authors , Calculation Models and Static Strength Analysis of Bogie Y-27	166

Секция: **Мениджмънт и логистика в транспорта**
 Section: **Transport Management and Logistics**

Д. Салиев , Изследване на времето за чакане при преминаване на кръгови кръстовища D. Saliev , An Investigation of the Waiting Time at Roundabouts	170
Д. Салиев , Изследване на времето за движение в кръгови кръстовища D. Saliev , An Investigation of the Time for the Movement in Roundabouts	174
Д. Салиев , Оценка на влиянието на стойността на билета върху броя на превозените пътници с обществен транспорт в гр. София D. Saliev , Influence Estimation of the Ticket Price on the Number of Passengers Carried By Public Transport in Sofia City	178
B. Arnaudov , The Role of Women in the Transport Sector	181
Н. Ненов и Б. Скробански , Моделиране на система за мониторинг и контрол на ПЖПС в движение по железопътната мрежа на Р. България N. Nenov and B. Skrobanski , Modeling of System for Monitoring and Control of Rolling Stock in Motion on the Rail Network in the Republic of Bulgaria.....	185
Р. Николова и Св. Стоилова , Изследване на изпълнението на графика за движение на бързите влакове в железопътната мрежа R. Nikolova and S. Stoilova , Investigation of the Implementation of the Schedule of Movement of Fast Passenger Trains in the Railway Network	191
D. Yordanova , The Role of European Structural and Investment Funds for Development of Transport Infrastructure in Bulgaria	197
М. Милчев, Д. Колев и Д. Грозев , Методика за изследване на неформалната потребителска информация относно автомобилните сервизи M. Milchev, D. Kolev and D. Grozev , Methodology for Research of Word-Of-Mouth Information for Car Repair Services	201
М. Милчев, Д. Колев и Д. Грозев , Изследване на ефекта от неформалната потребителска информация относно автомобилните сервизи M. Milchev, D. Kolev and D. Grozev , Measurement of the Effect of Word-Of-Mouth Information for Car Repair Services	205
М. Милчев, Д. Колев и Д. Грозев , Изследване на каналите за разпространение на неформална потребителска информация относно автомобилните сервизи M. Milchev, D. Kolev and D. Grozev , Research of Difussion Channels of Word-Of-Mouth Information for Car Repair Services	209
P. Mashkov and 3 co-authors, A Method for Thermal Performance Estimation of Led Modules for Traffic Lights.....	213

РЕЗУЛТАТИ ОТ ПРЕДВАРИТЕЛНИ СТЕНДОВИ ИЗПИТВАНИЯ НА ДИЗЕЛОВИ ДВИГАТЕЛИ, РАБОТЕЩИ ПО ГАЗО-ДИЗЕЛОВ РАБОТЕН ЦИКЪЛ

АТАНАСИ ТАШЕВ

Катедра „Двигатели, автомобилна техника и транспорт“,
Технически университет - София
atanasi.tashev@tu-sofia.bg

ЕВГЕНИ ДИМИТРОВ

Катедра „Двигатели, автомобилна техника и транспорт“,
Технически университет - София
etzd@tu-sofia.bg

Резюме: В статията са представени експериментални данни, получени при работата на два двигателя – *Д 3900* и *Volkswagen 1.9D*, работещи по газо-дизелов работен цикъл. Газовото гориво, използвано при двигател *Д 3900* е съгъстен природен газ – метан, а при двигателя *Volkswagen 1.9D* е втечнен петролен газ – смес от пропан и бутан. От проведените стендови изпитвания е установено влошаване на икономичните показатели при ниски натоварвания, като с увеличаване на натоварването икономичните показатели при работа двигателя по газо-дизелов работен цикъл се доближават до тези при работата му с конвенционално дизелово гориво. Наблюдава се повишаване на концентрацията на въглероден окис – CO , въгледороди – CH , намаляване на концентрацията на азотни окиси – NO_x и на димността на отработилите газове на двигателя, при работата му с добавка газово гориво.

Ключови думи: дизелови двигатели с вътрешно горене, газо-дизелов работен процес, газови горива.

1. Увод

Необходимостта от намаляване както на употребата на изкопаеми горива, така и на вредните емисии на двигателите с вътрешно горене (ДВГ) води до полагането на значителни усилия, целящи усъвършенстване на горивния процес на двигателите с вътрешно горене [7]. Основните токсични компоненти, отделяни от дизеловите двигатели с вътрешно горене са азотните окиси NO_x и сажите (въглерод – C в дисперсно състояние). Един от начините за намаляване на тези токсични компоненти при съвременните дизелови двигатели е привеждането им в работа по газо-дизелов цикъл. При работа на двигателя по газо-дизелов цикъл се използва гориво с високо цетаново число (например дизеловото гориво, биодизелово гориво, диметил етер и др.), самовъзпламеняването на което да инициира горенето на газовото гориво (втечнен петролен газ – ВПГ, съгъстен природен газ СПГ – метан, водород и др.) [9]. Освен положителното влияние върху димността и концентрацията на азотни окиси в отработилите газове, работата на дизелов двигател по газо-дизелов цикъл се характеризира и с повишаване концентрацията на въглероден окис – CO и въгледороди – CH в

отработилите газове [1, 2, 4-6, 8-10]. Относно икономичните показатели на дизелови двигатели, работещи по газо-дизелов цикъл е установено, че използването на ВПГ [1, 3, 6, 10, 11], както и на СПГ [1, 2, 4, 5, 8], като газово гориво води до увеличение на ефективния специфичен разход на гориво – g_e , при ниските натоварвания, като с увеличаването на натоварването се наблюдава намаляване на тази разлика.

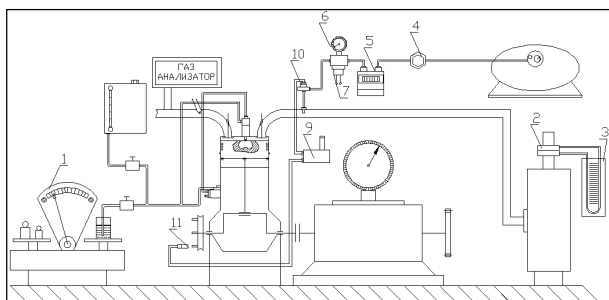
2. Цел

Целта на настоящата публикация е представяне на резултати, получени от предварителни стендови изпитвания на дизелови двигатели, работещи по газо-дизелов работен цикъл.

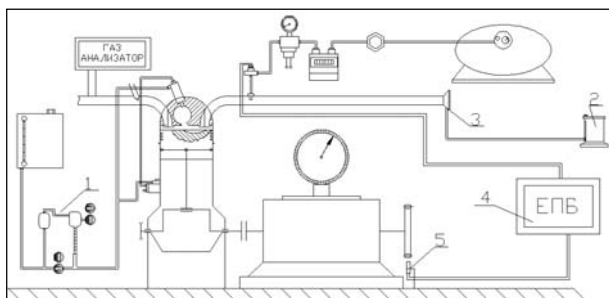
3. Изпитвателни стендове

На Фигури 1 и 2 са представени функционалните схеми на стендовете, използвани за провеждане на предварителните изпитвания на съответните двигатели, работещи по газо-дизелов цикъл.

При изпитвателният стенд с двигател *Д 3900* (Фигура 1) е използван съгъстен природен газ – метан, като газово гориво за организиране на газо-дизелов работен цикъл. Отчитането на разхода на дизелово гориво се извършва посредством масовия



Фигура 1. Изпитвателен стенд с двигател Д 3900.



Фигура 2. Изпитвателен стенд с двигател Volkswagen 1.9D.

разходмер – 1, а разходът на въздух чрез съвместната работа на дроселиращо устройство – тип бленда – 2 и диференциален манометър – 3. Измерването на обемния разход на газово гориво се осъществява чрез монтираният след редуктора – изпарителя на газовата уредба 4, обемен разходомер, тип G4 – 5. Показанията на обемния разходомер – 5, манометъра – 6 и термодвойката – 7 позволяват изчисляването на масовият разход на газово гориво. Промяната на количеството газово гориво, подавано към двигателя се осъществява чрез електронно устройство 9, управляващо продължителността на отворено състояние на газовия впръсквач – 10, а момента на подаване на газовото гориво се определя от сигнал, получен от съвместната работа на идукционен възприемател 11 и цифрове, монтирани на ремъчната шайба на двигателя. Индициране на двигателя е осъществено със система за лабораторни изследвания на ДВГ – Indiset 620 на фирмата AVL (Австрия), която е комплектована със съответните възприематели: пиезоелектричен за налягането в цилиндъра (монтиран в надбуталното пространство) и индукционни за честотата на въртене и ъгловото положение на колянвият вал на двигателя. Измервателната апаратура, използвана за отчитане на съдържанието на токсични компоненти и димността на отработилите газове на двигателя съответно е на газонализатор – модел 473 на фирмата “Tecnotest” (Италия) и димомер “Bosch” – EFAW 68A (Германия).

При изпитвателният стенд с двигател Volkswagen 1.9D (фиг. 2) е използван втечен петролен газ – смес от пропан и бутан, като газово гориво за организиране на газо-дизелов работен

цикъл. Определянето на разхода на дизелово гориво при този стенд става чрез използването на обемен разходомер – 1, а на разхода а въздух чрез показанията на микроманометър – 2, работещ съвместно с дроселиращо устройство тип дюза – 3. За промяна на количеството газово гориво е използван електронен програмируем блок – 4, който позволява изменение на времето на отворено състояние на газовите впръсквачи. Моментът на подаване на газовото гориво се определя от съвместната работа на индукционен възприемател – 5 и зъбно колело с 36 зъба, от които един е премахнат. За определяне на разходът на газово гориво, димността и токсичните компоненти в отработилите газове са използвани същите технически средства, както при стенда с двигател Д 3900, описани по-горе. Системата използвана за индициране на двигателя също е като тази, използвана при двигателя Д 3900 с тази разлика, че пиезоелектричният възприемател е монтиран, посредством преходник на мястото на подгревната свещ и отчита изменението на налягането в надбуталното пространство, а във вихровата камера на двигателя.

4. Експериментални резултати

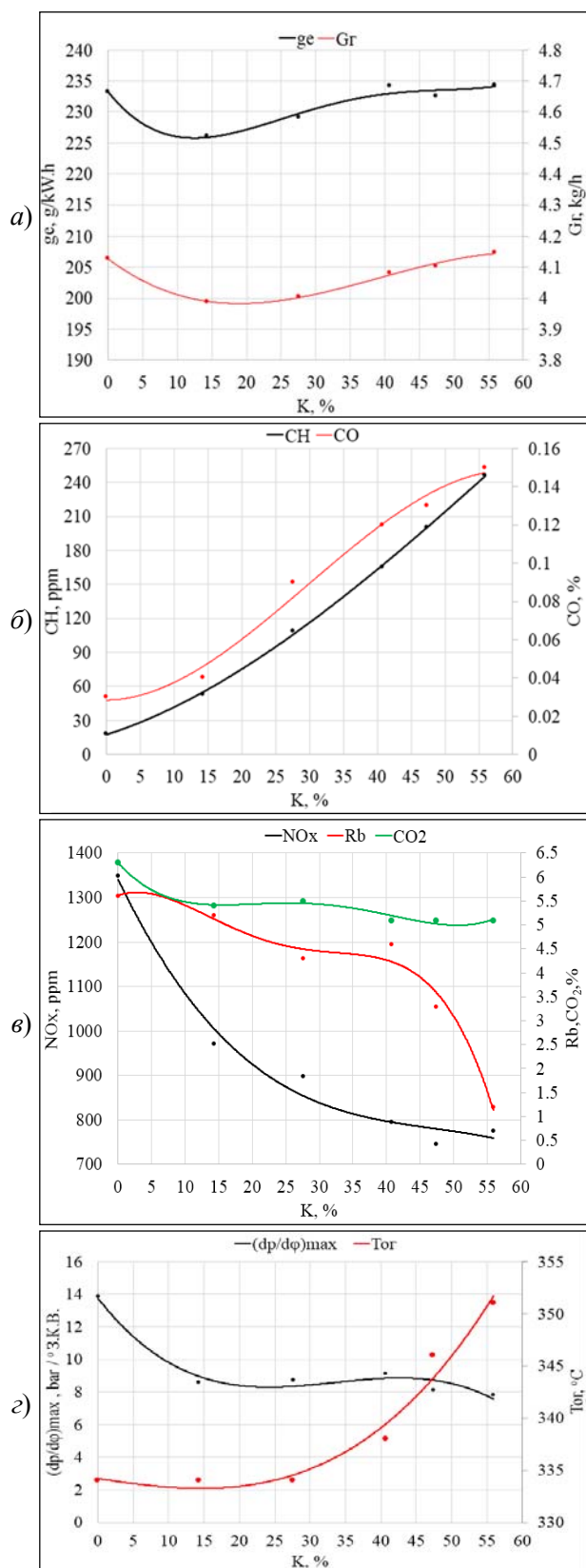
Количеството газово гориво, подавано към двигателя се характеризира с коефициента K , който представлява отношението на подаденото към двигателя газово гориво към общото количество гориво:

$$K = (G_{g.z.} / (G_{g.z.} + G_{d.z.})) \cdot 100, \%,$$

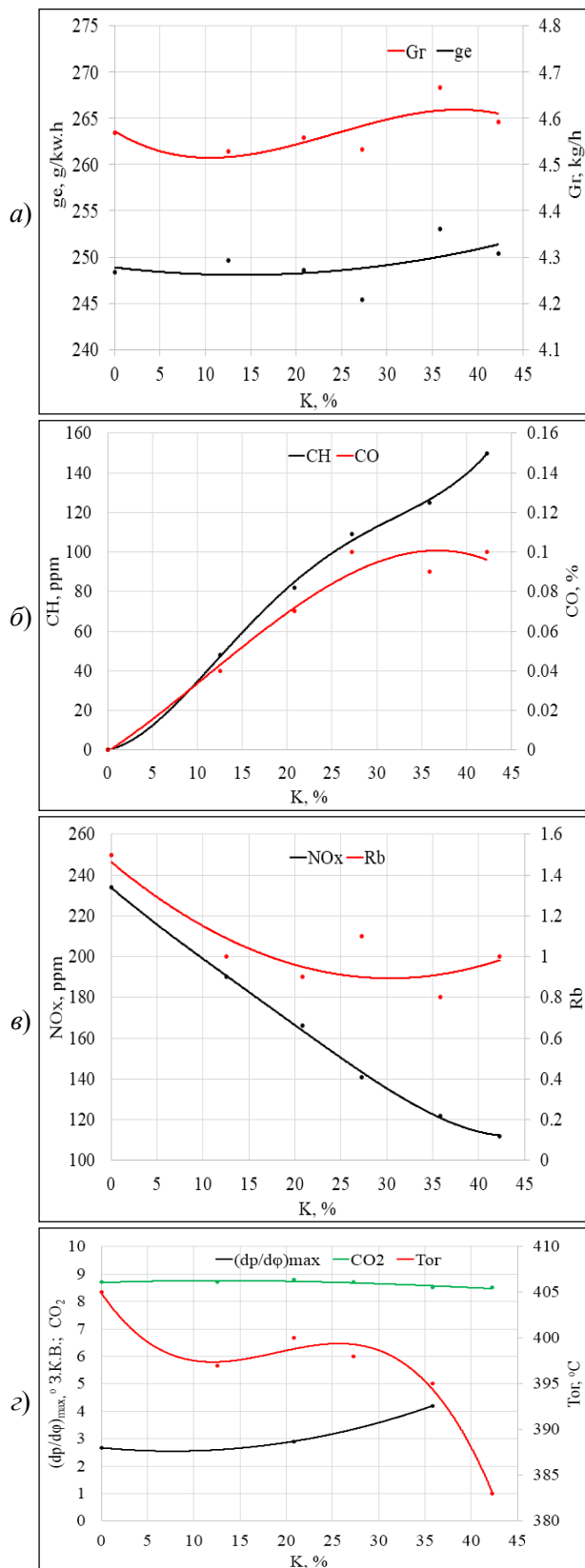
където $G_{g.z.}$ е часовият разход на газово гориво, а $G_{d.z.}$ – часовият разход на дизелово гориво.

На Фигура 3 са представени регулировъчни характеристики по съдържание на газово гориво (сгъстен природен газ – метан), получени при работа по газо-дизелов цикъл на двигател Д 3900. Експерименталните резултати са снети при честота на въртене $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ и средно ефективно налягане $p_e = 0,39 \text{ MPa}$.

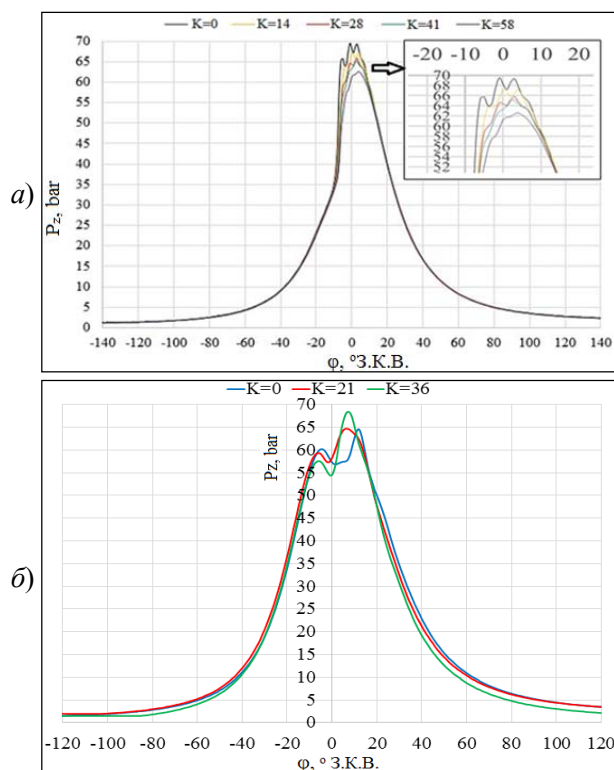
На Фигури 4 и 5 са представени регулировъчни характеристики по съдържание на газово гориво от общото количество гориво на двигател Volkswagen 1.9D при работата с втечен петролен газ – смес от пропан и бутан за организиране на газо-дизелов работен цикъл. Експерименталните резултати са снети при честота на въртене $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ и средно ефективно налягане $p_e = 0,39 \text{ MPa}$. На база снемането на серия от регулировъчни характеристики е построена товарна характеристика на двигателя Volkswagen 1.9D при различни стойности на коефициента K – Фигура 6.



Фигура 3. Влияние на процентното съдържание на газово гориво (природен газ) върху икономичните и токсичните показатели на двигател *D 3900* при работата му по газо-дизелов цикъл с честота на въртене $n = 1400 \text{ min}^{-1}$ и средно ефективно налягане $p_e = 0,39 \text{ MPa}$:
 а) $(g_e, G_2) = f(K)$; б) $(CH, CO) = f(K)$;
 в) $(NO_x, Rb, CO_2) = f(K)$; г) $((dp/d\phi)_{\max}, T_{or}) = f(K)$.



Фигура 4. Влияние на процентното съдържание на газово гориво (пропан-бутан) върху икономичните и токсичните показатели на двигател *Volkswagen 1.9D*, при работата му по газо-дизелов цикъл с честота на въртене $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ и средно ефективно налягане $p_e = 0,58 \text{ MPa}$:
 а) $(g_e, G_2) = f(K)$; б) $(CH, CO) = f(K)$;
 в) $(NO_x, Rb) = f(K)$; г) $((dp/d\phi)_{\max}, CO_2, T_{or}) = f(K)$.



Фигура 5. Влияние на процентното съдържание на газово гориво върху някои параметри на горивния процес при работа по газо-дизелов цикъл

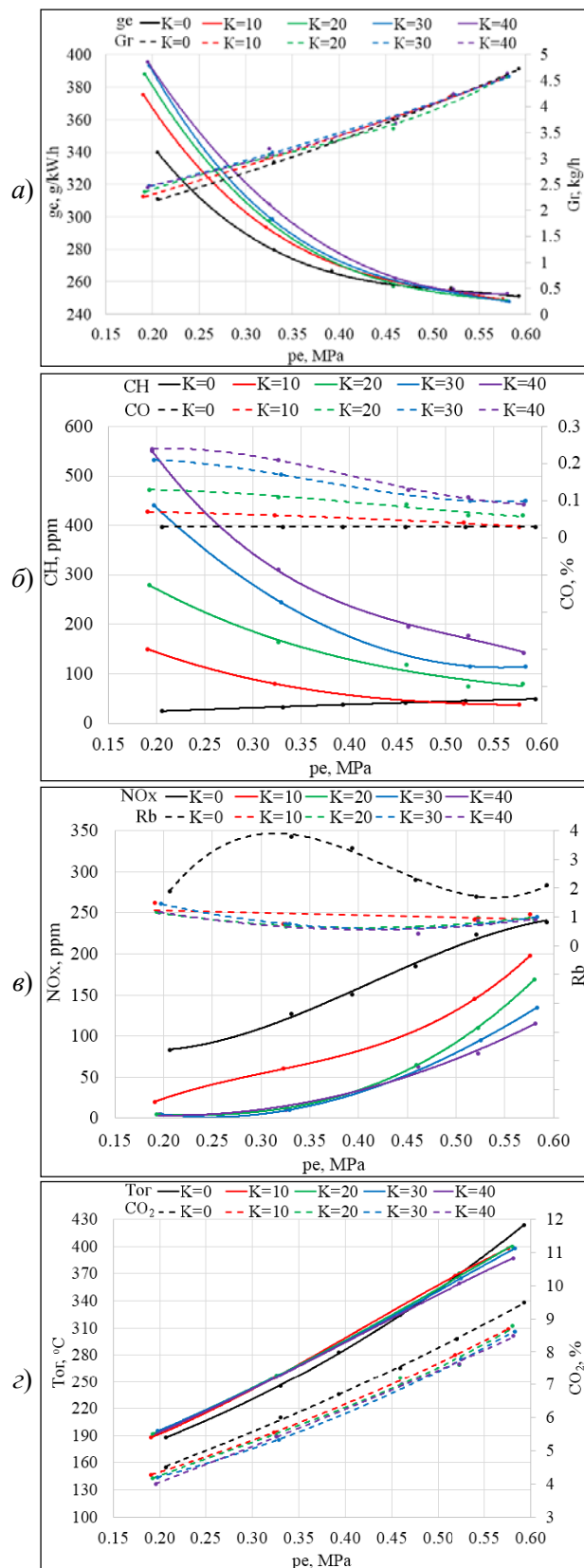
- а) $P_z = f(K)$ за двигател Д 3900; гориво природен газ;
 $n = 1400 \text{ min}^{-1}$; $p_e = 0,39 \text{ MPa}$;
 б) $P_z = f(K)$ за двигател Volkswagen 1.9D; гориво пропан-бутан;
 $n = 2000 \text{ min}^{-1}$; $p_e = 0,58 \text{ MPa}$.

5. Изводи

При използване на сгъстен природен газ, като газово гориво за работа на двигател Д 3900 по газо-дизелов цикъл и $n = 1400 \text{ min}^{-1}$, и $p_e = 0,39 \text{ MPa}$ е установено, че:

- до $K = 30\%$ g_e и G_T намаляват, а след $K=30\%$ стойностите им не се отклоняват съществено от тези при работа на двигателя с конвенционално дизелово гориво;
- с увеличаване на K концентрацията на CH и CO в отработилите газове нараства, а димността и съдържанието на NO_x и CO_2 в отработилите газове намалява;
- при нарастване на K стойностите на $(dp/d\phi)_{max}$ и P_z намаляват;
- при $K > 30\%$ температурата на отработилите газове се повишава, спрямо тази при работа на двигателя с конвенционално дизелово гориво.

При използването на втечнен петролен газ – смес от пропан и бутан, като газово гориво за работа на двигател Volkswagen 1.9D по газо-дизелов цикъл е установено, че:



Фигура 6. Сравнение на икономичните – а и на токсичните – б, в, г показатели на двигател Volkswagen 1.9D в зависимост от натоварването при честота на въртене $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ и работа по гао-дизелов цикъл при различни стойности на коефициента K .

- с увеличаване на $K g_e$ и G_T нарастват, при ниски натоварвания. При натоварване по – големи от $p_e > 0,45$ МПа икономичните показатели на двигателя при работата му по газо-дизелов цикъл са приблизително същите както при работата му само с дизелово гориво;
- с нарастване на K се покачва концентрацията на CH и CO в отработилите газове, а димността и съдържанието на NO_x , CO_2 в отработилите газове намалява, независимо от натоварването;
- $(dp/d\phi)_{max} P_z$ нарастват с увеличаване на количеството газово гориво, подавано към двигателя;
- при натоварване под $p_e < 0,50$ МПа температурата на отработилите газове е по – висока, а при по – големи натоварвания се наблюдава обратният ефект.

6. Литература

- [1] Богданов, К. Изследване на горивния процес на високочестотен автомобилен дизелов двигател (с добавка газови горива). Дисертационен труд, 2007.
- [2] Attia, M. S.; Adbel-Rehim Ah. A.; et. al. An experimental investigation on performance and emissions of a single cylinder dual fuel Diesel-CNG engine combined with EGR. International Journal of Automotive Engineering and Technologies, Vol. 3, Issue 3, 2014, pp. 91-102.
- [3] Charkaborty, A.; Sumit, R.; Banekree, A. An experimental based ANN approach in mapping performance emission characteristics of diesel engine operating in dual-fuel mode with LPG; Journal of Natural Gas Science and Engineering 28, 2016, pp.15-30.
- [4] Egusquiza, J.C.; Braga, S.L.; Braga, S.V.M. Performance and gaseous emissions characteristics of a natural gas/diesel dual fuel turbocharged and after-cooled engine, ABCM, Vol. XXXI, No 2, April-June 2009, pp. 142-150.
- [5] Ehsan, Md.; Bhuiyan, Sh. Dual fuel performance of a small diesel engine for applications with less frequent load variation. International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering, Vol. 09, 2009, pp. 19 - 28.
- [6] Kumaraswamy, A.; Prasad B.D. Performance analysis of a dual-fuel engine using LPG and diesel with EGR system, Procedia engineering 38, 2012, pp. 2784-2792.
- [7] Lata, B.D.; Misra, A. Experimental investigation on the performance of a dual fuel diesel engine with hydrogen and LPG as secondary fuel. International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems Lecture Notes in Information Technology, Vol. 9, pp. 538-543;
- [8] Nwafor, O. Effect of advanced injection timing on the performance of natural gas in diesel engine, Sadhana, Vol. 25, Part 1, February 2000, pp. 11-20.
- [9] Polk, A. C.; Carpenter, Ch. D.; Srinivasan, K. K.; Krishan, S. R. An investigation of diesel-ignited propane dual fuel combustion in a heavy-duty diesel engine. Fuel 132, 2014, pp. 135-148.
- [10] Saleh, H.E. Effect of variation in LPG composition on emissions and performance in a dual fuel diesel engine, Elsevier, Fuel 87, 2008, pp. 3031-3039.
- [11] Rao, G. A. et al. Effect of LPG content on the performance and emissions of a Diesel-LPG dual-fuel engine. Bangladesh journal of scientific and industrial research, Vol. 46 (2), 2011, pp. 195-200.

AN EXPERIMENTAL RESULTS OF COMPRESSION IGNITION ENGINES OPERATING IN DUAL-FUEL MODE

ATANASI TASHEV¹, EVGENI DIMITROV²

Department of internal combustion engines,
automobiles and transport,
Technical University of Sofia

¹⁾atanasi.tashev@tu-sofia.bg; ²⁾etzd@tu-sofia.bg

Abstract: This paper presents an experimental results, obtained from the operation of two internal combustion engines – *Perkins D3900* and *Volkswagen 1.9* working on gas-diesel duty cycle. The gas fuel used in *Perkins D3900* is compressed natural gas (CNG) - methane while the gas fuel used in *Volkswagen 1.9D* engine is liquefied petroleum gas (LPG) – a mixture of propane and butane. From the conducted experiments has been established that dual-fuel mode lead to increasing of the fuel consumption at low loads but with increasing the load there is no significant different between fuel consumption when engine work on dual-fuel mode or operate with diesel fuel. There is increasing the concentration of carbon monoxide – CO , hydrocarbons – CH , reducing the concentration of nitrogen oxides – NO_x and soot emissions in exhaust gas of the engine in dual-fuel mode.

Keywords: diesel engine, dual-fuels, gas fuels.