

## APPLICATION OF SOFTWARE PRODUCTS FOR MODELING SPARK IGNITION ENGINES<sup>11</sup>

---

**Dimitar Obretenov – PhD Student**

Department of Engines and Vehicles,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Tel.: +359 88 3533556  
E-mail: di.obretenov@abv.bg

**Assoc. Prof. Simeon Iliev, PhD**

Department of Engines and Vehicles,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Phone: 082-888 331  
E-mail: spi@uni-ruse.bg

**Abstract:** *In recent years, many automotive companies and research laboratories have invested more and more money in developing or purchasing software to develop their new engines. Over time, the simulation software gives better results that come close to real engines. This can limit some of the experimentation and in turn, reduce production costs. The paper reviews some of the existing software for modelling and simulation of gasoline spark-ignition engines.*

**Keywords:** *Engine simulation, Alternative Fuels, Ethanol, CFD, Methanol, Hydrogen.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Поради ограничените количества на изкопаемите горива и нарастването на тяхната себестойност, много изследователи се насочват към изследване на алтернативните горива (Marinov, M., & Iliev A. 2003), (Iliev, S. 2021). Използването на тези горива в конвенционалните двигатели е ограничено, поради разликите в характеристиките спрямо конвенционалните горива (Marinov, M., & Iliev A. 2002), (Iliev, S. 2020). Правени са много опити за подобряване на свойствата на различни алтернативи горива (Musa J., Eesaa E., & Ali M. 2020), (Iliev, S. 2020). Множество проучвания показват, че използването на алтернативните горива, като добавки към основното гориво, подобряват свойствата на горивото, спазвайки стандартните спецификации (Awad O. et al. 2018), (Mamat, R., Masjuki, H., & Abdullah, A. 2016). Изследвани са различните видове добавки при двигатели с принудително и със самовъзпламеняване (Iliev, S., Stanchev, H. & Mitev, E. 2021), (Ali, O. 2019). Изследването на тези добавки изисква скъпо оборудване (Yusri, I., Mamat, R., Azmi, W., Omar, A., Obed, M. & Shaiful, A. 2017). Освен това точността на експерименталните изследвания зависи от много фактори, като лабораторните условия, които могат да варират и от промените в условията на околната среда. Следователно, използването на софтуер за симулация може да осигури на изследователите сигурен и евтин начин за изследване на двигателя и събиране на данните.

Опитните изследвания са много по-скъпи в сравнение с теоретичните. Използването на софтуерните решения ни позволява да получим всички необходими данни, които дори в опитна установка не могат да бъдат измерени. Правени са множество изследвания с различен вид софтуер с цел оптимизиране характеристиките на двигателите с вътрешно горене.

---

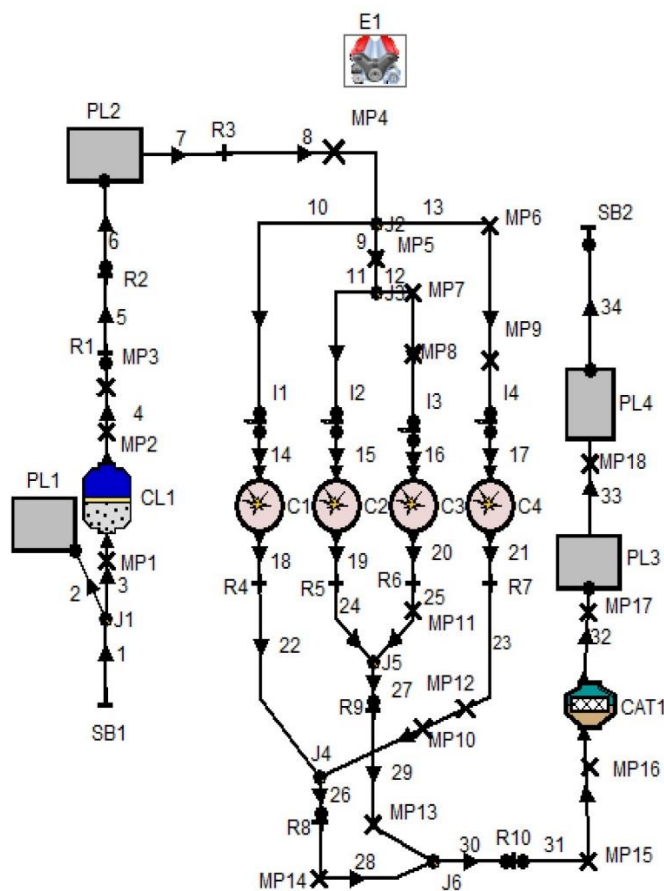
<sup>11</sup> Докладът е представен на сесия на 29 октомври 2021 г. с оригинално заглавие на български език: ПРИЛОЖЕНИЕ НА СОФТУЕРНИ ПРОДУКТИ ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА ДВИГАТЕЛИ С ИСКРОВО ЗАПАЛИВАНЕ

## ИЗЛОЖЕНИЕ

### Едномерни модели

В едно от направените изследвания (Ghazal O. & Borowski, G. 2018), е изследван ефекта от впръскването на вода в цилиндриите на двигател с принудително възпламеняване върху мощността и емисиите. Изграден е модел на четирицилиндров двигател с принудително възпламеняване в програмата GT-Power. Резултатите показват подобрена производителност на двигателя и намалени емисии, когато масовият дебит на водата се повиши спрямо бензина. Освен това, впръсканата вода понижава температурата в цилиндъра, охлаждайки частите на двигателя, предотвратява детонационното горене и увеличава експлоатационния период на двигателя.

В друго изследване (Шев, S. 2014) е разработен едномерен модел на четиритактов двигател с принудително възпламеняване, за да се изследва ефекта от използването различни горива върху работата на двигателя, емисиите и специфичният разход на гориво, при различни честоти на въртене. Разработения модел е изработен с помощта на програмния продукт AVL Boost Фиг.1 и се използва за определяне на мощностните характеристики и емисиите на различни комбинации етанол-бензин от 0% етанол (E0), 5% етанол (E5), 10% етанол (E10), 20% етанол (E20), 30% етанол (E30) и 50% етанол (E50). Изследването е проведено при условия на пълно натоварване, честоти на въртене от  $1000 \text{ min}^{-1}$  до  $6500 \text{ min}^{-1}$ . Заключениета са, че сместа от етанол-бензин понижава мощността и въртящ момент, и увеличава специфичният разход на гориво. Също така, с увеличаване на съдържанието на етанол, CO и HC намаляват, а NOx се увеличава.



Фиг. 1. Модел на четиритактов двигател с принудително възпламеняване

Други изследователи (Kakee, A., Sharifipour, S., Mashadi, B., Keshavarz, M. & Paykani, A. 2015) правят опити за подобряване на времето за отваряне и затваряне на пълнителните и

изпускателните клапани, както и момента за подаване на искрата, при двигател XU7/L3. Те проектират модела на двигателя с помощта на програмния продукт GT-Power и след това го подобряват с помощта на продукта MATLAB. Получените резултати показват, че при пълно натоварване се получава намаляване на разхода на гориво с 5,1% и увеличаване на въртящият момент със 6%. При оптимизацията на тези модели общият процент на грешки е по-малък от 2 % в сравнение с експерименталните резултати.

(Caton J. 2018) изследва процеса на горенето при двигател с принудително възпламеняване, използващ водород за гориво. Чрез симулиране с помощта на програмния продукт GT-Power, получава по-ясна представа за работата на двигателя с водород и потвърждава предишни изследвания за ефекта на водорода в двигателите с вътрешно горене. Резултатът от това изследване е, че водородният двигател има по-нисък въртящ момент, мощност, средно ефективно налягане и по-нисък специфичен разход на гориво от това на бензиновия двигател.

### **Модели базирани на изчислителната механика на флуидите CFD**

Друг изследовател (Sridhar, K., at all. 2013) е разработил едномерен модел на четиритактов двигател с принудително възпламеняване за прогнозиране на въздействието на различни горива върху работата на двигателя, специфичният разход на гориво и емисиите. Използвана е CFD (Computational Fluid Dynamics) симулация, за да оценят характеристиките на двигателя за различни смеси на етанол-бензин (E0, E5, E10, E20, E30, E50), метанол-бензин (M0, M5, M10, M20, M30 и M50 ). Той сравнява резултатите, получени от симулациите на двигателя чрез комбиниране на различно гориво, като основната част е бензин. Емисиите на CO и HC се намаляват, когато добавките в горивото се увеличават, но също така има значително увеличение на емисиите на NOx, когато добавките в горивото се увеличават с до 30 % E30 (M30). Увеличаването на съотношението на етанол и метанол довежда до значително увеличение на емисиите на NOx.

(Rakopoulos, C. at all. 2013) провежда теоретично и експериментално изследване на двигатели с водородно гориво, като се фокусира върху ефективността на горене, преноса на топлина и загубата на топлина към стените на цилиндъра, както съотношението въздух-гориво и степента на сгъстяване варират. В допълнение към експерименталното изследване, теоретичните констатации, получени от CFD симулацията, са използвани, за да се получи точна представа за процеса на пренос на топлина и ефективността на изгарянето на водород в различни случаи. На база проведените опити са достигнати следните изводи:

- При ниско гориво-въздушно отношение, температурата на газовете се поддържа постоянна и загубата на температура е много малка.
- Колкото по-голямо е натоварването и използването на подобни смеси, толкова по-висока е температурата в цилиндъра и на водорода в него, водейки до по-висока температура на горене и по-малко вредни емисии. Това се дължи на високата скорост на горене на водорода и последващата висока температура.

### **Модели базирани на използването на изкуствени невронни мрежи ANN (Artificial Neural Networks)**

(Najafi G. at all. 2009) изследва метода и теорията за оценка на производителността и емисиите на четиритактов двигател, работещ със смес от етанол и бензин (0%, 5%, 10%, 20%), използвайки системата ANN. Експерименталните изследвания показват, че използването на смес от етанол и бензин, подобрява въртящият момент и мощността. След добавяне на етанол CO<sub>2</sub> и NOx се увеличават. Използвана е смес от бензин и етанол, при различни честоти на въртене, посредством ANN, за да се предвиди връзката между мощността, въртящият момент, специфичният разход на гориво и топлинната ефективност. Заключениета са, че програмният модел ANN може да предвиди мощността на двигателя и емисиите с коефициент на корелация (R) в диапазона 0,97-1. Средните относителни грешки MRE са в границите от 0,46-5,57%, докато средната квадратична грешка RMSE е твърде ниска.

В друг доклад (Yücesu, H. at all. 2007) е проведено е сравнение на статистическия и експериментален анализ на двигател с принудително възпламеняване, използващ горивна смес от етанол-бензин. Анализът е съставен по два начина; Експериментален анализ за четиритактов двигател с принудително възпламеняване, в който се тестват безоловни бензинови смеси с етанол (E10, E20, E40, E60) в един цилиндър. Чрез регулиране на момента на запалване, съотношението на въздух-гориво и степента на сгъстяване при постоянна честота на въртене от  $2000 \text{ min}^{-1}$  с напълно отворена дроселова клапа. При математическото моделиране е използвана системата ANN за изчисляване на въртящия момент на двигателя и специфичният разход на гориво, спрямо момента на запалване, гориво-въздушното отношение и степента на сгъстяване при постоянна честота на въртене от  $2000 \text{ min}^{-1}$  и когато дроселовата клапа е широко отворена за различни плътности. Резултатите показват, че теоретични аналитични резултати са достоверни, позволявайки въртящия момент и специфичният разход на гориво да бъдат получени поне толкова точно, колкото е експерименталната грешка.

#### **Модели разработени във Visual Basic среда:**

(Al-Baghdadi, M. at all. 2006) е разработил и валидирал математически модел, с експериментални данни за да изследва четиритактов двигател с принудително възпламеняване, захранван с етанол или водород. За целта е използван софтуера Visual Basic. Резултатите от това изследване показват, че модела може да прогнозира с много малки грешки мощността и емисиите. Резултатите от модела и реалната опитна уредба са много близки. Основните изводи от този анализ са следните:

Водородът може да се използва без съществени промени като допълнително гориво в съвременните двигатели с принудително възпламеняване. Той може да помогне значително да се намали използването на суров нефт и да се намалят вредните емисии. Етанолът може да се използва в съвременните двигатели с принудително възпламеняване като добавка към бензина до 30%, без значителни промени. Той също така подобрява мощността и намалява емисиите на NOx при двигателите с водородно гориво.

Допълнителният водород подобрява горенето, особено в случай на последващо горене, намалява задържането на възпламеняването, увеличава скоростта на пламъка и намалява времето за горене. Смесването на етанол намалява CO, NOx и максималната температура.

(Ghazal, O. 2013) провежда теоретично изследване, за да провери ефекта на различните горива върху работата на бензиновите двигатели при различни честоти на въртене на колянвия вал. За да покаже ефекта на различните горива върху него, той измерва мощността, въртящият момент и специфичният разход на гориво. Разработен е модел за едноцилиндров бензинов двигател във Visual Basic среда. Резултатите показват, че мощността при използване на метанол е с 30% по-висока при  $1000 \text{ min}^{-1}$  и със 16% по-висока от метана при  $6000 \text{ min}^{-1}$ . Увеличението на специфичният разход на гориво е с около 100% при  $1000 \text{ min}^{-1}$  и 115% при  $6000 \text{ min}^{-1}$  за същите горива в сравнение с бензина. Повишаването на термичната ефективност на бензиновите двигатели е с около 11% в сравнение с тази на метана при  $1000 \text{ min}^{-1}$  и със 7% при метанола в сравнение с тази на метана при  $4000 \text{ min}^{-1}$ . Заключение е, че използването на метанол като гориво при висока честота на въртене на двигателя, се подобрява топлинната ефективност и мощността. При ниски и средни честоти на въртене на двигателя, бензина е с по-голяма мощност.

#### **Модели разработени с Lotus Engineering:**

(Ghazal, O. 2013) представя теоретичен анализ на ефекта от различни горивни системи и модели на топлопредаване върху работата на едноцилиндров четиритактов двигател с принудително възпламеняване. При различни честоти на въртене на двигателя. Симулираният процес на горене при метана с различни модели на пренос на топлина, комбинирани с различни горивни системи, осигурява по-задълбочено проучване на преноса на топлина при двигателите с вътрешно горене, както дава пряко отражение върху мощността на двигателя. За целта на изследването е използван софтуера на Lotus Technologies за симулация. Използвани са модели за пренос на топлина на Annand и Woschni

при двигателите с принудително възпламеняване. Резултатите показват, при използване на модела Woschni, при всички честоти на въртене на двигателя, метанът има по-висока мощност, висока топлинна ефективност и намален специфичен разход на гориво.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящото изследване сравнява различни програмни продукти, които намират приложение при моделиране на двигателите с принудително възпламеняване и оценка на техните мощностни и икономическите показатели. Според изследователите има общи показатели, които влияят на работата на двигателя, като степента на сгъстяване, видовете гориво, времето на възпламеняване и съотношението на въздух-гориво при използването на модела на Woschni за пренос на топлината. Използването на софтуерни продукти при моделиране на двигателите с вътрешно горене позволяват да се изследват характеристиките на двигателите с достатъчна голяма точност. Това води до повишаване надеждността на софтуера за моделиране, който може да намали експерименталните изследвания и от своя страна да намали разходите за проектиране и изследване на нови двигатели.

Работата по доклада е осъществена с подкрепата на проект ФНИ 2020-РУ-03 “Изследване възможностите за оптимизиране разхода на енергия на електромобил от клас прототипи за състезанието Shell Eco-marathon”

### REFERENCES

- Marinov, M., & Iliev A. (2003). *Theoretical and experimental model of diesel engine piston with coating*. ESFA 2003, Fuel economy, safety and reliability of motor vehicles, Bucharest.
- Marinov, M., & Iliev A. (2002). *Laboratory system for valve timings changing*. AMMA 2002, Autovehicul, Mediul și mașina agricolă.
- Iliev, S. (2021). *A Comparison of Ethanol, Methanol, and Butanol Blending with Gasoline and Its Effect on Engine Performance and Emissions Using Engine Simulation*. Processes, 9, 1322.
- Iliev 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.
- Musa J., Eesaa E., & Ali M. (2020). *Enhancement of SI engines performance operating with gasoline fuel using high octane additives from waste materials*, in AIP Conference Proceedings, vol. 2213, no. 1, p. 20032.
- Iliev S. (2020). *A Study of the influence of HHO Gas on the Performance and Emissions of a Diesel Engine*, 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), pp. 1-4.
- Awad O. et al.(2018) *Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review*, Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 82, pp. 2586–2605.
- Mamat, R., Masjuki, H., & Abdullah, A. (2016) *Analysis of blended fuel properties and cycle-to-cycle variation in a diesel engine with a diethyl ether additive*, Energy Convers. Manag., vol. 108, pp. 511–519,
- Iliev, S., Stanchev, H. & Mitev, E. (2021) *An experimental investigation of performance and emissions of a common-rail diesel engine fueled with ethanol additives*, AIP Conference Proceedings 2439, 020001
- Ali, O. (2019) *Evaluation of diesel engine performance with high blended diesel-biodiesel fuel from waste cooking oil*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 518, no. 3, p. 32054.
- Yusri, I., Mamat, R., Azmi, W., Omar, A., Obed, M. & Shaiful, A. (2017) *Application of response surface methodology in optimization of performance and exhaust emissions of secondary butyl alcohol-gasoline blends in SI engine*, Energy Convers. Manag., vol. 133, pp. 178–195,

Ghazal O. & Borowski, G. (2018) Effect of Water Injection on SI Engine Performance and Emissions, The Ninth Jordanian International Mechanical Engineering Conference (JIMEC 2018).

Iliev, S. (2014) *Developing of a 1-D Combustion Model and Study of Engine Characteristics Using Ethanol- Gasoline Blends*, World Congress on Engineering 2014, vol. II, pp. 0-5,

Takee, A., Sharifipour, S., Mashadi, B., Keshavarz, M. & Paykani, A. (2015) *Optimization of spark timing and air-fuel ratio of an SI engine with variable valve timing using genetic algorithm and steepest descend method*, UPB Sci. Bull. Ser. D Mech. Eng., vol. 77, no. 1, pp. 61–76,

Caton J. (2018) *The Thermodynamics of Internal Combustion Engines: Examples of Insights, Inventions*, 3, 33.

Sridhar, K., at all. (2013) *Computerized Simulation of Spark Ignition Internal Combustion Engine*, vol. 5, no. 3, pp. 5–14.

Rakopoulos, C. at all. (2013) *A combined experimental and numerical study of thermal processes, performance and nitric oxide emissions in a hydrogen-fueled spark-ignition engine*, Int. J. Hydrogen Energy, vol. 36, no. 8, pp. 5163–5180, 2011,

Najafi G. at all. (2009) *Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network*, Appl. Energy, vol. 86, no. 5, pp. 630–639.

Yücesu, H. at all. (2007) *Comparative study of mathematical and experimental analysis of spark ignition engine performance used ethanol-gasoline blend fuel*, Appl. Therm. Eng., vol. 27, no. 2–3, pp. 358–368.

Al-Baghdadi, M. at all. (2006) *A simulation model for a single cylinder four-stroke spark ignition engine fueled with alternative fuels*, Turkish J. Eng. Environ. Sci., vol. 30, no. 6, pp. 331–350.

Ghazal, O. (2013) *A Theoretical Study of the SI Engine Performance Operating with Different Fuels*, International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, vol. 7, no. 12, pp. 2526–2529.