

## Изследване на показателите на бензинов двигател с вътрешно горене при изменение на дължината на пълнителния тръбопровод и момента на затваряне на пълнителния клапан

инж. Пламен Пунов, доц. д-р Теодоси Евтимов

**Research of gasoline engine performance in case of variation of intake pipe length and moment of intake valve closed.** In publication make a research of influence of intake pipe length and moment of intake valve closed on gasoline engine performance. Researches make with two different values on engine rpm. On the base of results make an optimization that parameters for research rate. Results are gets with mathematical model on gasdynamic processes in intake manifold and cylinder. Make a compute program in Matlab.

**Key words:** Gasoline engine, intake manifold, intake valve closed, engine optimization.

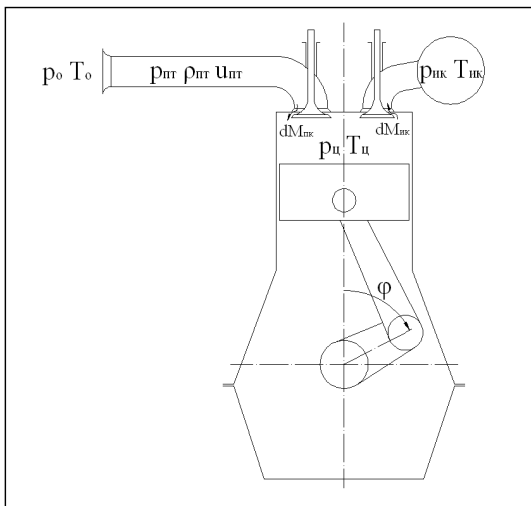
### ВЪВЕДЕНИЕ

Показателите на двигателите с вътрешно горене зависят от голям брой конструктивни и регулировъчни параметри. Определянето на оптималните стойности на тези параметри представлява сложна оптимизационна задача. Трудностите за намирането на еднозначно решение са вследствие на силно неустановеният режим на работа на двигателите предназначени за транспортни средства. Непрекъсната промяна на честотата на въртене и натоварването в експлоатационни условия водят до промяна в начина на протичането на работните процеси, което изисква и промяната на конструктивните параметри с цел тяхното оптимизиране. Върху мощностните показатели на бензиновите двигатели влияние оказват геометричните параметри на пълнителната и изпускателната система, законите за движение и геометричните параметри на клапаните, степента на сгъстяване, състава на гориво-въздушната смес, момента на подаване на електрическата искра и др. В съвременните конструкции широко се използват системи, които променят част от геометричните параметри на двигателите, като най-често това са дължината на пълнителния тръбопровод и моментите на отваряне и затваряне на пълнителните клапани.

Поради тази причина целта на настоящата публикация е изследване на мощностните показатели на бензинов двигател при изменение на дължината на пълнителния тръбопровод и момента на затваряне на пълнителния клапан.

### ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

За провеждане на изследванията е съставен математичен модел на базата на едноцилиндров двигател с индивидуален пълнителен тръбопровод *фиг.1*. Процесите протичащи в пълнителния тръбопровод са описани с помощта на едномерен неустановен модел на движение на работното вещество, докато процесите в цилиндъра на двигателя са описани чрез квазквасисатционен модел на базата на първия



**Фиг.1.** Модел на едноцилиндров бензинов двигател с индивидуален пълнителен тръбопровод

принцип на термодинамиката за отворена термодинамична система. За определяне на параметрите в граничните точки на пълнителния тръбопровод се използват гранични условия, които дават връзка между параметрите в тръбопровода и околната среда от едната страна и цилиндъра от другата страна. Също така с помощта на граничните условия се определя и скоростта на изтичане през пълнителния клапан.

Движение на работното вещество в пълнителния тръбопровод може да бъде описано чрез уравненията за непрекъснатостта, за движение, и съхранение на енергията [1,3], записани за едномерен поток в следния вид:

$$(1) \quad \frac{\partial \rho_{nm}}{\partial \tau} + u_{nm} \frac{\partial \rho_{nm}}{\partial x} + \rho_{nm} \frac{\partial u_{nm}}{\partial x} = 0$$

$$(2) \quad \frac{\partial u_{nm}}{\partial \tau} + u_{nm} \cdot \frac{\partial u_{nm}}{\partial x} + \frac{1}{\rho_{nm}} \cdot \frac{\partial p_{nm}}{\partial x} + \frac{1}{2} \cdot u_{nm} \cdot |u_{nm}| \cdot f_{nm} \cdot \frac{4}{d_{nm}} = 0$$

$$(3) \quad \frac{\partial}{\partial \tau} \left[ \rho_{nm} \cdot \left( e_{nm} + \frac{u_{nm}^2}{2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \rho_{nm} u_{nm} \cdot \left( e_{nm} + \frac{u_{nm}^2}{2} + \frac{p_{nm}}{\rho_{nm}} \right) \right] - \rho_{nm} \cdot q = 0,$$

Така представената система от частни диференциални уравнения (1), (2) и (3) може да се запише във векторен вид по следния начин:

$$(4) \quad \frac{\partial W}{\partial \tau} + \frac{\partial F(W)}{\partial x} + C(W) = 0,$$

където

$$(5) \quad W = \left\{ \begin{array}{c} \rho_{nm} \\ \rho_{nm} \cdot u_{nm} \\ \frac{1}{k_{nm}-1} \cdot p_{nm} + \rho_{nm} \cdot \frac{u_{nm}^2}{2} \end{array} \right\} \quad F = \left\{ \begin{array}{c} \rho_{nm} \cdot u_{nm} \\ \rho_{nm} \cdot u_{nm}^2 + p_{nm} \\ u_{nm} \left( \frac{k_{nm}}{k_{nm}-1} \cdot p_{nm} + \rho_{nm} \cdot \frac{u_{nm}^2}{2} \right) \end{array} \right\}$$

$$(6) \quad C(W) = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ \rho_{nm} \cdot u_{nm} \cdot |u_{nm}| \cdot \frac{2 \cdot f_{nm}}{d_{nm}} \\ \rho_{nm} \cdot \frac{2 f_{nm} |u_{nm}|}{d_{nm}} \cdot c_{pnm} \cdot (T_w - T_{nm}) \end{array} \right\}.$$

За решаване на векторното уравнение (4) е използван двустъпковия метод на Лакс-Вендров, с помощта на който се определят стойностите на елементите и във всяка точка от изчислителното поле без граничните точки. Параметрите на потока се изразяват лесно чрез елементите на вектора :

$$(7) \quad \rho_{nm} = W(1), \quad u_{nm} = \frac{W(2)}{W(1)}, \quad p_{nm} = (k_{nm} - 1) \cdot \left[ W(3) - \frac{1}{2} \cdot \frac{W(2)^2}{W(1)} \right]$$

За определяне параметрите в граничните точки на тръбопровода се използват зависимости, които съчетават процесите в тръбопровода с тези извън него. При съставяне на моделите се приема, че течението в граничните сечения е адиабатно и квазистационарно. В зависимост от условията в тръбопровода и извън него и участъка, който се моделира, се използва различна комбинация от уравненията за непрекъснатостта, запазване на енергията, състоянието и вълнови уравнения.

В цилиндъра на двигателя се приема, че параметрите на работното вещество са равномерно разпределени в него и скоростта е равна на нула [2]. При тези допус-

кания процесите в цилиндъра се описват с помощта на първия принцип на термодинамиката за една отворена термодинамична система:

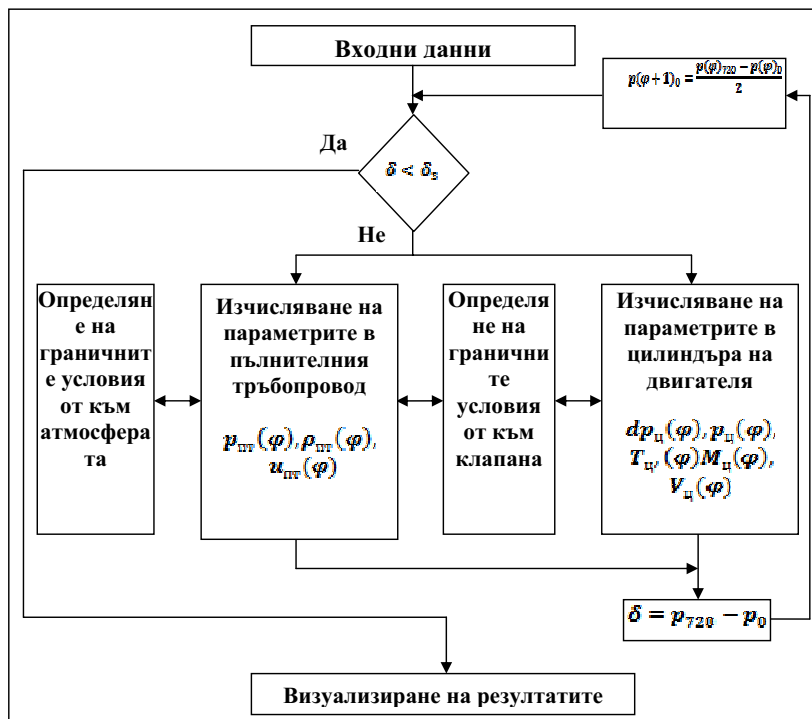
$$(8) \quad dQ \pm \sum_1^n h_i \cdot dM_i = d(M \cdot U) + p \cdot dV,$$

Като се преобразува уравнение (8) се получава зависимост за изменение на налягането в цилиндъра на двигателя във функция от ъгъла на завъртане на коляновия вид, която има следния обобщен вид:

$$(9) \quad \frac{dp_u}{d\varphi} = p_u \cdot \left( \frac{g_u \cdot H_u}{c_v \cdot T_u \cdot M_u} \cdot \frac{dX}{d\varphi} + \frac{c_{p0} \cdot T_{nm}}{c_v \cdot T_u \cdot M_u} \cdot \frac{dM_{пк}}{d\varphi} - \frac{k}{M_u} \cdot \frac{dM_{вк}}{d\varphi} - k \cdot \frac{d \ln V_u}{d\varphi} \right) - \frac{2}{3} \cdot (k-1) \cdot \frac{D/2 + H}{D \cdot H} \cdot \frac{\alpha_w \cdot (T_u - T_{wcu})}{n},$$

### АЛГОРИТЪМ НА ИЗЧИСЛИТЕЛНАТА ПРОГРАМА

За изследване на показателите на моделираният бензинов двигатели с вътрешно горене е разработен алгоритъм с помощта на програмата Matlab *fig.2*. При създаването на програмата са използвани математичните модели, описващи едномерното неустановено движение на работното вещество в пълнителния



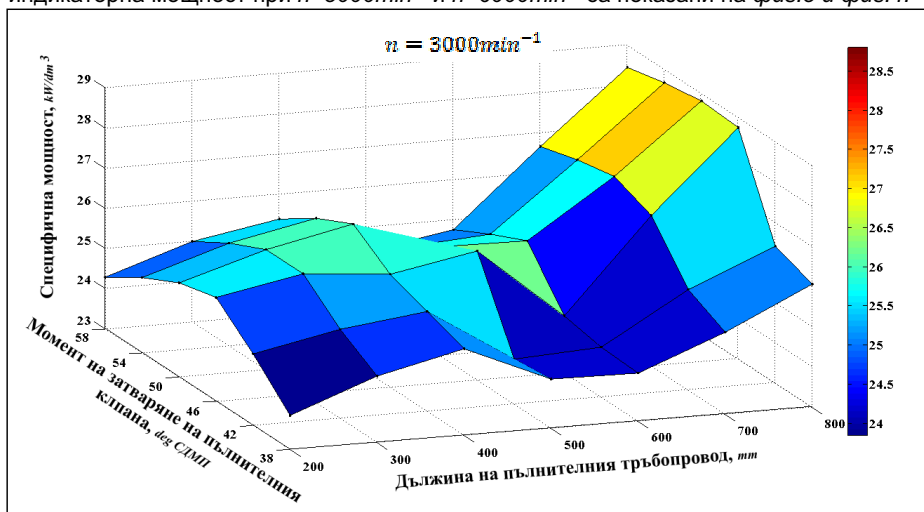
**Fig.2.** Блок схема на изчислителния алгоритъм, разработен в програмната среда на Matlab

тръбопровод, съответните гранични условия в двата края на тръбопровода и моделът, основаващ се на първия принцип на термодинамиката за определяне на параметрите в цилиндъра на двигателя.

## РЕЗУЛТАТИ ОТ ПРОВЕДЕНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Показателите на двигателя, като коефициент на пълнене и специфичната мощност, са функционално зависими от голям брой параметри и от честотния режим на работа. Едновременно изследване влиянието на всички параметри е трудоемка задача, свързана с провеждането на голям брой теоретични изчисления. С цел опростяване на сложната функционална зависимост са проведени изследвания на едновременното влияние на два параметъра, дължината на пълнителния тръбопровод и момента на затваряне на клапана, при две различни честоти на въртене. Изследване влиянието на тези параметри е проведено поради това, че в конструктивните схеми на съвременните двигатели се прилагат системи за тяхното управление. Така на практика се определя законът, по който трябва да се изменя по време на работа във функция от честотата на въртене на двигателя, когато критерият за тяхното управление е постигане на максимални мощностни показатели.

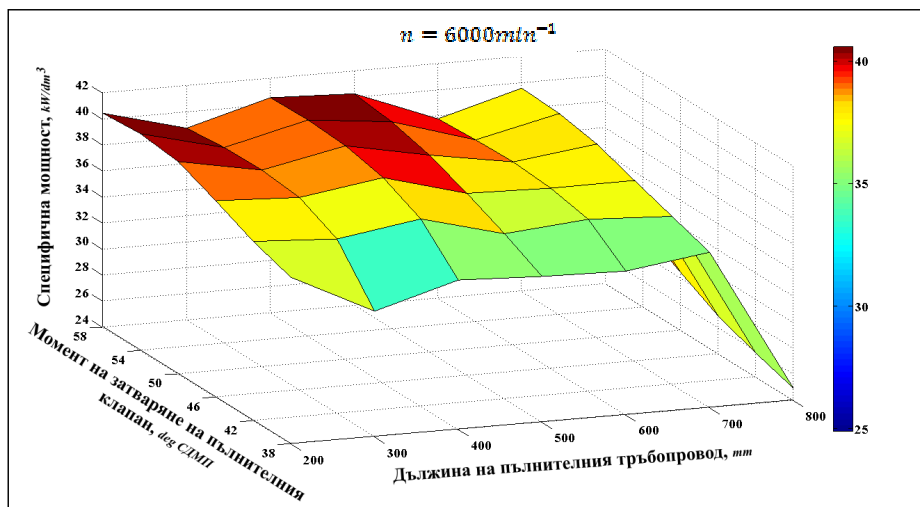
Получените резултати са при честоти на въртене  $3000 \text{ min}^{-1}$  и  $6000 \text{ min}^{-1}$ , дължината на пълнителния тръбопровод се изменя в диапазона от  $200$  до  $800 \text{ mm}$ , а моментът на затваряне на клапана е между  $38$  и  $58^\circ \text{ СДМП}$  след долно мъртво положение на буталото. Резултатите, под формата на повърхнини, от изменението на специфичната индикаторна мощност при  $n=3000 \text{ min}^{-1}$  и  $n=6000 \text{ min}^{-1}$  са показани на *фиг.3* и *фиг.4*.



**Фиг.3.** Изменение на специфичната индикаторна мощност при честота на въртене  $3000 \text{ min}^{-1}$  във функция от дължината на пълнителния тръбопровод и момента на затваряне на пълнителния клапан

При честота на въртене  $3000 \text{ min}^{-1}$  мощностните показатели на двигателя силно нарастват с увеличаване на дължината на пълнителния тръбопровод и с по-късното затваряне на клапана. От получените резултати еднозначно максималната мощност може да се постигне при използване на дължина на пълнителния тръбопровод от  $800 \text{ mm}$  и момент на затваряне на клапана  $50^\circ \text{ СДМП}$ . От графиката си личи тенденция към повишаване на мощността и при използване на по-дълги тръбопровода от  $800 \text{ mm}$ , което би могло да се установи при разширяване на обхвата на параметъра при изчисленията.

При честота  $6000 \text{ min}^{-1}$  се наблюдава обратната тенденция спрямо единия от изменящите се параметри, т.е. мощностните показатели нарастват при намаляване на дължината на тръбопровода и при по-късно затваряне на клапана. Интересно в случая е да се отбележи, че почти еднаква максимална мощност може да се получи както при дължина на тръбопровода от  $200 \text{ mm}$ , така и в диапазона  $400-500 \text{ mm}$ .



**Fig.4.** Изменение на специфичната индикаторна мощност при честота на въртене  $6000\text{min}^{-1}$  във функция от дължината на пълнителния тръбопровод и момента на затваряне на пълнителния клапан

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на проведените теоретични изследвания могат да се направят следните изводи:

1. С помощта на използваните математични модели и създадения алгоритъм може да се изследва едновременното влияние на повече от един параметър върху мощностните показатели на бензиновите двигатели;
2. При честота на въртене  $6000\text{min}^{-1}$  максималните мощностни показатели могат да се постигнат при различна комбинация от дължина на пълнителния тръбопровод и момент на затваряне на пълнителния клапан.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Евтимов, Т., Пунов, П., Математично моделиране на газодинамичните процеси в пълнителния колектор на двигателите с вътрешно горене, trans&MOTAUTO'06, Варна, 2006.
- [2] Петриченко, Р.М. и др. Элементы системы автоматизированного проектирования ДВС, Л., Машиностроение, 1990.
- [3] Winterbone, D. E. and Pearson, R. J. Theory of Engine Manifold Design, 2000 (Professional Engineering Publishing, Bury St Edmunds and London).

### За контакти:

инж. Пламен Пунов, Катедра "Двигатели, автомобилна техника и транспорт", ТУ-София, тел: 0895 58 60 88, e-mail: [plamen\\_punov@tu-sofia.bg](mailto:plamen_punov@tu-sofia.bg).

Доц. д-р Теодоси Евтимов, Катедра "Двигатели, автомобилна техника и транспорт", ТУ-София, тел: 0895 58 86 31, e-mail: [tevtimov@tu-sofia.bg](mailto:tevtimov@tu-sofia.bg).

### Докладът е рецензиран.

Изследванията са извършени/подпомогнати по Договор № BG051PO001/07/3.3-02/8 „Механизми за осигуряване качествено израстване на научните кадри“, финансиран по схема "Подкрепа за развитие на докторанти, постдокторанти, специализанти и млади учени" на ОП "Развитие на човешките ресурси" на "Европейския социален фонд".

This work is a part of the project BG051PO001/07/3.3-02/8—"MEQSIS", funded by scheme "Support of the development of PhD students, postdoctoral, post-graduate and young scientists" from the program "Development of human resources" of the "European social fund".