

**ENGINE DEVELOPMENT IN VIRTUAL ENVIRONMENT**<sup>16</sup>

---

**M. Eng. Ivaylo Nikolaev Borisov, PhD student,**

Department of Engines and Vehicles,  
University of Ruse "Angel Kanchev"  
Tel.: 0888 469 868  
E-mail: iborisov@uni-ruse.bg

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

Department of Engines and Vehicles,  
University of Ruse "Angel Kanchev"  
Phone: +359 82 888 331  
E-mail: spi@uni-ruse.bg

***Abstract:** Internal combustion engines have been in use for over 150 years. There is still room for improvement in efficiency and emission reduction. Constant improvements will ensure the future existence of the internal combustion engine. The design of the engine of the future is becoming more complex and demanding. To meet these demands a combination of development tools is required one dimensional (1D) and three dimensional (3D) computational fluid dynamic simulations, so that more concepts and ideas can be investigated, and at the same time using the least number of resources.*

***Keywords:** 1D, 3D, Simulations, CFD, Effectiveness*

## **ВЪВЕДЕНИЕ**

Двигателите с вътрешно горене са в употреба повече от 100 години, но въпреки това все още съществува място за подобрения и оптимизиране на разход на гориво и вредни емисии (Kazakov, P., Iliev, A., Marinov, E., 2018). За да се развият в бъдеще, е необходимо проектирането им да се направи колкото се може по-ефективно. За тази цел е необходимо да се изследват и анализират някои области като: комплексни системи за впръскване, нови горивни системи, различни видове горива, променливи фази на газоразпределение, променливи степени на сгъстяване и др. Очевидно е, че бъдещето на двигателите с вътрешно горене няма да е лесно, защото се поставят все по-нови и по-строги изисквания относно вредните емисии които отделят (Iliev S., 2021).

За решаването на този сложен проблем, е необходимо да се ползва комбинация от различни инструменти, които ще гарантират пълното изследване на новите идеи. Тези инструменти включват едномерни (1D) и тримерни (3D) симулации в изчислителна механика на флуидите (CFD). Всеки от тези инструменти, приложени в решаването на различни проблеми, притежава своите предимства и недостатъци. В зависимост от сложността на проблема и от изискванията към точността на резултатите, за завършването на една 3D симулация с изчислителна механика на флуидите, е необходимо много процесорно време за извършване на самите изчисления, което от своя страна може много бързо да нарасне до такава степен, че да се окаже неприемливо. Процесите в двигателя, които се изследват, трябва да са добре познати и моделирани от изследователите, за да може да се намали изчислителното време, до колкото е възможно, без да се повлиява точността на резултатите (Onorati, A., Montenegro, G., 2020).

Изчислителната мощност на компютрите, както и развитието на софтуерите за симулации се уваличава неимоверно, което позволява на 3D симулация с изчислителна механика на флуидите да доставят по-лесни за анализиране резултати на случващите се

---

<sup>16</sup> Докладът е представен на сесия на 21 Октомври 2022 в секция Транспорт и Машинознание с оригинално заглавие на български език: РАЗРАБОТВАНЕ НА ДВИГАТЕЛ ВЪВ ВИРТУАЛНА СРЕДА

процеси в двигателите. Би било много трудно, а и съществува място за много грешки, при получаването на същата информация чрез измерване на величините по време на работа на двигателя. И не на последно място, изчислителните софтуери позволяват на изследователите, да правят промени или настройки на времената за отваряне на клапани, геометрията на двигателя и др. и да получават резултатите в реално време (Шиев, S., 2020).

## ИЗЛОЖЕНИЕ

Моделите на двигателите с вътрешно горене, трябва да са моделирани по начин по който ще гарантира, че ще изпълнят първоначалната цел. За да се случи това, моделът трябва да се моделира по „предсказуем“ начин, което означава, че ако се зададат нови стойности на началните променливи, то промените по модела както и резултати ще бъдат точни, надеждни и ще пресъздадат максимално точно въздействието което имат върху модела. Нуждата от това изискване е от практическо значение, и е най забележимо при времето за изчисления, което трябва да се съкрати колкото се може повече, но да се гарантира, че е достатъчно за извършването на самата симулация. Калибрирането на модела е от особено значение, когато се прави оценка на модела, необходимо е да се зададат въпроси като: колко са параметрите на модела, взаимодействат ли си един на друг, възможно ли е да се настояят едновременно и др. Моделът се счита за добре моделиран, когато има малко параметри за настройване, което ще гарантира, че резултатите ще са оптимални, като по този начин се спестява и време (Alqahtani, A. at All., M.L., 2015).

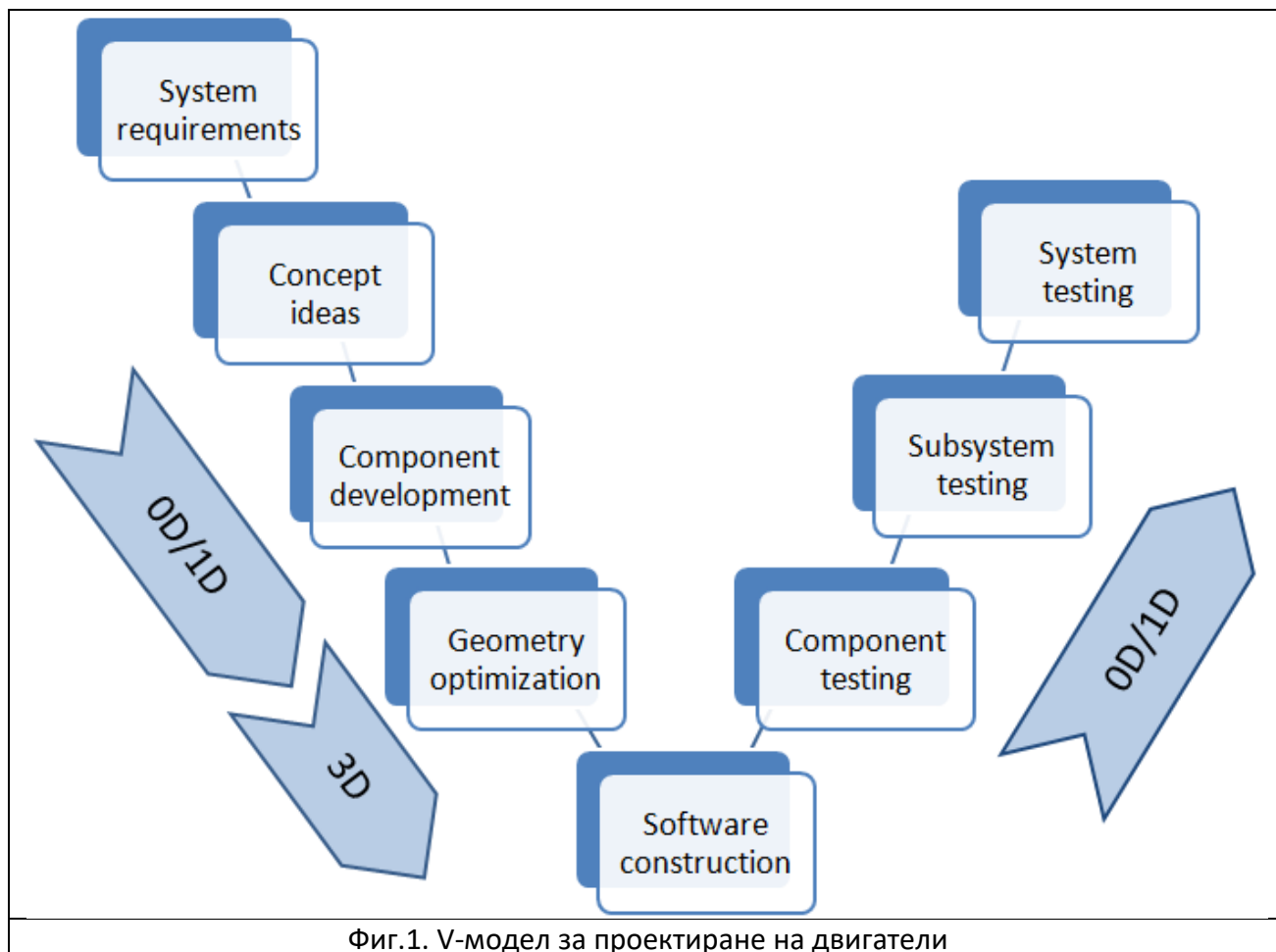
Едномерните (1D) симулации са особено полезни в тестването на концептуални идеи, а също така и в неустановени изчисления на процесите в двигателя, особено когато се взима под внимание газоразпределителната система. При такива обстоятелства 3D симулации с изчислителна механика на флуидите, ползват за валидирането на 0D модели, като турбулентност на гориво-въздушната смес, съдържание на остатъчни газове в цилиндъра и др. (Шиев, S. & Mitev, E., 2019)

Процесът на моделиране на двигател е особено труден и предизвикателства не липсват, затова е необходима процедура която може да се приложи универсално, както и инструменти, достатъчно мощни, за да решат проблема. Един от най-честите въпроси които възникват по време на процеса на моделиране е „кой модел ще се използва за решаването на задачата?“. След като този въпрос е изяснен, следва да се изберат инструментите (López, E.; Nigro, N., 2000).

В практиките на инженерството и автомобилостроенето, е прието използването на V-модела. Той се състои от два концептуални потока: *от горе надолу*, който започва с концептуалната идея и архитектура, и *от долу нагоре*, който започва с разработването на отделните компоненти и завършва с валидиране и верифициране на крайните продукти. (фиг.1).

### Оценяване на модела.

Може би най-трудната част от моделирането на двигателя идва от факта, че поведението на двигателя зависи от много физически и химически процеси. Конструкторите на модела трябва да се постараят да не усложняват модела, а точно обратното, но в същото време да не го опростяват твърде много или рискуват прецизността на резултатите. От перспективата на конструкторите е много трудно да се прецени, до каква степен оценката на модела е точна. Съществуват два теста за оценка на модела: тест за чувствителност – симулацията би трябвало да реагира на промени в операционните параметри, по същия начин както би реагирал реалния двигател, което може да се тества като се променят входните параметри на модела и се наблюдава начина по който му влияят; тест за непрекъснатост - постепенни промени в параметрите, би трябвало да водят до постепенни промени в крайните резултатите (Шиев S., 2014).

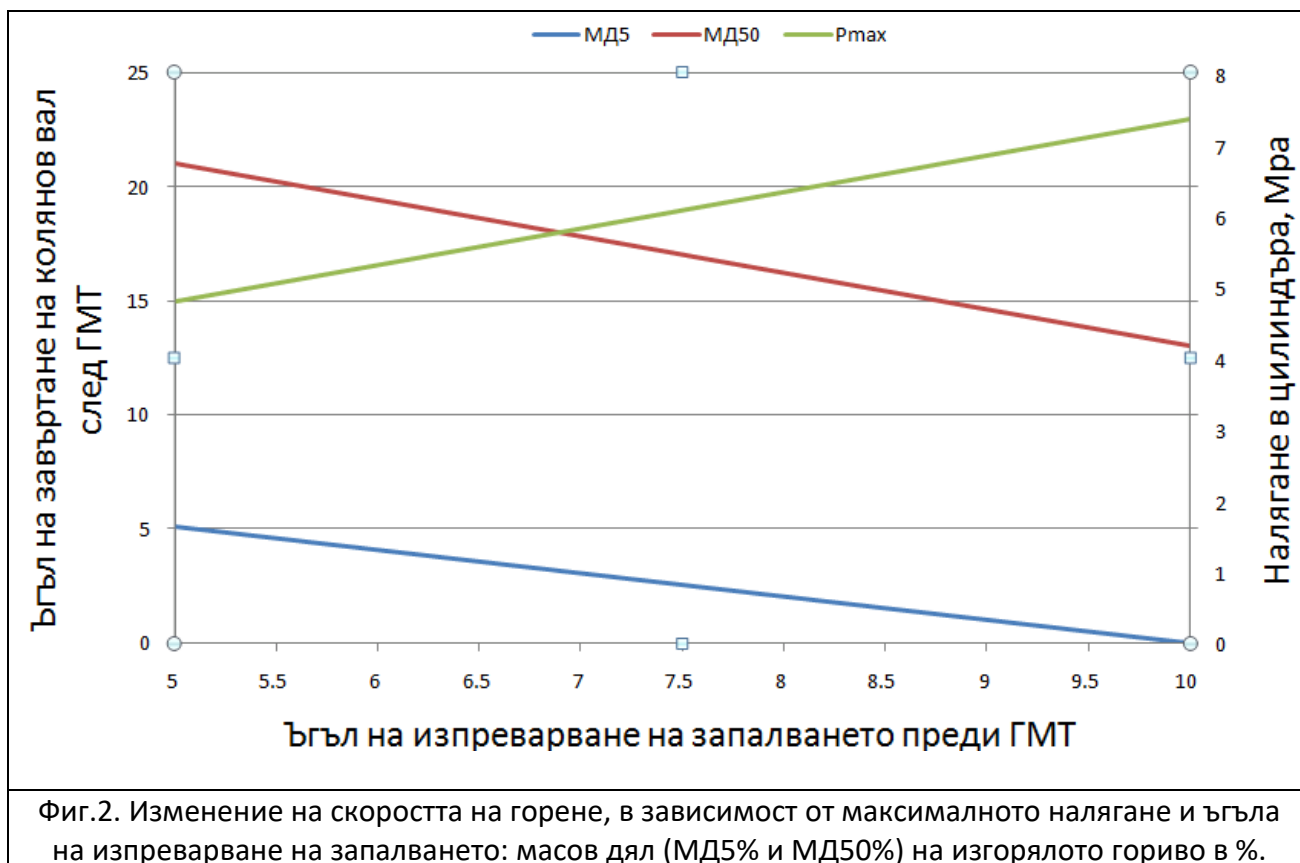


Фиг.1. V-модел за проектиране на двигатели

Следващите примери показват как тези тестове могат да бъдат приложени в симулациите на двигатели.

**Модел за скоростта на горене**– може би един от най-важните модели които се ползват при моделирането на двигатели, защото влиянието на модела върху работните характеристики на двигателя е голямо. Промени в параметрите, би трябвало да доведат до промени в модела за скоростта на горене, и по-конкретно промени в параметрите които оказват влияние върху процеса на горене (отношението гориво-въздух, съдържание на остатъчни газове, времената за отваряне и затваряне на клапаните, времето за подаване на искра). Възможно е да се направи тест за непрекъснатост, като променяйки времето за подаване на искра, би трябвало, по подобен начин, да се промени модела за скоростта на горене (фиг.2.).

**Модел за турбулентно горене**– тъй като процеса на горене се влияе до голяма степен от завихрянето в горивната камера, модела за скоростта на горене, трябва да се комбинира с турбулентния модел. Обикновено турбулентния модел се базира на изчисления върху движението на заряда в цилиндъра по време на процеса на горене. Такъв комбиниран модел, притежава способността да предскаже ефектите от различните профили на гърбиците върху завихрянето в горивната камера и скоростта на горене.



Фиг.2. Изменение на скоростта на горене, в зависимост от максималното налягане и ъгъла на изпреварване на запалването: масов дял (МД5% и МД50%) на изгорялото гориво в %.

**Модел за скорост на разпространение на пламъка** – както и при модела за турбулентно горене, модела за скоростта на разпространение на пламъка трябва да се комбинира с модела за скоростта на горене, тъй като има силно въздействие върху процеса на горене. В миналото, използваната информация относно скоростта на пламъка е била получавана по емпирични методи. Развитие на тези нови методи, предлага голям обхват от измервания които не могат да се сравняват с по-старите методи, получаването на резултати при които е било чрез измерване на температурата и налягането по време на процеса на горене, поради факта, че при екстраполирането на данните от измерванията вероятността за грешки е голяма

**Модел за детонация в двигателя** – нуждата от такъв модел е очевидна когато е необходимо да се определи оптималните операционни параметри на двигателя, при които ще се избегне предварителното запалване. В миналото, моделите са били базирани на метода на Арениус, които се считали за достатъчно задоволителни, но в днешно време нови открития показват, че изгарянето на гориво-въздушната смес протича на два етапа. За да е точна една симулация, е необходимо не само точното моделиране на формата на кривата описваща процеса на задържане на възпламеняването, но също така и моделирането на освобождаването на енергия, която се получава при възпламеняване при ниски температури.

**Модел за вредни емисии** – в продължение на значителен период от време, моделирането на вредните емисии е било от второстепенно значение, това може да се приеме за вярно при стехиометричен режим на работа, при който се разчита на катализатор за улавяне на вредните емисии. Когато обаче, гориво-въздушната смес стане бедна, въпроса е „колко бедна трябва да бъде тази смес?“, за да покрие регулаторните изисквания за емисии. Следствие на този въпрос става ясно, че вредните емисии стават от първостепенно значение. Повечето модели за емисии се базират на метода на Зелдович, и резултатите които се получават са от задоволителен характер.

## ИЗВОДИ

За да се гарантира, че двигателите с вътрешно горене ще бъдат в употреба и в бъдеще, е необходимо тяхното проектиране да стане по-ефективно. Изследването процесите протичащи в двигателите се изследват с нови методи, което води до подобрени разработки на отделни компоненти от двигателя. Моделите описващи процесите в двигателите се усъвършенстват постоянно, което е подпомогнато от факта, че изчислителните възможности на съвременните компютри расте с голяма скорост. Комбинация от някой или всички модели, предлага възможност за много точно и прецизно моделиране на процеси в двигателите с вътрешно горене, като по този начин се гарантира тяхното бъдеще.

Работата по доклада е осъществена с подкрепата на проект ФНИ 2022-РУ-03 “Разработване и изследване на телеметрична система за оптимизиране разхода на енергия на електромобил от клас прототипи за състезанието Shell Eco-marathon”

## ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

Kazakov, P., Plev, A., Marinov, E. (2018). *Diesel engine operation in use of fuel with additives*, International Conference on Technics, Technologies and Education ICTTE 2018

Plev 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(8):1322.

Onorati, A., Montenegro, G., (2020) *1D and Multi-D Modeling Techniques for IC Engine Simulation*. SAE International.

Plev, 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.

Alqahtani, A.; Shokrollahihassanbarough, F.; Wyszynski, M.L., (2015) Thermodynamic Simulation Comparison of AVL BOOST and Ricardo WAVE for HCCI and SI Engines Optimisation. *Combust. Engines* 2015,161, 68–72

Plev, S. & Mitev, E. (2019). Modelling and Investigation of a Diesel Engine with Ethanol and Methanol Additives, *Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium*, pp.0415-0423,

López, E.; Nigro, N. (2000). Validation of a 0D/1D Computational Code for the Design of Several Kind of Internal Combustion Engines. In *Technical Report*; Centro Internacional de Métodos Computacionales en Ingeniería, Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química: Santa Fe, Argentina, 2000; pp. 175–184.

Plev S. (2014) Developing of a 1-D Combustion Model and Study of Engine Characteristics Using Ethanol-Gasoline Blends, *Proceedings of the World Congress on Engineering 2014, Vol II, WCE 2014, July 2-4, London, U.K.*