

ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ПЕРВОМАЙСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА»

Відділення «Двигуни та автомобілі»

Циклова комісія «Обслуговування автомобілів та виробництво двигунів»

Допущений до захисту
Голова циклової комісії
_____ Василь МАНЗЮК
«__» _____ 2025р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи (дипломного проекту)

фахового молодшого бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний ступень)

на тему: Проєкт 4-тактного дизельного двигуна U25/651 з участю в
обслуговуванні паливної системи лабораторії №127 Випробування ДВЗ.

Виконав: здобувач освіти 4 курсу,
групи 431-ВД-21
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 133 Галузеве
машинобудування
Освітньо-професійна програма: Виробництво,
сервісне обслуговування та експлуатація
двигунів внутрішнього згоряння

_____ Владислав РУДЕНКО
(підпис) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник _____ Павло МАЛЮТІН
(підпис) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер
_____ Ігор КОВАЛЕНКО
(підпис) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент _____ Федір БЕЛЬСЬКИЙ
(підпис) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Дата захисту _____ Оцінка за захист _____

Первомайськ – 2024 року

ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ПЕРВОМАЙСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА»

Відділення: «Двигуни та автомобілі»

Циклова комісія: «Обслуговування автомобілів та виробництва двигунів»

Освітньо-кваліфікаційний ступінь: фаховий молодший бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна програма: «Виробництво, сервісне обслуговування та експлуатація двигунів внутрішнього згоряння»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова циклової комісії

«Обслуговування

автомобілів та виробництва двигунів»

_____ Василь МАНЗЮК

«_____» _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ) ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Руденку Владиславу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Проєкт 4-тактного дизельного двигуна U25/651 з участю в обслуговуванні паливної системи лабораторії № 127 Випробування ДВЗ.

керівник проєкту: Малютін П.В.

затверджена наказом директора Коледжу від «06» березня 2025р. № 44-у

2. Строк подання здобувачем проєкту: 12.06.2025р.

3. Вихідні дані до проєкту: Потужність $P_e = 54$ кВт,
Частота обертання колінчастого валу $n = 4250$ хв⁻¹, ступень стиску $E = 22,25$

Зміст розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

- 1.1 Розрахунок робочого процесу двигуна.
- 1.2 Розрахунок індикаторної діаграми.
- 1.3 Аналіз ефективних показників проєктованого двигуна й прототипу.
- 1.4 Динамічний розрахунок двигуна.
- 1.5 Розрахунок теплового балансу двигуна.

2. РЕАЛЬНА ЧАСТИНА

- 2.1 Призначення виконаної роботи.
- 2.2 Описання виконаної роботи.

ЛІТЕРАТУРА

ДОДАТКИ

1. Специфікація складального креслення.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1 Габаритно-монтажне креслення А-1.СК

Виготовити макет, стенд, пристрій: участь в обслуговуванні паливної системи дизельного двигуна U25/651 лабораторії № 127 Випробування ДВЗ.

4. Дата видачі завдання: 21.04.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Розділ 1	28.04.2025р.	
2	Розділ 2	05.05.2025р.	
3	Аркуш 1	12.05.2025р.	
4	Виконання реальної частини	27.05.2025р.	
5	Перевірка проекту на плагіат	30.05.2025р.	
6	Оформлення проекту	10.06.2025р.	

Здобувач освіти

(підпис)

Владислав РУДЕНКО
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту

(підпис)

Павло МАЛЮТІН
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

ЗМІСТ

1 Конструкторський розділ	3
1.1 Розрахунок робочого процесу двигуна	3
1.2 Розрахунок індикаторної діаграми	12
1.3 Аналіз ефективних показників проектного двигуна та прототипу	16
1.4 Розрахунок сил, що діють в КШМ	17
1.5 Розрахунок теплового балансу двигуна	22
2 Реальна частина	28
2.1 Призначення виконаної роботи	28
2.2 Опис виконаної роботи	30
Література	31
Додаток А Специфікація складального креслення	
Додаток Б ” Креслення „ Габаритно-монтажне креслення”	

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Руденко			Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Малютін								2	31
Реценз.								ВСП.ПФК.НУК 431			
Н. Контр.		Коваленко									
Затверд.		Манзюк									

1 РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДВИГУНА

1.1 Розрахунок робочого процесу двигуна.

Умова завдання:

Ефективна потужність	$P_e =$	54 кВт
Частота обертання колінчастого валу.	$n =$	4250 хв ⁻¹
Ступінь стиску	$\varepsilon =$	22,25
Число циліндрів	$i =$	4

Вихідні дані теплового розрахунку.

Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha =$	1,7
Тиск навколишнього середовища	$P_a =$	0,1 МПа
Температура навколишнього середовища	$T_a =$	293 К
Підігрів свіжого заряду	$\Delta T =$	15 К
Тиск залишкових газів	$P_r =$	0,173 МПа
Температура залишкових газів	$T_r =$	820 К
Ступінь підвищення тиску	$\lambda =$	1,5
Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z"	$\xi_z =$	0,8
Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми	$\xi =$	0,98

Паливо:

Дизельне пальне Л - 0.2 - 40 ГОСТ 305 - 82

Середній елементарний склад палива

C=0.86 H=0.13 O=0.01

Найнижча теплота згорання палива

$Q_H = 42500$ кДж/кг

Параметри робочого тіла.

Теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1кг. палива

$$L_0 = \frac{1}{0.21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0.21} \times \left(\frac{0.86}{12} + \frac{0.13}{4} - \frac{0.01}{32} \right) = 0.495 \text{ кмоль/кг}$$

$$l_0 = 28.95 \times L_0 = 28.95 \times 0.495 = 14.33 \text{ кг}$$

Кількість свіжого заряду

$$M_1 = \alpha \times L_0, \text{ кмоль/кг}$$

$$M_1 = 0,8415 \text{ кмоль/кг}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння.

$$\text{Кількість CO}_2: \quad M_{\text{CO}_2} = \frac{C}{12}, \text{ кмоль/кг} \quad 0,072 \text{ кмоль/кг}$$

$$\text{Кількість H}_2\text{O}: \quad M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{H}{2}, \text{ кмоль/кг} \quad 0,065 \text{ кмоль/кг}$$

$$\text{Кількість O}_2: \quad M_{\text{O}_2} = 0.21 \times (\alpha - 1) \times L_0, \text{ кмоль/кг} \quad 0,073 \text{ кмоль/кг}$$

$$\text{Кількість N}_2: \quad M_{\text{N}_2} = 0.79 \times \alpha \times L_0, \text{ кмоль/кг} \quad 0,665 \text{ кмоль/кг}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

$$M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{O}_2} + M_{\text{N}_2}, \text{ кмоль/кг} \quad 0,874 \text{ кмоль/кг}$$

Параметри процесу газообміну.

Тиск в кінці впуску.

$$P_d = (0.85 - 0.9) \times P_a$$

число з інтервалу = 0,92

$$P_d = 0,092 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт залишкових газів.

$$\gamma_r = \frac{T_a + \Delta T}{T_r} \times \frac{P_r}{\varepsilon \times P_d - P_r}$$

$$\gamma_r = 0,03467$$

Температура в кінці впуску.

$$T_d = \frac{T_a + \Delta T + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} =, K$$

$$T_d = 325,159 \text{ К}$$

Коефіцієнт наповнення.

$$\Phi_c = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_d}{P_a} \times \frac{T_a}{T_d(1 + \gamma_r)} =$$

$$\Phi_c = 0,83893$$

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Густина заряду на впуску.

$$\rho_a = \frac{P_e \times 10^6}{R_{II} \times T_a} =, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$R_{II}=287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \times \text{К}}$ - універсальна газова постійна для повітря.

$$\rho_a = 1,18919 \text{ Кг/м}^3$$

Параметри процесу стиску.

Показник політропи стиску.

$$n_1 = 1.41 - \frac{110}{n} \text{ для } 600 \leq n \leq 2500$$

$$n_1 = 1,38412 \text{ Значення для } 600 \leq n \leq 2500$$

Вибираємо значення

$$n_1 = 1,3588$$

Тиск в кінці стиску.

$$P_c = P_d \times \varepsilon^{n_1} =, \text{МПа}$$

$$P_c = 6,23074 \text{ МПа}$$

Температура в кінці стиску.

$$T_c = T_d \times \varepsilon^{n_1-1} =, \text{К}$$

$$T_c = 989,731 \text{ К}$$

Середня мольна теплоємність повітря.

$$mC_{v'} = 1988 + 0.002638 \times T_c, \frac{\text{КДж}}{\text{Кмоль} \times \text{К}}$$

$$mC_{v'} = 22,491 \text{ кДж/кмоль К}$$

Параметри процесу згоряння.

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни.

$$\beta_0 = \frac{M_2}{M_1}$$

$$\beta_0 = 1,03888$$

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни.

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}$$

$$\beta = 1,03758$$

Емпіричні формули середніх мольних теплоємкостей окремих газів при сталому об'ємі.

$$\text{для } O_2: mCv''_{O_2} = 23,3 + 0,00155 \times T_z$$

$$\text{для } N_2: mCv''_{N_2} = 21,554 + 0,001457 \times T_z$$

$$\text{для } CO_2: mCv''_{CO_2} = 38,609 + 0,003349 \times T_z$$

$$\text{для } H_2O: mCv''_{H_2O} = 25,459 + 0,004438 \times T_z$$

Середня мольна теплоємкість продуктів згоряння при сталому об'ємі.

$$mCv'' = \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} \times (mCv''_{CO_2}) + M_{H_2O} \times (mCv''_{H_2O}) + M_{O_2} \times (mCv''_{O_2}) + M_{N_2} \times (mCv''_{N_2}) \right] = \frac{KДж}{Kмоль \times K}$$

Після підстановки одержимо рівняння.

$$mCv'' = a + b \times T_z, \frac{KДж}{Kмоль \times K}$$

де:

$$a = 23,3878$$

$$b = 0,00184$$

Середня мольна теплоємкість продуктів згоряння при сталому тиску.

$$mC''_p = mCv'' + 8,134, \frac{KДж}{Kмоль \times K}$$

Після підстановки одержимо рівняння.

$$mC''_p = a + b \times T_z, \frac{KДж}{Kмоль \times K}$$

де:

$$a = 31,5218$$

$$b = 0,00184$$

Максимальний тиск згоряння.

$$P_{\max} = \lambda \times P_c, \text{ МПа}$$

$$P_{\max} = 9,34611 \text{ МПа}$$

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальна температура процесу згоряння.

$$\frac{\xi_Z \times Q_H}{M_1 \times (1 + \gamma_r)} + (mC'v + 8.134 \times \lambda) \times T_c = \beta(mC''p) \times T_Z$$

Після підстановки одержимо квадратне рівняння.

$$A \times T_Z^2 + B \times T_Z - c = 0$$

де:

$$A = 0,00191$$

$$B = 32,7063$$

$$C = 73385,6$$

Звідки:

$$T_Z = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4 \times A \times C}}{2 \times A} =, K$$

$$T_Z = 2008,18 \text{ K}$$

Ступінь попереднього розширення.

$$\rho = \frac{\beta \times T_Z}{\lambda \times T_c}$$

$$\rho = 1,40351$$

Параметри процесу розширення.

Ступінь наступного розширення.

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}$$

$$\delta = 15,8531$$

Середній показник політропи розширення.

$$n_2 = 1.18 + \frac{130}{n} \text{ для } 600 \leq n \leq 2500$$

$$n_2 = 1,21059 \text{ Значення для } 600 \leq n \leq 2500$$

Вибираємо значення

$$n_2 = 1,2405$$

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тиск в кінці розширення.

$$P_{\epsilon} = \frac{P_{\max}}{\delta^{n_2}} =, МПа$$

$$P_{\epsilon} = 0,30331 \text{ МПа}$$

Температура в кінці розширення.

$$T_{\epsilon} = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}}$$

$$T_{\epsilon} = 1033,18 \text{ К}$$

Індикаторні показники робочого тіла.

Середній теоретичний індикаторний тиск.

$$P'_{mi} = \frac{P_c}{\epsilon - 1} \times \left[\lambda \times (\rho - 1) + \frac{\lambda \times \rho}{n_2 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{\epsilon^{n_1-1}} \right) \right] =, МПа$$

$$P'_{mi} = 0,87491 \text{ МПа}$$

Дійсний середній індикаторний тиск.

$$P_{mi} = \xi \times P'_{mi} =, МПа$$

$$P_{mi} = 0,85741 \text{ МПа}$$

Індикаторний ККД.

$$\eta_i = \frac{P_{mi} \times l_0 \times \alpha}{Q_H \times \rho_a \times \Phi_c \times 10^{-3}}$$

$$\eta_i = 0,49263$$

Питома індикаторна витрата палива.

$$v_i = \frac{3600}{Q_H \times \eta_i} =, \text{кг/квт. год.}$$

$$v_i = 0,17195 \text{ кг/квт год}$$

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективні показники робочого циклу.

Середній тиск механічних втрат.

$$P_M = 0.089 + 0.0118 \times V_{П.СР} \text{ МПа}$$

Середня швидкість поршня.

$$V_{П.СР} = \frac{S_{ПР} \times n}{30} =, \text{ М/С}$$

$$S_{ПР} = 0,092 \text{ Хід поршня по прототипу.}$$

$$V_{П.СР} = 13,033 \text{ м/с}$$

$$P_M = 0,2428 \text{ МПа}$$

Середній ефективний тиск.

$$P_{me} = P_{mi} - P_m, \text{ МПа}$$

$$P_{me} = 0,61462 \text{ МПа}$$

Механічний К.К.Д.

$$\eta_M = \frac{P_{me}}{P_{mi}}$$

$$\eta_M = 0,71683$$

Ефективний К.К.Д.

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_M$$

$$\eta_e = 0,35313$$

Питома ефективна витрата палива.

$$v_e = \frac{3600}{Q_H \times \eta_e} =, \text{ кг/квт. год.}$$

$$v_e = 0,23987 \text{ кг/квт год}$$

Годинна витрата палива.

$$B = v_e \times P_e =, \text{ кг/год}$$

$$B = 12,9531 \text{ кг/год}$$

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні розміри циліндра і двигуна.

Літраж двигуна.

$$V_{st} = 30 \times Z \times \frac{P_e}{P_{me} \times n} =, \text{Л}$$

Z=4 - Коефіцієнт тактності.

$$V_{st} = 2,48073 \text{ Л}$$

Робочій об'єм циліндра.

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{Л}$$

$$V_s = 0,62018 \text{ Л}$$

Діаметр циліндра.

$$d = 100 \times \sqrt{\frac{4 \times V_s}{\pi \times m}} =, \text{мм}$$

$$m = \frac{S_{пп}}{d_{пп}}$$

$$d_{пп} = 0,093 \text{ м}$$

$$m = 0,98925$$

$$d = 92,7787 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = m \times d =, \text{мм}$$

$$S = 91,7811 \text{ мм}$$

Уточненні розміри циліндра і двигуна.

Діаметр циліндра.

$$d = 93 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = 92 \text{ мм}$$

Літраж двигуна.

$$V_{st} = \frac{\pi \times d^2 \times S \times i}{4 \times 10^6} =, \text{Л}$$

$$V_{st} = 2,49852 \text{ Л}$$

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективна потужність двигуна.

$$P_{ep} = \frac{P_{me} \times V_{St} \times n}{30 \times Z} =, KBm$$

$$P_{ep} = 54,3873 \text{ кВт}$$

Отримана величина P_{ep} відрізняється від заданої на:

$$\Delta P_e = \frac{P_{ep} - P_e}{P_{esp}} \times 100\%$$

$$P_{esp} = \frac{P_{ep} + P_e}{2}$$

$$P_{esp} = 54,1936 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_e = 0,71457 \%$$

Для подальшого розрахунку приймаємо $P_e = 54 \text{ кВт}$

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Розрахунок індикаторної діаграми

Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми.

Вихідні дані

$P_{mi} =$	0,860	МПа	Середній індикаторний тиск.
$P_d =$	0,0920	МПа	Тиск в кінці впуску.
$n_1 =$	1,358		Показник політропи стиску.
$\varepsilon_c =$	22,25		Ступінь стиску.
$P_{max} =$	9,350	МПа	Максимальний тиск в циліндрі.
$n_2 =$	1,240		Показник політропи розширення.
$\rho =$	1,400		Ступінь попереднього розширення.
$m_p =$	0,0800	МПа/мм	Масштаб по осі тиску.
$\xi =$	0,98		Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми.

Таблиця 1.2

Результати розрахунку.

V/V_c	$P_{CT}, \text{МПа}$	$P_{CT}, \text{мм}$	$P_{роз}, \text{МПа}$	$P_{роз}, \text{мм}$
1	6,22	78		
1,250	4,59	57		
1,400	3,94	49	9,35	
1,75	2,91	36	7,09	
2	2,42	30	6,01	75
3	1,40	17	3,63	45
4	0,95	12	2,54	32
5	0,70	9	1,93	24
6	0,55	7	1,54	19
7	0,44	6	1,27	16
8	0,37	5	1,08	13
9	0,31	4	0,93	12
10	0,27	3	0,82	10
11	0,24	3	0,73	9
12	0,21	3	0,65	8
13	0,19	2	0,59	7
14	0,17	2	0,54	7
15	0,16	2	0,49	6
16	0,14	2	0,46	6
17	0,13	2	0,42	5
18	0,12	2	0,39	5
19	0,11	1	0,37	5
20	0,11	1	0,35	4
21	0,10	1	0,33	4
22	0,09	1	0,31	4
22,25	0,09	1	0,30	4

Об'єм камери згорання

$$V_c = \frac{V_s}{\varepsilon - 1}, \text{ мм}$$

$$\begin{aligned} V_s = [AB] &= 250 \text{ мм} && \text{Приведений робочий об'єм} \\ V_c &= 18 \text{ мм} \end{aligned}$$

Похибка середнього індикаторного тиску.

$$A = 2680 \text{ мм}^2 - \text{площа діаграми.}$$

Дійсний середній індикаторний тиск по діаграмі

$$P_{mi}^D = \frac{A}{[AB]} \times m_p, \text{ МПа}$$

$$P_{mi}^D = 0,8576 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_{mi} = \frac{|P_{mi} - P_{mi}^D|}{P_{mi}} \times 100\%$$

$$\Delta P_{mi} = 0,27907 \%$$

Похибка не перевищує 5%

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Побудова дійсної індикаторної діаграми.

$C', \text{ДоВМТ}$ точка подачі іскри,
визначається кутом випередження запалювання;
 $f, \text{ДоВМТ}$ точка початку згорання, визначається кутом затримки
згорання: $\Delta\varphi_1 =, ^\circ \text{ПКВ}$
 $\Delta\varphi_2, \text{ПісляВМТ}$ кут після ВМТ, де тиск максимальний
 $b', \text{ПісляВМТ}$ точка відкриття випускного клапану
 $r', \text{ДоВМТ}$ точка відкриття впускного клапану
 $r'', \text{ПісляВМТ}$ точка закриття випускного клапану
 $d', \text{ДоВМТ}$ точка закриття впускного клапану
 c'' точка тиску газів в ВМТ в кінці такту стиску
 Z_d точка максимального тиску газів

Вихідні дані.

$\lambda_L =$	0,27	Кривошипно-шатунне відношення.
$[AB]=$	250,00	мм Відстань від ВМТ до НМТ на діаграмі
$\Delta \varphi_1 =$	10,00	$^\circ \text{ПКВ}$ Кут затримки згорання.
$P_r=$	0,17300	МПа Тиск залишкових газів.
$m_p=$	0,0800	МПа/мм Маштаб тиску.
$S=$	92,00	мм Хід поршня.
$P_c=$	6,23000	МПа Тиск в кінці стиску.
$P_{\max}=$	9,35000	МПа Максимальний тиск.

Таблиця 1.2 Визначення точок дійсної індикаторної діаграми.

Позначка точки $\varphi^0, \text{ПКВ}$	Положення точки відносно ВМТ, $\varphi^0, \text{ПКВ}$	Постійна $X = (1 - \cos\varphi) + \frac{\lambda_L}{4} \times (1 - \cos 2\varphi)$	Відстань від ВМТ до точки $X \times \frac{[AB]}{2}, \text{мм}$
$C', \text{ДоВМТ}$	14	0,038	5
$f, \text{ДоВМТ}$	4	0,003	0
$\Delta\varphi_2, \text{ПісляВМТ}$	10	0,019	2
$b', \text{ДоНМТ}$	114	1,519	190
$r', \text{ДоВМТ}$	13	0,032	4
$r'', \text{ПісляВМТ}$	10	0,019	2
$d', \text{ПісляНМТ}$	131	1,733	217

Ордината точки г

$$\frac{P_r}{m_p}, \text{ мм} \quad 2 \quad \text{мм}$$

Тиск газів в ВМТ.

$$P_c'' = (1.15 - 1.25) \times P_c$$

1,2 Число з інтервалу.

$$P_c'' = 7,48 \quad \text{МПа}$$

$$P_c'' = 93 \quad \text{мм}$$

Максимальний тиск згорання.

для газових двигунів $P_{zd} = P_{\max}$

$$P_{zd} = 9,35 \quad \text{МПа}$$

$$P_{zd} = 117 \quad \text{мм}$$

Визначаємо поправку Брікса.

$$OO = \frac{r \times \lambda_L}{2}$$

$$OO = 6,21 \quad \text{мм}$$

Визначаємо масштаб переміщення.

$$M_s = \frac{S}{[AB]}$$

$$M_s = 0,368 \quad \text{мм/мм}$$

Визначаємо поправку Брікса в масштабі переміщення.

$$OO_1 = \frac{OO}{M_s}$$

$$OO_1 = 16,875 \quad \text{мм}$$

Швидкість наростання тиску

$$\frac{\Delta P}{\Delta \varphi_2} = \frac{P_{\max} - P_{c11}}{\Delta \varphi_1}, \text{ МПа/град}$$

$$\left[\frac{\Delta P}{\Delta \varphi_2} \right] \leq 1,0 - 1,2, \text{ МПа/град}$$

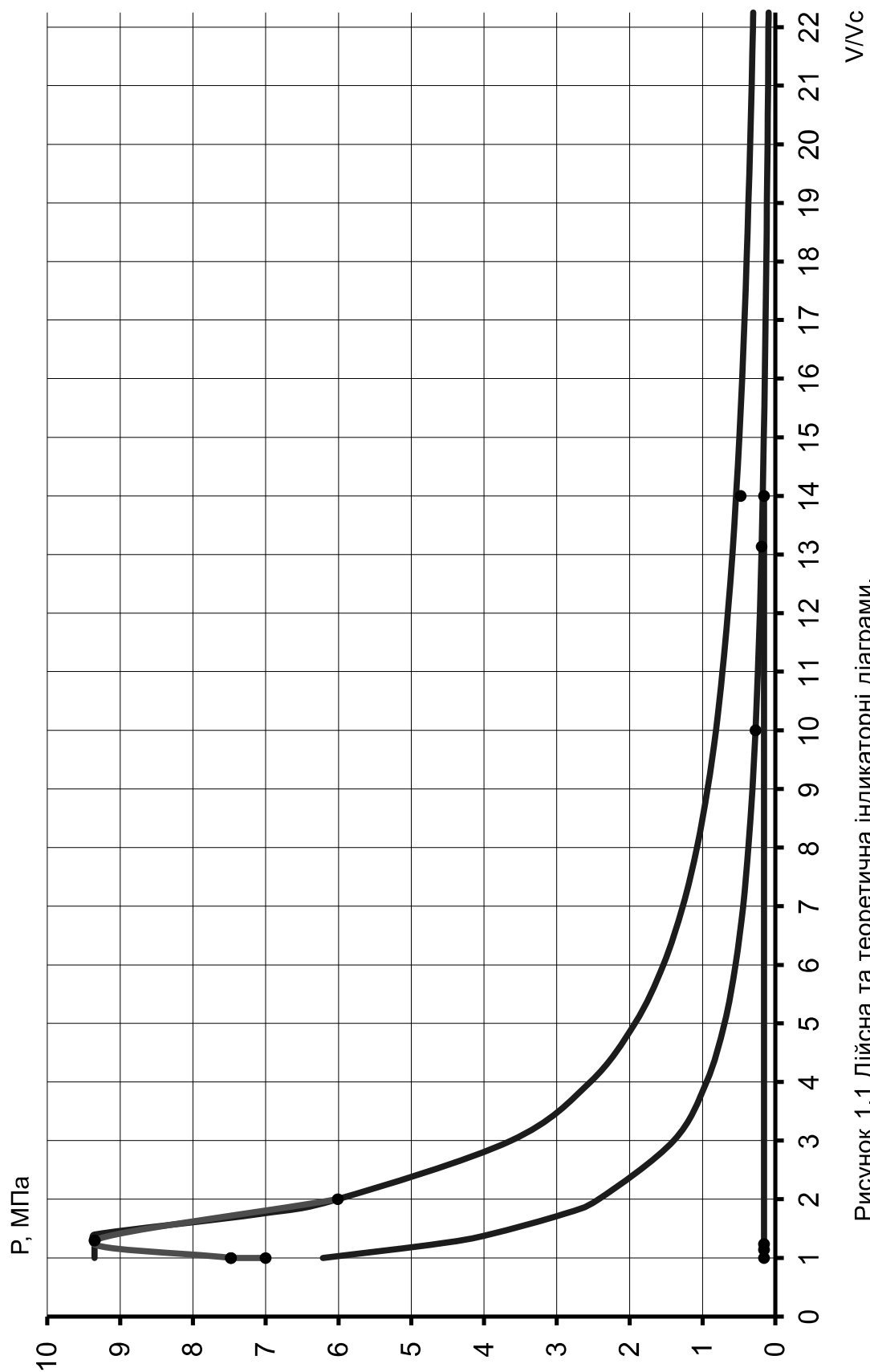


Рисунок 1.1 Дійсна та теоретична індикаторні діаграми.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ

Арк.

15

1.3 Аналіз ефективних показників проектного двигуна й прототипу.

Порівняння робочих характеристик і параметрів двигуна що спроектовано і його прототипу приведено в Таблиці 1.3

Таблиця 1.3

Порівнювані параметри

Параметр	Двигун	
	4Ч 9,3/9,2 (спроектований)	4Ч 9,3/9,2 (прототип)
Діаметр циліндра, мм	93	93
Хід поршня, мм	92	92
Число циліндрів	4	4
Номінальна потужність, кВт	54	52
Частота обертання, хв. ⁻¹	4250	4250
Середній ефективний тиск, МПа	6,146	5,864
Максимальний тиск МПа	9,35	9,0

З приведенного порівняння видно, що розміри циліндропоршневої групи залишились не змінними не змінилась також і кількість циліндрів. Але за рахунок оптимального підбору вихідних даних вдалося досягти деякого підвищення потужності двигуна.

1.4 Розрахунок сил, що діють в КШМ двигуна

На деталі КШМ діють:

Сили тиску газу

$$F_z = (P_u - P_a) \times \frac{\pi d^2}{4}, H$$

Сили інерції мас, що рухаються зворотно-поступально.

$$F_u = -m_s r \omega^2 (\cos \varphi + \lambda_L \cos 2\varphi), H$$

сумарна сила (дійсна).

$$F_d = F_z \pm F_u, H$$

Нормальна сила.

$$F_n = F_d \times \operatorname{tg} \beta, H$$

Радіальна сила.

$$F_r = F_d \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}, H$$

Дотична сила.

$$F_K = F_d \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta}, H$$

Вихідні дані:

$$A = 0,007 \text{ м}^2$$

Площа поршня

$$\lambda_L = 0,270$$

Кривошипно-шатунне відношення.

$$m_s = 0,8 \text{ кг}$$

Маса деталей, що рухаються зворотно-поступально.

$$r = 0,046 \text{ м}$$

Радіус кривошипа.

$$\omega = 444,80 \text{ с}^{-1}$$

Кутова швидкість.

$$m_F = 4,5 \text{ кН/мм}$$

Масштаб сил.

$$P_d = 92,0 \text{ кПа}$$

Тиск в кінці впуску

$$P_a = 100 \text{ кПа}$$

Атмосферний тиск

$$p_1 = 1,358$$

Показник політропи стиску

$$p_2 = 1,24$$

Показник політропи розширення

$$P_{\max} = 9350 \text{ кПа}$$

Теоретичний тиск згорання

$$P_{zd} = 9350 \text{ кПа}$$

Дійсний тиск згорання

$$P_{c''} = 7480 \text{ кПа}$$

Дійсний тиск в кінці стиску

$$P_r = 0,173 \text{ кПа}$$

Тиск залишкових газів

$$P_b = 303 \text{ кПа}$$

Тиск в кінці розширення

d=	0,093 м	Діаметр циліндра
S=	0,092 м	Хід поршня
ε =	22,25	Ступінь стиску
n=	4250 хв ⁻¹	Частота обертання

$$V_s = \frac{\pi d^2}{4} S, \text{ м}^3$$

робочий об'єм

$$V_s = 0,000625 \text{ м}^3$$

$$V_c = \frac{V_s}{\varepsilon - 1}, \text{ м}^3$$

об'єм камери стиску

$$V_c = 2,94\text{E-}05 \text{ м}^3$$

$$V_a = V_s + V_{c, \text{ м}^3}$$

повний об'єм

$$V_a = 0,000654 \text{ м}^3$$

Об'єм над поршнем в залежності від кута повороту кривошипа

$$V_f = Ar \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda_L}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right] + V_c, \text{ м}^3$$

Таблиця 1.4 Результати динамічного розрахунку.

φ^o	V_f	F_{Γ}	F_{Π}	F_d	F_N	F_r	F_k	F_{Γ}	F_{Π}	F_d	F_N	F_r	F_k
ПКВ	M^3	кН	кН	кН	кН	кН	кН	мм	мм	мм	мм	мм	мм
0	3E-05	-0,0543	-9,24658	-9,3009	0	-9,3009	0	-0,0121	-2,0548	-2,0669	0	-2,0669	0
10	4E-05	-0,0543	-9,01742	-9,0717	-0,4258	-8,86	-1,9946	-0,0121	-2,0039	-2,0159	-0,0946	-1,9689	-0,4432
20	5E-05	-0,0543	-8,34758	-8,4019	-0,7792	-7,6287	-3,6058	-0,0121	-1,855	-1,8671	-0,1732	-1,6953	-0,8013
30	8E-05	-0,0543	-7,28824	-7,3426	-1,0004	-5,8586	-4,5377	-0,0121	-1,6196	-1,6317	-0,2223	-1,3019	-1,0084
40	0,0001	-0,0543	-5,91875	-5,9731	-1,0526	-3,899	-4,6458	-0,0121	-1,3153	-1,3273	-0,2339	-0,8665	-1,0324
50	0,0002	-0,0543	-4,33863	-4,3929	-0,9287	-2,1123	-3,9621	-0,0121	-0,9641	-0,9762	-0,2064	-0,4694	-0,8805
60	0,0002	-0,0543	-2,65748	-2,7118	-0,6522	-0,7911	-2,6746	-0,0121	-0,5906	-0,6026	-0,1449	-0,1758	-0,5943
70	0,0003	-0,0543	-0,98427	-1,0386	-0,2724	-0,0992	-1,0691	-0,0121	-0,2187	-0,2308	-0,0605	-0,0221	-0,2376
80	0,0003	-0,0543	0,58296	0,5286	0,1458	-0,0518	0,5459	-0,0121	0,1295	0,1175	0,0324	-0,0115	0,1213
90	0,0004	-0,0543	1,96581	1,9115	0,536	-0,536	1,9115	-0,0121	0,4368	0,4248	0,1191	-0,1191	0,4248
100	0,0004	-0,0543	3,11155	3,0572	0,8433	-1,3613	2,8644	-0,0121	0,6915	0,6794	0,1874	-0,3025	0,6365
110	0,0005	-0,0543	3,99607	3,9418	1,0339	-2,3197	3,3504	-0,0121	0,888	0,8759	0,2298	-0,5155	0,7445
120	0,0005	-0,0543	4,62329	4,569	1,0988	-3,2361	3,4074	-0,0121	1,0274	1,0153	0,2442	-0,7191	0,7572
130	0,0006	-0,0543	5,02135	4,967	1,05	-3,9971	3,13	-0,0121	1,1159	1,1038	0,2333	-0,8883	0,6956
140	0,0006	-0,0543	5,23604	5,1817	0,9132	-4,5564	2,6312	-0,0121	1,1636	1,1515	0,2029	-1,0125	0,5847
150	0,0006	-0,0543	5,32243	5,2681	0,7178	-4,9212	2,0125	-0,0121	1,1828	1,1707	0,1595	-1,0936	0,4472
160	0,0006	-0,0543	5,33579	5,2815	0,4898	-5,1305	1,3461	-0,0121	1,1857	1,1737	0,1088	-1,1401	0,2991
170	0,0007	-0,0543	5,3229	5,2686	0,2473	-5,2315	0,6713	-0,0121	1,1829	1,1708	0,055	-1,1626	0,1492
180	0,0007	-0,0543	5,31496	5,2606	0,00	-5,2606	0,00	-0,0121	1,1811	1,169	0,00	-1,169	0,00
190	0,0007	-0,0498	5,3229	5,2731	-0,25	-5,236	-0,67	-0,0111	1,1829	1,1718	-0,055	-1,1636	-0,1493
200	0,0006	-0,0358	5,33579	5,3	-0,4915	-5,1485	-1,3508	-0,008	1,1857	1,1778	-0,1092	-1,1441	-0,3002
210	0,0006	-0,0113	5,32243	5,3111	-0,7236	-4,9614	-2,0289	-0,0025	1,1828	1,1803	-0,1608	-1,1025	-0,4509
220	0,0006	0,0259	5,23604	5,2619	-0,9273	-4,6269	-2,6719	0,0057	1,1636	1,1693	-0,2061	-1,0282	-0,5938
230	0,0006	0,079	5,02135	5,1003	-1,0782	-4,1044	-3,214	0,0175	1,1159	1,1334	-0,2396	-0,9121	-0,7142

Продовження таблиці 1.4

240	0,0005	0,1532	4,62329	4,7765	-1,1487	-3,3831	-3,5622	0,034	1,0274	1,0614	-0,2553	-0,7518	-0,7916
250	0,0005	0,2565	3,99607	4,2526	-1,1155	-2,5027	-3,6146	0,057	0,888	0,945	-0,2479	-0,5561	-0,8033
260	0,0004	0,4016	3,11155	3,5132	-0,969	-1,5644	-3,2915	0,0892	0,6915	0,7807	-0,2153	-0,3476	-0,7314
270	0,0004	0,6089	1,96581	2,5747	-0,722	-0,722	-2,5747	0,1353	0,4368	0,5722	-0,1604	-0,1604	-0,5722
280	0,0003	0,9132	0,58296	1,4962	-0,4127	-0,1466	-1,5451	0,2029	0,1295	0,3325	-0,0917	-0,0326	-0,3434
290	0,0003	1,376	-0,98427	0,3917	-0,1027	0,0374	-0,4032	0,3058	-0,2187	0,087	-0,0228	0,0083	-0,0896
300	0,0002	2,1124	-2,65748	-0,5451	0,1311	-0,159	0,5376	0,4694	-0,5906	-0,1211	0,0291	-0,0353	0,1195
310	0,0002	3,3516	-4,33863	-0,987	0,2087	-0,4746	0,8902	0,7448	-0,9641	-0,2193	0,0464	-0,1055	0,1978
320	0,0001	5,5764	-5,91875	-0,3424	0,0603	-0,2235	0,2663	1,2392	-1,3153	-0,0761	0,0134	-0,0497	0,0592
330	8E-05	9,8369	-7,28824	2,5487	-0,3473	2,0336	-1,5751	2,186	-1,6196	0,5664	-0,0772	0,4519	-0,35
340	5E-05	18,194	-8,34758	9,8465	-0,9132	8,9403	-4,2258	4,0431	-1,855	2,1881	-0,2029	1,9867	-0,9391
350	4E-05	32,091	-9,01742	23,074	-1,083	22,535	-5,0733	7,1314	-2,0039	5,1275	-0,2407	5,0078	-1,1274
360	3E-05	50,106	-9,24658	40,86	0	40,86	0	11,135	-2,0548	9,0799	0	9,0799	0
370	4E-05	62,803	-9,01742	53,785	2,5245	52,53	11,826	13,956	-2,0039	11,952	0,561	11,673	2,628
380	5E-05	29,769	-8,34758	21,421	1,9866	19,45	9,1933	6,6153	-1,855	4,7603	0,4415	4,3222	2,043
390	8E-05	17,171	-7,28824	9,8825	1,3465	7,8852	6,1073	3,8157	-1,6196	2,1961	0,2992	1,7523	1,3572
400	0,0001	10,429	-5,91875	4,5103	0,7948	2,9442	3,5081	2,3176	-1,3153	1,0023	0,1766	0,6543	0,7796
410	0,0002	6,757	-4,33863	2,4184	0,5113	1,1629	2,1812	1,5016	-0,9641	0,5374	0,1136	0,2584	0,4847
420	0,0002	4,6379	-2,65748	1,9804	0,4763	0,5777	1,9532	1,0306	-0,5906	0,4401	0,1058	0,1284	0,434
430	0,0003	3,3407	-0,98427	2,3564	0,6181	0,2251	2,4257	0,7424	-0,2187	0,5237	0,1374	0,05	0,539
440	0,0003	2,5053	0,58296	3,0883	0,8518	-0,3026	3,1893	0,5567	0,1295	0,6863	0,1893	-0,0672	0,7087
450	0,0004	1,9447	1,96581	3,9105	1,0966	-1,0966	3,9105	0,4322	0,4368	0,869	0,2437	-0,2437	0,869
460	0,0004	1,5562	3,11155	4,6677	1,2875	-2,0785	4,3732	0,3458	0,6915	1,0373	0,2861	-0,4619	0,9718
470	0,0005	1,2805	3,99607	5,2766	1,384	-3,1053	4,485	0,2846	0,888	1,1726	0,3076	-0,6901	0,9967
480	0,0005	1,0819	4,62329	5,7052	1,3721	-4,0408	4,2548	0,2404	1,0274	1,2678	0,3049	-0,898	0,9455
490	0,0006	0,9379	5,02135	5,9592	1,2598	-4,7956	3,7552	0,2084	1,1159	1,3243	0,28	-1,0657	0,8345
500	0,0006	0,8341	5,23604	6,0701	1,0697	-5,3376	3,0823	0,1854	1,1636	1,3489	0,2377	-1,1861	0,685
510	0,0006	0,7611	5,32243	6,0835	0,8289	-5,6829	2,3239	0,1691	1,1828	1,3519	0,1842	-1,2629	0,5164

ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ

Арк.

Змн.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Продовження таблиці 1.4

520	0,0006	0,7127	5,33579	6,0485	0,5609	-5,8756	1,5416	0,1584	1,1857	1,3441	0,1247	-1,3057	0,3426
530	0,0007	0,6851	5,3229	6,008	0,282	-5,9657	0,7656	0,1522	1,1829	1,3351	0,0627	-1,3257	0,1701
540	0,0007	0,662	5,31496	5,9769	0	-5,9769	0	0,1471	1,1811	1,3282	0	-1,3282	0
550	0,0007	-0,6778	5,3229	4,6451	-0,218	-4,6124	-0,5919	-0,1506	1,1829	1,0323	-0,0485	-1,025	-0,1315
560	0,0006	-0,6778	5,33579	4,658	-0,432	-4,5249	-1,1872	-0,1506	1,1857	1,0351	-0,096	-1,0055	-0,2638
570	0,0006	-0,6778	5,32243	4,6447	-0,6328	-4,3388	-1,7743	-0,1506	1,1828	1,0321	-0,1406	-0,9642	-0,3943
580	0,0006	-0,6778	5,23604	4,5583	-0,8033	-4,0082	-2,3146	-0,1506	1,1636	1,0129	-0,1785	-0,8907	-0,5144
590	0,0006	-0,6778	5,02135	4,3436	-0,9182	-3,4954	-2,7371	-0,1506	1,1159	0,9652	-0,2041	-0,7768	-0,6083
600	0,0005	-0,6778	4,62329	3,9455	-0,9489	-2,7945	-2,9425	-0,1506	1,0274	0,8768	-0,2109	-0,621	-0,6539
610	0,0005	-0,6778	3,99607	3,3183	-0,8704	-1,9528	-2,8205	-0,1506	0,888	0,7374	-0,1934	-0,434	-0,6268
620	0,0004	-0,6778	3,11155	2,4338	-0,6713	-1,0837	-2,2802	-0,1506	0,6915	0,5408	-0,1492	-0,2408	-0,5067
630	0,0004	-0,6778	1,96581	1,288	-0,3612	-0,3612	-1,288	-0,1506	0,4368	0,2862	-0,0803	-0,0803	-0,2862
640	0,0003	-0,6778	0,58296	-0,0948	0,0262	0,0093	0,0979	-0,1506	0,1295	-0,0211	0,0058	0,0021	0,0218
650	0,0003	-0,6778	-0,98427	-1,662	0,436	-0,1588	1,7109	-0,1506	-0,2187	-0,3693	0,0969	-0,0353	0,3802
660	0,0002	-0,6778	-2,65748	-3,3353	0,8021	-0,973	3,2895	-0,1506	-0,5906	-0,7412	0,1782	-0,2162	0,731
670	0,0002	-0,6778	-4,33863	-5,0164	1,0605	-2,4121	4,5245	-0,1506	-0,9641	-1,1148	0,2357	-0,536	1,0054
680	0,0001	-0,6778	-5,91875	-6,5965	1,1625	-4,306	5,1307	-0,1506	-1,3153	-1,4659	0,2583	-0,9569	1,1402
690	8E-05	-0,6778	-7,28824	-7,966	1,0853	-6,3561	4,9229	-0,1506	-1,6196	-1,7702	0,2412	-1,4125	1,094
700	5E-05	-0,6778	-8,34758	-9,0254	0,837	-8,1948	3,8734	-0,1506	-1,855	-2,0056	0,186	-1,8211	0,8608
710	4E-05	-0,6778	-9,01742	-9,6952	0,4551	-9,4689	2,1317	-0,1506	-2,0039	-2,1545	0,1011	-2,1042	0,4737
720	3E-05	-0,6778	-9,24658	-9,9244	0	-9,9244	0	-0,1506	-2,0548	-2,2054	0	-2,2054	0

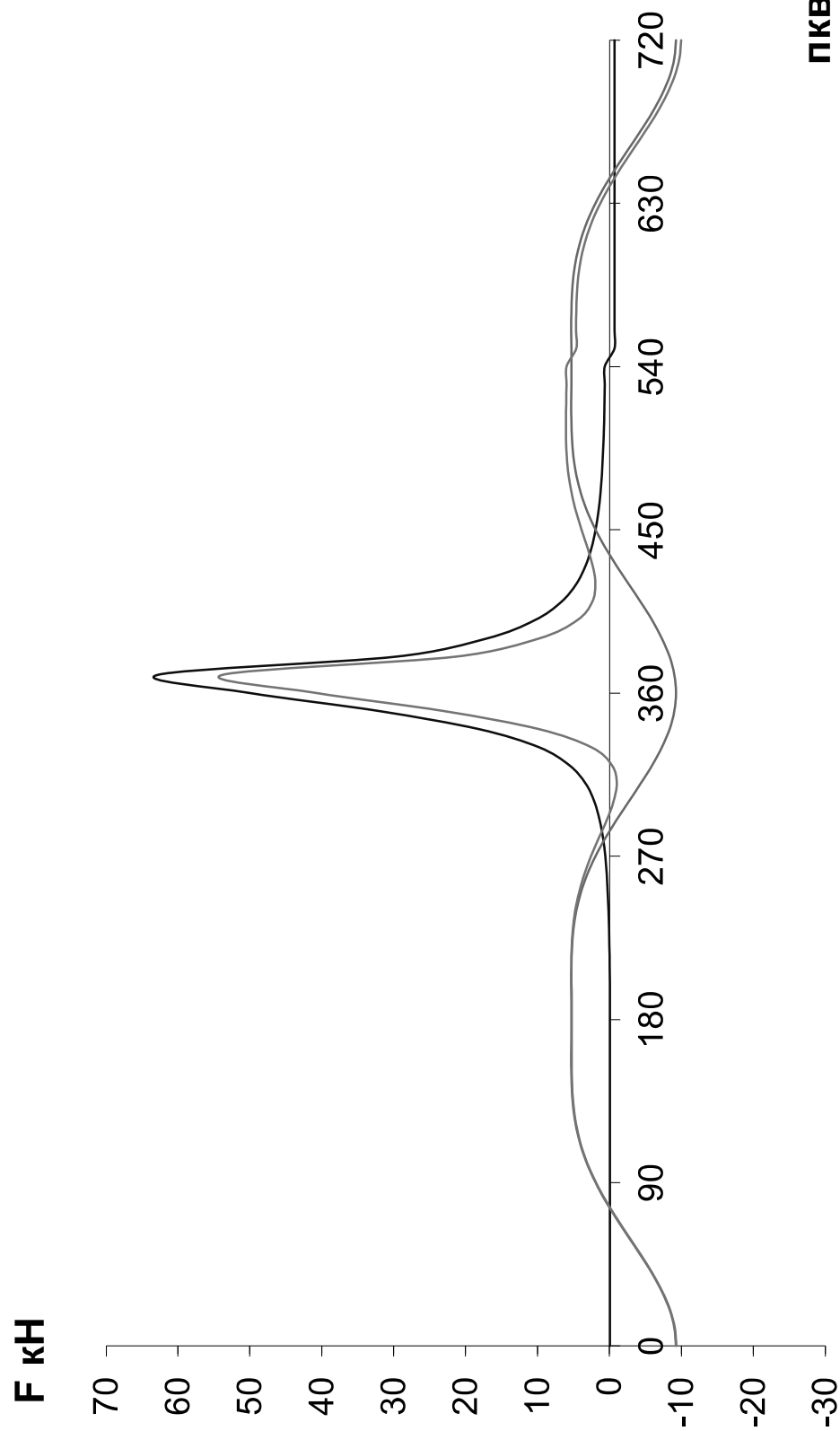


Рисунок 1.2 Сили газів, інерції, дійсна

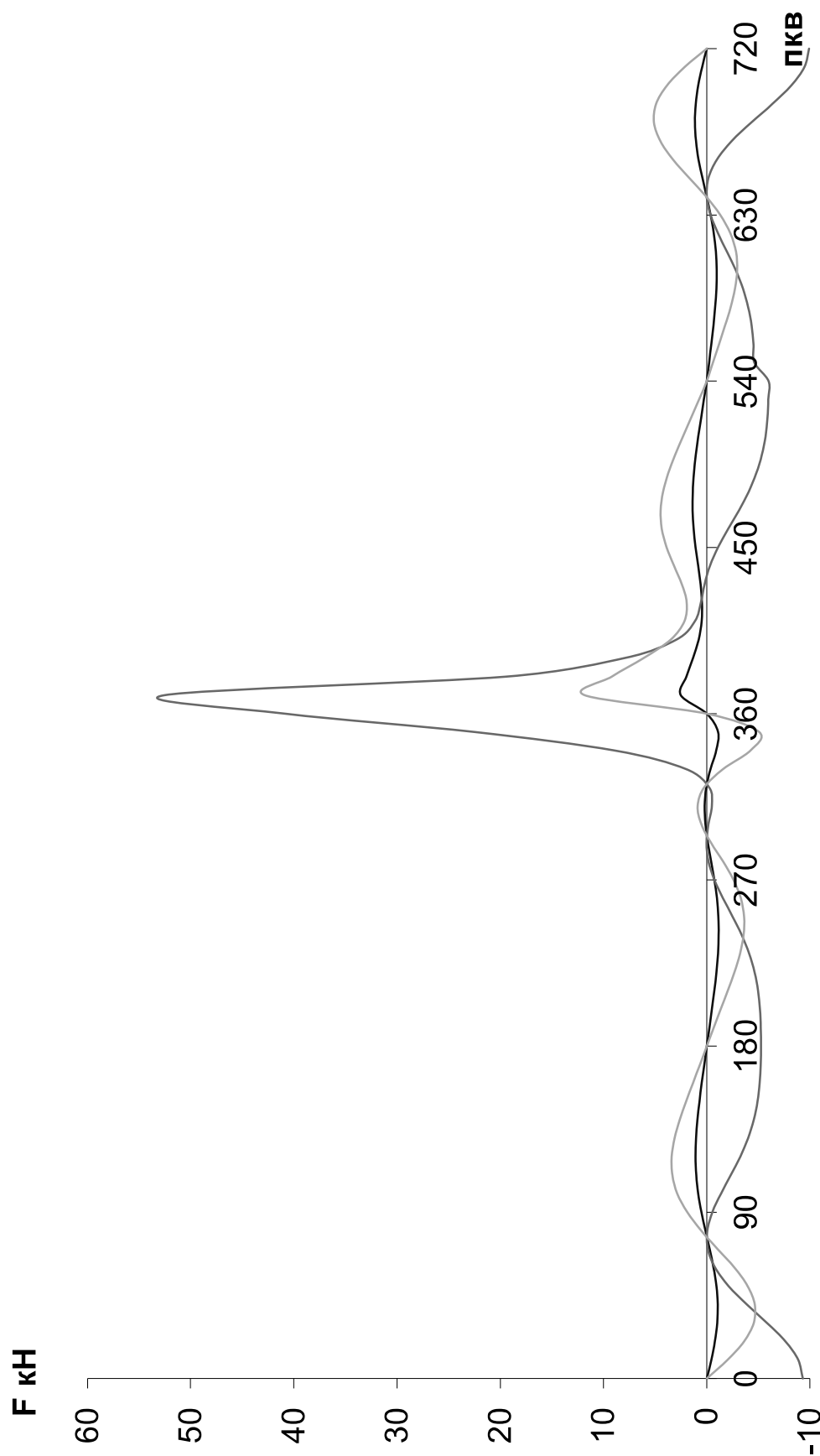


Рисунок 1.3 Сили радіальна, дотична, нормальна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ

Арк.

21

1.5 Розрахунок теплового балансу

Умова завдання:

ефективна потужність:	$P_e =$	54 кВт
частота обертання колінвалу:	$n =$	4250 хв ⁻¹
діаметр циліндру:	$d =$	93 мм
хід поршня:	$S =$	92 мм
число циліндрів:	$i =$	4
коефіцієнт тактності:	$Z =$	4
нижча теплота згорання дизельного палива:	$Q_H =$	42500 кДж/кг
годинна витрата пального:	$B_r =$	12,95308 кг/год
Індикаторний к.к.д.:	$\eta_i =$	0,492627
ефективний к.к.д.:	$\eta_e =$	0,35313
кількість свіжого заряду	$M_1 =$	0,8415 кмоль/кг
загальна кількість продуктів згорання	$M_r =$	0,874217 кмоль/кг
температура залишкових газів	$T_r =$	820 К
температура на початку стиску	$T_d =$	325,1585 К
коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha =$	1,7

Рівняння теплового балансу.

Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом

$$Q_{\Pi} = Q_e + Q_B + Q_r + Q_M + Q_{н.в}$$

де Q_e - теплота, еквівалентна ефективній роботі;
 Q_B - теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною;
 Q_r - теплота, яка виноситься випускними газами;
 Q_M - теплота, яка відводиться маслом;
 $Q_{н.в.}$ - невраховані теплові втрати.

Теплота, яка підводиться в циліндр двигуна з паливом:

$$Q_{\Pi} = B_r \cdot Q_H / 3.6$$

$$Q_{\Pi} = 152918,3 \text{ Дж/сек}$$

у відсотковому відношенні q_{Π} приймаємо за 100%

Теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна:

$$Q_e = 1000 \cdot P_e$$

$$Q_e = 54000 \text{ Дж/сек}$$

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у відсотковому відношенні

$$q = Q_e / Q_n \cdot 100 \%$$

$$q = 35,31297 \%$$

Перевірка:

$$Q'_e = Q_n \cdot \eta_e$$

$$Q'_e = 54000 \text{ Дж/сек}$$

Виразовуємо похибку

$$\Delta = (Q_e - Q'_e) / Q_e \cdot 100\%$$

$$\Delta = 1,35\text{E-}14 \%$$

Теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною:

$$Q_v = Q_w + Q_{T.П} + Q_{в.н.}$$

де Q_w - теплота, яка відводиться робочим тілом в стінки циліндра;

$Q_{T.П.}$ - теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра;

$Q_{в.н.}$ - теплота, еквівалентна роботі на привід водяного насосу.

Теплообмін між робочим тілом і стінками циліндра.

$$Q_w = (-W_{нап.} + W_{СТ} + W_{Г.Р.} + W_{вип.}) \cdot Q_n$$

де $W_{нап.}$, $W_{ст.}$, $W_{г.р.}$, $W_{вип.}$ - відповідно відносні втрати палива на дільницях наповнення, стиску, горіння-розширення та випуску газів із циліндра.

З експериментальних даних:

$$W_{нап.} = 0 \quad W_{г.р.} = 0,09-0,16 \quad 0,09$$

$$W_{ст.} = 0 \quad W_{вип.} = 0,01-0,05 \quad 0,01$$

$$Q_w = 15291,83 \text{ Дж/сек}$$

Теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра.

Середній тиск механічних втрат в механізмах двигуна.

$$P_{мд} = (a + v \cdot C_m) \cdot 10^3$$

де $a=0,09$ $v=0,012$ - коефіцієнти для визначення середнього

тиску механічних втрат

$$C_m = S \cdot n / 30 \quad \text{середня швидкість поршня}$$

$$C_m = 13,03333 \text{ м/с}$$

$$P_{мд} = 242,7933 \text{ кПа}$$

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середній тиск тертя поршня:

$$P_{\text{ср.т.}} = 0.6 \cdot P_{\text{мд}}$$

$$P_{\text{ср.т.}} = 145,676 \text{ кПа}$$

Потужність тертя поршня:

$$P_n = P_{\text{срт}} \cdot V_s \cdot n \cdot i / (30 \cdot Z)$$

де V_s - Робочій об'єм циліндру.

$$V_s = \pi d^2 \cdot S / 4$$

$$V_s = 0,000625 \text{ м}^3$$

$$P_n = 12,89078 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі тертя поршня:

$$Q_{\text{т.п.}} = 1000 \cdot P_{\text{п}}$$

$$Q_{\text{т.п.}} = 12890,78 \text{ Дж/сек}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід водяного насосу:

Визначаємо витрату води як суму теплоти:

$$Q_B = Q_W + Q_{\text{т.п.}}$$

$$Q'_B = 28182,61 \text{ Дж/сек}$$

тоді витрата охолоджуючої рідини:

$$V_B = \frac{Q'_B \cdot 10^{-3} \cdot K}{\rho_v \cdot C_{\text{тв}} \cdot \Delta T_v}$$

$K=1,2-1,5$ коефіцієнт запасу.

$$K = 1,3$$

$\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$ середня щільність води.

$C_{\text{тв}}=4,19 \text{ кДж/кг}$ - середня теплоємність води.

$\Delta T_v = 6-10$ - температурний перепад води в холодильнику.

$$\Delta T_v = 10 \text{ К}$$

$$V_B = 0,000874 \text{ м}^3/\text{с}$$

Потужність, яка використовується на привід водяного насосу.

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{в.н.} = V_{в} \cdot \Delta P_{в} / \eta_{в.н.}$$

де $\Delta P_{в} = 98$ кПа - гідравлічний опір системи охолодження.

$\eta_{в.н.} = 0,8 - 0,9$ к.к.д. водяного насосу.

$$\eta_{в.н.} = 0,85$$

$$P_{в.н.} = 0,100813 \text{ кВт}$$

$$\text{Тоді } Q_{в.н.} = 100,813 \text{ Дж/сек}$$

Загальна теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною.

$$Q_{в} = Q_{в} + Q_{Г.П} + Q_{в.н.}$$

$$Q_{в} = 28283,42 \text{ Дж/сек}$$

що складає у відсотковому відношенні:

$$q_{в} = Q_{в} / Q_{П} \cdot 100\%$$

$$q_{в} = 18,49577 \%$$

Теплота, яка виноситься випускними газами:

$$Q_{Г} = \frac{B_r}{3.6} \left[M_2 \cdot (m C_p'')_{t_0}^{t_2} \cdot t_r - M_1 \cdot (m C_p)_{t_0}^{t_d} \cdot t_d \right]$$

$m C_p'' = 36,846$ Ізобарна теплоємність продуктів згорання

$m C_p = 32,253$ Ізобарна теплоємність свіжого заряду.

Вибираємо по таблиці додатку:

$$t_r = T_r - 273^0$$

$$t_r = 547 \text{ Температура залишкових газів.}$$

$$t_d = T_d - 273^0$$

$$t_d = 52,15851 \text{ Температура на початку стиску.}$$

$$Q_{Г} = 58303,26 \text{ Дж/сек}$$

Що складає у відсотковому відношенні:

$$q_{Г} = Q_{Г} / Q_{П} \cdot 100\%$$

$$q_{Г} = 38,12706 \%$$

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплота, яка відводиться маслом і затрачується на привід масляного насосу:

Теплота, яка відводиться маслом, від гарячих деталей двигуна.

$$Q_M = (Q_w + Q_{MD}) - Q_v$$

$$Q_{MD} = \Delta_{MD} \cdot Q_{\Pi} \quad \text{теплота, еквівалентна роботі на подолання опору в механізмах двигуна.}$$

де $\Delta_{MD} = (P_{MD} / P_{mi}) \eta_i$ - доля втрат в механізмах двигуна.

$P_{mi} = 0,857412$ МПа середній індикаторний тиск

$$\Delta_{MD} = 0,139497$$

тоді

$$Q_{MD} = 21331,65 \text{ Дж/сек}$$

$$Q_{M1} = 8340,061 \text{ Дж/сек}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід насоса системи мащення.
Витрата циркуляційного масла.

$$V_M = \frac{\kappa \cdot Q_{M1}}{\rho_M \cdot C_{tm} \cdot \Delta}$$

$K=1,2-1,5$ - Коефіцієнт запасу $K=1,5$

$$\rho_M = 900 \text{ кг/м}^3 \quad \text{щільність масла}$$

$C_{tm} = 2,094$ кДж/кг - середня теплоємність масла.

$\Delta T_m = 6-15$ К Температурний перепад масла в охолоджувачі
двигуна

$$\Delta T_m = 12 \text{ К}$$

$$V_m = 0,000553 \text{ м}^3/\text{с}$$

потужність, яка використовується на привід масляного насоса:

$$P_{M.H.} = \frac{V_M \cdot P_0}{\eta \cdot 10^3}$$

де $P_0 = (0,3 - 0,4) 10^6$ - робочий тиск масла в системі.

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$P_0 = 350000 \text{ Па}$
 $\eta_M = 0,8 - 0,9$ механічний к.к.д. масляного насоса.

$\eta_M = 0,8$

$P_{M.H.} = 0,242013 \text{ кВт}$

тоді $Q_{H2} = 1000 \cdot P_{MH}$

$Q_{M2} = 242,0127 \text{ Дж/сек}$

Загальна кількість теплоти складає:

$Q_M = Q_{M1} + Q_{M2}$

$Q_M = 8582,074 \text{ Дж/сек}$

у відсотковому відношенні

$q_M = Q_M / Q_{\Pi} \cdot 100\%$

$q_M = 5,612194 \%$

Невраховані теплові втрати

$Q_{H.B.} = Q_{\Pi} - (Q_e + Q_v + Q_f + Q_M)$

$Q_{H.B.} = 3749,574 \text{ Дж/сек}$

що складає у відсотковому відношенні:

$q_{H.B.} = Q_{H.B.} / Q_{\Pi} \cdot 100\%$

$q_{H.B.} = 2,452011 \%$

Всі отримані дані зведені в таблицю 1.5

Таблиця 1.5 Зведена таблиця теплового балансу.

Складові теплового балансу	Дж/сек	%
теплота, еквівалентна ефективній роботі	54000	35,313
теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною	28283,42	18,4958
теплота, яка виноситься випускними газами	58303,26	38,1271
теплота, яка відводиться маслом	8582,074	5,61219
невраховані теплові втрати	3749,574	2,45201
Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом	152918,3	100

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24. ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РЕАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Призначення виконаної роботи.

У рамках виконання реальної частини дипломного проекту було проведено комплексне технічне обслуговування дизельного двигуна моделі U25/651, який знаходиться у лабораторії №127.

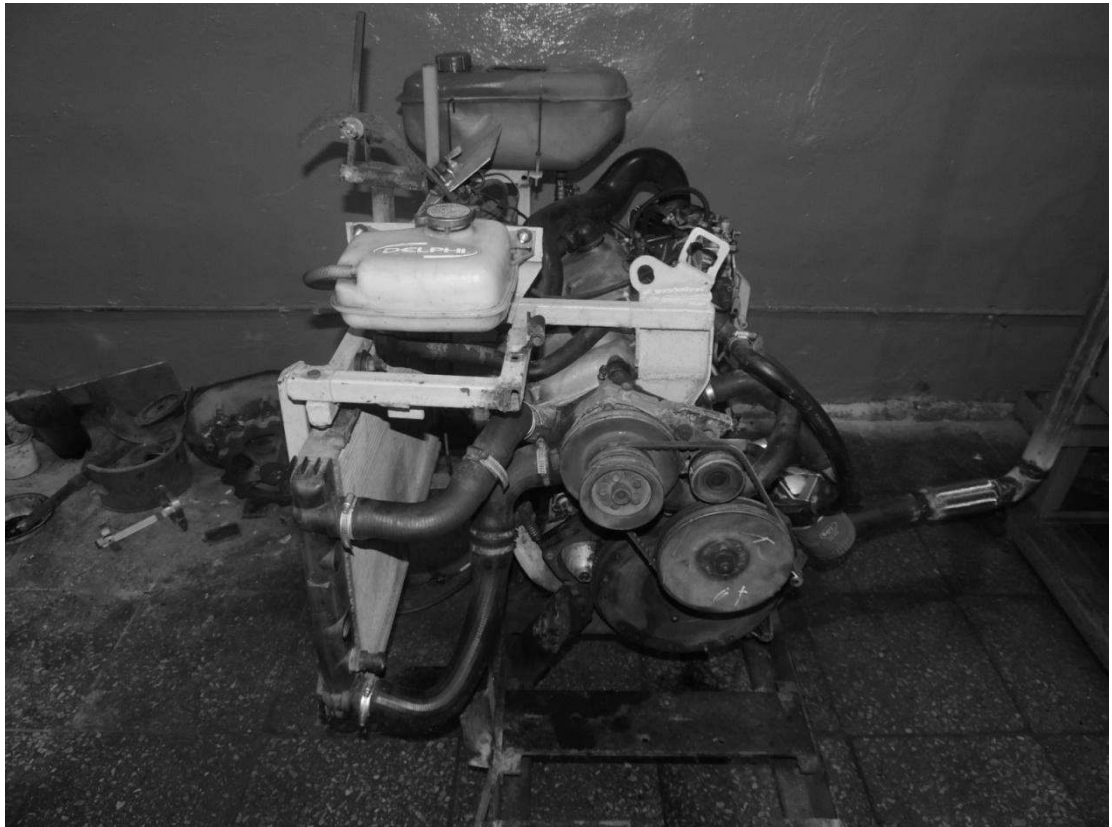


Рисунок 2.1 Зовнішній вигляд стенду.

Ця лабораторія спеціально обладнана для виконання лабораторних робіт студентами відділення «Двигуни та автомобілі», що дозволяє майбутнім фахівцям отримати практичні навички в галузі діагностики, ремонту та обслуговування двигунів внутрішнього згоряння.

Забезпечення безперебійної та довготривалої експлуатації двигуна вимагає ретельного дотримання інструкцій з догляду. Всі особи, які беруть участь в обслуговуванні, включаючи водія, моториста та механіка,

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

зобов'язані вивчати конструкцію двигуна, розуміти призначення його складових елементів, а також володіти знаннями про процеси, що відбуваються в ньому під час роботи. Крім того, важливо підтримувати агрегат у чистоті, уникати зайвого демонтажу його вузлів і механізмів без обґрунтованої необхідності.

Технічне обслуговування двигунів внутрішнього згоряння передбачає проведення як щоденних, так і періодичних профілактичних заходів. Вони включають перевірку технічного стану, очищення, змазування, підтяжку з'єднань та регулювання основних вузлів і механізмів. Всі заходи технічного обслуговування здійснюються за планово-запобіжною системою після напрацювання двигуном встановленої кількості мотогодин.

В залежності від періодичності та обсягу робіт технічне обслуговування двигунів класифікується на такі категорії:

1. Щоденне технічне обслуговування (ЩО) – передбачає перевірку рівня масла, охолоджувальної рідини, очищення фільтрів та візуальний контроль стану двигуна перед початком роботи.

2. Перше технічне обслуговування (ТО-1) – включає більш глибокий аналіз технічного стану двигуна, заміну мастильних матеріалів, очищення системи живлення та контроль за кріпленнями.

3. Друге технічне обслуговування (ТО-2) – комплексне обслуговування, що передбачає перевірку та регулювання всіх основних агрегатів, діагностику системи змащення, охолодження, впорскування палива та випускної системи.

Основною метою проведення технічного обслуговування є підтримка двигуна у справному робочому стані під час експлуатації, що сприяє збільшенню його ресурсу та ефективності роботи. Недотримання регламентованих термінів обслуговування та недостатня якість виконання робіт можуть призвести до суттєвого зниження моторесурсу, збільшення кількості поломок, зниження потужності двигуна та зростання витрат на його

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатацію. З метою забезпечення оптимальної роботи допускається відхилення від встановлених термінів обслуговування в межах $\pm 10\%$, однак експлуатація двигуна без проходження чергового технічного обслуговування категорично забороняється.

2.2 Описання виконаної роботи

Під час виконання реальної частини було проведено технічне обслуговування паливної системи двигуна а саме:

- заміна паливних фільтрів;
- обслуговування паливопідкачуючого насосу;
- перевірка працездатності форсунок;
- перевірка максимального тиску що розвиває ПНВТ.

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Автомобільні двигуни. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долгунов К.Є., Тимченко І.І. – К.: Арістей, 2007. - 476с.
- 2 Колчин А. И., Демидов В. П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М., Высшая школа, 1980.
- 3 Ваншейдт В.А., Иванченко Н.Н., Колеров Л.К. Дизели. Справочник М.: Машиностроение, 1977.
- 4 Матеріали Internet

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25. 24.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]



1. Ефективна потужність 54 кВт
2. Частота обертання колінчастого валу 4250 хв
3. Ступінь стиску 22,25
4. Число циліндрів 4

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

експлуатацію. З метою забезпечення оптимальної роботи допускається відхилення від встановлених термінів обслуговування в межах $\pm 10\%$, однак експлуатація двигуна без проходження чергового технічного обслуговування категорично забороняється.

2.2 Описання виконаної роботи

Під час виконання реальної частини було проведено технічне обслуговування паливної системи двигуна а саме:

- заміна паливних фільтрів;
- обслуговування паливopідкачуючого насосу;
- перевірка працездатності форсунок;
- перевірка максимального тиску що розвиває ПНВТ.

					ВСП.ПФК.НУК 133.431.25.24 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		