

FRI-2.209-2-TMS-08

PERFORMANCE STUDY OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH GASOLINE AND METHANE INJECTION¹⁰

Assoc. Prof. Simeon Iliev, PhD

Department of Engines and Vehicles,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: +35982888331
E-mail: spi@uni-ruse.bg

M. Eng. Ivaylo Nikolaev Borisov, PhD student,

Department of Engines and Vehicles,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359 888 469866
E-mail: iborisov@uni-ruse.bg

Abstract: *This study focuses on combustion modeling of GDI engine combustion by means of single zone model. Additionally to the main fuel, methane was injected in intake port. The numerical analysis was conducted by means of an engine model developed in advanced simulation software AVL Boost. The combustion process was evaluated by means of pressure rise, IMEP, and specific fuel consumption.*

Keywords: *CNG, Combustion, GDI, Modeling*

ВЪВЕДЕНИЕ

Природният газ се счита за едно от най-атраktivните алтернативи горива за превозни средства, поради характеристиките си на чисто изгаряне. Бързият растеж на урбанизация и индустриализация умножи търсенето на транспортни горива в световен мащаб. Превозните средства в населените места, особено в столичните градове, са нараснали експоненциално. Неблагоприятния ефект от автомобилните емисии върху околната среда и човешкото здраве са наложили регулаторните органи да въвеждат все по-строги законодателства относно емисиите. Това налага използването на по-чисти алтернативни горива като природния газ в транспортния сектор (Маринов Е., А. Трендафилов, 2006) (Илев А., Маринов Е., ect. 2014). Сред различните алтернативни горива природният газ е считан за едно от най-атраktivните горива за автомобилния сектор поради следните предимства, а именно огромни резерви, наличност на по-ниска цена и по-чисто изгаряне, най-ниско съотношение С/Н сред изкопаемите горива и съвместимостта му с конвенционални бензинови и дизелови двигатели (Илев С. 2020) (Илев С. 2018).

Предимствата на съгъстения природен газ (CNG) като гориво вече са доказани с многобройни проучвания: той представлява много интересна алтернатива на суровия нефт във връзка с емисиите на CO₂ (Dimitrov R., Ianasi C., Bogdanov K. 2017) (Kostadinov D., Dimitrov R., Georgieva V. 2016) (Dimitrov R., Bogdanov K., Wrobel R., Serrano L., Mihaylov V., 2019).

Целта на настоящото изследване е да се разработи едномерен модел на четирицилиндров, четиритактов бензинов двигател със система за директно впръскване на бензин и принудително запалване. През последните години моделирането намира широко приложение при проектирането и изследването на двигателите с вътрешно горене (Mihailov M. ect. 1997) (Stancheva N. ect. 1997). Едномерният модел позволява едновременно впръскване на бензин и природен газ. С помощта на така разработения модел се изследва

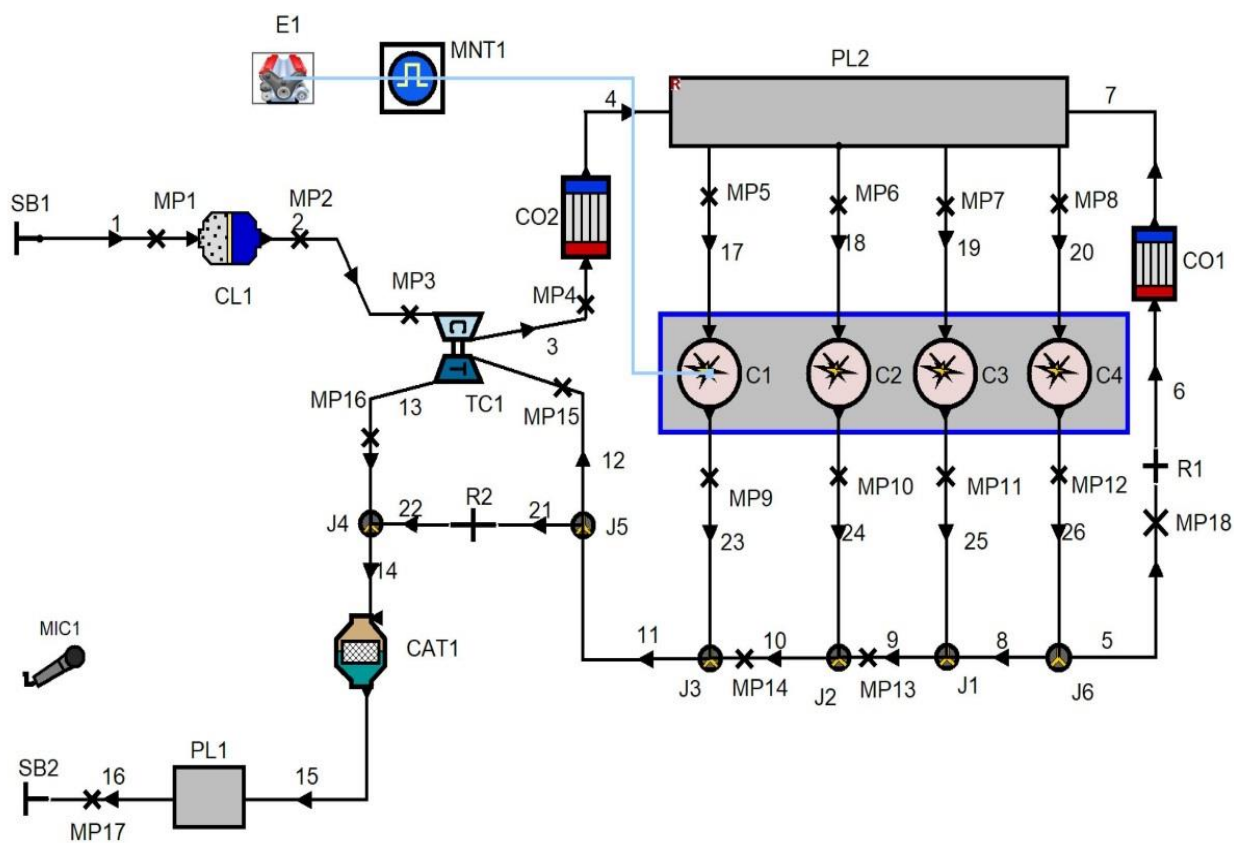
¹⁰ Докладът е представен на пленарната сесия на 12 ноември 2020 г. с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ДВИГАТЕЛ С ВЪТРЕШНО ГОРЕНЕ С ВПРЪСКВАНЕ НА БЕНЗИН И МЕТАН

ефекта от използването на двете горива върху характеристиките на двигателя, специфични разход на гориво и емисии. Търговският софтуер AVL BOOST е използван за изследване на характеристиките на двигателя при работа с различни смеси от природен газ и бензин.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Моделиране на бензинов двигател с принудително пълнене и директно впръскване за работа с бензин и природен газ.

Моделът на двигателя е разработен с помощта на програма AVL BOOST. Софтуерът позволява да се изследва ефективността на двигателя при работа с бензин и природен газ, като природния газ се впръсква в пълнителят колектор. Могат да се моделират като двигатели със принудително възпламеняване така и със самовъзпламеняване. Също така могат да се изследват екологичните показатели на двигателите при различни режими на работа.



Фиг. 1. Модел на бензинов двигател с принудително възпламеняване разработен с програмата AVL BOOST

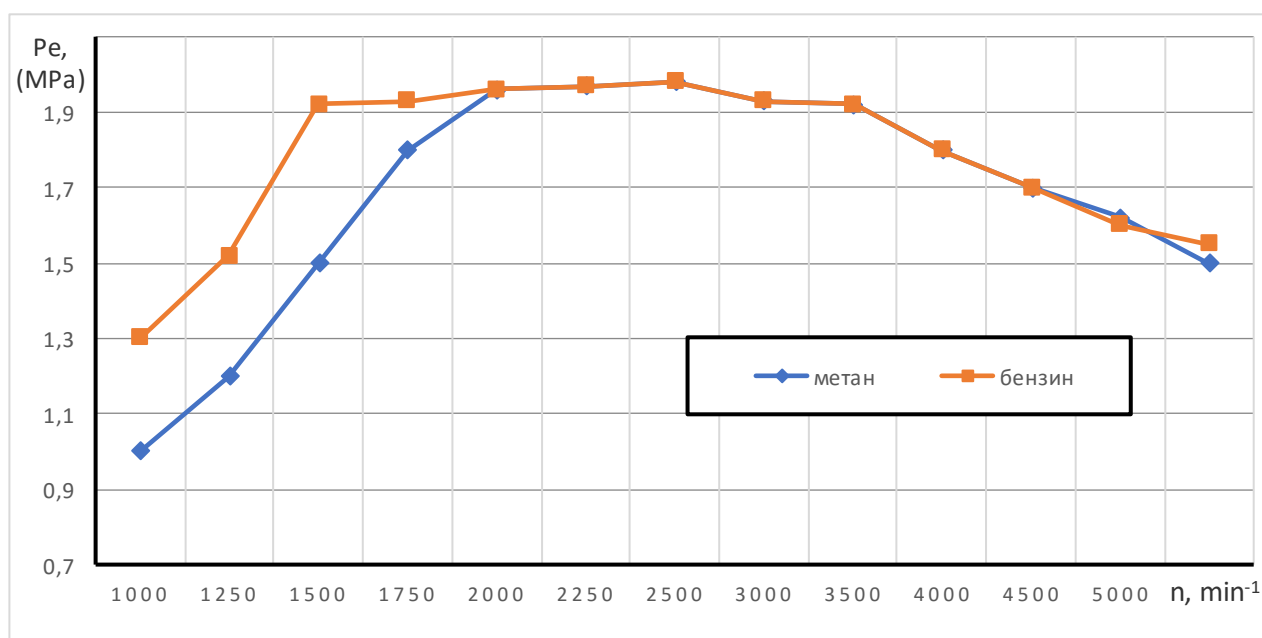
След формиране на заданието на двигател с приложените системи, математически уравнения и алгоритми и с помощта на графичния потребителски интерфейс (GUI) може да се анализират и изчисляват различни процеси. Моделът на двигателя проектиран в приложението AVL Boost е показан на Фиг. 1. Характеристиките на двигателя са дадени в Таблица 1.

Таблица 1. Характеристики на двигателя

Обем на двигателя / брой цилиндри	1598 cm ³ / 4
Диаметър на буталото/ ход на буталото	77 mm / 85.8 mm
Степен на сгъстяване	10.5 :1
Момент на отваряне на всмукателния клапан	35° След ГМТ
Момент на затваряне на всмукателния клапан	45° След ДМТ
Момент на отваряне на изпускателния клапан	22.5° Преди ДМТ
Момент на затваряне на изпускателния клапан	7.5° Преди ГМТ
Бензинова горивна система	Директно впръскване
Газова горивна система	Впръскване в колектора
Налягане на бензиновата система	12 МПа
Налягане на впръскване на газ	0.9 МПа
Система за принудително пълнене	Twin-Scroll Турбо компресор
Силови характеристики	
- Мощност	- 110kW при 5500 min ⁻¹
- Въртящ момент	- 240Nm от 1400 до 3500 min ⁻¹

Таблица 2. Специфични свойства на горивата

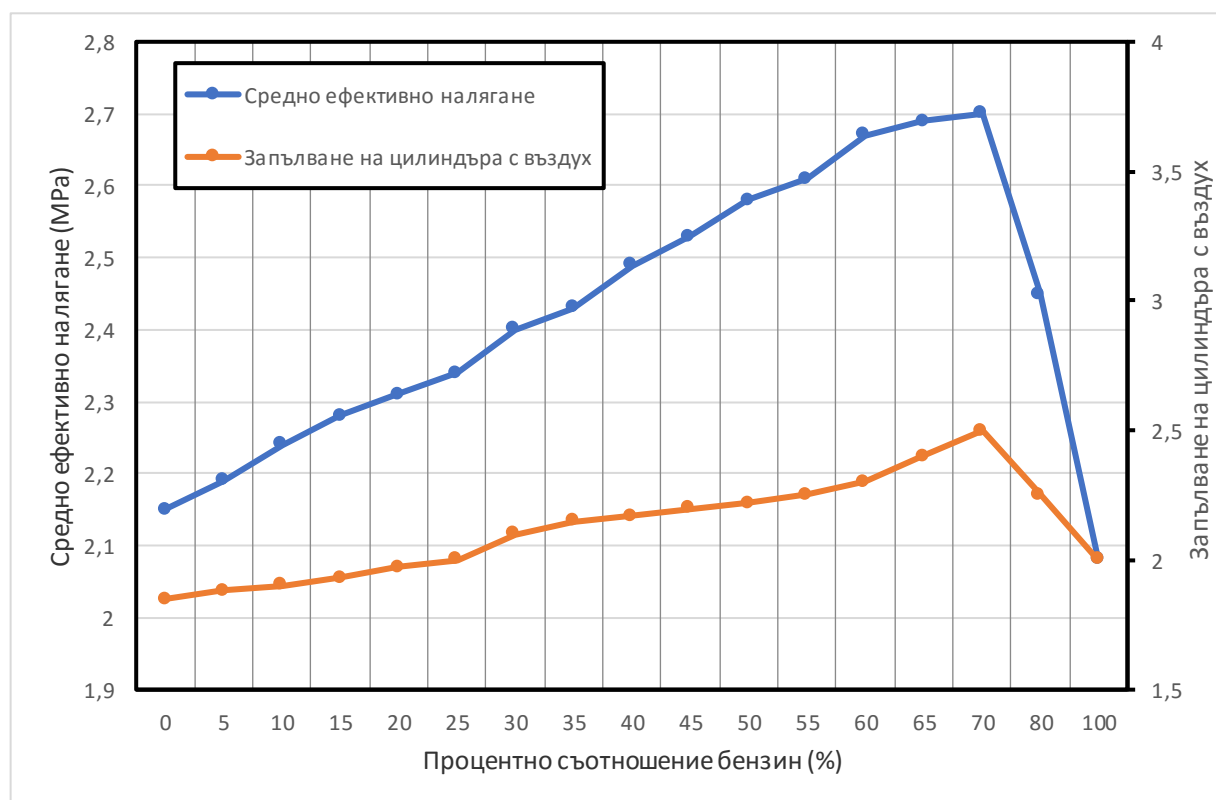
	Мерна единица	Бензин	Метан
Въглерод (С)	% (m/m)	42330	50006
Водород (Н)	% (m/m)	84.7	74.9
Кислород (O ₂)	% (m/m)	1.8	0
Съотношение Въглерод/водород		1.90	4
Плътност при 15°С	kg/m ³ (gas)	0.744	0.716
Октаново число		96.9	130



Фиг 2. Изменение на средното ефективно налягане P_e при използването на бензин и CH_4 .

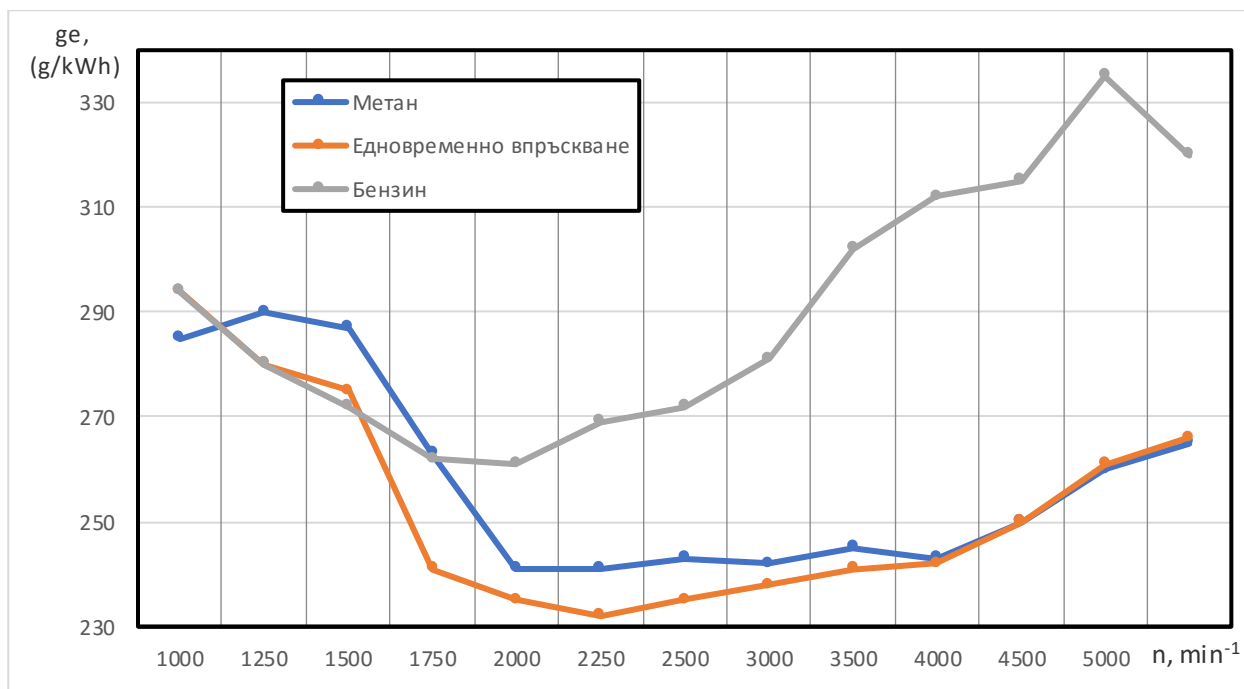
От Фиг. 2 се вижда, че при работа на двигателя с метан е невъзможно да се достигне номиналното средно ефективно налягане получено при бензина преди 2000 min^{-1} . Това се дължи на ниската енергийна плътност на метана, което води до намаляване на коефициента на пълнене при ниски честоти на въртене, съчетано с недобрата ефективност на турбокомпресора при тези условия.

На Фиг. 3. е показано изменението на средното ефективно налягане P_e при различни концентрации на бензин и CH_4 . Изследването е проведено при 2000 min^{-1} , пълно натоварване и ъгъл на отваряне на всмукателните клапани 20° преди ГМТ. Средното ефективно налягане получено при работа на двигателя само с метан е $2,15 \text{ MPa}$. Добавянето на бензин води до увеличаване на средното ефективно налягане (Фиг. 3). Това се дължи на по-доброто запълване на цилиндъра с въздух. Всъщност, тъй като течното гориво, впръснато директно в горивната камера, замества впръскваното газообразно гориво, в цилиндърите се вкарва повече въздух. Максималното средно ефективно налягане е достигнато при 70% бензин.



Фиг. 3. Изменение на средното ефективно налягане P_e при различни концентрации на бензин и CH_4

На Фиг. 4. е показано изменение на специфичния разход на гориво (g_e) при работа на двигателя с метан, бензин и едновременно впръскване на метан и бензин. От 1750 min^{-1} до 4000 min^{-1} се появява детонация и нейното намаляване се постига чрез добавяне на метан. Режим на едновременно впръскване позволява специфичния разход на гориво да бъде намален с около 3% в сравнение с използването на чист метан в този диапазон на често тата на въртене на колянвия вал на двигателя. Най-ниският специфичен разход на гориво 233 g/kWh е получен при 2250 min^{-1} . При едновременно впръскване на двете горива, метана като заместител на горивото се използва за увеличаване на октановото число.



Фиг. 4. Изменение на специфичния разход на гориво (ge) при работа на двигателя с метан, бензин и едновременно впръскване

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подходът с едновременното впръскване на бензин и метан съчетава предимствата на всяко от горивата, като осигурява както висока ефективност, така и силна устойчивост на детонации. Това позволява стехиометрична работа при пълно натоварване и води до значително увеличаване на средното ефективно налягане в сравнение с режимите с едно гориво.

ACKNOWLEDGMENT

The document was financially supported by Project No 2020-RU-03's financial assistance.

REFERENCES

Marinov, E., Trendafilov A., Methods for improving the combustion process of bio fuels in diesel engines. (**Оригинално заглавие:** Маринов Е., Трендафилов А., 2006. *Възможности за подобряване условията на изгаряне на биогорива в дизелови двигатели*. МОТАЕЛО, Варна, стр. 17-18).

Пиев А., Маринов Е., ect. (2014) *Study of the power and economic indicators of a diesel engine when working with biodiesel fuel and exhaust gas recirculation*. International Conference Eco Varna (**Оригинално заглавие:** Илиев А., Маринов Е., Казаков П., 2006. *Изследване на мощностните и икономически показатели на дизелов двигател при работа с био дизелово гориво и рецикулация на отработилите газове*. XX научно-техническа конференция с международно участие ЕкоВарна 2014, Варна, стр. 238-243).

Пиев S. (2020). *Investigation of the Gasoline Engine Performance and Emissions Working on Methanol-Gasoline Blends Using Engine Simulation, Numerical and Experimental Studies on Combustion Engines and Vehicles*, Paweł Woś and Mirosław Jakubowski, IntechOpen.

Пиев S. (2018). *Comparison of Ethanol and Methanol Blending with Gasoline Using Engine Simulation, Biofuels - Challenges and opportunities*, Mansour Al Qubeissi, IntechOpen.

Dimitrov R., Ianasi C., Bogdanov K. (2017) *Research of cycle by cycle variation of si engines working with methane as a fuel*, Annals of the “Constantin Brancusi” University of Targu-Jiu; Engineering series, 62-65, 2017, Romania.

Kostadinov D., Dimitrov R., Georgieva V. (2016) *Investigation power performance of vehicles working with gasoline and LPG*, XXIII Nauchno-tehnicheska konferenciya s mejdunarodno uchastie ECO-VARNA, 324-329, 2016, Bulgaria.

Dimitrov R., Bogdanov K., Wrobel R., Serrano L., Mihaylov V., (2019) *Adjustment parameters of ICE working with methane*, *BulTrans-2019* – 11th International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies, Sozopol, Bulgaria.

Mihailov M. ect. (1997) Computer simulation of an agricultural tractor unit. International Conference Eco Varna (**Оригинално заглавие:** Михайлов М., Н. Станчева, Ц. Рашкова, И. Илиев, Д. Станчев. Компютърно симулиране на земеделски тракторен агрегат. В: Сборник доклади на Трета международна конференция “Транспорт, Екология, Устойчиво развитие” ЕКО Варна'97 том IV, Варна, стр. 70-74).

Stancheva N. ect. (1997) Theoretical model for estimation of operation of an agricultural tractor unit. Proceedings of MOTAUTO'97 (**Оригинално заглавие:** Станчева Н., Ц. Рашкова, И. Илиев, М. Михайлов. Теоретичен модел за оценка режима на работа на земеделски тракторен агрегат. В: Proceedings of MOTAUTO'97 Russe 15-17 October 1997 vol. II, Русе, ВТУ “Ангел Кънчев”, стр. 289-292).