



**Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Кафедра двигунів внутрішнього згорання**

# **ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ**

**Міжнародна науково-практична конференція  
11-12 березня 2024 року (онлайн)**

61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25 (Посвідчення УкрІНТЕІ від 05 грудня 2023 р. № 497)



## **Секція 2: Робочі процеси, динаміка і техніко-економічні показники енергетичних систем та машин**

**Доповідь на тему: «ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОЗШАРОВАНОГО ЗБІДНЕНОГО ПАЛИВОПОВІТРЯНОГО ЗАРЯДУ У ЦИЛІНДРІ ДВОТАКТНОГО ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ»**

*професор кафедри ДВЗ ХНАДУ Корогодський В.А.,  
завідувач кафедри ТТДЕМ УкрДУЗТ Василенко О.В.,  
доцент кафедри іноземних мов ХНАДУ Руденко Н.В.,  
аспірант кафедри ДВЗ ХНАДУ Матиско О.О.,  
аспірант кафедри ДВЗ ХНАДУ Хомутов М.А.*

**Мета роботи** – Визначення властивостей робочого тіла у циліндрі двотактного двигуна 1Д 8,2 / 8,7 з іскровим запалюванням та безпосереднім впорскуванням палива (БВП) при внутрішньому сумішоутворенні й згорянні.

**Поставлені завдання:**

- розгляд особливостей організації робочого процесу на двотактному двигуні з іскровим запалюванням при БВП;
- визначення концентрації свіжого заряду і продуктів згоряння в циліндрі двигуна за допомогою 3-D моделювання робочого тіла;
- визначення середньої масової ізобарної теплоємності ( $C_{pm}$ ) робочого тіла;
- визначення значень показника адіабати  $k$  робочого тіла в циліндрі двигуна на такті стиснення;
- визначення значень показника адіабати робочого тіла в процесі згоряння при організації РЗППЗ в зонах продуктів згоряння ( $k_{ПЗ}$ ), паливоповітряній суміші ( $k_{ППС}$ ), у повітрі ( $k_{ПОВ}$ ) та середніх значень показника адіабати ( $k_{ср}$ ) в надпоршневій порожнині двигуна.

# Особливості організації робочого процесу

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau

(43) International Publication Date  
9 April 2009 (09.04.2009)

(10) International Publication Number  
WO 2009/044225 A1

(51) International Patent Classification:  
F02B 23/09 (2006.01)

(74) Agent: MERHAILEK, Vadim Valentinovich, 65, Bostanivskaya St., Kharkov, 61054 (UA).

(21) International Application Number:  
PCT/UA2007/004105

(22) International Filing Date:  
27 December 2007 (27.12.2007)

(25) Filing Language:  
English

(26) Publication Language:  
English

(30) Priority Data:  
3 October 2007 (03.10.2007) UA  
a 2007/10939

(71) Applicant (for all designated States except US): KHELYCHIN, Viktor Ivanovich (UA/UA), bulvar B.Khmelnytskogo, 104, 10, kv. 5, M. Kharkov, 61099 (UA).

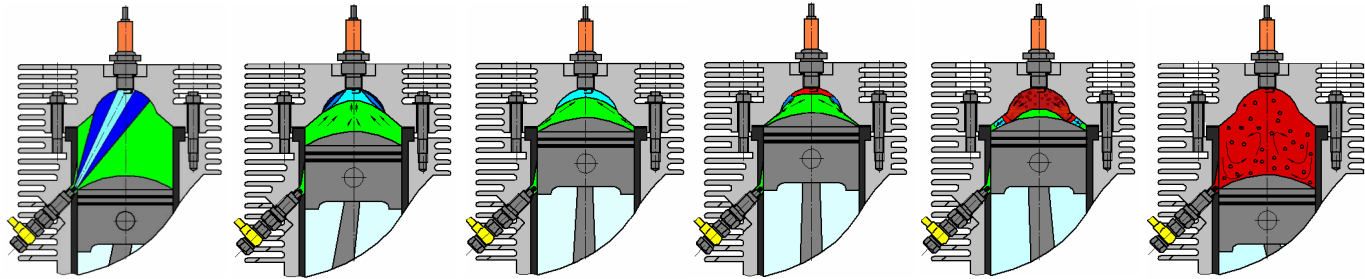
(72) Inventors: KOROGODINSKYI, Volodymyr Anatoliyovych (UA/UA), vul. Strykova, 104, kv. 5, M. Kharkov, 61099 (UA); KYRYLYUK, Igor Oleksandrovych (UA/UA), vul. Hryhorivsk, 104, kv. 17, M. Kharkov, 61042 (UA); LOMOV, Serhij Georgiyovych (UA/UA), vul. Lavina, 104, kv. 10, M. Kharkov, 61056 (UA).

(84) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available): AR, AU, AT, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EG, ES, FI, GB, GR, HU, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LV, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TH, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available): AR, BO, BR, CH, CN, CU, DE, ES, FR, GB, GR, GT, IL, IN, JP, KE, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LU, LV, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TH, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: A METHOD OF MIXING IN A COMBUSTION CHAMBER OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE AND A SPARK IGNITION DIRECT-INJECTION STRATIFIED FUEL-AIR CHARGE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(57) Abstract: The invention represents a method of mixing in a combustion chamber of a spark-ignition direct-injection stratified charge internal combustion engine a fuel-air mixture being ignited by a spark plug (5), the method comprising: the injection, in the compression stroke, of fuel to the combustion chamber charged with air; fuel spraying onto the surface of the combustion chamber disposed in a cylinder head; the organization of air charge motion, wherein the fuel is injected and sprayed so that there is produced a cone-shaped fuel spray, which consists of a cone-shaped body of the spray cone and of a cone-shaped cavity within the body and which is directed so that a spark plug gap is inside the cavity and the motion of the air charge is directed uniformly from all sides along the combustion chamber surface towards the spark plug electrode (6). Another aspect of invention is engine according to method of the invention.



Візуалізація організації робочого процесу з розшаруванням збідненого паливоповітряного заряду (РЗППЗ)

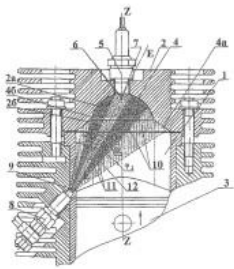
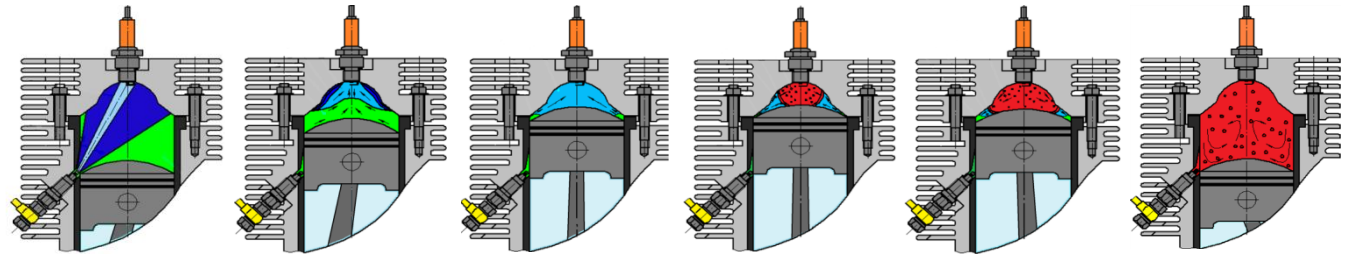


Fig. 1



Візуалізація організації робочого процесу з однорідним паливоповітряним зарядом

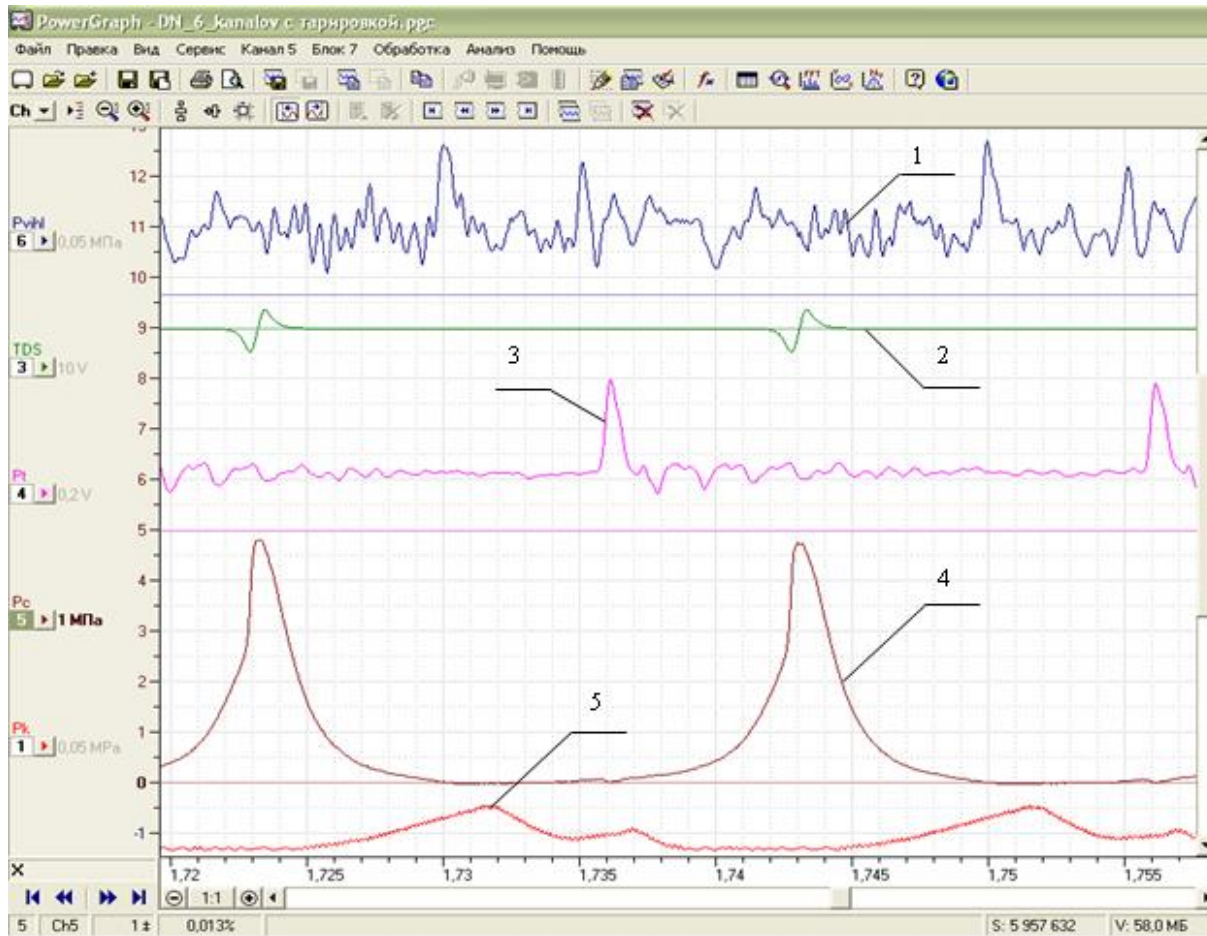


Рисунок 1 – Індиціювання двигуна 1Д 8,2/8,7:

1 – тиск у випускній системі за випускним вікном; 2 – відмітка ВМТ; 3 – тиск палива перед розпилювачем форсунки; 4 – тиск в циліндрі; 5 – тиск в кривошипній камері

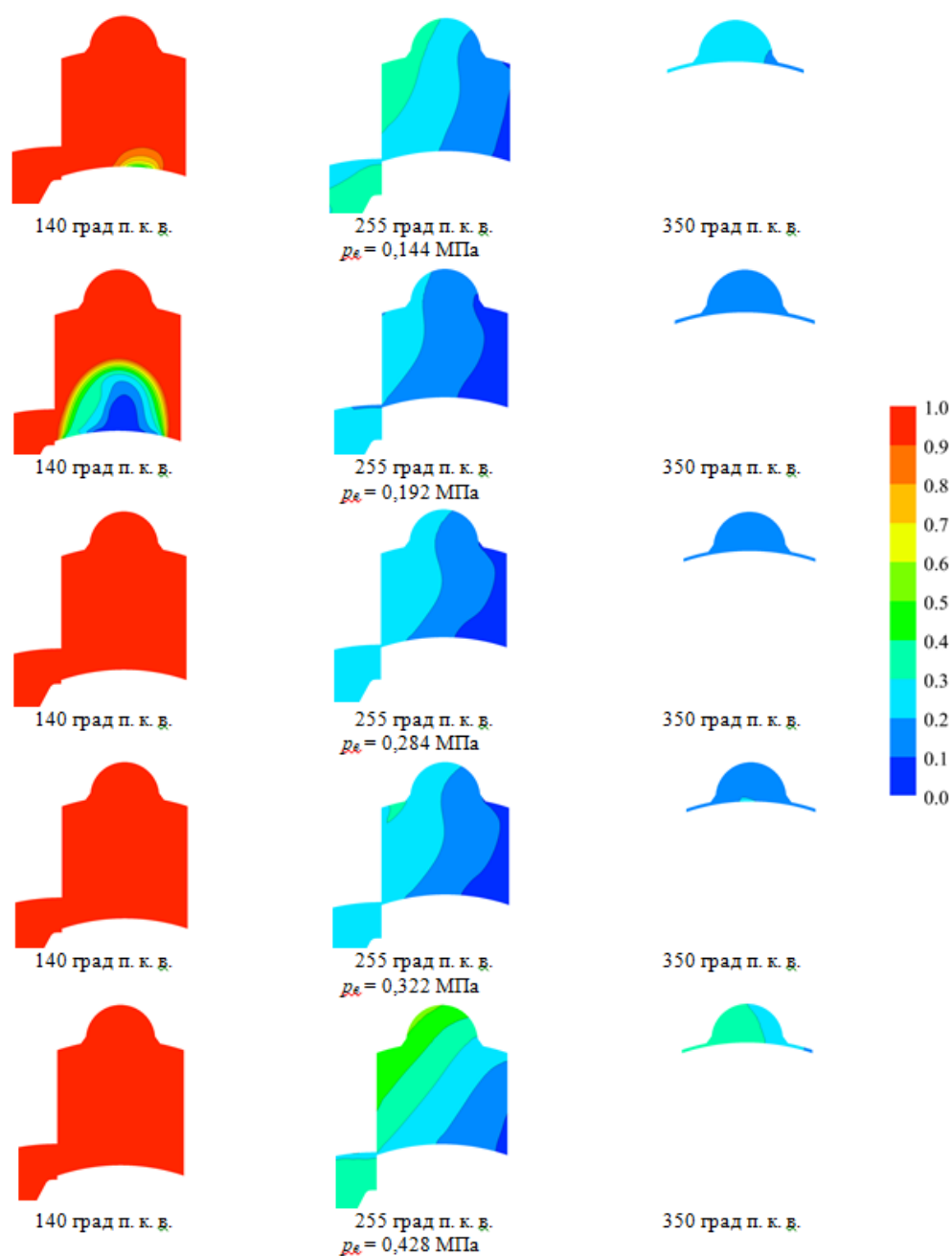


Рисунок 2 – Зміна концентрації свіжого заряду та продуктів згоряння по куту п. к. в. двигуна з БВП при РЗППЗ на режимах навантажувальної характеристики ( $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$ )

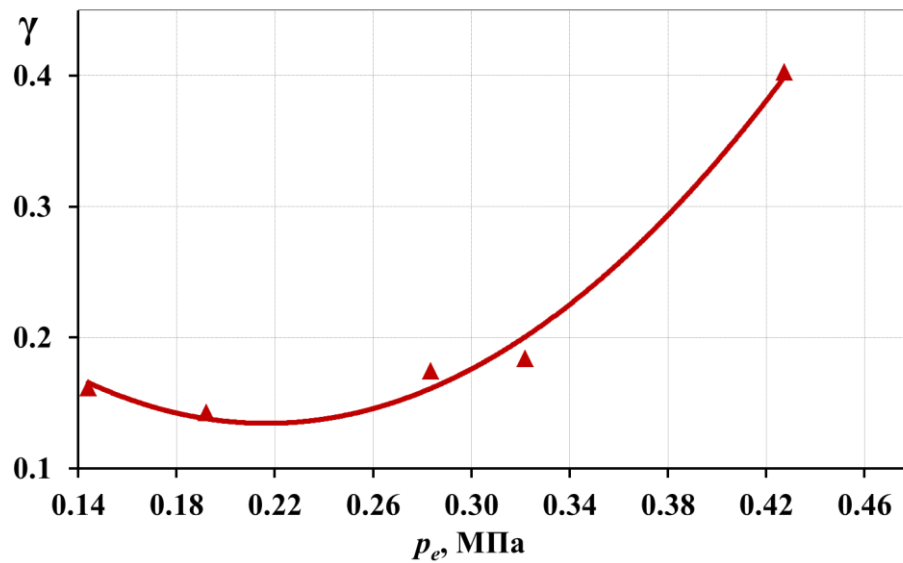


Рисунок 3 – Розрахункові значення коефіцієнту залишкових газів  $\gamma$  за навантажувальною характеристикою при  $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$

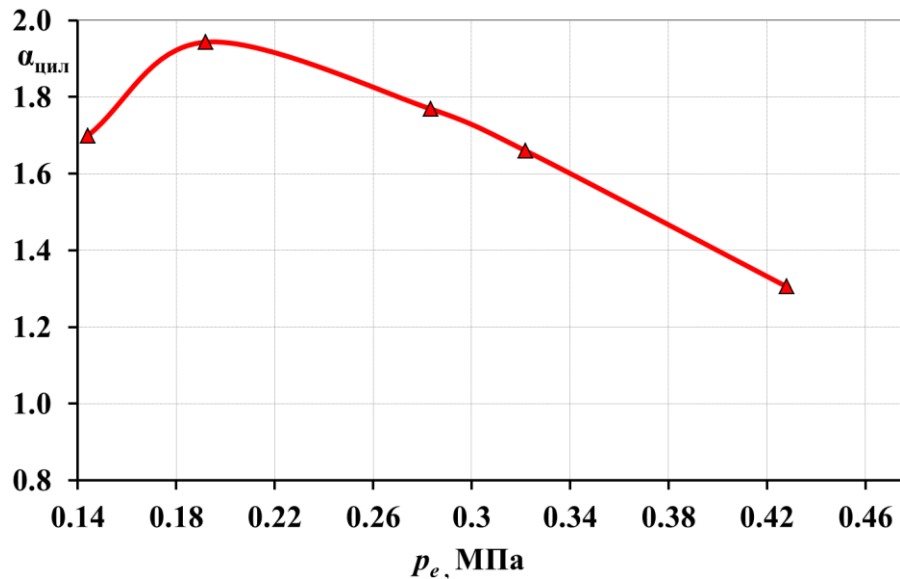


Рисунок 4 – Експериментальні значення коефіцієнта надлишку повітря в циліндрі ( $\alpha_{\text{цил}}$ ) при організації РЗППЗ за навантажувальною характеристикою при  $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$

## Визначення теплоємності робочого тіла на такті стиснення

$$C_{pm} = (a_{cm}(1-\gamma) + a_{\text{пр.зг}} \cdot \gamma) + (b_{cm}(1-\gamma) + b_{\text{пр.зг}} \cdot \gamma)t \quad (1)$$

де  $a_{cm}, b_{cm}$  – значення коефіцієнтів для паливоповітряного заряду в інтерполяційних формулах для ізобарної теплоємності;

$a_{\text{пр.зг}}, b_{\text{пр.зг}}$  – значення коефіцієнтів для продуктів згоряння в інтерполяційних формулах для ізобарної теплоємності;  $\gamma$  – коефіцієнт відпрацьованих газів;  $t$  – температура робочого тіла.

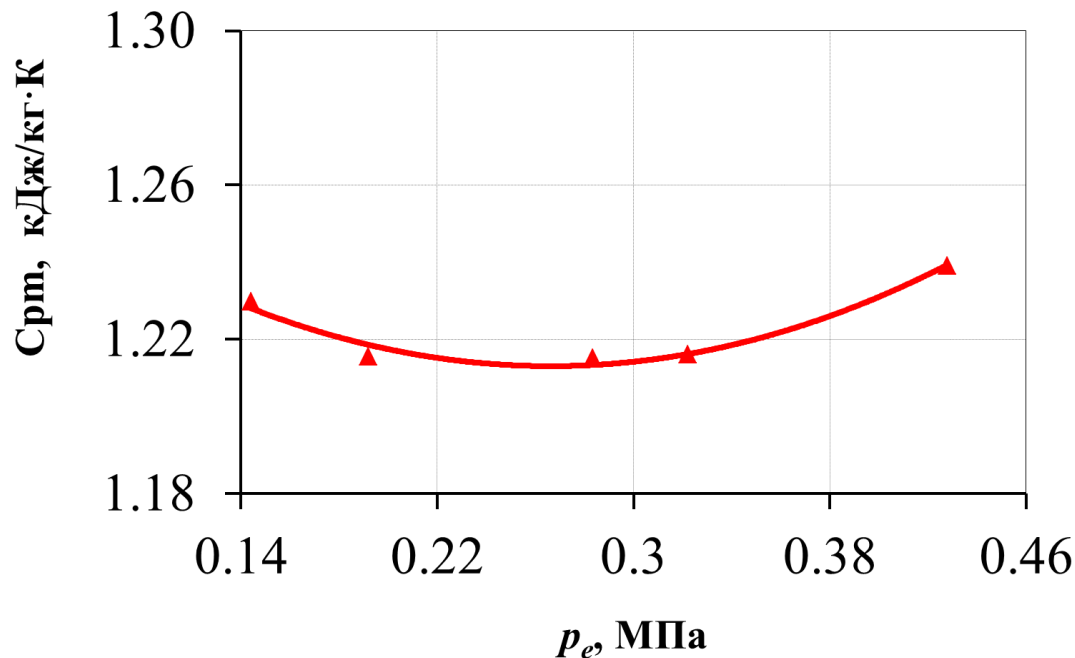


Рисунок 5 – Значення середньої масової ізобарної теплоємності робочого тіла на такті стиснення при організації РЗППЗ в залежності від навантаження при  $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$

$$\text{РЗППЗ: } C_{pm} = -136,41p_e^5 + 221,11p_e^4 - 142,05p_e^3 + 45,154p_e^2 - 7,0725p_e + 1,6494 \quad (R^2=1). \quad (2)$$



## Визначення показника адиабати робочого тіла на такті стиснення

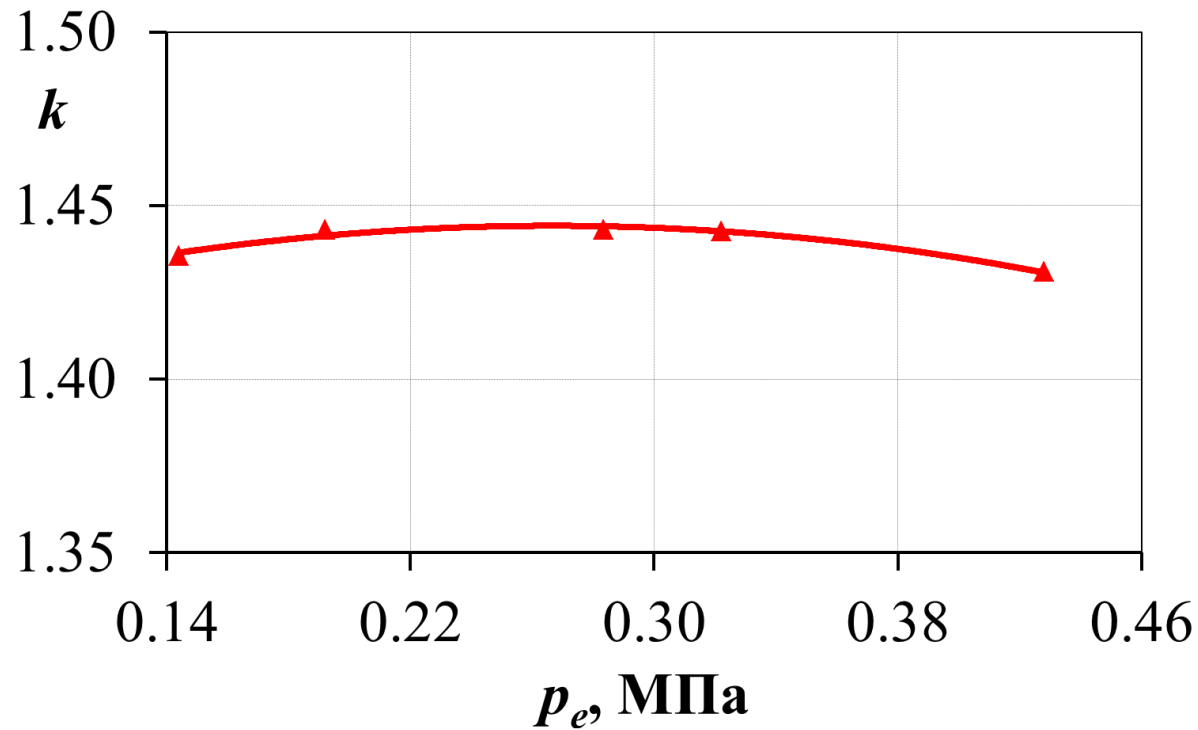


Рисунок 6 – Значення показника адиабати робочого тіла на такті стиснення при організації РЗППЗ в залежності від навантаження при  $n = 3000$  хв<sup>-1</sup>

$$k = 1.43 + 0.0274\alpha_{\text{цил}} + 0.0965\gamma - 0.0439C_{\text{pm}} - 0.0437\Delta P_s \quad (3)$$

# Тризонна модель розрахунку робочого процесу двигуна

На режимах часткових навантажень при організації РЗППЗ в період згоряння в  $V_{\text{НО}}$  утворюється три зони або три об'єму:  $V_{\text{ПЗ}}$  в зоні горіння, об'єм ППС з частиною ПЗ ( $V_{\text{ППС}}$ ) і об'єм повітря ( $V_{\text{ПОВ}}$ ), також з частиною ПЗ. Зона ПЗ та зона ППС розділені фронтом полум'я, зони ППС і повітря умовно розділені між собою. Величини об'ємів зон  $V_{\text{ПЗ}}$ ,  $V_{\text{ППС}}$  та  $V_{\text{ПОВ}}$  пов'язані між собою співвідношенням:  $V_{\text{ПЗ}} + V_{\text{ППС}} + V_{\text{ПОВ}} = V_{\text{НО}}$ .

При повному охопленні полум'ям ППС і при розширенні:  $V_{\text{ПЗ}} + V_{\text{ПОВ}} = V_{\text{НО}}$ .

## Співвідношення об'ємів за зонами:

$$\upsilon_{\text{ПЗ}} = V_{\text{ПЗ}} / V_{\text{НО}} \text{ – зона ПЗ}; \quad \upsilon_{\text{ППС}} = V_{\text{ППС}} / V_{\text{НО}} \text{ – зона ППС}; \quad \upsilon_{\text{ПОВ}} = V_{\text{ПОВ}} / V_{\text{НО}} \text{ – зона повітря}.$$

## З урахуванням руху поршня, зміна об'ємів за зонами:

$$dV_{\text{ПЗ}} = -dV_{\text{ППС}} \text{ – зона ПЗ}; \quad dV_{\text{ППС}} = V_{\text{ППС}} \cdot dx \text{ – зона ППС}; \quad dV_{\text{ПОВ}} = \upsilon_{\text{ПОВ}} \cdot dV_{\text{НО}} \text{ – зона повітря}.$$

**Рівняння процесів горіння-розширення з урахуванням трьох зон в об'ємах  $V_{\text{пз}}$ ,  $V_{\text{ппс}}$  та  $V_{\text{пов}}$  (загальний вигляд)**

$$dV_{\text{НО}} = dV_{\text{ад}} + dV_x + dV_Q, \tag{6}$$

$$dV_{\text{ад}} = -\frac{dp}{p} \cdot \left( \frac{V_{\text{ПЗ}}}{k_{\text{ПЗ}}} + \frac{V_{\text{ППС}}}{k_{\text{ППС}}} + \frac{V_{\text{ПОВ}}}{k_{\text{ПОВ}}} \right); \quad dV_x = (\beta - 1) \cdot V_{\text{ППС}} \cdot dx, \tag{7}$$

де  $d_x V$  зміна об'єму РТ внаслідок зміни кількості молекул при хімічних процесах горіння, м<sup>3</sup>;

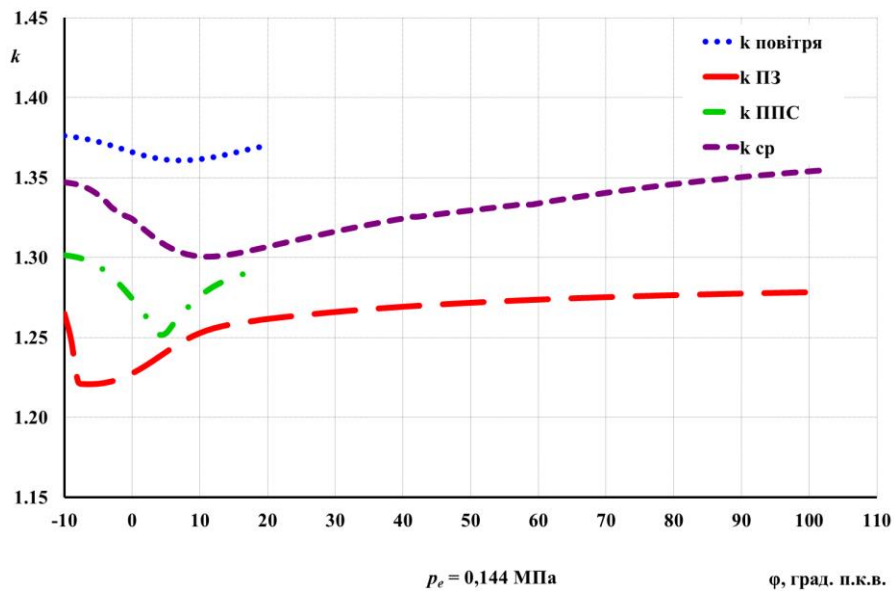
$\beta$  – коефіцієнт молекулярної зміни;  $x$  – частка палива, яка прореагувала при згорянні в об'ємі ППС ( $V_{\text{ппс}}$ ).

**Зміна об'єму РТ в НО** внаслідок підведення теплоти і теплообміну між зонами і стінками НО, м<sup>3</sup> (загальне)

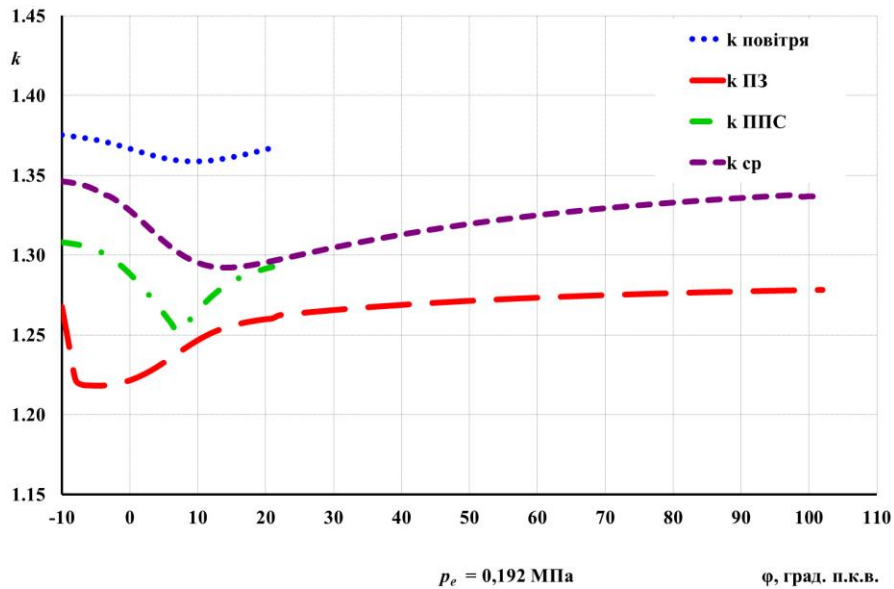
$$dV_Q = \frac{k-1}{k} \cdot \frac{dQ_x \pm dQ_w}{p}.$$

$$dQ_x = Q_{\text{н}} \cdot \Delta M_{\text{ц}} \cdot dx,$$

де  $Q_{\text{н}}$  – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг;  $\Delta M_{\text{ц}}$  – циклова подача палива, кг.



$p_e = 0,144$  МПа  $\phi$ , град. п.к.в.



$p_e = 0,192$  МПа  $\phi$ , град. п.к.в.

Рисунок 7 – Зміна значень показника адіабати в зонах повітря ( $k$ ), продуктів згоряння ( $k_{ПЗ}$ ), паливоповітряній суміші ( $k_{ППС}$ ) та середніх значень показника адіабати ( $k_{ср}$ ) в надпоршневій порожнині ДВЗ 1Д 8,2 / 8,7

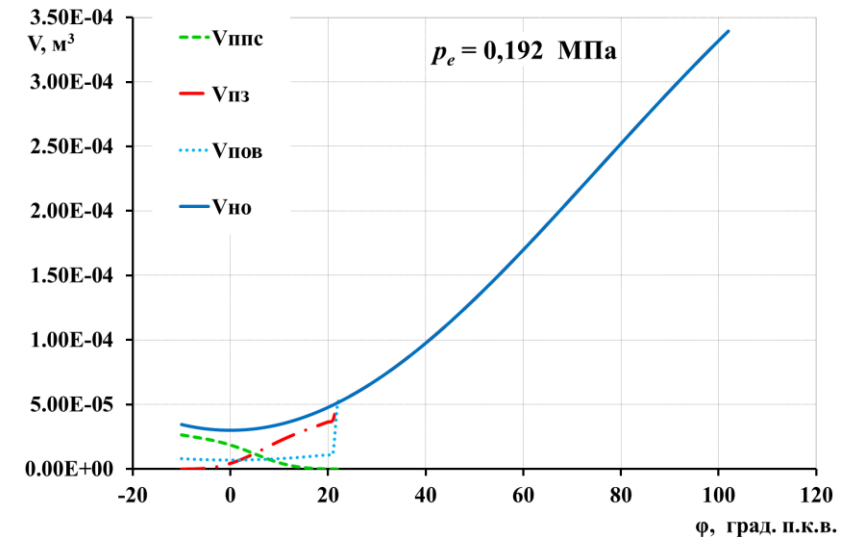
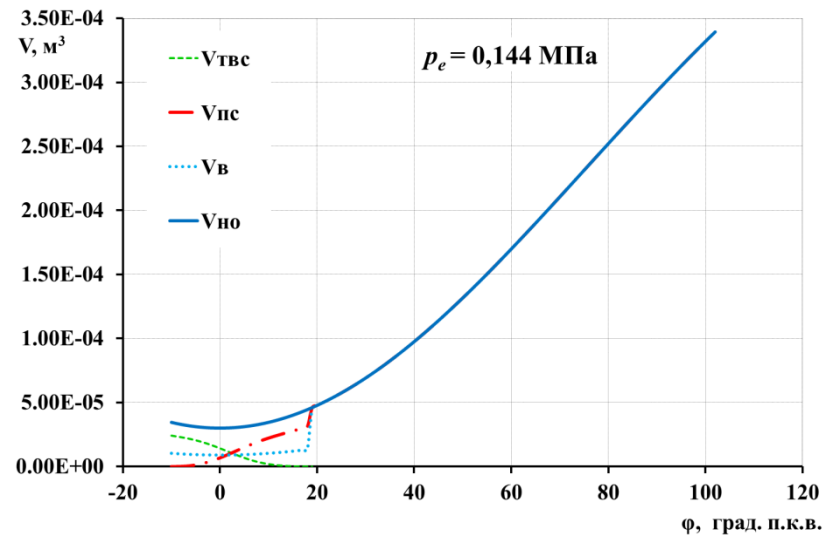
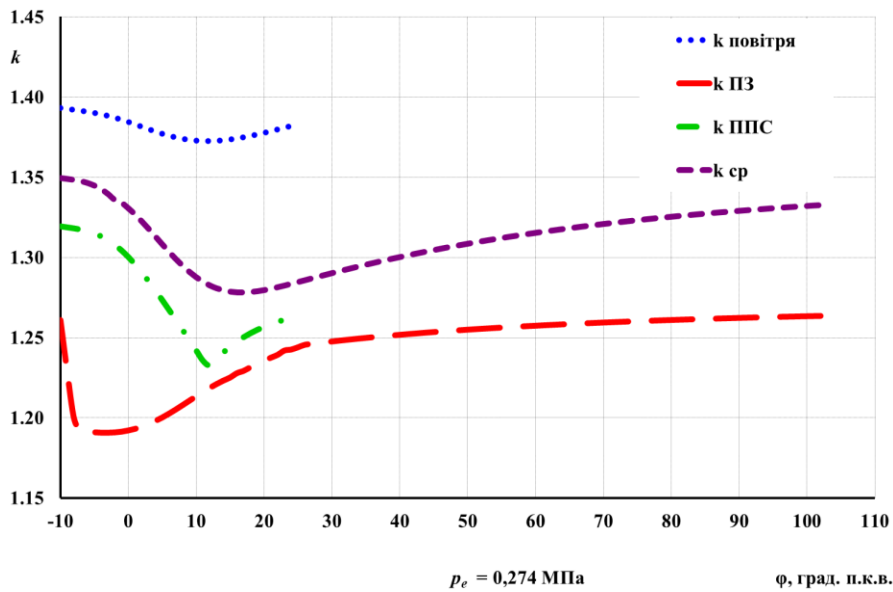
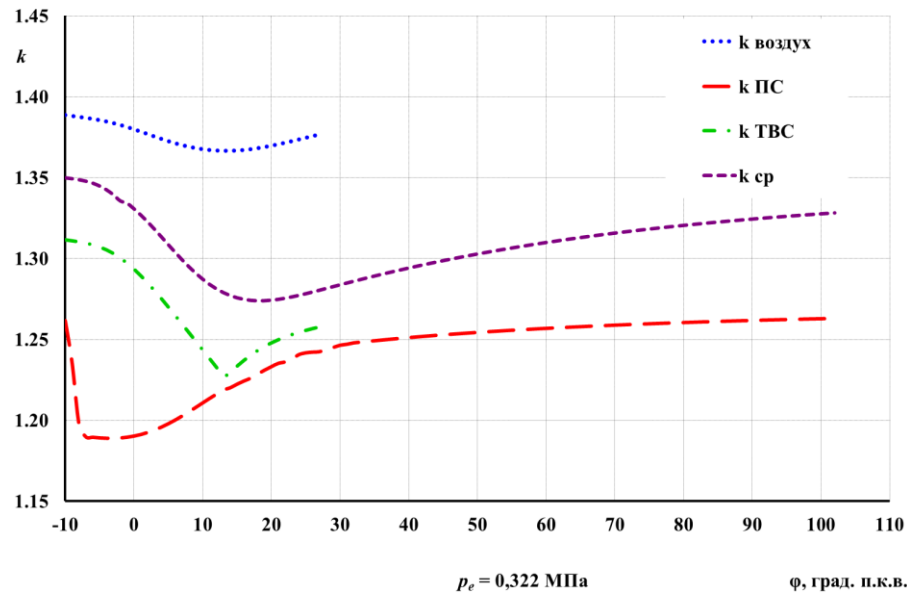


Рисунок 8 – Зміна об'ємів: НО, зон ППС, ПЗ і повітря при БВП і організації РЗППЗ на режимах часткового навантаження



$p_e = 0,274$  МПа  $\phi$ , град. п.к.в.



$p_e = 0,322$  МПа  $\phi$ , град. п.к.в.

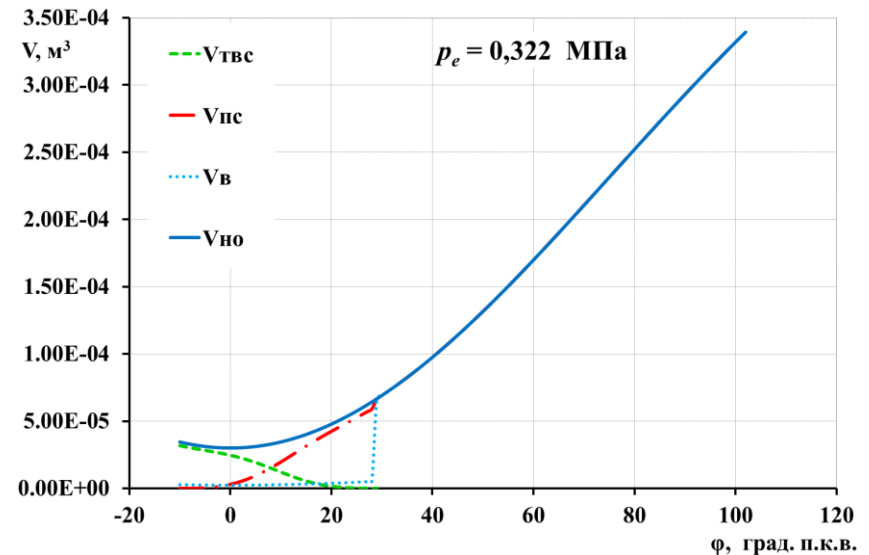
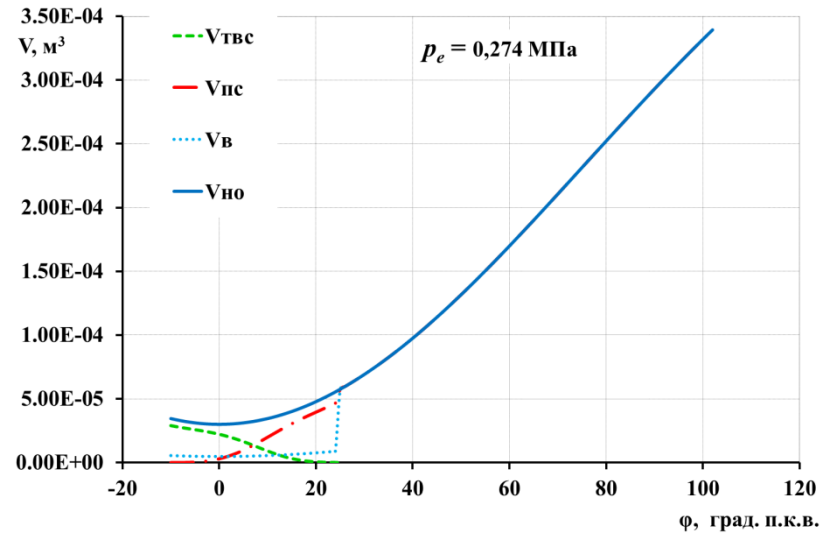


Рисунок 9 – Зміна значень показника адіабати в зонах повітря ( $k$ ), продуктів згоряння ( $k_{\text{ПЗ}}$ ), паливоповітряній суміші ( $k_{\text{ППС}}$ ) та середніх значень показника адіабати ( $k_{\text{ср}}$ ) в надпоршневій порожнині ДВЗ 1Д 8,2 / 8,7

Рисунок 10 – Зміна об'ємів: НО, зон ППС, ПЗ і повітря при БВП і організації РЗППЗ на режимах часткового навантаження 12

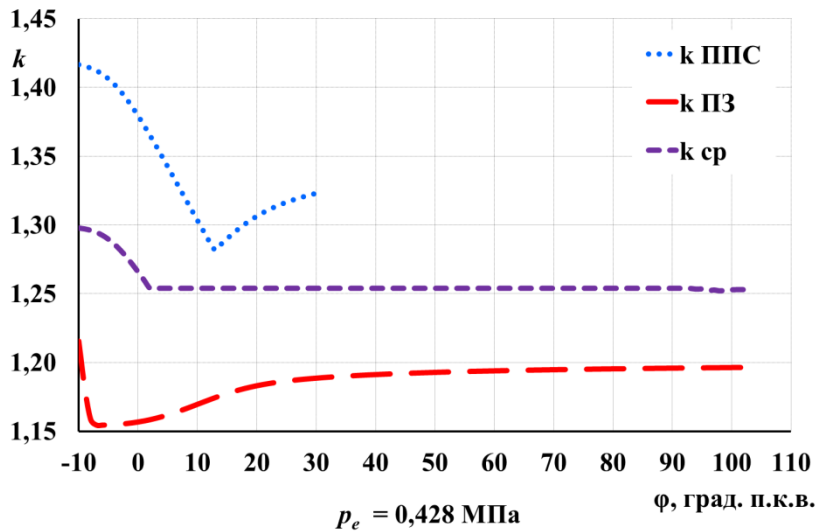


Рисунок 11 – Зміна значень показника адіабати робочого тіла в процесі згоряння при організації РЗППЗ в зонах продуктів згоряння ( $k_{\text{ПЗ}}$ ), паливоповітряній суміші ( $k_{\text{ППС}}$ ) та середніх значень показника адіабати ( $k_{\text{ср}}$ ) в надпоршневій порожнині двигуна 1Д 8,2 / 8,7 при  $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$  й підвищеному навантаженні

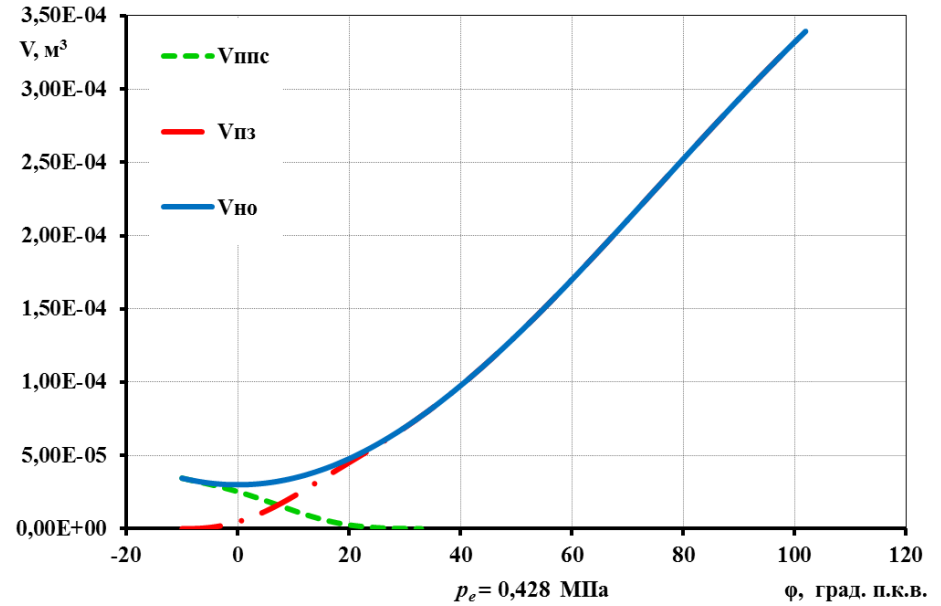


Рисунок 12 – Зміна об'ємів: НО, зон ППС і ПЗ при підвищеному навантаженні

## Висновки

Розглянуті особливості організації робочого процесу на двотактному двигуні 1Д 8,2 / 8,7 з іскровим запалюванням при безпосередньому впорскуванні палива (БВП) та організації розшарованого збідненого паливоповітряного заряду (РЗППЗ).

Визначені концентрації свіжого заряду та продуктів згоряння в циліндрі двигуна за допомогою 3-D моделювання робочого процесу.

Визначені залежності для розрахунку середньої масової ізобарної теплоємності робочого тіла в залежності від навантаження при  $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$  та організації робочого процесу з РЗППЗ:  $C_{pm} = -136,41p_e^5 + 221,11p_e^4 - 142,05p_e^3 + 45,154p_e^2 - 7,0725p_e + 1,6494$  при  $R^2=1$ .

Визначені значення показника адіабати ( $k$ ) робочого тіла в циліндрі двигуна на такті стиснення в залежності від коефіцієнту надлишку повітря в циліндрі ( $\alpha_{\text{цил}}$ ), коефіцієнту залишкових газів ( $\gamma$ ), середньої масової ізобарної теплоємності ( $C_{pm}$ ), розрідження на впуску ( $\Delta P_s$ ) та отримано поліноміальні залежності від навантаження при  $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$  для РЗППЗ:  $k = 1.43 + 0.0274\alpha_{\text{цил}} + 0.0965\gamma - 0.0439C_{pm} - 0.0437\Delta P_s$ .

Визначені значення показника адіабати робочого тіла в процесі згоряння по куту обертання колінчастого валу при організації РЗППЗ в зонах продуктів згоряння ( $k_{\text{ПЗ}}$ ), паливоповітряній суміші ( $k_{\text{ППС}}$ ), повітрі ( $k_{\text{ПОВ}}$ ) та середніх значень показника адіабати ( $k_{\text{ср}}$ ) в надпоршневій порожнині двигуна.

Визначені данні та залежності властивостей робочого тіла при сумішоутворенні і згорянні у двигуні 1Д 8,2 / 8,7 з безпосереднім впорскуванням бензину можуть бути використані у газодинамічних і термодинамічних моделях розрахунку робочого процесу.

*Дякую за увагу!*