ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ
ФАКУЛТЕТ ПО ТРАНСПОРТА

Катедра "Двигатели, автомобилна техника и транспорт"

маг. инж. Красимир Матеев Амбарев

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА НЯКОИ ФАКТОРИ ВЪРХУ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНИЯ ЦИКЪЛ И ПОКАЗАТЕЛИТЕ НА ДИЗЕЛОВ ДВИГАТЕЛ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на

Д И С Е Р Т А Ц И Я

за получаване на образувателната и научна степен

"ДОКТОР"

област на висше образование "Технически науки"
професионално направление "Транспорт, корабоплаване и авиация"
научна специалност "Двигатели с вътрешно горене"

Научни ръководители:
доц. д-р инж. Вальо Николов Николов
проф. д.т.н. инж. Петър Иванов Димитров

София, 2015

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

ФАКУЛТЕТ ПО ТРАНСПОРТА

Катедра "Двигатели, автомобилна техника и транспорт"

маг. инж. Красимир Матеев Амбарев

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА НЯКОИ ФАКТОРИ ВЪРХУ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНИЯ ЦИКЪЛ И ПОКАЗАТЕЛИТЕ НА ДИЗЕЛОВ ДВИГАТЕЛ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на

Д И С Е Р Т А Ц И Я

за получаване на образувателната и научна степен

"ДОКТОР"

област на висше образование "Технически науки"
професионално направление "Транспорт, корабоплаване и авиация"
научна специалност "Двигатели с вътрешно горене"

Научни ръководители:
доц. д-р инж. Вальо Николов Николов
проф. д.т.н. инж. Петър Иванов Димитров

Рецензенти:
проф. д-р инж. Христо Кънчев Станчев
доц. д-р инж. Теодоси Петров Евтимов

София, 2015

Дисертационният труд се състои от увод, пет глави, заключение, изложени на 135 страници, в които са включени 74 фигури и графики. Списъкът на използваните литературни източници е съставен от 152 заглавия.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на заседание на Катедрен съвет на катедра “Двигатели, автомобилна техника и транспорт” към Факултета по транспорта при Технически университет - София, състояло се на 12.01.2015 г.

Изследванията от дисертационния труд са извършени в лаборатории на катедра “Двигатели, автомобилна техника и транспорт” към Факултета по транспорта при Технически университет - София и в лаборатории на катедра “Транспортна и авиационна техника и технологии“ от Технически университет-София, филиал Пловдив.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 29.04.2015 г. от 18^{00} часа в зала 2140, блок 2 на Технически университет - София на открито заседание на научното жури, определено със заповед №ОЖ-10/14.01.2015 г. на Ректора на ТУ - София.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултета по транспорт при Технически университет - София, на адрес: гр. София, бул. “Климент Охридски” № 8, бл. 9, ет. 3, каб. 9308.

Номерата на формулите, фигурите, таблиците и използваната литература в автореферата е същата, както в дисертационния труд.

Автор: маг. инж. Красимир Матеев Амбарев
Заглавие: Изследване на влиянието на някои фактори върху параметрите на работния цикъл и показателите на дизелов двигател

Тираж: 50 броя.
Печатна база: Издателство на ТУ - София.

А. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Анотация

В настоящия дисертационен труд е направено математично моделиране на процесите от работния цикъл на дизелов двигател на базата на математичния модел на смяната на работното вещество, разработен от проф. Н. М. Глаголев и математичния модел на горивния процес, разработен от проф. И. И. Вибе. Въз основа на математичния модел е създаден компютърен симулационен модел за изследване на параметрите на работния цикъл на дизелов двигател в средата *MATLAB* със *Simulink.* Представен е математичен модел за определяне на параметрите на горивния процес по експериментално получена индикаторна диаграма на базата на методите на проф. И. И. Вибе. На основата на математичния модел на проф. И. И. Вибе е разработен софтуер в средата *MATLAB* за определяне на закона за топлоотделянето при горенето от реалните индикаторни диаграми. Създадена е и експериментална уредба за изследване на влиянието на различни фактори върху параметрите на работния цикъл и показателите на дизелов двигател. Проведено е експериментално изследване на влиянието на степента на сгъстяване върху параметрите на горивния процес и показателите на дизелов двигател *KIPOR KM186FA* от индикаторни диаграми, снети при различни режими на работа. Извършено е числено изследване на влиянието на степента на сгъстяване върху параметрите на горивния процес и показателите на дизеловия двигател със създадения компютърен симулационен модел. Изследването е проведено с определения закон на топлоотделяне при горенето по експериментално получени индикаторни диаграми. Направеното сравнение на резултатите от численото и експериментално изследване доказва адекватността на симулационния модел, който може да се използва за числено изследване на влиянието на различни фактори върху параметрите на работния цикъл и показателите на дизелов двигател.

Обща характеристика на работата

Актуалност на темата. Експерименталното изследване на влиянието на различни фактори върху параметрите на работния цикъл и показателите на дизелов двигател е свързано с провеждането на скъпо струващи и сложни експерименти. Провеждането на числени изследвания е значително по-улеснено, по-евтино и бързо. Съществуващите програмни продукти позволяват решаването на различни по сложност и обхват задачи, свързани с функционирането на дизеловия двигател при различни негови режими, с определяне на параметрите на процесите от работния му цикъл и неговите показатели. Тези специализирани програмни продукти се характеризират с висока цена и изисквания към компютърния хардуер. Това налага необходимостта от разработването на софтуерен продукт, изграден на базата на съвместно прилагане на съществуващи математични модели на процесите от работния цикъл на дизелов двигател, реализиран в достъпна, разпространена програмна среда, каквато е *MATLAB* и неговото приложение *Simulink*.

Цел на дисертационния труд. Изследване на влиянието на степента на сгъстяване и ъгъла на начало на топлоотделянето върху параметрите на работния цикъл и показателите на дизелов двигател.

Научна новост. Разработен е в *MATLAB* със *Simulink* компютърен симулационен модел за числено изследване на различни фактори върху параметрите на работния цикъл и показателите на дизелов двигател, изграден на базата на съвместно прилагане на съществуващи математични модели.

Практическа полезност и приложимост. Създадената експериментална уредба дава възможност за изследване на влиянието на различни фактори върху параметрите на работния цикъл и показателите на дизелов двигател.

Апробация на работата. Дисертационият труд е докладван и обсъден на заседание на катедра "Двигатели, автомобилна техника и транспорт" от Факултета по транспорта при Техническия университет – София.

Резултатите от Дисертационния труд са докладвани и обсъждани на:

- Дни на механиката във Варна, XIV национален семинар по "Механика на непрекъснатите среди (механика на флуидите, топло- и масообмен)", 8-10.09.2010 г., Варна;
- Дни на науката на Техническия университет - София, II научна конференция "БулТранс'10", 24-26.09.2010, Созопол;
- Научна конференция с международно участие "ТЕХСИС 2011", 26-28.05.2011 г., Пловдив;
- International scientific conference "trans&MOTAUTO'12", 27-29.06.2012, Varna;
- Дни на механиката във Варна, XVII национален семинар по "Механика на непрекъснатите среди (механика на флуидите, топло- и масообмен)", 8-10.09.2013 г., Варна;
- Дни на науката на Техническия университет - София, V научна конференция "БулТранс 2013", 16-18.10.2013 г., София.

Публикации. По темата на дисертацията са шест научни труда, публикувани в International virtual journal for science, technics and innovations for industry "Machines, Technologies and Materials", Научното списание на Технически университет – София, филиал Пловдив "Фундаментални науки и приложения”, Научното списание "Механика на машините" и Сборник доклади от научните конференции “БулТранс 2010” и “БулТранс 2013”.

Структура и обем на дисертационния труд. Дисертационния труд съдържа: увод, основна част от 5 глави, заключение, литература, публикации по дисертацията, съдържание в общ обем 135 стр., 74 фигури и графики, 18 таблици и 152 литературни източника, от които 105 на кирилица и 47 на латиница.

Б. КРАТКО ИЗЛОЖЕНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

1.1. Математично моделиране. Видове математични модели.

Математичното описание на ДВГ е непосредствено свързано с аспектите, в които се разглежда един двигател, и представляващи интерес за инженерната дейност. Основните аспекти при математичното моделиране са [104]: конструктивен; функционален; кибернетичен; времеви.

Формалното разделение на съвременни математични модели се основава на използваните математични средства и задачите, решавани с тяхна помощ.

В практиката, в процеса на разработка и изследвания на ДВГ, се използват следните основни видове математични модели:

- теоретични, изградени на основата на описанието на физико-химичните процеси, протичащи в един двигател и неговите елементи. Тези модели се основават на фундаментални закони, като закона за запазване на енергията, закона на запазване на масата и др. В тези модели се използват обикновени и частни диференциални уравнения [21, 46, 50, 52, 61, 67 и др.];
- емпирични (статистически), получени чрез физични експерименти или чрез числени изследвания посредством използването на теоретични модели. Към този тип се отнасят и сравнително нови модели на основата на невронни мрежи и теорията на нечетните множества [67].
- смесен тип, основаващ се на базата на комбиниране на теоретични и емпирични модели [12, 24, 27, 48 и др.].

1.2. Програмни продукти за компютърно моделиране и изследване

Освен представените по-горе математични модели, при изследването на ДВГ се използват широко и програмни продукти, които могат да се разделят в две основни категории - програмни продукти за изследване динамиката на механични системи - *ADAMS, WORKING MODEL 2D (3D), WM 2D (3D), EULER* и програмни продукти за двумерно и тримерно прилагане на методи за математично описание от механиката на непрекъснатите среди [92, 116, 130, 143, 144, 146 и др.].

1.3. Особености, свързани с математичното моделиране на ДВГ

Най-широко разпространение в днешно време са получили смесените (теоретично-емпирични) квазидинамични микро- и макромодели на работния процес и процесите, протичащи в отделните системи на двигателя. Тези газодинамични модели, описващи течението на газовете в елементите на газовъздушния тракт на двигателя, както и в работното пространство, хидродинамичните процеси, свързани с подаването на горивото, моделите, описващи процеса на смесообразуване, горене, химическата кинетика, които се основават на основни закони от термодинамиката, хидро- и газодинамиката, теорията за горене с участие на емпирични зависимости за даден тип двигател. По принцип подобни модели са предназначени за оценка на чувствителността на работния цикъл на двигателя към разглежданите явления. Тези модели са доста добре развити и описват на високо ниво сложните, нестационарни явления, протичащи в един двигател.

Наред с високите постижения в областта на математично моделиране на ДВГ, остават и доста нерешени задачи, актуални както за теорията, така и за практиката.

1.4. Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на настоящия дисертационен труд е изследване на влиянието на степента на сгъстяване ε и ъгъла на начало на топлоотделянето $\alpha_у$ върху параметрите на работния цикъл и показателите на дизелов двигател.

За постигане на поставената цел е необходимо решаването на следните основни задачи:

1) На базата на математичния модел на смяната на работното вещество, разработен от проф. Н. М. Глаголев и математичния модел на горивния процес, разработен от проф. И. И. Вибе, да се направи математично моделиране на процесите от работния цикъл на дизелов двигател и да се определят параметрите на горивния процес по индикаторна диаграма;

2) Да се създаде компютърен симулационен модел за изследване на параметрите на работния цикъл на дизелов двигател в средата *MATLAB* със *Simulink;*

3) Да се създаде експериментална уредба за изследване на влиянието на различни фактори върху параметрите на работния цикъл и показателите на дизелов двигател;

4) Да се изследва експериментално влиянието на степента на сгъстяване върху параметрите на горивния процес и показателите на двигателя по индикаторни диаграми, снети при различни режими на работа;

5) Да се разработи софтуер в средата *MATLAB*, на основата на математичния модел на Вибе, за определяне на закона за топлоотделянето при горенето от реалните индикаторни диаграми;

6) Да се изследва числено влиянието на ε и α_y върху параметрите на горивния процес и показателите на дизелов двигател със създадения компютърен симулационен модел, проведено с определения при експерименталното изследване закон на топлоотделянето при горенето;
7) Да се сравнят съответните резултати от експерименталното и численото изследване;
8) Да се анализират получените резултати и да се направят обобщени изводи.

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧНО МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСИТЕ ОТ РАБОТНИЯ ЦИКЪЛ НА ДИЗЕЛОВ ДВИГАТЕЛ И ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ЗАКОНА ЗА ТОПЛООТДЕЛЯНЕ ПО ИНДИКАТОРНА ДИАГРАМА

2.7. Обобщен математичен модел на работния цикъл на четиритактов дизелов двигател

Чрез обобщаване на представените математични зависимости в тази глава на дисертационния труд е получен обобщен математичен модел на работния цикъл на дизелов двигател.

За изчисляване на текущата стойност на ъгъла на завъртане на коляновия вал - φ при установен режим на работа на двигателя

(2.70) $$\varphi = 6nt.$$

За определяне на кинематичните параметри на буталото при съосен КММ

(2.71) $$\left| \begin{aligned} & s = R\left[\left(1-\cos(\varphi)+\frac{\lambda}{4}\left(1-\cos(2\varphi)\right)\right)\right]; \\ & v = R\omega\left(\sin(\varphi)+\frac{\lambda}{2}\sin(2\varphi)\right); \\ & a = R\omega^2\left(\cos(\varphi)+\lambda\cos(2\varphi)\right). \end{aligned} \right. .$$

За изчисляване на параметрите на работното вещество по време на работния цикъл на двигателя са валидни следните системи уравнения:

- за процеса „пълнене“

$$
\left|
\begin{aligned}
&\frac{dp}{d\sim} = a\frac{\text{«} f}{V} z_s - bc_1\frac{p}{V};\\
&a = \frac{k}{6n} p_0 \sqrt{2\frac{k}{k-1} R_г T_0}\\
&z_s = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{k}},\ при\ \frac{p}{p_0} \geq \ _{кр} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}\\
&z_s = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{k}} \sqrt{1-\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}},\ при\ \frac{p}{p_0} \leq \ _{кр} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}\\
&b = \frac{\text{®} kV_h}{360},\\
&c_1 = \frac{\sin(\sim + \quad)}{\cos},\\
&\frac{dp}{dt} = \frac{dp}{d\sim}\text{µ}
\end{aligned}
\right.
\qquad (2.72)
$$

- за процеса „сгъстяване“

$$
\left|
\begin{aligned}
&\frac{dp}{dt} = -\frac{n_1 p}{v}\frac{dv}{dt};\\
&\frac{dv}{dt} = \frac{v_a(\text{£}-1)}{2\text{£}}\left(\sin\sim + \frac{\text{ª}\sin 2\sim}{2\sqrt{1-\text{ª}^2\sin^2\sim}}\right)\text{´}\ ;\\
&v_a = \frac{R}{\text{«}_в}\frac{T_a}{p_a};\\
&p_a = \frac{1}{\text{£}}\left[(\text{£}-1)\text{¦}_v p_0\frac{T_0+\Delta T}{T_k} + p_r\right];\\
&T_a = \frac{T_0+\Delta T+\text{¥}T_r}{1+\text{¥}};\\
&T = \left(\frac{v_a}{v}\right)^{n_1-1} T_a;\\
&v = \frac{v_a}{\text{£}}\left\{1+\frac{\text{£}-1}{2}\left[1+\frac{1}{\text{ª}}-\left(\cos\sim+\frac{1}{\text{ª}}\sqrt{1-\text{ª}^2\sin^2\sim}\right)\right]\right\}.
\end{aligned}
\right.
\qquad (2.73)
$$

- за горивния процес

$$
(2.74)\qquad
\begin{cases}
\dfrac{dp}{dt} = \dfrac{(k-1)q_z}{v}\dfrac{dx}{dt} - \dfrac{k\dfrac{dv}{dt}}{v}\,p; \\[2ex]
\dfrac{dx}{dt} = \dfrac{6{,}908(m+1)}{t_z}\left(\dfrac{t}{t_z}\right)^{m} e^{-6.908\left(\frac{t}{t_z}\right)^{m+1}}; \\[2ex]
q_z = \dfrac{\P H_u}{(1+\text{¥})\sim L'_0+1} \\[2ex]
T = \dfrac{T_y}{p_y V_y}\dfrac{pV}{};\\[2ex]
\quad = 1+(\quad_{\max}-1)x; \\[2ex]
{}_{\max} = \dfrac{{}_{0\max}+\text{¥}}{1+\text{¥}}.
\end{cases}
$$

-за процеса “разширение”

$$
(2.75)\qquad
\begin{cases}
\dfrac{dp}{dt} = -\dfrac{n_2 p}{v}\dfrac{dv}{dt}; \\[2ex]
T = \left(\dfrac{v_z}{v}\right)^{n_2-1} T_z.
\end{cases}
$$

-за процеса “изпускане” - по аналогия на системата уравнения за процеса „пълнене“.

2.8. Математичен модел за определяне на закона за топлоотделянето при горене по индикаторна диаграма

Една от насоките, свързани с усъвършенстване на показателите на двигателите е свързана с подобряване на процесите от работния цикъл. Важно е горивния процес да протече оптимално.

Индикаторната диаграма дава информация за важни параметри на работния цикъл, като максималното налягане - $p_{\max}$, скоростта на нарастване на налягането - w_p и максималната и стойност - $w_{p_{\max}}$, чрез които се оценява натоварването на елементите от КММ. Знаейки стойността на p и $p_{\max}$ се изчислява нормалната сила, с която буталото се притиска към стените на цилиндъра, а оттам и степента на износване на двигателя.

В тази глава са посочени двата метода за анализ на индикаторната диаграма. На тяхна база е разработена програма в средата *MATLAB.*

2.8.1. Математичен модел за определяне на параметрите, характеризиращи закона за топлоотделяне при горенето

Като се имат в предвид зависимостите за обема на работното вещество и производната му, след преобразуване се получава

$$w = \frac{dp}{d\varphi} = \frac{1}{\sigma(\alpha)}\left\{\frac{6,908\varepsilon q'_z\left(k-1\right)\left(m+1\right)\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^m}{10^4 A\varphi_z \exp\left[6,908\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m+1}\right]} - kp\sigma'(\alpha)\right\}, \tag{2.78}$$

където $q'_z = \frac{q_z}{v_a}$ - общата, отделена използвана топлина на горене, отнесена към 1 m^3 работно вещество при параметри на работното вещество, съответстващи на края на процеса пълнене.

$$\sigma(\alpha) = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2}\left[\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) - \left(\cos\alpha + \frac{1}{\lambda}\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2\alpha}\right)\right] \tag{2.79}$$

или

$$\sigma(\alpha) \approx 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2}\left[1 - \cos\alpha + \frac{\lambda}{2}\sin^2\alpha\right]. \tag{2.80}$$

и

$$\sigma'(\alpha) = \frac{\varepsilon - 1}{2}\left[\frac{\sin\left(\alpha + \beta\right)}{\cos\beta}\right]; \tag{2.81}$$

или

$$\sigma'(\alpha) \approx \frac{\varepsilon - 1}{2}\left[\sin\alpha + \frac{\lambda}{2}\sin 2\alpha\right]. \tag{2.82}$$

Стойността на Δx_{1-2} от уравнение (2.77) се определя по формулата на Вибе

$$\Delta x_{1-2} = e^{-6.908\left(\frac{\varphi_2}{\varphi_z}\right)^{m+1}} - e^{-6.908\left(\frac{\varphi_1}{\varphi_z}\right)^{m+1}}, \tag{2.83}$$

където φ_1 и φ_2 са ъгли на завъртане на коляновия вал от началото на възпламеняването на гориво-въздушната смес до началато или края на разглеждания участък.

При наличието на данни за $T = f(\sim)$, стойността на k_{1-2} се изчислява по формулата

(2.84) $$k_{1-2} = 1,259 + \frac{76,7}{T_{1-2}} - \left(0,005 + \frac{0,0375}{\sim}\right) x_{1-2}.$$

В останалите случаи се работи с усреднена стойност на k.

2.8.2. Методи за определяне на закона за топлоотделяне при горенето

2.8.2.1. Първи метод за определяне на закона за топлоотделяне при горенето

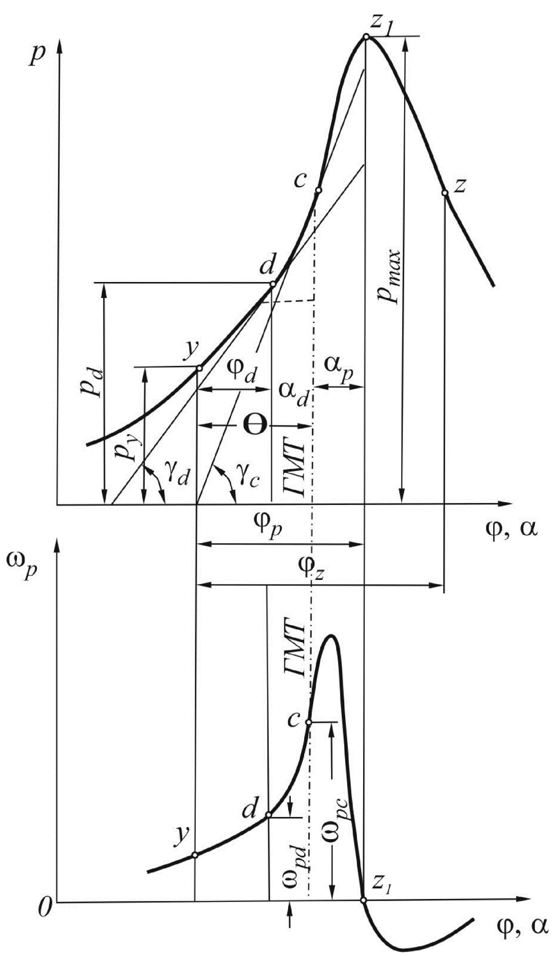
2.8.2.1.1 Определяне на продължителността на процеса „горене“ - φ_z

Уравнение (2.78) се записва за точка *“c”* от индикаторната диаграма, съответстваща на ГМТ и за точка *“z₁”*, в която налягането на работното вещество е с най-голяма стойност. За точка *“c”* се получава

(2.86) $$w_{pc} = \left(\frac{dp}{d\varphi}\right)_c = tg¥_c = \frac{6,908£ q'_z (k_c - 1)(m+1)\left(\frac{\Theta}{\varphi_z}\right)^m}{10^4 A\varphi_z \exp\left[6,908\left(\frac{\Theta}{\varphi_z}\right)^{m+1}\right]},$$

(2.89) $$B = \frac{w_{pc}(k_p - 1)}{k_p p_{\max}¤'(\sim_p)(k_c - 1)}.$$

(2.93) $$\varphi_z = \left[6.908 \frac{\varphi_p^{m+1} - \Theta^{m+1}}{\ln\left[B\left(\frac{\varphi_p}{\Theta}\right)^m\right]}\right]^{\frac{1}{m+1}}.$$



Фиг. 2.14. Индикаторна диаграма с характерни точки към първия метод за изследване

Продължителността на процеса „горене“ в *s* се изчислява по формулата

(2.94) $$t_z = \frac{30}{\pi n}\varphi_z = 9,55\frac{\varphi_z}{n}.$$

Стойностите на величините, участващи във формули (2.93) и (2.94) с изключение на m са известни или се определят от индикаторната диаграма. Отношението на специфичните топлинни капацитети k се изчислява по формула (2.84).

2.8.2.1.2. Определяне на стойността на общата топлина при горене - q'_z

След решаване на уравнение (2.86) спрямо отделената топлина при горене, отнесена към 1 m^3 работно вещество с налягане и температура p_a и T_a., се получава

(2.95) $$q'_z = \frac{q_z}{v_a} = \frac{10^4 A w_{pc}\varphi_z^{m+1}\exp\left[6,908\left(\frac{\Theta}{\varphi_z}\right)^{m+1}\right]}{6,908\pounds\Theta^m\left(k_c-1\right)\left(m+1\right)}.$$

След заместване на $¨_z^{m+1}$ в уравнение (2.92) се получава

$$(2.96)\qquad q'_z=\frac{q_z}{v_a}=\frac{0,434.10^4 A w_{pc}\left(¨_p^{m+1}-\Theta^{m+1}\right)\left[B\left(\frac{¨_p}{\Theta}\right)^m\right]^{\frac{\Theta^{m+1}}{¨_p^{m+1}-\Theta^{m+1}}}}{£\Theta^m\left(k_c-1\right)\left(m+1\right)\lg\left[B\left(\frac{¨_p}{\Theta}\right)^m\right]}.$$

При известни стойности на ~ , ¥ , L'_0, H_u, p_a и T_a, след изчисляване на q'_z, чрез формула от системата (2.74) се изчислява стойността на ¶ .

2.8.2.1.3. Определяне на показателя на характера на горене - *m*

От линията на горене се избира допълнителна точка – точка „*d*” (фиг. 2.14).

Като се запише уравнение (2.78) за точка „*d*” се получава

$$(2.97)\ w_{pd}=\left(\frac{dp}{d¨}\right)_d=\frac{1}{¤\left(~_d\right)}\left\{\frac{6,908£q'_z\left(k_d-1\right)\left(m+1\right)\left(\frac{¨_d}{¨_z}\right)^m}{10^4 A¨_z\exp\left[6,908\left(\frac{¨_d}{¨_z}\right)^{m+1}\right]}-k_d p_d ¤'\left(~_d\right)\right\},$$

където $w_{pd}=\left(\frac{dp}{d¨}\right)_d$ е скоростта на изменение на налягането в момента на завъртане на коляновия вал на ъгъл $¨_d$; $~_d$ - ъгъл на завъртане на коляновия вал, отчетен от точка „*d*” до ГМТ; k_d - отношение на специфичните топлинни капацитети на работното вещество в точка „*d*”.

След заместване на стойността на q'_z от уравнение (2.96) в уравнение (2.97) се получава

$$(2.98)\ w_{pd}¤\left(~_d\right)+k_d p_d ¤'\left(~_d\right)=\frac{w_{pc}\left(k_d-1\right)}{k_c-1}\left(\frac{¨_d}{\Theta}\right)^m\exp\left[6,908\left(\frac{\Theta^{m+1}-¨_d^{m+1}}{¨_z^{m+1}}\right)\right].$$

След заместване на израза за $¨_z^{m+1}$ от уравнение (2.92) в уравнение (2.98) се получава

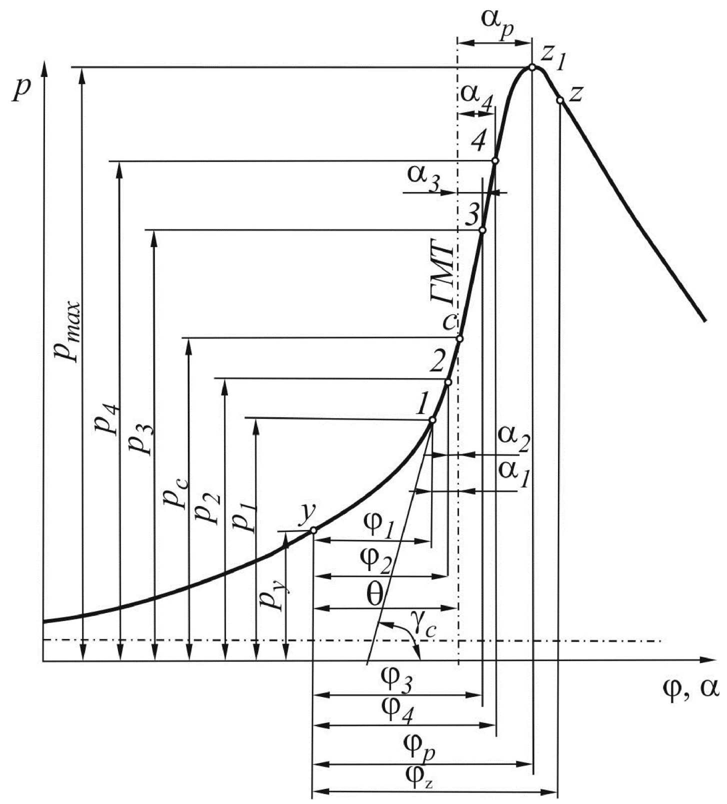
$$\left[w_{pd}\text{¤}\left(\sim_{d}\right)+k_{d}\,p_{d}\text{¤}'\left(\sim_{d}\right)\right]\frac{k_{c}-1}{w_{pc}\left(k_{d}-1\right)}=\left(\frac{\cdot\cdot_{d}}{\Theta}\right)^{m}\left[B\left(\frac{\cdot\cdot_{p}}{\Theta}\right)^{m}\right]^{\frac{\Theta^{m+1}-\cdot\cdot_{d}^{m+1}}{\cdot\cdot_{p}^{m+1}-\Theta^{m+1}}} \qquad (2.99)$$

Определянето на стойността на m по уравнение (2.99) се извършва чрез последователно задаване на стойности на m, с които се изчисляват стойностите на двете страни на уравнението, започвайки от 0 до стойност, при която се изравняват стойностите на двете страни на уравнението.

Уравнението за определяне на стойността на параметрите на процеса „горене“ съдържа две стойности за скоростта на промяна на налягането w_{pd} и w_{pc}. Тези стойности се определят чрез построяване на допирателни към индикаторната диаграма в съответните точки и определяне на тангенса на ъгъла на наклона.

2.8.2.2. Втори метод за изследване на процеса “горене”

От индикаторната диаграма (фиг. 2.15) се избират четири на брой точки, които трябва да бъдат от участъка на индикаторната диаграма, съответстващ на процеса „горене“– точки *1*, *2*, *3* и *4*.



Фиг. 2.15. Индикаторна диаграма с характерни точки към втория метод за изследване

$$\frac{6{,}908(k_p-1)\{p_2[K_{1-2}\text{¤}(\sim_2)-\text{¤}(\sim_1)]-p_1[K_{1-2}\text{¤}(\sim_1)-\text{¤}(\sim_2)]\}}{2k_p p_{\max}\text{¤}'(\sim_p)}=$$

$$=\frac{\text{¨}_z^{m+1}}{\text{¨}_p^{m}(m+1)}\left\{\exp\left[\frac{6{,}908}{\text{¨}_z^{m+1}}\left(\text{¨}_p^{m+1}-\text{¨}_1^{m+1}\right)\right]-\exp\left[\frac{6{,}908}{\text{¨}_z^{m+1}}\left(\text{¨}_p^{m+1}-\text{¨}_2^{m+1}\right)\right]\right\}. \tag{2.102}$$

$$\frac{2{,}303(k_p-1)\{p_2[K_{1-2}\text{¤}(\sim_2)-\text{¤}(\sim_1)]-p_1[K_{1-2}\text{¤}(\sim_1)-\text{¤}(\sim_2)]\}}{2k_p p_{\max}\text{¤}'(\sim_p)}=$$

$$=\frac{\text{¨}_p^{m+1}-\Theta^{m+1}}{\text{¨}_p^{m}(m+1)\ln\left[B\left(\frac{\text{¨}_p}{\Theta}\right)^m\right]}\left\{\left[B\left(\frac{\text{¨}_p}{\Theta}\right)^m\right]^{\frac{\text{¨}_p^{m+1}-\text{¨}_1^{m+1}}{\text{¨}_p^{m+1}-\Theta^{m+1}}}-\left[B\left(\frac{\text{¨}_p}{\Theta}\right)^m\right]^{\frac{\text{¨}_p^{m+1}-\text{¨}_2^{m+1}}{\text{¨}_p^{m+1}-\Theta^{m+1}}}\right\}. \tag{2.103}$$

Ако точка *2* съвпада с ГМТ, уравнение (2.103) добива вида

$$\frac{2{,}303(k_p-1)\{p_c[K_{1-2}-\text{¤}(\sim_1)]-p_1[K_{1-2}\text{¤}(\sim_1)-1]\}}{2k_p p_{\max}\text{¤}'(\sim_p)}= \tag{2.104}$$

$$=\frac{\text{¨}_p^{m+1}-\Theta^{m+1}}{\text{¨}_p^{m}(m+1)\ln\left[B\left(\frac{\text{¨}_p}{\Theta}\right)^m\right]}\left\{\left[B\left(\frac{\text{¨}_p}{\Theta}\right)^m\right]^{\frac{\text{¨}_p^{m+1}-\text{¨}_1^{m+1}}{\text{¨}_p^{m+1}-\Theta^{m+1}}}-B\left(\frac{\text{¨}_p}{\Theta}\right)^m\right\}.$$

Ако точка *1* е така подбрана, че да съвпада с ГМТ, уравнение (2.103) добива следния вид

$$\frac{2{,}303(k_p-1)\{p_2[K_{1-2}\text{¤}(\sim_2)-1]-p_c[K_{1-2}-\text{¤}(\sim_2)]\}}{2k_p p_{\max}\text{¤}'(\sim_p)}=$$

$$=\frac{\text{¨}_p^{m+1}-\Theta^{m+1}}{\text{¨}_p^{m}(m+1)\ln\left[B\left(\frac{\text{¨}_p}{\Theta}\right)^m\right]}\left\{\left[B\left(\frac{\text{¨}_p}{\Theta}\right)^m\right]-\left[B\left(\frac{\text{¨}_p}{\Theta}\right)^m\right]^{\frac{\text{¨}_p^{m+1}-\text{¨}_2^{m+1}}{\text{¨}_p^{m+1}-\Theta^{m+1}}}\right\}. \tag{2.105}$$

Определянето на стойността на m в уравнения (2.103), (2.104) или (2.105) се извършва чрез последователно задаване на стойности на m, с които се изчисляват стойностите на двете страни на уравнението, започвайки от 0 до стойност, при която се изравняват стойностите на двете страни на уравнението.

(2.106)
$$\frac{6{,}908\,\text{¨}_p^{\,m}\left(m+1\right)\left(k_p-1\right)\left\{p_4\left[K_{3-4}\text{¤}\left(\sim_4\right)-\text{¤}\left(\sim_3\right)\right]-p_3\left[K_{3-4}\text{¤}\left(\sim_3\right)-\text{¤}\left(\sim_4\right)\right]\right\}}{2k_p p_{\max}\text{¤}'\left(\sim_p\right)}=$$
$$=\text{¨}_z^{\,m+1}\left\{\exp\left[\frac{6{,}908}{\text{¨}_z^{\,m+1}}\left(\text{¨}_p^{\,m+1}-\text{¨}_3^{\,m+1}\right)\right]-\exp\left[\frac{6{,}908}{\text{¨}_z^{\,m+1}}\left(\text{¨}_p^{\,m+1}-\text{¨}_4^{\,m+1}\right)\right]\right\}.$$

В уравнението (2.106) ¨_z се замества с различни стойности, докато се получи тъждество.

При липса на диаграма за $dp/d\text{¨}$ е необходимо да се построи допирателната в точка „*c*“ за по-точното определяне на стойността на скоростта на промяна на налягането w_{pc}, която участва при определянето на стойността на *B*. Точността при определяне w_{pc}, може да се провери след определяне на стойностите на m и ¨_z, както е описано по-горе. Стойността на ¨_z се замества в уравнение (2.102) и чрез последователно задаване на стойности на m, се изчисляват стойностите на двете страни на уравнението, започвайки от 0 до стойността, при която се изравняват двете страни на уравнението. Ако определената стойност за m се различава от определената преди, следва, че w_{pc} не е точно определена. След корекция на стойността на w_{pc} се определя отново стойността на m, така, че да се получи съответствие между определената стойност по уравнения (2.102) и (2.104). Трябва да има и съвпадане на стойностите на ¨_z, получени от уравнения (2.93) и (2.106).

След определяне на стойността на m и ¨_z се изчислява относителната топлина на горене q'_z по израза, получен след преобразования в уравнение (2.87).

(2.107)
$$q'_z=\frac{10^4 A k_p p_{\max}\text{¤}'\left(\sim_p\right)\exp\left[6{,}908\left(\frac{\text{¨}_p}{\text{¨}_z}\right)^{m+1}\right]}{6{,}908\text{£}\left(k_p-1\right)\left(m+1\right)\left(\frac{\text{¨}_p}{\text{¨}_z}\right)^{m}}.$$

2.9. Изводи

1) Съставен е математичен модел на процесите от работния цикъл на дизелов двигател с отчитане на газообмена и динамиката на топлоотделяне при горенето
2) Съставен е математичен модел за определяне на закона на топлоотделянето при процеса „горене“ в дизелов двигател по експериментално получени индикаторни диаграми с приложение на методите на Вибе.

ГЛАВА 3. КОМПЮТЪРЕН СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНИЯ ЦИКЪЛ НА ДИЗЕЛОВ ДВИГАТЕЛ

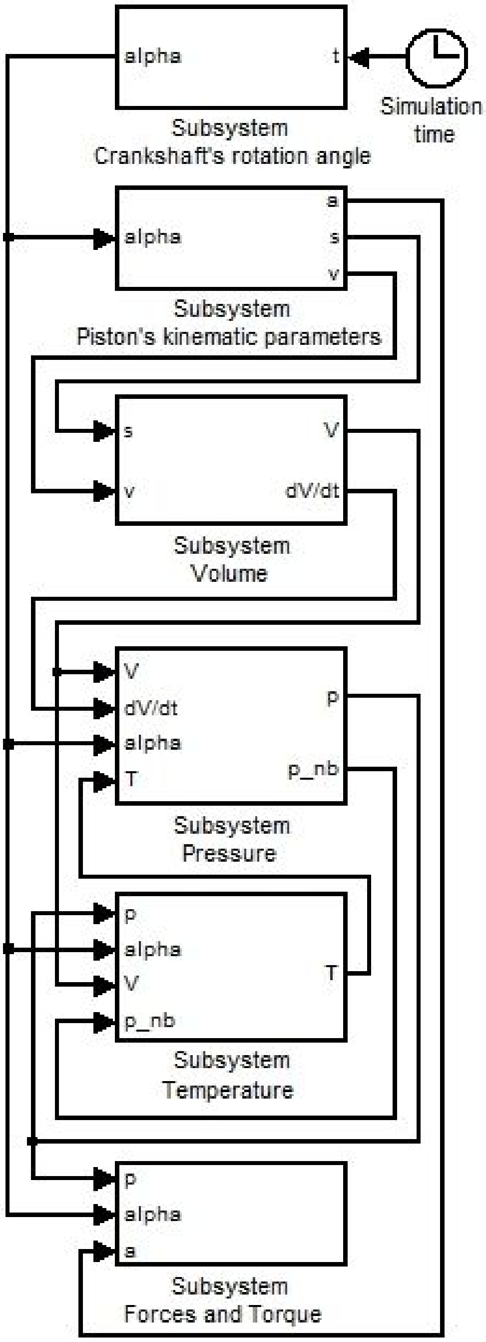
С представеният във втора глава математичен модел на работния цикъл на четиритактов дизелов двигател е създаден компютърен симулационен модел на дизелов дивгател в средата *MATLAB*.

Simulink е софтуерен пакет към *MATLAB*, даващ възможност за симулиране и анализиране на системи, чийто изходи са функция на времето, т.е. динамични системи. *Simulink* намира приложение за числено изследване на механични, термодинамични и други видове системи.

Симулационния модел се състои от три файла – *„cswcde_start.m“*, *“cswcde_m.m”* и *“cswcde_s.mdl”*. Компютърният симулационен модел не е самостоятелно приложение и за неговото функциониране е необходимо да бъде предварително инсталиран *MATLAB*. Симулацията започва след стартиране на файла *„cswcde_start.m“* от командния прозорец на програмата.

Във файла *„cswcde_start.m“* се задава стойност за ъгъла на завъртане на коляновия вал преди ГМТ, при който започва топлоотделянето. В случаите, когато се определя стойността му, при която се получава максимална стойност на p_i е необходимо да се въведе начална стойност на този ъгъл и стъпка, с която се променя, както и брой стъпки. Следва зареждане и стартиране на файла *“cswcde_m.m”*. В *“cswcde_m.m”* са описани, инициализирани и изчислени необходимите за симулацията конструктивни и режимни параметри на двигателя и работното вещество.

В този файл се задава стойност за: честотата на въртене на коляновия вал на двигателя, въздушното отношение, законите за движение на всмукателния и изпускателния клапан, снети чрез индикаторен часовник, диаметърът на уплътнителната част на всмукателния и изпускателния клапан, диаметъра и хода на буталото, налягане и температура на околната среда и др. Следва автоматично стартиране на файла *“cswcde_s.mdl”*.



Фиг. 3.1. Общ вид на симулационния модел

Simulink-моделния файл *“cswcde_s.mdl”* (фиг. 1) включва шест на брой подсистеми:

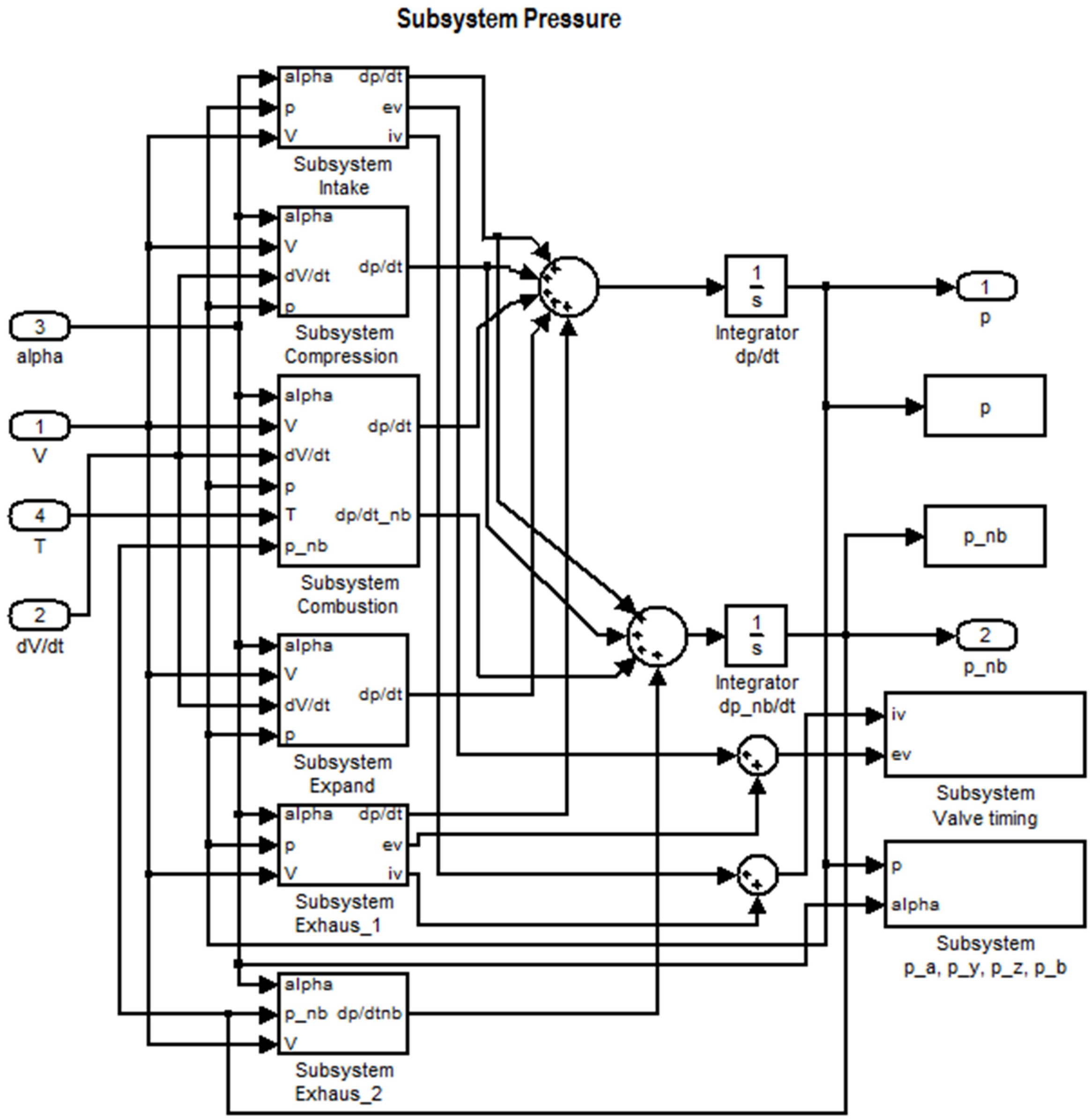
- подсистема „Ъгъл на завъртане на коляновия вал“;
- подсистема „Кинематични параметри на буталото“;
- подсистема „Обем“;
- подсистема „Налягане“;
- подсистема „Температура“;
- подсистема „Сили и момент“.

Началото на симулацията е при $t = 0s$ а края - при $t = 719/6n\ s$. В началото на симулацията $(\sim = 0)$, буталото е в ГМТ, а всмукателният и изкускателният клапан са частично отворени – процес „пълнене“.

За решаване на диференциалните уравнения в компютърната симулация се използва числен метод с фиксирана стъпка. Избраният метод за числено интегриране е *Рунге-Кута – “solver ode 4”*. Стъпката е със стойност $t = 1/(6n)$.

3.4. Подсистема „налягане“ (Subsystem Pressure)

В подсистема „налягане“ се изчисляват текущата стойност на налягането на работното вещество $p = f(t)$, стойността на налягането на работното вещество в характерни точки от индикаторната диаграма - p_a, p_y, p_z и p_b. Подсистемата има четири входа -$\sim$, V, dV/dt, T и един изход - p.



Фиг. 3.5. Подсистема „налягане“

Структурата на подсистемата се състои от шест основни подсистеми, в които се изчислява производната на налягането, при и без горивен процес - dp/dt и dp_nb/dt и две спомагателни – за време-сечението на клапаните и налягането в характерни точки от индикаторната диаграма. След интегриране на производните за налягането се получава текущата стойност на p и p_nb. Стойностите им се записват в едноименни масиви от данни, които на по-късен етап се използват за обработка и визуализация.

3.5. Подсистема „температура“ (Subsystem Temperature)

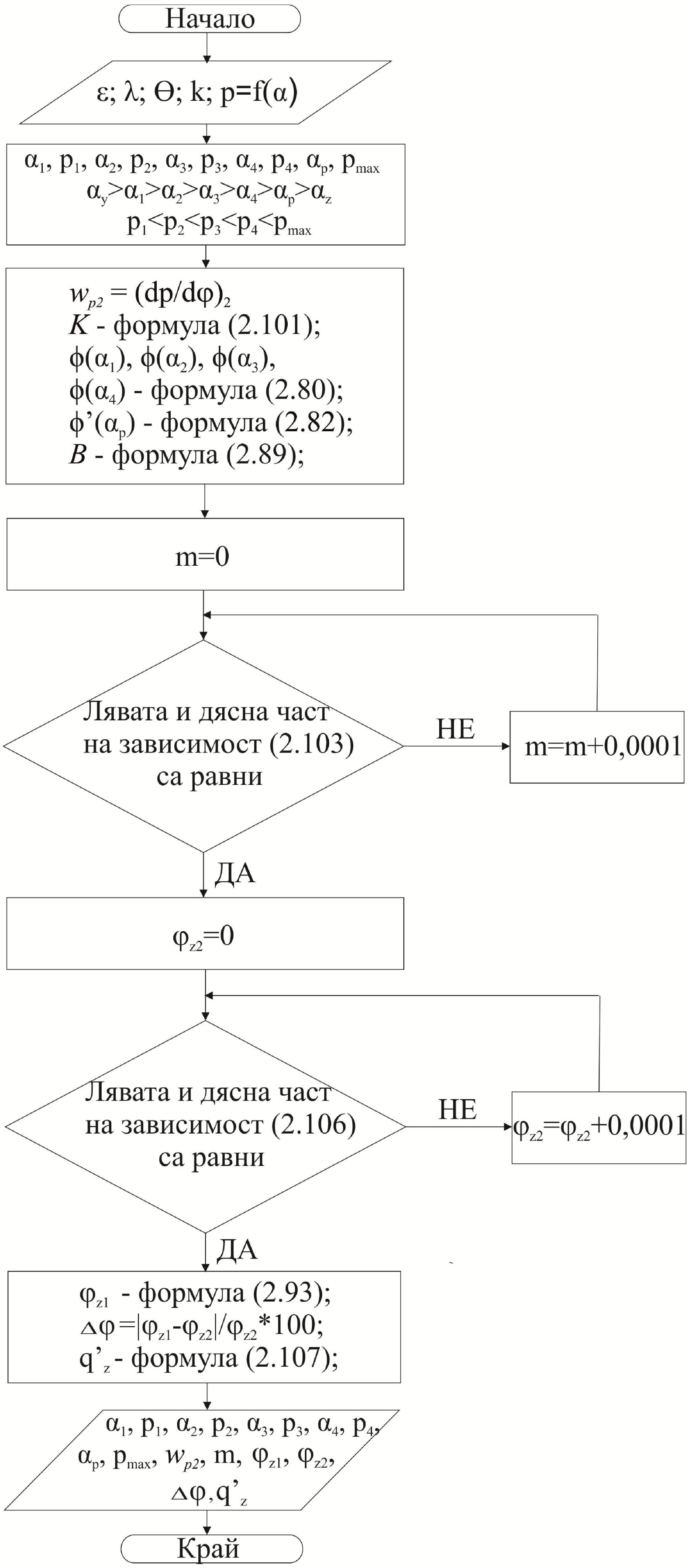
В петата основна подсистема от симулационния модел се изчислява текущата стойност на температурата на работното вещество - T, както и на коефициента $\sim_T$.

Подсистема „температура“ се състои от пет основни подсистеми – „пълнене“, „сгъстяване“, „горене“, „разширяване“ и „изпускане“, както и две допълнителни – подсистема „T_a, T_y, T_z, T_b“ и подсистема „$\sim_{Ta}, \sim_{Ty}, \sim_{Tz}, \sim_{Tb}$“**.** Във функционално отношение подсистема „Температура“ наподобява подсистема „Налягане“.

3.6. Програма за определяне на параметрите на закона за топлоотделяне при горене по индикаторна диаграма

Въз основа на математичните зависимостите, представени в края на глава 2, е направена програма в средата *MATLAB*, чрез която се изчисляват параметрите m и $\ddot{}_z$ на закона на топлоотделяне. След стартиране, програмата зарежда файл с разширение „*mat*“, който съдържа експериментално получени стойности за $p = f(\sim)$, при съответните рижими на работа и на £ .

Зависимостта за $p = f(\sim)$ е получена в резултат на обработка на резултатите от 30 последователно снети индикаторни диаграми. Следва избор на четири точки от индикаторната диаграма, които съответстват на горивния процес така, че да е изпълнено условието $\sim_y > \sim_1 > \sim_2 > \sim_3 > \sim_4 > \sim_z$. За тези точки се определят стойностите на p. Определят се и стойностите на $p_{\max}$ и $\sim_{p_{\max}}$ w_{p2}.

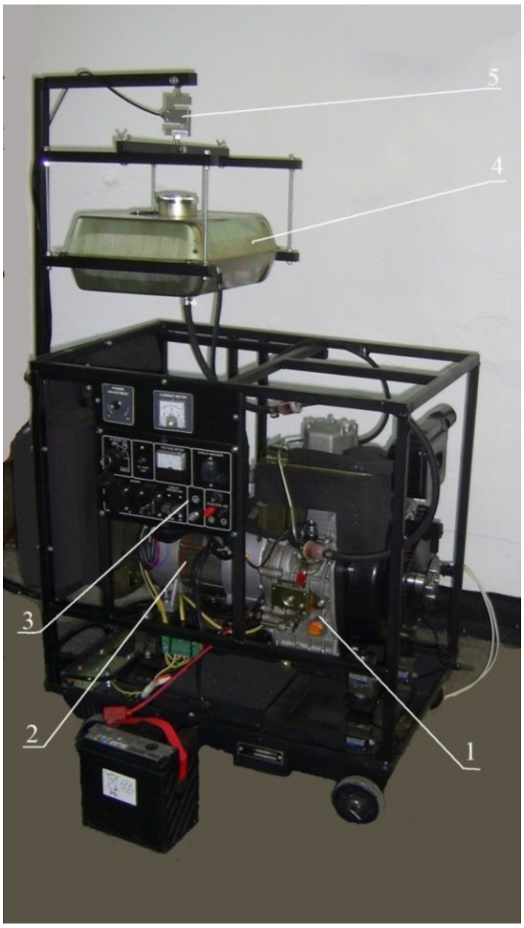


Фиг. 3.12. Блок-схема на програмата за определяне на параметрите на закона за топлоотделяне при горене по индикаторна диаграма

ГЛАВА 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА УРЕДБА И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА СТЕПЕНТА НА СГЪСТЯВАНЕ И НАТОВАРВАНЕТО ВЪРХУ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНИЯ ЦИКЪЛ И ПОКАЗАТЕЛИТЕ НА ДИЗЕЛОВ ДВИГАТЕЛ

4.1. Експериментална уредба за изследване на влиянието на степента на сгъстяване и натоварването върху параметрите на работния цикъл и показателите на дизелов двигател

Експерименталната уредба е разработена на базата на дизелов агрегат за еднофазен променлив ток на фирмата *„KIPOR“* (Китай) - модел *„KDE 6500T*“.



Фиг. 4.2. Общ вид на експерименталната уредба:
1 - дизелов двигател; 2 - генератор; 3 - контролен панел; 4 – горивен резервоар; 5 – динамометър

Оборудван е с едноцилиндров, четиритактов дизелов двигател - *“Kipor KM186FA”*, с въздушно охлаждане и директно впръскване на гориво. Степента на сгъстяване е 19, диаметърът на цилиндъра е 86 mm, а хода на буталото е 72 mm. Чрез механичен регулатор се поддържа постоянна честота на въртене на дизеловия двигател n =3000 $\min^{-1}$ и честотата на генерираното напрежение f = 50 Hz. Поддържането на постоянно изходно напрежение на генератора при различни стойности на електрическия товар се осъществява с автоматичен регулатор на напрежение, вграден в агрегата.

От елекрическия дизелов агрегат е премахнат външния корпус с обезшумителните материали, както и страничната преграда от страната на дизеловия двигател. Изработена е заварена конструкция от квадратни профили - фиг. 4.2, към която е закрепен контролния панел на експерименталната уредба.

4.2. Експериментално изследване на влиянието на степента на сгъстяване и натоварването върху параметрите на работния цикъл и показателите на дизелов двигател

Експерименталните изследвания на процесите в дизелов двигател *"Kipor KM186FA"*, включват измерване на налягането на работното вещество в цилиндъра по време на неговата работа при различни стойности на степента на сгъстяване и приложеното външно натоварване, включително и при работа на дизеловия двигател на празен ход.

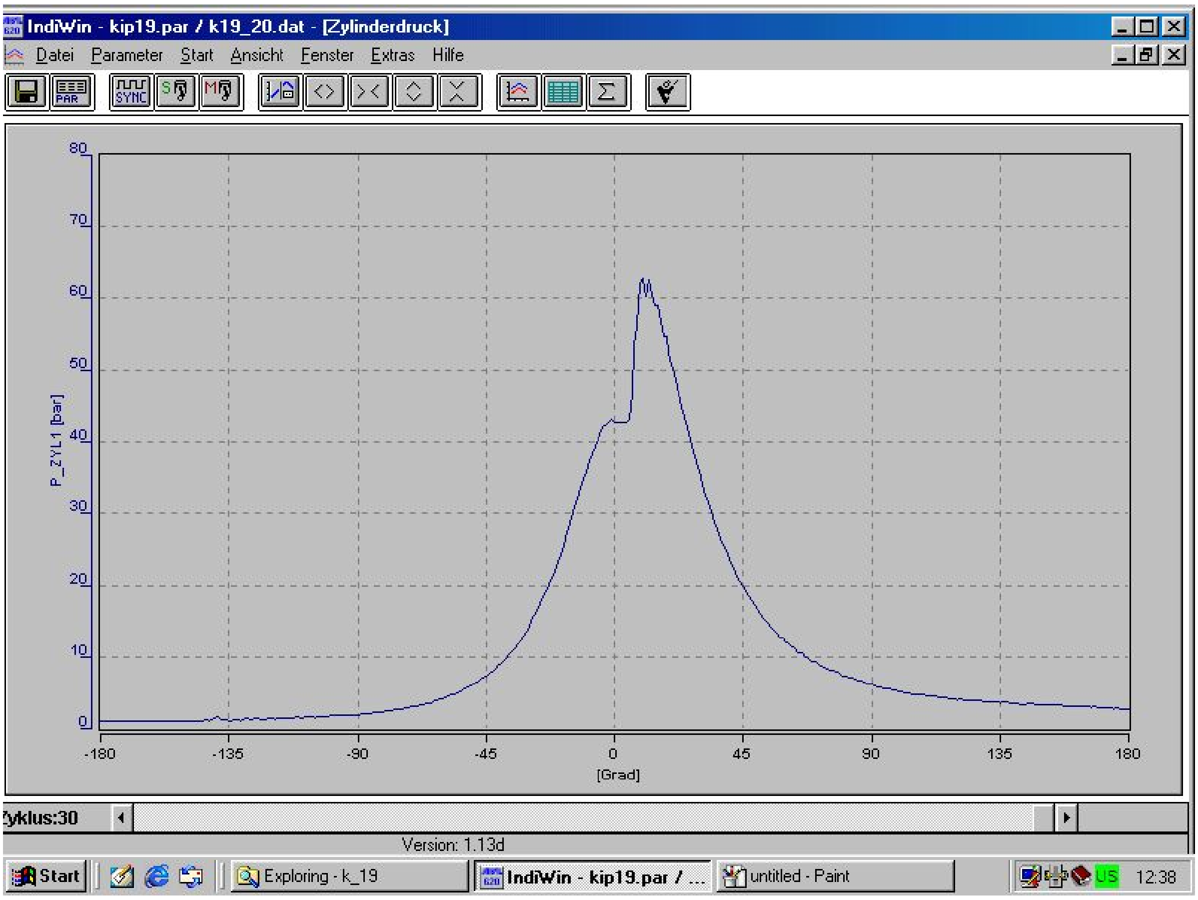
Фиг. 4.8. Експериментално изследване на дизелов двигател
"KIPOR KM186FA" в лаборатория на кат. „ДАТТ", ТУ – София

Промяната на степента на сгъстяване се осъществява чрез замяна на уплътнителя на цилиндровата глава, който представлява меден пръстен.

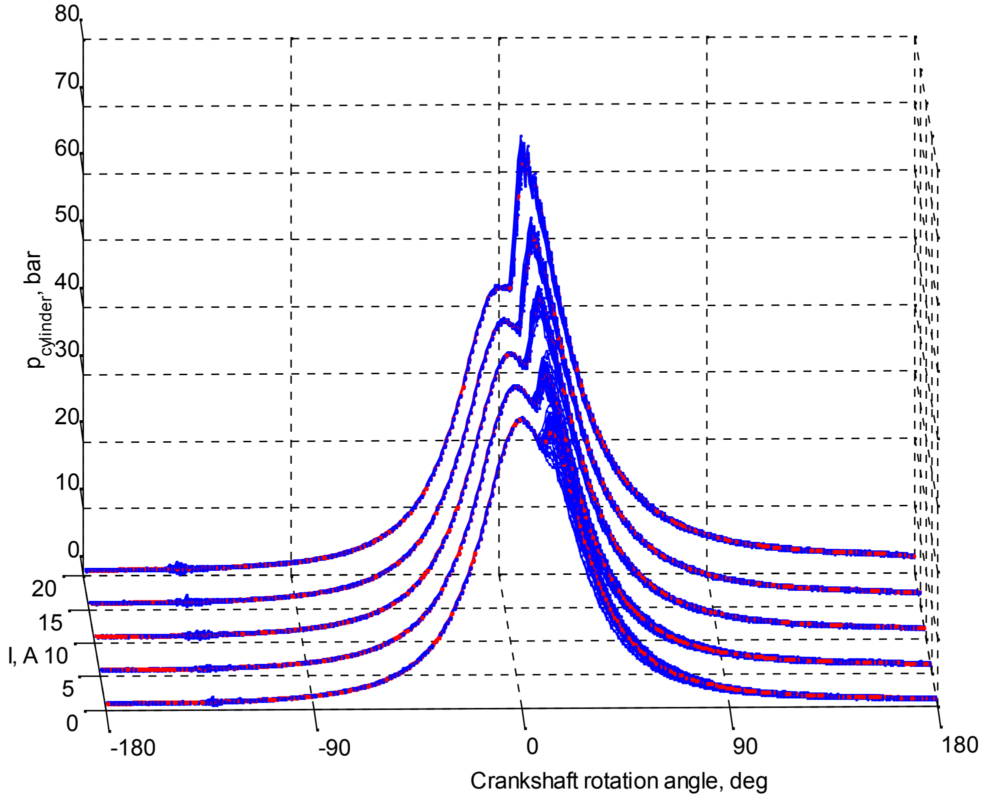
4.3. Резултати от експерименталните изследвания

Натоварването на двигателя се осъществява чрез промяна на съпротивленията, включени в електрическата верига на генератора на електрическия агрегат, при което се променя силата на тока *I*, протичащ във веригата на генератора. За всяка от избраните степени на сгъстяване са снети индикаторни диаграми при следните натоварвания: *I* = 0 A; *I* = 5 A; *I* = 10 A; *I* = 15 A; *I* = 20 A.

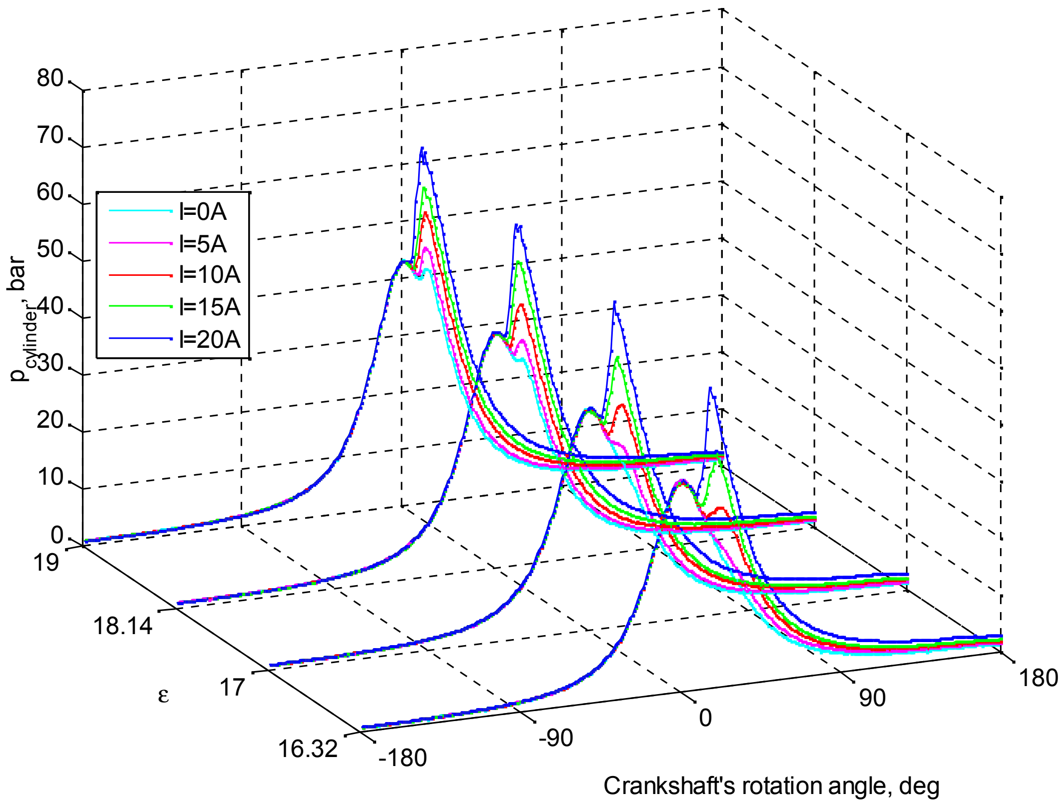
Налягането в цилиндъра по време на работа на двигателя в зависимост от ъгъла на завъртане на коляновия вал – $p = f(\alpha)$ е измерено и записано в цифров вид с помощта на компютърна система за стендови изпитвания на двигатели с вътрешно горене – *“Indiset 620”* на фирмата *“AVL” (Австрия)* и показано на фиг. 4.9.



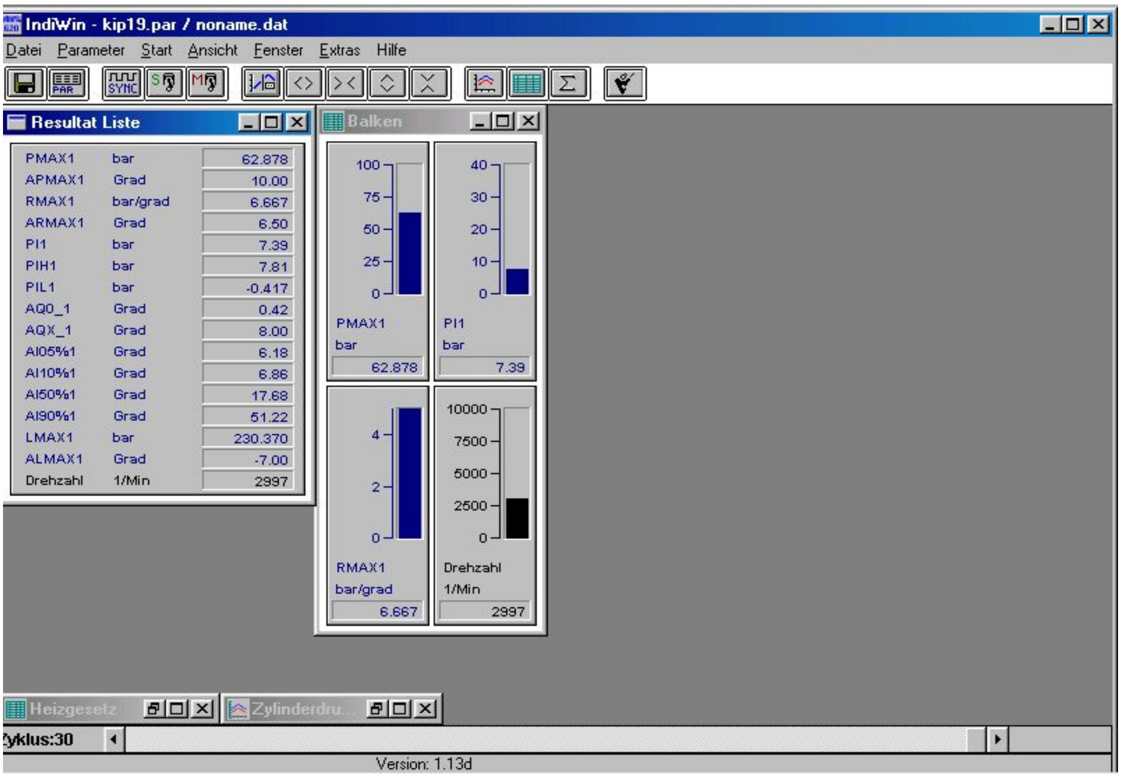
Фиг. 4.9. Работен прозорец от софтуера IndiWin към AVL INDISET 620



Фиг. 4.15. Серия от индикаторни диаграми при ε = 19 и различни стойности на I



Фиг. 4.34. Индикаторни диаграми при различно натоварване и различна степен на сгъстяване



Фиг. 4.36. Работен прозорец с параметрите на работния цикъл от софтуера "IndiWin" на системата "AVL INDISET 620" за ε = 19 и I = 20A

4.5. Анализ на получените резултати

Въз основа на получените експериментални резултати от измерванията на налягането в цилиндъра при празен ход и с приложено външно натоварване при четири различни стойности на степента на сгъстяване, които са обработени и представени графично, могат да се направят следните изводи:

1. Степента на сгъстяване влияе върху стойността на налягането в края на процеса сгъстяване и условията за възникване и протичане на горивния процес.
2. При работа на дизеловия двигател на празен ход и при незначително външно натоварване максималното налягане при сгъстяването е по-високо от максималното налягане при горенето.
3. При работа на дизеловия двигател с повишено външно натоварване максималното налягане при горенето е по-високо от максималното налягане при сгъстяването и се получава след ГМТ на буталото.
4. При по-високите стойности на натоварването се наблюдават по-високи стойности за $(dp/d\alpha)_{max}$, като най-високата скорост на нарастване на налягането е при най-високата степен на сгъстяване.
5. С нарастване на натоварването и увеличаване на степента на сгъстяване се получава намаляване на стойността на ъгъла $(\alpha)_{Pmax}$, като той е най-малък при пълно натоварване и максимална степен на сгъстяване.

ГЛАВА 5. ЧИСЛЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ПРОЦЕСИТЕ ОТ РАБОТНИЯ ЦИКЪЛ НА ДИЗЕЛОВ ДВИГАТЕЛ С ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОН ЗА ТОПЛООТДЕЛЯНЕ ПО ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО СНЕТИТЕ ИНДИКАТОРНИ ДИАГРАМИ

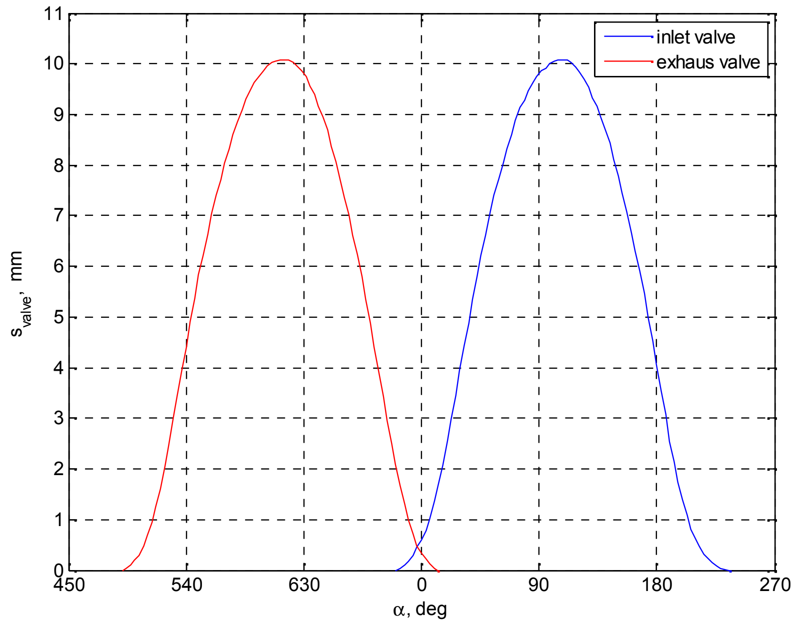
5.1. Определяне на параметрите на закона за топлоотделяне при горене за дизелов двигател по експериментално получените индикаторни диаграми

С получените експериментално индикаторни диаграми с *AVL „INDISET 620”*, след конвертиране и обработка със създадената програма в *MATLAB*, са изчислени стойностите на параметрите на топлоотделянето при горенето.

Стойностите на параметрите на топлоотделянето при горенето са определени на базата на експериментално получените индикаторни диаграми. Получените стойности за закръглени до цяло число.

5.2. Определяне на законите за движение на всмукателния и изпускателния клапани

Посредством измерване с индикаторен часовник са получени законите за движение на всмукателния и изпускателния клапани (фиг. 5.2), в зависимост от ъгъла на завъртане на коляновия вал. Положението на всеки от клапаните е определено през равни интервали на ъгъла на завъртане на коляновия вал - $3,27^0$. Използваният индикаторен часовник е с точност 0,01 mm.

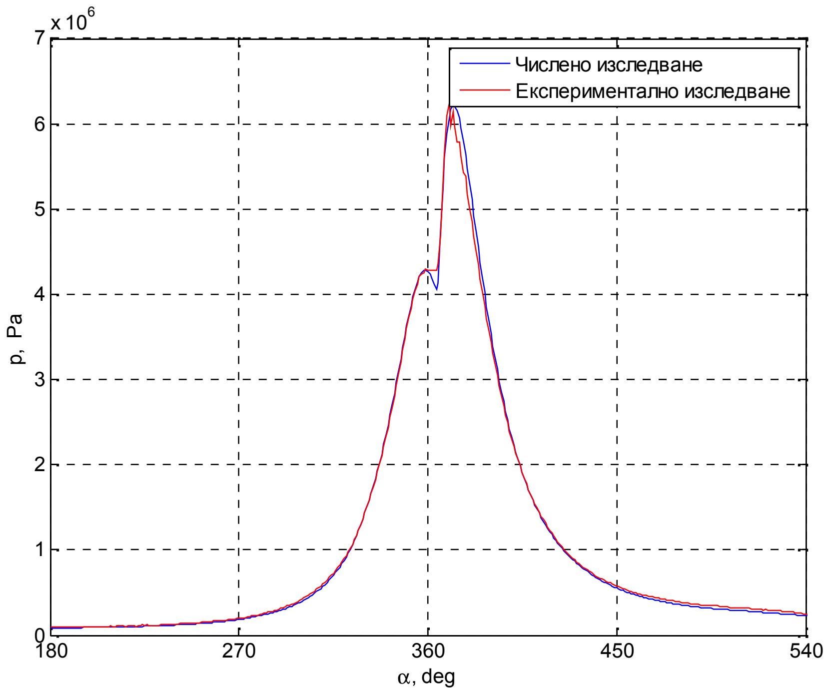


Фиг. 5.2. Преместване на всмукателния (inlet valve) и изпускателния клапани (exhaust valve) от ъгъла на завъртане на коляновия вал ~

5.3. Числени изследвания на влиянието на £ и различното натоварване на дизеловия двигател

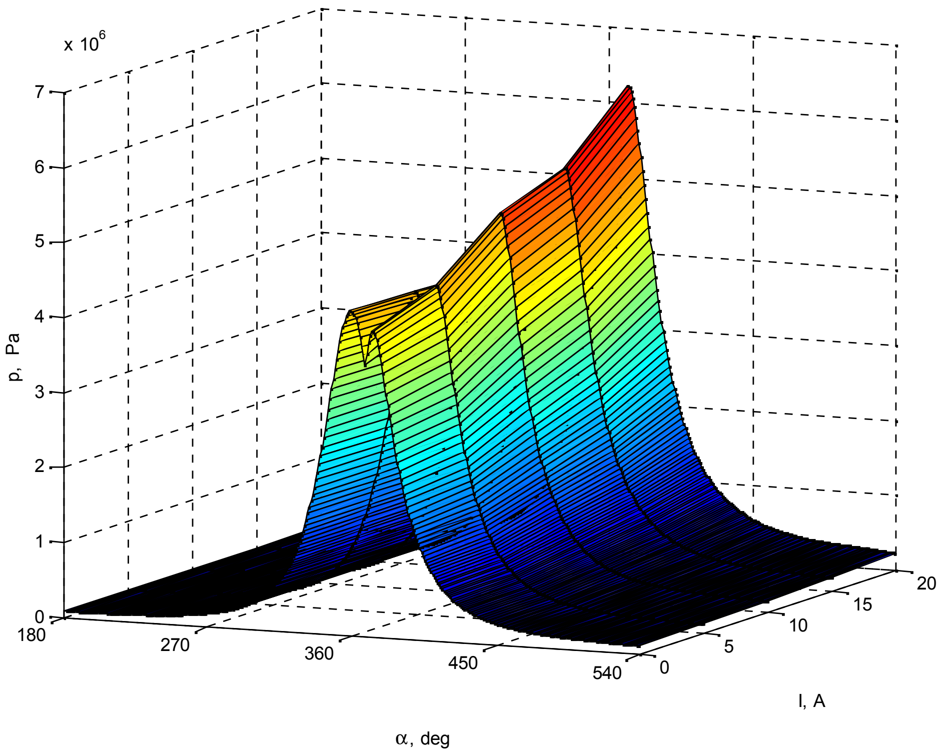
С определените параметри на закона за топлоотделяне при горивния процеса по експериментално получените индикаторни диаграми на дизеловия двигател, представени в таблица 5.1, са проведени числени изследвания със създадения симулационен модел и програма в *MATLAB* при четири стойности на степента на сгъстяване £ $=19; 18{,}14; 17; 16{,}32$ и с пет стойности на електрическия ток $I = 20;15;10;5;0\,A$, съответстващи на различно натоварване на дизеловия двигател**.**

Получените индикаторни диаграми със симулационния модел в *MATLAB* за £ $=19$ и различни стойности на електрическия ток са съпоставени с експериментално получените индикаторни диаграми с *AVL „INDISET 620”*, построени с усреднените стойности на налягането от 30 последователни работни цикъла на дизеловия двигател и са представени на фиг. 5.3, ..., 5.8.



Фиг. 5.4. Налягане при ε = 19 и I=20A

На фиг. 5.9, ..., 5.12 са представени получените чрез числено изследване индикаторни диаграми при £ $=19, 18{,}14; 17; 16{,}32$ и $I = 0;5;10;15;20\ A$**.**



Фиг. 5.9. Налягане при ε = 19 и I = 0;5;10;15;20 A

Най-голяма относителна разлика за максималната стойност на налягането от 7,76% е при £ $=17$ и $I=10A$.

Най-голяма относителна разлика за ъгъла при който се получава максималната стойност на налягането от 0,28%, се получава при £ $=19$ и $I=20A$. Тя е в резултат на резките колебания на налягането в близост до максималната му стойност. При числените изследвания налягането се променя плавно в резултат от численото интегриране. Поради стъпката, с която се извършват експерименталните и числени изследвания, точността и в двата случая е 0.5 градуса.

Най-голяма относителна разлика в скоростта на нарастване на налягането е при най-ниската степен на сгъстяване - £ $=16,32$ и при работа на двигателя на режим на празен ход и близък до празен ход - $I=0A$ и $I=5A$. При тези условия нарастване на налягането в резултат на сгъстяването на работното вещество е по-бързо, отколкото при горивния процес.

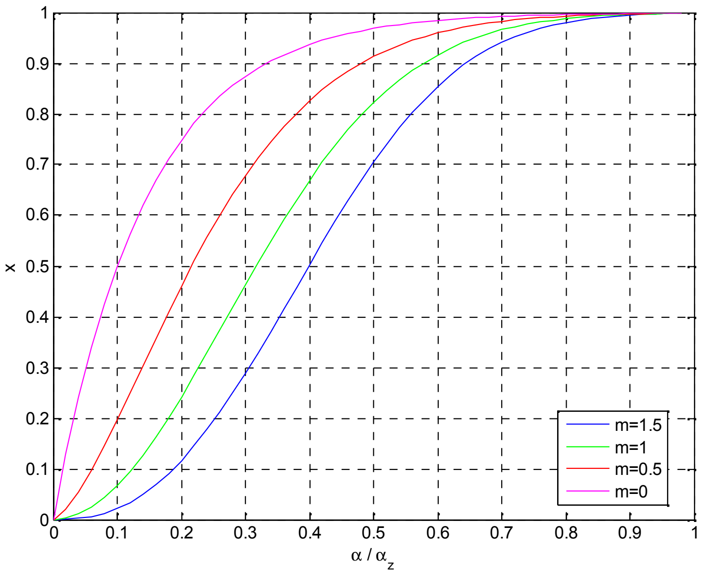
Най-голяма относителна разлика в стойността на p_i при числените и експериментални изследвания от 9,4% е при £ $=19$ и работа на двигателя на празен ход (I=0A) и се дължи на грешката при определяне на параметрите на горивния процеси, на неточности, свързани с точното изчисляване на стойността на налягането на работното вещество при газообмена и други.

Малките по стойност относителни разлики между параметрите на работния цикъл, изчислени със създадената програма и изчислените на базата на извършените измервания със софтуера към системата *AVL „INDISET 620“* потвърждават адекватността на създадените програми.

5.4. Ъгъл на начало на топлоотделяне при $p_{i\max}$ за $\varepsilon = 19$.

За по-ниските стойности на електрическия товар, стойността на ъгъла на начало на топлоотделянето спрямо ГМТ, при която се получава максимална стойност на p_i се увеличава. За £ $=19$, $p_{i\max} = 0.7979\, MPa$ се получава за *I*=20*A* и ~ $_y$ =4^o (преди ГМТ).

5.5. Стойности на *m* при $\alpha_y = -5^0$, $\varepsilon = 19$, $I = 20A$, $\varphi_z = 50^0$



Фиг. 5.13. Закон за относителното топлоотделяне при различни стойности на m

Най-високата стойност на $p_i = 0.744\ MPa$ е при $m = 0$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От извършените теоретични, експериментални и числени изследвания могат да се отбележат следните по-важни научно-приложни и приложни резултати на дисертационния труд:

1) На основата на съществуващи математични модели е съставен математичен модел на процесите от работния цикъл на дизелов двигател с отчитане на процесите на газообмена и динамиката на топлоотделяне при горивния процес.

2) Създаден е компютърен симулационен модел за изследване на параметрите на работния цикъл на дизелов двигател в средата *MATLAB* със *Simulink* с отчитане на процесите на газообмена и динамиката на топлоотделяне при горивния процес.

3) Съставени са математичен модел и програма за определяне на параметрите на топлоотделянето при горивния процес в дизелов двигател по

експериментално получени индикаторни диаграми с приложение на методите на Вибе.

4) Създадена е експериментална уредба за изследване на влиянието на степента на сгъстяване и натоварването върху параметрите на работния цикъл и показателите на дизелов двигател.

5) С компютърната измервателна система *„INDISET 620”* на фирмата *AVL* са снети индикаторни диаграми при четири стойности на степента на сгъстяване и четири стойности на външното натоварване и работа на празен ход на дизеловия двигател.

6) Експериментално получените резултати са конвертирани, обработени и визуализирани в *MATLAB*, където със създадения софтуер са опрелени параметрите на топлоотделянето при горивния процес.

7) Със създадения симулационен модел са проведени числени изследвания с определените параметри на топлоотделянето при горенето по експериментално снетите индикаторни диаграми при четири стойности на степента на сгъстяване и четири стойности на външното натоварване и работа на празен ход на дизеловия двигател.

8) Направеното сравнение на получените резултати от численото и експерименталното изследвания показва, че малките по стойност относителни разлики в параметрите на работния цикъл се дължат на точното определяне на параметрите на закона за топлоотделяне при горенето.

9) С разработения компютърен симулационен модел може да се извършва числено изследване и на други фактори върху параметрите на горивния процес и показателите на двигателя, и той може да намери приложение, както в научно-изследователската работа, така и при обучение на студенти.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. **Амбарев К.** ***Симулационен модел на работния цикъл на двигател с вътрешно горене с променлива степен на сгъстяване.*** Научна конференция с международно участие “ТЕХСИС 2011”, 26-28.05.2011, Пловдив, Научно списание на Технически университет – София, Филиал ПЛОВДИВ “Фундаментални науки и приложения”, Том. 16, Книга 2, 2011, стр. 147-152, ISSN 1310-8271.
2. **Амбарев К., Николов В., Димитров Е., Панчев С., Ташев А.** ***Уредба за експериментално изследване на дизелов двигател.*** Дни на механиката във Варна, XVII национален семинар по “Механика на непрекъснатите среди (механика на флуидите, топло- и масообмен)”, 8-10.09.2013, Варна, Научно списание "Механика на машините", 2014, год. XXII, кн. 2, бр. 106, стр. 8-12, ISSN 0861-9727.

3. <u>Амбарев К.,</u> **Николов В., Димитров П., Димитров Е.** ***Изследване влиянието на степента на сгъстяване върху процесите при работа на дизелов двигател.*** Дни на науката на ТУ-София, V научна конференция “БулТранс 2013”, 16-18.10.2013, София, Сборник доклади, стр. 31-35, ISSN 1313-955X.
4. **Николов В.,** <u>**Амбарев К.**</u> ***Компютърно моделиране на процесите от работния цикъл на четиритактов двигател с вътрешно горене.*** Дни на механиката във Варна, XIV национален семинар по “Механика на непрекъснатите среди (механика на флуидите, топло- и масообмен)”, 8-10.09.2010, Варна, Научно списание "Механика на машините", 2011, год. XIX, кн. 1, бр. 92, стр. 15-20, ISSN 0861-9727.
5. **Николов В.,** <u>**Амбарев К.**</u> ***Моделиране на газообмена в ДВГ.*** Дни на науката на ТУ-София, II научна конференция “БулТранс’10”, 24-26.09.2010, Созопол, Сборник доклади, стр. 137-140, ISSN 1313-955X.
6. **Nikolov V.,** <u>**Ambarev K.**</u> ***Study of the influence of the compression ratio of four stroke diesel engine.*** International scientific conference "trans&MOTAUTO'12", 27-29.06.2012, Varna, International virtual journal for science, technics and innovations for industry “Machines, Technologies and Materials”, Scientific technical union of Mechanical engineering, Sofia, Bulgaria, 2012, Issue 7, pp. 3-6, ISSN 1313-0226.

ANNOTATION

STUDY OF THE INFLUENCE OF SOME FACTORS ON THE PARAMETERS OF THE OPERATING CYCLE AND PERFORMANCE OF A DIESEL ENGINE

Author: Eng. Krasimir Mateev Ambarev, MSc

In the PhD Thesis a mathematical model is created of the operating cycle of a diesel engine, based on the mathematical model of changing the working substance, developed by prof. N. M. Glagolev, and the mathematical model of combustion, developed by prof. I. I. Vibe. Computer simulation is created for studying the influence of the parameters of the operating cycle of a diesel engine in the *Matlab* with *Simulink*. Based on the Vibe's methods, a mathematical model is presented and software is created for determining the heat release law from experimentally obtained indicator diagrams. An experimental system is created for studying the influence of the compression ratio on the parameters of the working cycle and performance of the engine *KIPOR KM186FA* in the different working modes. Experimental studies are made. Numerical research is performed by using the simulation model with the defined law on combustion heat release from the experimentally obtained indicator diagrams. The comparison of the results of the numerical and experimental study proves the adequacy of the simulation model, which can be used for the numerical study the influence of various factors on the parameters of the operating cycle and the performance of the diesel engine.