



**МЛАДЕЖКИ ФОРУМ
„НАУКА, ТЕХНОЛОГИИ,
ИНОВАЦИИ, БИЗНЕС“
*2022 есен***

***YOUTH FORUMS
"SCIENCE, TECHNOLOGY,
INNOVATION, BUSINESS" 2022***

**24 – 25 ноември 2022 година
Дом на науката и техниката – Пловдив**

СБОРНИК ДОКЛАДИ

ПЛОВДИВ

ISSN 2367-8569

Публикувано на:

<http://hst.bg/bulgarian/conference.htm>



МЛАДЕЖКИ ФОРУМ
„НАУКА, ТЕХНОЛОГИИ,
ИНОВАЦИИ, БИЗНЕС“
2022 есен

организиран

от

**Сдружение „Научно-технически съюзи с
Дом на науката и техниката – Пловдив“**

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ:

Проф. д-р инж. Георги Сомов

Проф. д-р инж. Иван Янчев

Проф. д-р Христо Бозуков

Доц. д-р Георги Врагов

Доц. д-р инж. Пепо Йорданов

СЪДЪРЖАНИЕ

I. Направление

ХРАНИ. ХРАНЕНЕ. ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ХРАНИ И НАПИТКИ. КЕТЪРИНГ. ТУРИЗЪМ.

Модератор: проф. д-р инж. Георги Сомов

I.1. СЕНЗОРЕН ПРОФИЛ НА КАШКАВАЛ С НАМАЛЕНО СЪДЪРЖАНИЕ НА НАТРИЕВ ХЛОРИД АЛЕКСАНДЪР БАЛАБАНОВ, ГАЛИН ИВАНОВ.....	6
I.2. ТЕХНОЛОГИЧНИ РЕШЕНИЯ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА КАШКАВАЛ С НАМАЛЕНО СЪДЪРЖАНИЕ НА NaCl ГАЛИН ИВАНОВ, АЛЕКСАНДЪР БАЛАБАНОВ.....	11
I.3. ОПТИМИЗАЦИЯ НА ВАРЕНИ КОЛБАСИ ПРОИЗВЕДЕНИ С ЕМУЛСИИ ОТ РАСТИТЕЛНИ МАСЛА, КАТО ЗАМЕСТИТЕЛИ НА МАЗНИНИ: ПРОЕКТИРАНЕ НА СМЕСИ МАРИЯ МОМЧИЛОВА, ТОДОРКА ПЕТРОВА, АЛБЕНА ПЪРЖАНОВА.....	17
I.4. ИННОВАЦИОННА ИОНООЗОННА КАВИТАЦИОННА ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗДРОЖЕВЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИИ ИЗ РЖАНОЙ, РЖАНО-ПШЕНИЧНОЙ МУКИ АУЕЛБЕК ИЗТАЕВ, МАДИНА ЯКИЯЕВА, ИЛИЯС АККОЖА.....	23
I.5. ПРОУЧВАНЕ НА БИОЛОГИЧНИЯ ПОТЕНЦИАЛ НА ЛЕЧЕБНИ АРОМАТИЧНИ РАСТЕНИЯ, С ЦЕЛ ВЛАГАНЕ В ЕМУЛСИОННИ СИСТЕМИ АЛБЕНА ПЪРЖАНОВА, СНЕЖАНА ИВАНОВА, ГАБОР ЖИВАНОВИЧ, ИВЕЛИНА ВАСИЛЕВА, ХРИСТО ВАСИЛЕВ.....	26
I.6. ПРОУЧВАНЕ ВЪРХУ ФИЗИКОХИМИЧНИТЕ И БИОХИМИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА <i>ZIZIPHUS JUJUBE MILL.</i> ТЕОДОРА ПЕТКОВА, ЙОРДАНКА АЛЕКСИЕВА.....	34
I.7. ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТАБИЛИТЕТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕМУЛСИИ С <i>ZIZIPHUS JUJUBE MILL.</i> МАСЛО/ ВОДА И МАСЛЕНА ФАЗА РАСТИТЕЛНО СЛЪНЧОГЛЕДОВО МАСЛО 20, 40 И 60% ТЕОДОРА ПЕТКОВА, ЙОРДАНКА АЛЕКСИЕВА.....	41
I.8. РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МИРА СЕРИККЫЗЫ, ЛЯЗЗАТ БАЙБОЛОВА, ДЕСИСЛАВ БАЛЕВ	48
I.9. PLOVDIV – A POINT OF ATTRACTION FOR WINE TOURISM ANGELINA TITERYAKOVA ПЛОВДИВ – ПРИТЕГАТЕЛНА ТОЧКА ЗА ВИНЕН ТУРИЗЪМ АНГЕЛИНА ТИТЕРЯКОВА.....	52
I.10. ПРОУЧВАНЕ ВЪРХУ СЪВРЕМЕННИ ТЕНДЕНЦИИ ПО ПАЛЕО ХРАНИТЕЛЕН РЕЖИМ ПРИ АВТОИМУННИ ЗАБОЛЯВАНИЯ СТЕФАНИ КОСТАДИНОВА ВРАНЧЕВА, ИЛИАНА МИЛКОВА-ТОМОВА.....	58
I.11. ИНОВАТИВНИ АЛТЕРНАТИВНИ ХРАНИТЕЛНИ СИСТЕМИ ЕЛИНА БЪБЪРОВА, АЛЕКСАНДРА ДОБРИНОВА, ИЛИАНА МИЛКОВА-ТОМОВА.....	66
I.12. СЪВРЕМЕННИ ХРАНИТЕЛНИ ТЕХНОЛОГИИ - 3D ПРИНТ НА ХРАНИ СИМОНА ДИМИТРОВА, ИЛИАНА МИЛКОВА-ТОМОВА.....	70
I.13. СЪВРЕМЕННИ ТЕНДЕНЦИИ В ТРАДИЦИОННИЯ БЪЛГАРСКИ МОДЕЛ НА ХРАНЕНЕ ЗИЙНЕБ ХЮЕСИН, ЙОРДАНКА ЗАПРЯНОВА, ЕМИЛ ГЕОРГИЕВ, ИЛИАНА МИЛКОВА-ТОМОВА.....	77

I.14. ПРОУЧВАНЕ ВЪРХУ ХРАНЕНОТО НА СТУДЕНТИ С ПОВИШЕНА ФИЗИЧЕСКА АКТИВНОСТ	
ДИМИТЪР ЦЪРНЕЛОВ, НИКОЛАЙ ГЕНКОВ, ИЛИАНА МИЛКОВА-ТОМОВА.....	81

II. Направление

ЗЕМЕДЕЛИЕ

Модератор: проф. д-р Христо Бозуков

II.1. EFFECT OF POTASSIUM CHLORIDE CONCENTRATIONS ON SEED GERMINATION AND SEEDLING CHARACTERISTICS IN RICE (<i>ORYZA SATIVA</i> L.)	
SVILENA TOSHEVA, GERGANA DESHEVA, EVGENIYA VALCHINOVA, ALBENA PENCHEVA	
ВЛИЯНИЕ НА КОНЦЕНТРАЦИЯТА НА КАЛИЕВ ХЛОРИД ВЪРХУ ПОКЪЛВАНЕТО НА СЕМЕНАТА И ПАРАМЕТРИТЕ НА ПРОРАСТЪЦИТЕ ПРИ ОРИЗА (<i>ORYZA SATIVA</i> L.)	
СВИЛЕНА ТОШЕВА, ГЕРГАНА ДЕШЕВА, ЕВГЕНИЯ ВЪЛЧИНОВА, АЛБЕНА ПЕНЧЕВА.....	86
II.2. РЕЗУЛТАТИ ОТ СРЕДНИ БИОМЕТРИЧНИ ДАННИ НА ПЛОДОВЕ И КОСТИЛКИ ОТ ПРАСКОВИ	
САШКА САВЧОВСКА.....	96
II.3. ХИМИЧНА И ОРГАНОЛЕПТИЧНА ОЦЕНКА НА ОРИЕНТАЛСКИ ТЮТЮНИ ПРОИЗВЕДЕНИ В МАКЕДОНСКА ТЮТЮНЕВА ОБЛАСТ	
НИКОЛАЙ НИКОЛОВ, ВИОЛЕТА НИКОЛОВА, СИЛВИЯ ПЕЕВА.....	100

III. Направление

МАШИНОСТРОИТЕЛНИ ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНИ, ИНСТРУМЕНТИ, МАТЕРИАЛИ.

Модератор: проф. д-р инж. Иван Янчев

III.1. СТЕГНАТО ПРОИЗВОДСТВО - LEAN ИНСТРУМЕНТИ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНИТЕ ПРОЦЕСИ	
НИКОЛАЙ ДИМИТРОВ, СТЕФАН СТЕФАНОВ.....	106
III.2. ВЛИЯНИЕ НА СЪДЪРЖАНИЕТО НА МАНГАН ВЪРХУ ДЪЛБОЧИНАТА НА ЦЕМЕНТАЦИОННИЯТ СЛОЙ ПРИ КОНСТРУКЦИОННИ СТОМАНИ	
МАРИЯН КАЛЕСТРОВ	112
III.3. ТЕРМИЧЕН АНАЛИЗ НА АЛУМИНИЙ-СИЛИЦИЕВИ СПЛАВИ AlSi25Cu4Cr И AlSi25Cu5Cr МОДИФИЦИРАНИ С РАЗЛИЧНИ КОНЦЕНТРАЦИИ ФОСФОР	
БОЯН ДОЧЕВ.....	116
III.4. ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ВРЕМЕТО ЗА ЗАДЪРЖАНЕ ПРИ РЕКРИСТАЛИЗАЦИОННО ОТГРЯВАНЕ ВЪРХУ СТРУКТУРАТА НА ДЕТАЙЛИ ОТ Cu 99.9 ИЗРАБОТЕНИ ЧРЕЗ СПИНИНГОВАНЕ	
ДЕСИСЛАВА ДИМОВА.....	123
III.5. ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ГЕОМЕТРИЯТА НА РЕЖЕЩИЯ ИНСТРУМЕНТ ВЪРХУ КЛАСА НА ГРАПАВОСТ НА СПЛАВ AlSi25 ПРИ СТРУГОВАНЕ	
ПЛАМЕН КАСАБОВ, ДЕСИСЛАВА ДИМОВА.....	128
III.6. ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА МИКРОСТРУКТУРАТА ВЪРХУ КАЧЕСТВОТО НА ОБРАБОТВАНИТЕ ПОВЪРХНИНИ НА НАДЕВТЕКТИЧНИ АЛУМИНИЙ-СИЛИЦИЕВИ СПЛАВИ ПРИ ФРЕЗОВАНЕ	
ПЛАМЕН КАСАБОВ, ДЕСИСЛАВА ДИМОВА.....	135
III.7. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДИНАМИЧНИЯ МОДУЛ НА ЕЛАСТИЧНОСТ ПО ВРЕМЕ НА ВТВЪРДЯВАНЕ НА ПОЛИМЕРБЕТОНЕН СЪСТАВ	
СЪБИ СЪБЕВ	141

III.8. ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДОЛОГИЯТА НА ТАГУЧИ ЗА АНАЛИЗ НА ТОЧНОСТТА НА РАЗМЕРА ПРИ 3D ПЕЧАТ СЪБИ СЪБЕВ, ВАЛЕРИ БАКЪРДЖИЕВ.....	145
III.9. МЕТОДИКА ЗА АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ И АКТИВЕН КОНТРОЛ В ПРОЦЕСА НА ФРЕЗОВАНЕ НА ПРАВОЪГАЛЕН ДЖОБ ПЛАМЕН КАСАБОВ, СЪБИ СЪБЕВ.....	149
III.10. ИЗСЛЕДВАНЕ СТАБИЛНОСТТА ПРИ ОБРАБОТВАНЕ НА ВЪТРЕШНА РОТАЦИОННА ПОВЪРХНИНА НА СТРУГ С ЦПУ ПЛАМЕН КАСАБОВ, СЪБИ СЪБЕВ.....	153

IV. Направление
ТРАНСПОРТ. ТРАНСПОРТНИ МАШИНИ.

Модератор: доц. д-р инж. Пено Йорданов

IV.1. ОРГАНИЗАЦИЯ НА ТРАНСПОРТНАТА РАБОТА ВЪВ ФИРМА ИЗВЪРШВАЩА МЕЖДУНАРОДЕН ТРАНСПОРТ ГАЛЕН ЙОРДАНОВ, ДИМИТЪР ГРОЗЕВ.....	158
IV.2. АНАЛИЗ НА ТРАНСПОРТНИТЕ ПРОЦЕСИ В ПРИСТАНИЩЕ РУСЕ ИЗТОК ТИМОТЕЙ ТОМОВ, ДИМИТЪР ГРОЗЕВ.....	162
IV.3. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ВОДОРОДНИТЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОБУЧЕНИЕТО НА СТУДЕНТИ В РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ“ ИЛИЯНА НИКОЛОВА, ИВАН БЕЛОЕВ, ДИМИТЪР ГРОЗЕВ.....	167
IV.4. ТРАНСПОРТНО ИНФРАСТРУКТУРНО РАЗВИТИЕ, СВЪРЗАНОСТ И ДОСТЪПНОСТ НА ТЕРИТОРИЯТА НА ОБЩИНА ПЛОВДИВ МАЯ ЛАМБРЕВА, ПАВЕЛ СТОЯНОВ.....	173
IV.5. ИЗСЛЕДВАНЕ ИЗНОСВАНЕТО НА ОСИГУРИТЕЛНИ ЕЛЕМЕНТИ ОТ ТАЛИГИ ЗА ТОВАРНИ ВАГОНИ ПОДЛОЖЕНИ НА РАЗЛИЧНИ ВИДОВЕ ТЕРМИЧНИ И ХИМИКО-ТЕРМИЧНИ ОБРАБОТКИ МАРИЯН КАЛЕСТРОВ, ГЕРГАНА КАЛЕСТРОВА.....	179
IV.6. СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ПРОЦЕСИТЕ ОТ РАБОТНИЯ ЦИКЪЛ НА ЧЕТИРИТАКТОВ ДВИГАТЕЛ С ВЪТРЕШНО ГОРЕНЕ ВЪЛЪО НИКОЛОВ, КРАСИМИР АМБАРЕВ, НИКОЛАЙ ПАЙТАКОВ.....	183

V. Направление

ИНФОРМАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

ИОТ (ИНТЕРНЕТ НА НЕЩАТА), РОБОТИКА, ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

Модератор: доц. д-р Георги Врагов

V.1. ПРОГРАМИРУЕМО УПРАВЛЕНИЕ ЗА ИНДУСТРИАЛНИ СТРУГОВЕ МИРЧО МЪГЛИЖАНОВ, ИВАН БОДУРОВ.....	189
--	------------

СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ПРОЦЕСИТЕ ОТ РАБОТНИЯ ЦИКЪЛ НА ЧЕТИРИТАКТОВ ДВИГАТЕЛ С ВЪТРЕШНО ГОРЕНЕ

ВЪЛЪО НИКОЛОВ, КРАСИМИР АМБАРЕВ, НИКОЛАЙ ПАЙТАКОВ

Технически университет – София, филиал Пловдив
Катедра “Транспортна и авиационна техника и технологии”
4000 гр. Пловдив, ул. “Цанко Дюстабанов”, № 25

E-mail: vnikolov@tu-plovdiv.bg, kambarev@tu-plovdiv.bg, paitakov@abv.bg

Резюме: В статията е описан създаденият в средата MATLAB със Simulink компютърен симулационен модел за изследване на процесите от работния цикъл на четиритактов двигател с вътрешно горене. След описване, инициализиране и изчисляване на необходимите конструктивни и режимни параметри на двигателя и работното вещество, е създаден симулационния модел. Неговата структура се състои от пет подсистеми, с необходимите паралелни и последователни връзки между тях. Със създадения симулационен модел са изчислени преместването, скоростта и ускорението на буталото, обемът на работното пространство и неговата производна, проходните сечения при отваряне на всмукателния и изпускателния клапани, топлоотделянето и неговата производна при горенето, налягането на работното вещество и неговата производна, силите, действащи върху елементите на коляно-мотовилковия механизъм и въртящият момент на коляновия вал.

Ключови думи: двигатели с вътрешно горене, математично моделиране и компютърна симулация.

SIMULATION MODEL OF PROCESSES OF THE OPERATING CYCLE OF A FOUR STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

VALYO NIKOLOV, KRASIMIR AMBAREV, NIKOLAY PAYTAKOV

Technical University of Sofia, Plovdiv Branch
Department of Transport and Aircraft Equipment and Technologies
25, Tsanko Dyustabanov Str., Plovdiv 4000, Bulgaria

E-mail: vnikolov@tu-plovdiv.bg, kambarev@tu-plovdiv.bg, paitakov@abv.bg

Abstract: The paper describes the computer simulation model for studying the processes of the operating cycle of a four-stroke internal combustion engine, created in the MATLAB environment by the use of Simulink. After specification, initialization and calculation of the necessary design and regime parameters of the engine and working fluid, the simulation model was created. Its structure consists of five subsystems, with the necessary parallel and serial connections between them. By the means of the created simulation model were calculated: displacement, velocity and acceleration of the piston, volume of the working chamber and its derivative, time-sections at opening the inlet and exhaust valves, heat release and its derivative in the combustion, pressure of the working fluid and its derivative, forces acting on the components of the crank mechanism and the torque of the crankshaft.

Keywords: internal combustion engines, mathematical modeling and computer simulation.

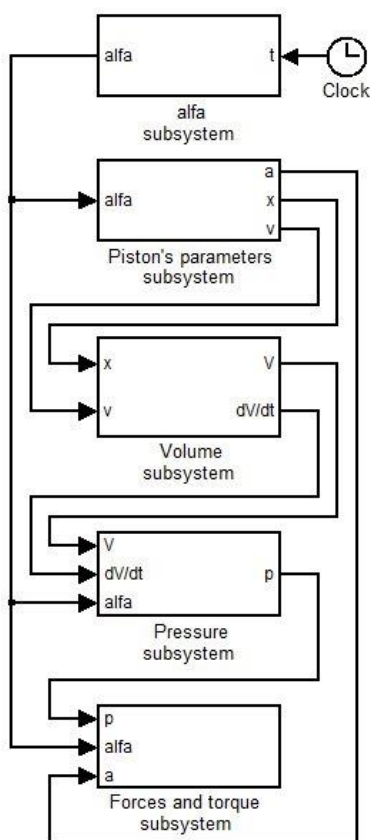
1. Постановка на задачата

Целта на настоящата разработка е създаването на компютърен симулационен модел на работния цикъл на четиритактов двигател с вътрешно горене (ДВГ) за изследване влиянието на различни параметри при установени режими на работа.

2. Моделиране на процесите от работния цикъл на ДВГ

На базата на математичното описание на последователно осъществяваните процеси от работния цикъл на четиритактовите ДВГ [1, 2, 3, 4, 5, 7], е създадена структурата на компютърния модел със Simulink в средата MATLAB.

В програмен файл са описани, инициализирани и изчислени необходимите конструктивни и режимни параметри на двигателя и работното тяло.



Фиг. 1. Симулационен модел на работния цикъл на ДВГ

При изграждането на симулационния модел, на базата на приетата структура, са създадени съставните подсистеми с необходимите връзки между тях, представени на фиг. 1.

Работният цикъл на четиритактовите ДВГ се осъществява за две завъртания на колянния вал, т.е. за 720° .

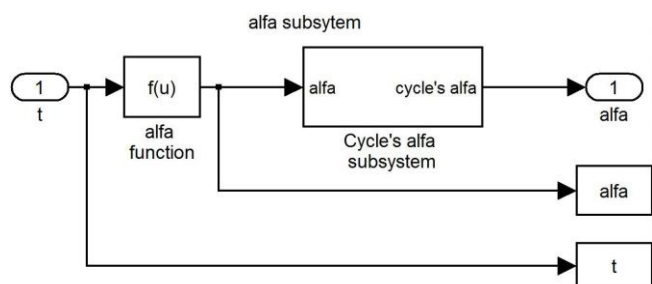
Фазите и параметрите на съставните процеси, и кинематичните параметри на буталото са функция на ъгъла на завъртане на колянния вал α , [deg], който се приема за аргумент и се изчислява по формулата

$$(1) \quad \alpha = bnt,$$

където n , [1/min] са оборотите на колянния вал и t , [s] е времето.

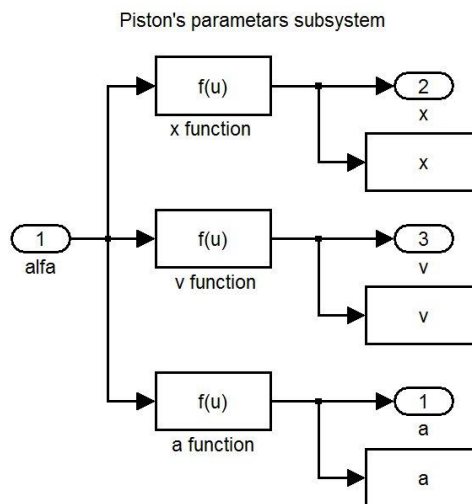
За начални условия се приемат стойностите на параметрите при положението на колянния вал в горна мъртва точка (ГМТ), когато всмукателният и изпускателният клапани са частично отворени.

Трансформацията на t в α се извършва в подсистемата "Alfa", показана на фиг. 2.



Фиг. 2. Подсистема "Alfa"

Преместването, скоростта и ускорението на буталото се изчисляват във втората подсистема "Piston's parameters" (фиг. 3) по формулите



Фиг. 3. Подсистема "Piston's parameters"

$$(2) \quad x = R \left[(1 - \cos \alpha) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\alpha) \right];$$

$$(3) \quad v = R\omega \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right);$$

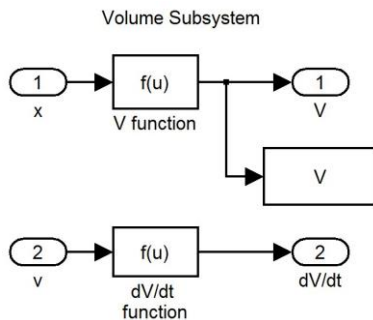
$$(4) \quad a = R\omega^2 (\cos \alpha + \lambda \cos 2\alpha),$$

където R , [m] е радиусът на коляното, L , [m] – дължина на мотовилката, $\lambda=R/L$ и ω , [rad/s] е ъгловата скорост на коляновия вал.

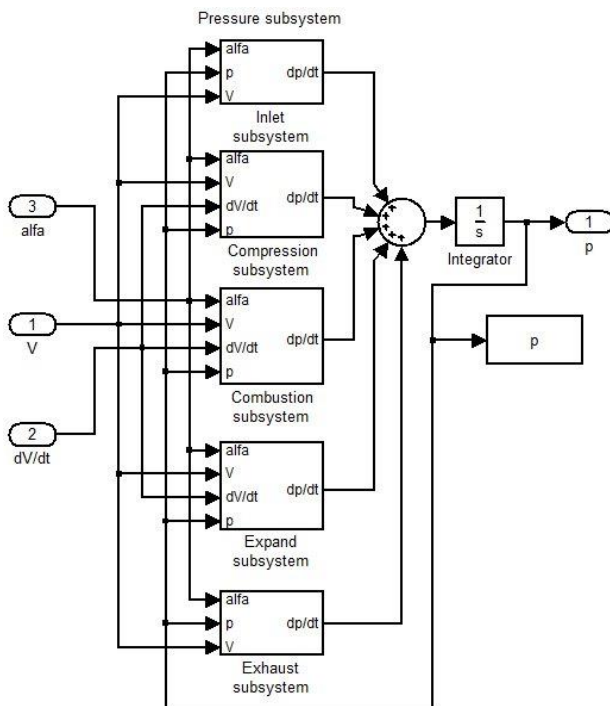
Обемът на работното тяло и неговата производна се изчисляват в третата подсистема “Volume” (фиг. 4) със зависимостите

$$(5) \quad V = xF + V_c;$$

$$(6) \quad \frac{dV}{dt} = vF,$$



Фиг. 4. Подсистема за “Volume”

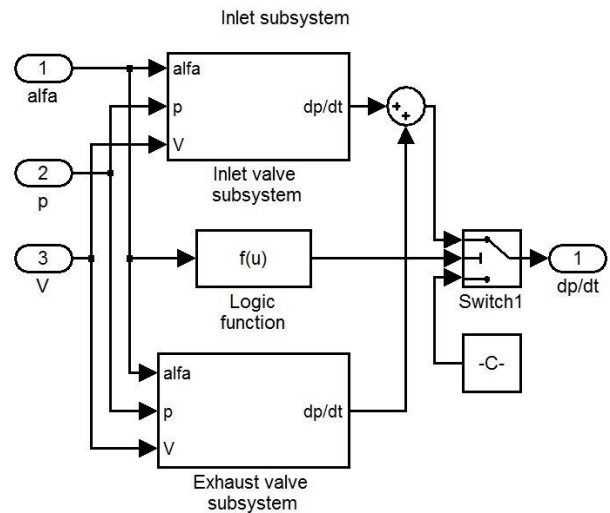


Фиг. 5. Подсистема “Pressure”

където $F=\pi D^2/4$, [m²] е площ на напречното сечение на цилиндъра; D , [m] - диаметър на цилиндъра и V_c , [m³], - обем на горивната камера.

В подсистемата „Pressure” се изчислява налягането на работното вещество чрез числено

интегриране на неговата производна. При всеки от последователно протичащите процеси от работния цикъл на ДВГ, производната на налягането се изчислява в показаните подсистеми на фиг. 5.



Фиг. 6. Подсистема „Inlet”

Производната на налягането на работното вещество при процеса пълнене се изчислява в подсистемата „Inlet” (фиг. 6) по формулата

$$(7) \quad \frac{dp}{dt} = 6n \left(a_p \frac{\mu f}{V} z_s - bc_1 \frac{p}{V} \right),$$

при $0^\circ \leq \alpha \leq (180^\circ + \beta_{ек})$, където n , [min⁻¹] са оборотите на коляновия вал; μ - коефициент на дебита; f , [m²] – площ на проходното сечение при отворен всмукателен клапан; p , [Pa] – налягане; V , [m³] – обем;

$$(8) \quad a_p = \frac{k}{6n} p_0 \sqrt{2 \frac{k}{k-1} R_2 T_0}$$

$$(9) \quad z_s = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{k}}, \text{ при } \frac{p}{p_0} \geq \beta_{кр} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$(10) \quad z_s = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{k}} \sqrt{1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}}}, \text{ при } \frac{p}{p_0} \leq \beta_{кр}$$

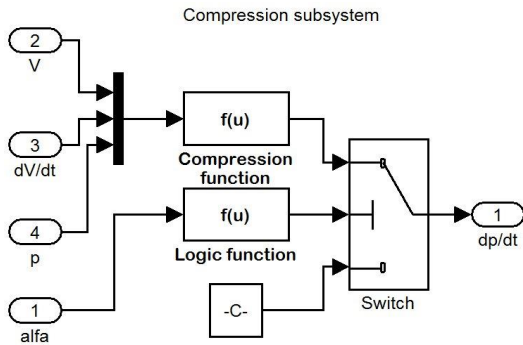
$$(11) \quad b = \frac{\pi k V_h}{360},$$

където k е показател на адиабатата и V_h , [m³] – ходов обем;

$$(12) \quad c_1 = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta},$$

където $\beta = \arcsin(\lambda \sin \alpha)$, [rad] е ъгъл на отклонение на мотовилката от оста на цилиндъра,

$\lambda = R/L$, R , [m] – радиус на коляното и L , [m] – дължина на мотовилката.

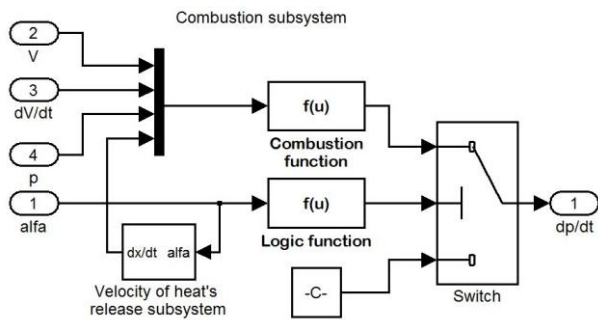


Фиг. 7. Подсистема „Compression”

Производната на налягането при процеса сгъстяване се изчислява в подсистемата „Compression” (фиг. 7) по формулата

$$(13) \quad \frac{dp}{dt} = -\frac{n_1 p}{V} \frac{dV}{dt}$$

при $(180^\circ + \beta_{вк}) < \alpha < (360^\circ - \alpha_y)$, където $\beta_{вк}$ и α_y са съответно ъгъла на завъртане на коляновия вал, след долна мъртва точка (д.м.т.), еквивалентен на затваряне на всмукателния клапан и ъгъла, преди горна мъртва точка (г.м.т.), еквивалентен на началото на процеса горене, n_1 е показател на политропата на сгъстяване.



Фиг. 8. Подсистема „Combustion”

Производната на налягането при процеса горене се изчислява в подсистемата „Combustion” (фиг. 8), като

$$(14) \quad \frac{dp}{dt} = \frac{(k-1)q_z}{V} \frac{dx}{dt} - \frac{k}{V} \frac{dV}{dt} p,$$

при $(360^\circ - \alpha_y) \leq \alpha \leq (360^\circ - \alpha_y + \alpha_z)$, където α_z е ъгъл на завъртане на коляновия вал, съответстващ на продължителността на

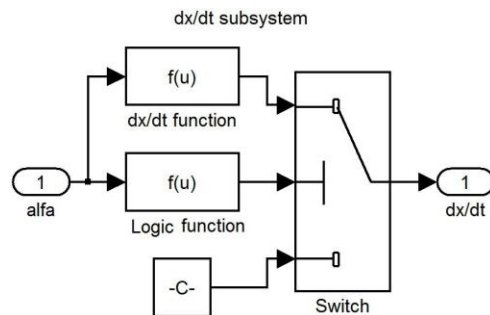
топлоотделянето, q_z е отделената специфична топлина при горенето

$$(15) \quad q_z = \frac{\xi H_u}{(1+\gamma)\alpha L_0},$$

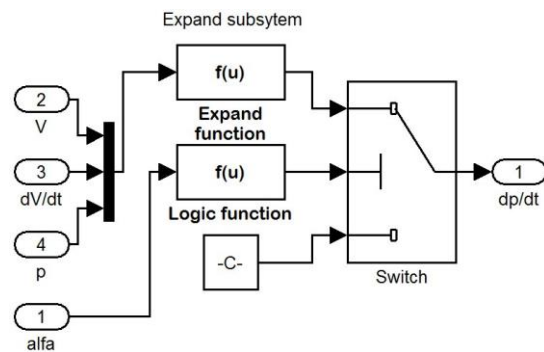
в която ξ е коефициент на ефективност на горенето, H_u - нисша топлотворна способност на горивото, γ - коефициент на остатъчните газове, α - коефициент на излишък на въздуха, L_0 - количество въздух, теоретично необходимо за пълното изгаряне на 1 кг гориво, dx/dt - производна на функцията на Виебе (фиг. 9):

$$(16) \quad \frac{dx}{dt} = \frac{6,908(m+1)}{t_z} \left(\frac{t}{t_z}\right)^m e^{-6,908\left(\frac{t}{t_z}\right)^{m+1}},$$

където m е показател на характера на горене, t_z - продължителност на процеса горене, t/t_z е относителна продължителност на горене.



Фиг. 9. Подсистема „dx/dt”



Фиг. 10. Подсистема „Expand”

Производната на налягането при процеса разширение се изчислява в подсистемата „Expand” (фиг. 10) по формулата

$$(17) \quad \frac{dp}{dt} = -\frac{n_2 p}{V} \frac{dV}{dt}$$

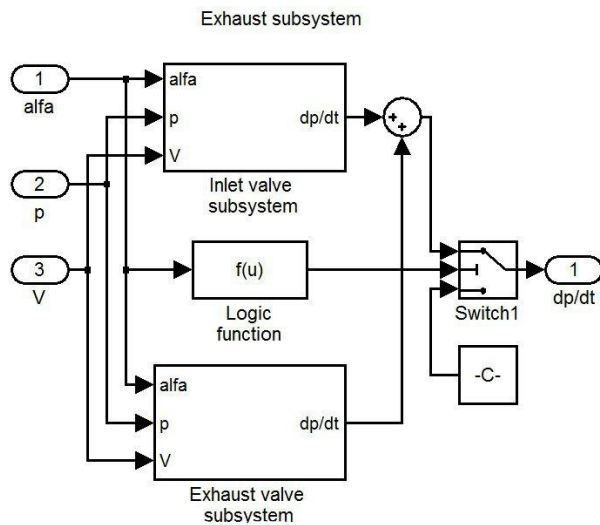
при $(360^\circ - \alpha_y + \alpha_z) < \alpha < (540^\circ - \alpha_{ук})$,

където n_2 е показател на политропата на разширение, $\alpha_{ук}$ - ъгъл на завъртане на коляновия вал, преди д.м.т., съответстващ на началото на отваряне на изпускателния клапан.

Производната на налягането при процеса изпускане се изчислява в подсистемата „Exhaust“ (фиг. 11) по формулата

$$(18) \quad \frac{dp}{dt} = 6n \left(a \frac{\mu f}{V} z_s - bc_1 \frac{p}{V} \right)$$

при $(540^\circ - \alpha_{ук}) \leq \alpha \leq 720^\circ$.



Фиг. 11. Подсистема „Exhaust“

Силите, действащи на коляно-мотовилковия механизъм и въртящия момент се изчисляват в подсистемата „Forces and torque“ (фиг. 12). Сумарната сила, насочена по оста на буталото се изчислява по зависимостта

$$(19) \quad P_\Sigma = P_g + P_j + P_f$$

$$(20) \quad P_g = pF$$

$$(21) \quad P_j = -m_j a,$$

където P_g е газовата сила, P_j е инерционната сила от праволинейно-възвратно движещите се маси, F - площ на напречното сечение на цилиндъра, m_j - приведена маса. Силата на триене се определя по формулата

$$(22) \quad P_f = P_{f_1} + P_{f_2}, \text{ където}$$

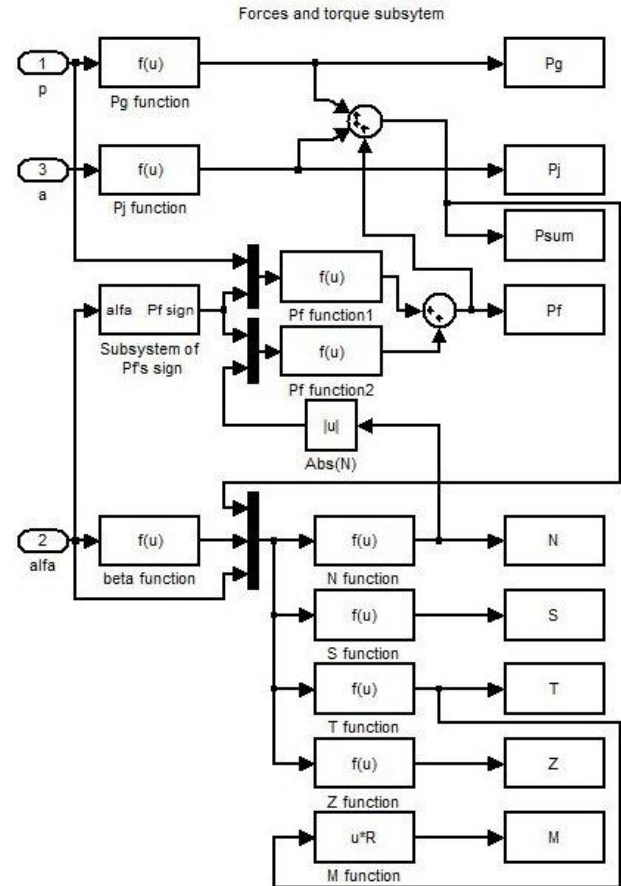
$$(23) \quad P_{f_1} = k_{30} i_{\delta n} \pi D h_{\delta n} \left(p_r + \frac{0,75 p - p_0}{2 i_{\delta n}} \right),$$

в която: k_{30} - коефициент на триене между буталните пръстени и цилиндъра; $i_{\delta n}$ - брой

бутални пръстени; $h_{\delta n}$ - височина на уплътняващата част на буталните пръстени; p_r и p_0 - налягане на отработилите газове и на околната среда.

$$(24) \quad P_{f_2} = k_{10} |N|$$

k_{10} - коефициент на триене между буталото и цилиндъра



Фиг. 12. Подсистема „Forces and torque“

Силите, съсредоточени в оста на буталния болт и в оста на мотовилковата шийка се изчисляват по математичните зависимости

$$(25) \quad N = P_\Sigma \operatorname{tg} \beta$$

$$(26) \quad S = \frac{P_\Sigma}{\cos \beta}$$

$$(27) \quad T = \frac{P_\Sigma \sin(\alpha + \beta)}{\cos(\beta)}$$

$$(28) \quad Z = \frac{P_\Sigma \cos(\alpha + \beta)}{\cos(\beta)},$$

където N и S са съответно нормалната сила и силата, действаща по оста на мотовилката, T е

тангенциалната сила и Z е силата в равнината на коляното.

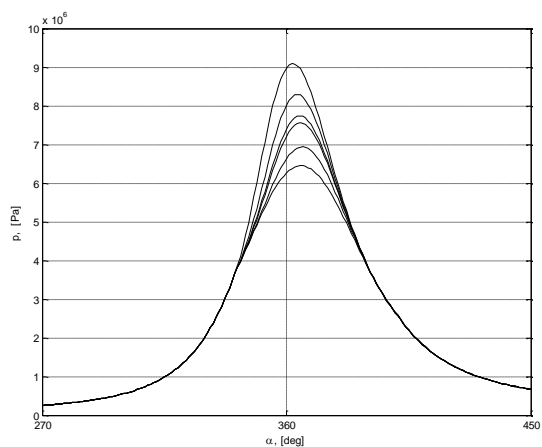
Въртящият момент се изчислява по зависимостта

$$(29) \quad M = TR$$

3. Получени резултати с компютърния симулационен модел

Със създадения компютърен симулационен модел на работния цикъл на ДВГ са проведени числени експерименти и са получени резултати, които подлежат на сравнение и валидация с тези от измерванията на параметри по време на работа на ДВГ на установени режими [6].

Получените резултати от числени експерименти за налягането при различни закони на относителното топлоотделяне, чрез вариране със стойността на параметъра във функцията на Виебе $m = 0,5; 1,0; 1,37; 1,5; 2,0$ и $2,5$, при равни начални ъгли на топлоотделяне ($\alpha_v = 18^\circ$), са представени на фиг. 13.



Фиг. 13. Налягане при равни начални ъгли на топлоотделяне

4. Заключение

Създаден е компютърен симулационен модел на работния цикъл на четиритактови ДВГ, с който могат да се изследват процесите при установени режими на работа и да се сравнят и

валидират числените с експериментално получените резултати.

5. Благодарности

Авторите изказват благодарност за финансовата подкрепа на:

- Научно-изследователския сектор на Технически университет – София.
- Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „Наука и образование за интелигентен растеж“ 2014 – 2020 г., проект № BG05M2OP001-1.002-0023-C01 - ЦК „Интелигентни мехатрони, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.

ЛИТЕРАТУРА

1. Димитров П. Двигатели с вътрешно горене. Първа част: Теория на двигателите с вътрешно горене. София, Технически университет-София, 2000.
2. Маслинков С. С и кол. Теория на двигателите с вътрешно горене. София, Техника, 1993.
3. Николов В., Амбаров К. Математичен модел на работния цикъл на двигател с вътрешно горене с автоматично регулиране на степента на сгъстяване – I и II част. Международна научна конференция "trans&MOTAUTO'09", 17-19.09.2009, Слънчев бряг, Сборник доклади, том I, стр. 100-112, ISSN 1313-5031.
4. Орлин А.С. и кол. Двигатели вътрешного сгорания. Теория рабочих процессов поршевых и комбинированных двигателей. Москва, Машиностроение, 1983.
5. Шароглазов Б. А. и кол. Двигатели внутреннего сгорания теория, моделирование и расчет процессов. Челябинск, 2004.
6. Ambarev K., Nikolov V. System for measuring the pressure at work and construction of indicator diagram of diesel engine. Sixth international scientific conference TECHSYS 2017, 18-20 May 2017, Technical University of Sofia, Plovdiv Branch, Plovdiv, Bulgaria, Proceedings, pp. 269-274, ISSN online: 2535-0048.
7. Nikolov V., Ambarev K. Modeling of gas exchange of internal combustion engines. Second international scientific conference "BulTrans-2010", 24-26 september 2010, Sozopol, Bulgaria, Proceedings, pp. 137-140, ISSN 1313-955X.