

EMISSIONS IMPROVEMENT OF AN S.I. ENGINE FUELLED BY LPG AND GASOLINE ¹¹

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. Emil Mitev, PhD Student

Department of Engines and Vehicles
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359 89494 9777
E-mail: emitev@uni-ruse.bg

Abstract: *This study focuses on combustion modeling of GDI engine combustion by means of single zone mode I. 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 one-dimensional four-cylinder 1.6L turbocharged GDI engine is created. The results obtained show significant reductions of fuel consumption and HC emissions. The combustion process was evaluated by means of pressure rise, IMEP, and specific fuel consumption.*

Keywords: CNG, Combustion, GDI, Modelling

ВЪВЕДЕНИЕ

Негативния ефект следствие на емисиите отделяни от автомобилния транспорт върху околната среда и човека са наложили регулаторните органи да въвеждат все по-строги законодателства. Това налага използването алтернативни горива като природния газ (Маринов Е., А. Трендафилов, 2006) (Илиев А., Маринов Е., ect. 2014). Използването на съгъстен природен газ в съвременните двигатели със свръх пълнене предлага много предимства като висока устойчивост на детонации, ниски емисии на CO₂ и по-чисто изгаряне. От друга страна, в сравнение с бензиновите двигатели, когато съгъстения природен газ се впръсква в пленителния колектор, поради ниската енергийна плътност на метана, коефициент на пълнене е значително по-нисък. За да се отговори на този проблем много от изследователите работят върху системи с едновременно впръскване на газообразни и течни горива. Въпреки това, комбинацията от впръскване на съгъстен природен газ във всмукателния колектор и директно впръскване на бензин остава неизследвана. Първото ключово свойство на съгъстения природен газ, е неговият състав. Той е съставен от метан и неговото високо съотношение Н/С (е близо до 4 към 1.9 спрямо бензина). Това означава, че за същата енергия, вкарана в горивната камера, емисиите (теоретично) от CO₂ при съгъстения природен газ се намаляват с приблизително 23% в сравнение с бензина при стехиометрични условия. Второто предимство е неговата много висока устойчивост на детонации (RON на метанът е около 130 в сравнение с 95-98 за безоловния бензин). Това позволява по-висока степен на съгъстяване, максимален въртящ момент, по-малко предвारेие при стехиометрични условия при много по-широк честотен диапазон и натоварване, отколкото с бензин (Илиев С. 2020, Илиев С. 2018).

Предимствата на съгъстения природен газ (CNG) като гориво вече са доказани с многобройни проучвания (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).

¹¹ Докладът е представен на пленарната сесия на 12 ноември 2020 г. с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ ЕМИСИИТЕ НА ДВИГАТЕЛ С ПРИНУДИТЕЛНО ВЪЗПЛАМЕНЯВАНЕ И ВПРЪСВАНЕ НА БЕНЗИНИ И МЕТАН

Двигателите работещи с две горива, които са вече на пазара са оборудвани с независими горивни системи за газ и течно гориво. Те могат да работят или с газ или с течно гориво, но не използват напълно потенциала на всяко гориво. За да разрешат този проблем, последните проучвания успешно представят предимствата на двигателите едновременно впръскване на газ и течно гориво. Тази нова стратегия за впръскване е представена в началото на 2000 г. и се състои във впръскване по време на единия такт на двигателя на газообразно гориво с високо октаново число като CNG и течно гориво, имащо висока енергийна плътност като бензина, за да се извлече най-доброто и от двете горива.

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. Едномерният модел позволява едновременно впръскване на бензин и природен газ. С помощта на така разработения модел се изследва 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

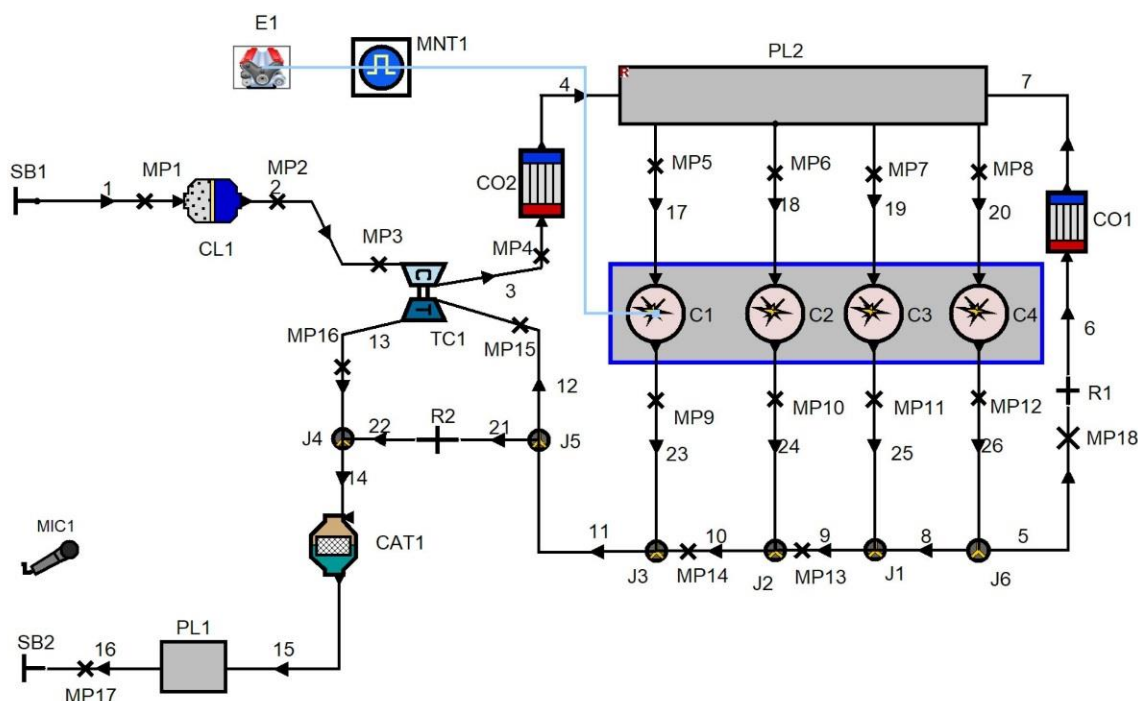
Моделиране на бензинов двигател с принудително пълнене и директно впръскване за работа с бензин и природен газ.

През последните години моделирането намира широко приложение при проектирането и изследването на двигателите с вътрешно горене (Mihailov M. ect. 1997) (Stancheva N. ect. 1997). 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. 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 за двигателя проектиран в приложението AVL Boost е показан на Фиг. 1.

Характеристики те 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 MPa
Налягане на впръскване на газ	0.9 MPa
Система за принудително пълнене	Twin-Scroll Турбо компресор
Силови характеристики	- 110kW при 5500 min ⁻¹
- Мощност	- 240Nm от 1400 до 3500 min ⁻¹
- Въртящ момент	



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

В таблица 2 са дадени някои от специфичните свойства на горивата .

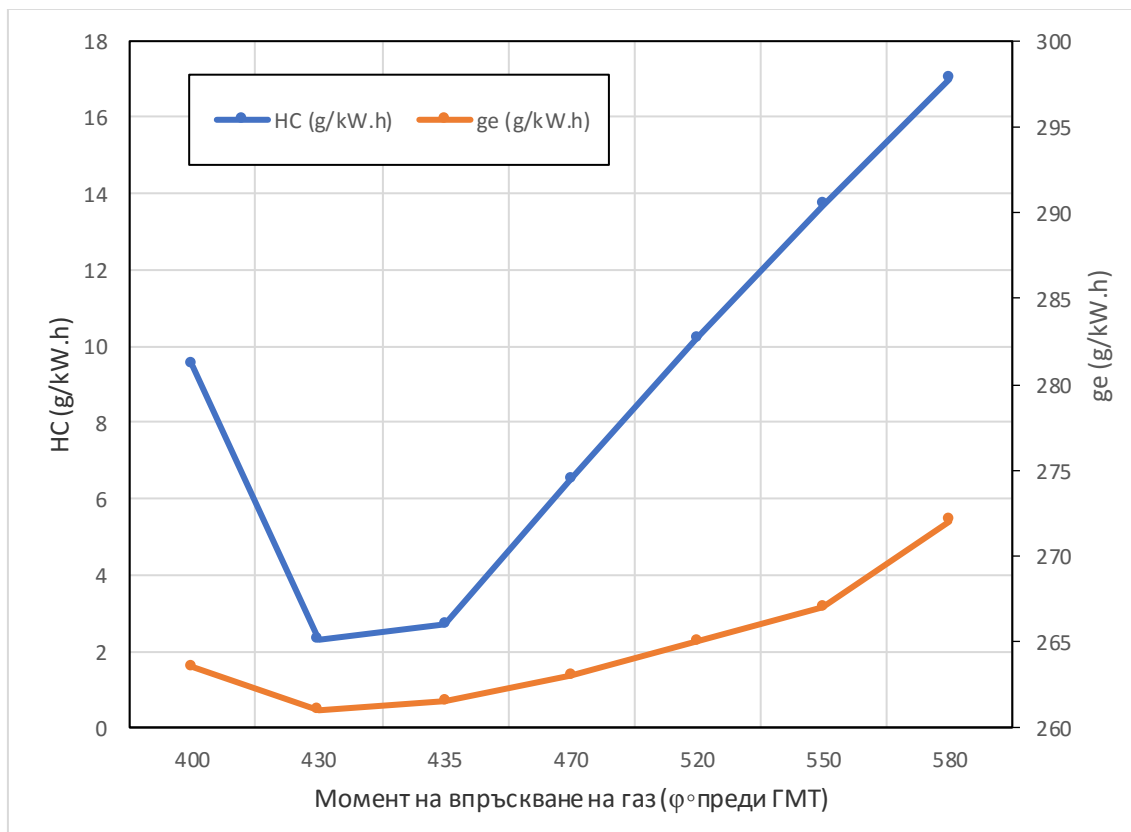
Таблица 2. Специфични свойства на горивата

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

На Фиг. 2. е показано изменението на момента на впръскване на газ при честота на въртене 2000 min⁻¹, момент на отваряне на всмукателния клапан 20° преди GMT, съотношението на бензин е 35%, и λ=1. Резултатите са получени при работа на двигателя само с бензин и само с метан.

От Фиг. 2. Се вижда, че времето за впръскване на газта има голямо влияние върху образуването на HC. След 430° преди GMT, емисиите на HC се увеличават драстично. В тази конкретна работна точка продължителността на впръскване на газ съвпада с продължителността на отваряне на всмукателните клапани. Това дава възможност по-голяма част от газа да влезе в горивната камера по време на такта всмукване. Ако началото на впръскване на газа е с по-голямо предварение, първата порция от газа ще попадне в цилиндъра, докато изпускателните клапани са все още отворени и той ще бъде подведен директно към изпускателния колектор поради положителната разлика в налягането между изпускателния и всмукателния колектор. Това води до увеличение на емисиите на HC. Ако началото на впръскване на газа е с по-малко предварение, всмукателните клапани ще се затворят преди последната порция от газа да влезе в цилиндъра. Тази част ще се съхранява пред всмукателните клапани, докато се отворят отново при следващия цикъл и тя ще се

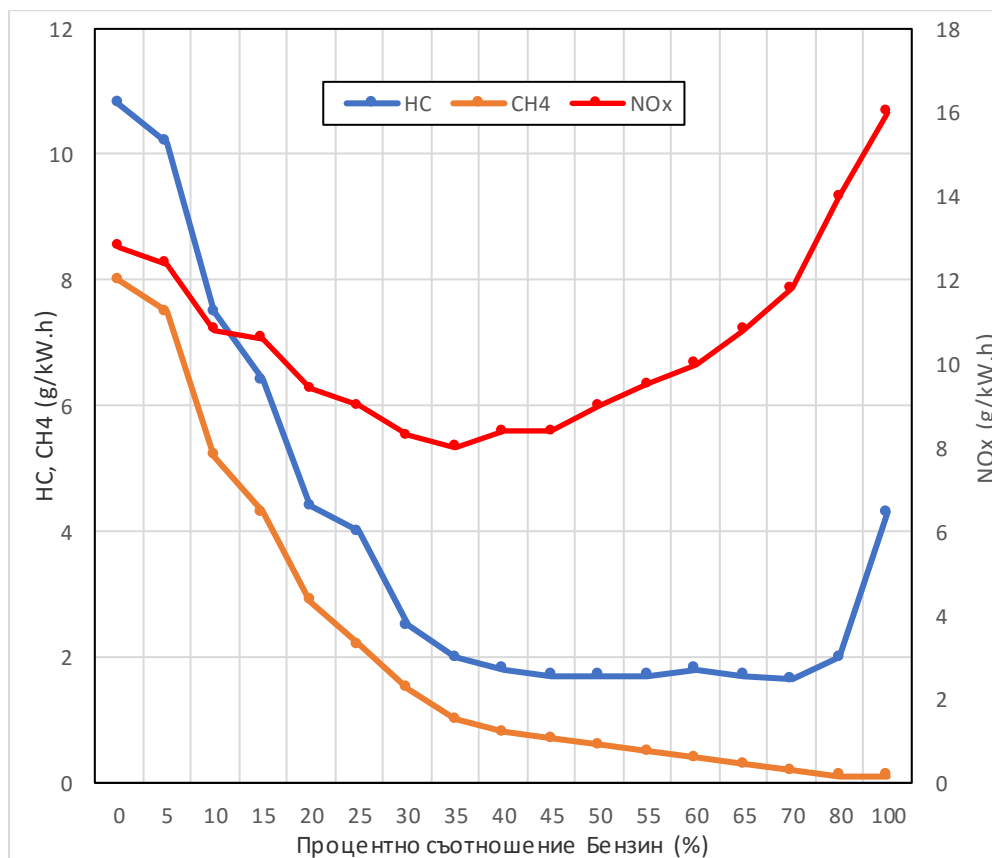
смесени с отработените газове, което също ще доведе до увеличаване на емисиите на въглеродороди. Това обяснява формата на кривата на Фиг. 2 и защо оптималният момент за начало на впръскването е толкова малък. Ако същата работна точка беше получена само с метан, продължителността на впръскването на газ би била по-голяма от продължителността на отваряне на всмукателните клапани и нивата на въглеродороди биха били много по-високи.



Фиг. 2. Изменение на HC и ge в зависимост от момента на впръскване газ

На Фиг. 3. е показано изменението на NO_x, CH, CH₄ в зависимост от процентното съдържание на бензин при 2000 min⁻¹, момент на отваряне на всмукателния клапан 20° преди GMT и λ=1.

От Фиг. 3 се вижда, че при работа на двигателя с двете горива емисиите намаляват. С увеличаване на масовия дял на впръснатия бензин NO_x намалява, като достига минимална стойност при 35% бензин и след това се наблюдава покачване. Вероятната причина за това е повишаването на максималната температура на горене. Емисиите на HC и CH₄ са много високи при работа двигателя само с метан поради преминаването на горивото през горивната камера. С добавянето на бензин продължителността на впръскването на газ се намалява, като по този начин се намалява преминаването на горивото през горивната камера. Наблюдава се, че HC емисиите са най-ниски от 40 до 70% съдържание на бензин в горивната смес. Емисиите на HC са два пъти по-високи при работа на двигателя само с бензин, отколкото в режим на едновременно впръскване. Също така емисиите на CH₄ бързо намаляват с добавянето на бензин и достигат много ниски стойности при 40% съдържание на бензин в горивната смес.



Фиг. 3. Изменение на NOx, HC, CH₄ и ge в зависимост от процентното съдържание на бензин

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подходът с едновременното впръскване на бензин и мета съчетава предимствата на всяко от горивата, като осигурява намаляване на емисиите на NOx, HC и CH₄ при подходящо съчетание на двете горива. С увеличаване на масовия дял на впръснатия бензин NOx намаляват, като достигат минимална стойност при 35%. HC емисиите са най-ниски при 40 до 70% съдържание на бензин в горивната смес.

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).

Илев А., Marinov E., 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 биодизелово гориво и рецикулация на отработилите газове.* XX научно-техническа конференция с международно участие ЕкоВарна 2014, Варна, стр. 238-243).

Илев 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.

Илев 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).