

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний інститут, Транспортний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Двигуни внутрішнього згорання
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження впливу складу паливоповітряної суміші
на техніко-економічні показники двотактного двигуна

Виконав: студент(ка) 2м курсу, групи Т-410м
Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Двигуни внутрішнього згорання

Тимашев В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., проф. Слинко Г.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доцент Дядя С.І.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний інститут, Транспортний факультет

Кафедра Двигуни внутрішнього згорання

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

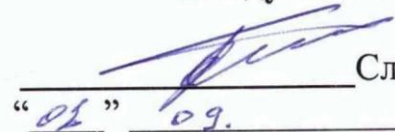
(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) «Двигуни внутрішнього згорання»

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ДВЗ


Слинько Г.І.
“01” “09.” 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Тимашев Владислав Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження впливу складу паливоповітряної суміші на техніко-економічні показники двотактного двигуна

керівник проекту (роботи) д.т.н., професор Слинько Г.І.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від № 461 від 25.11.21 р.

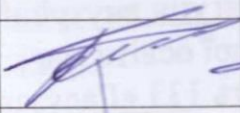
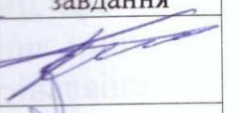
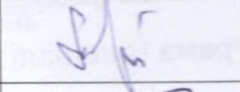
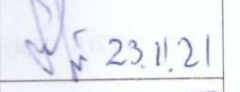
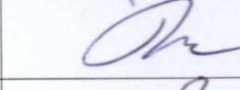
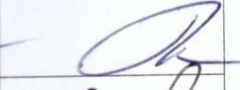
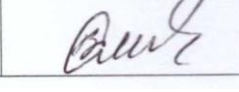
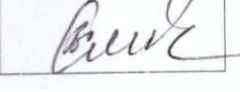
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 06.12.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) 2-тактний 1-циліндровий пусковий двигун з іскровим запалюванням ПД-10М потужністю 7,35 кВт при 3500 хв⁻¹

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз систем продувки 2-тактних бензинових ДВЗ; визначення складу та властивостей палива для 2-тактних ДВЗ; тепловий розрахунок двигуна ПД-10М на номінальному та дослідницьких режимах; дослідження впливу складу паливоповітряної суміші на техніко-економічні показники двигуна; розрахунок економічної ефективності дослідження; розробка заходів з охорони праці

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4	Слинько Г.І., д.т.н., професор		
5	Лазуткін М.І., к.т.н., доцент		 23.11.21
6	Пожуєва Т.О., д.е.н., професор		
н/контроль	Слинько В.В., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	05.09.2021	
2	Аналіз літературних джерел за тематикою дослідження	15.09.2021	
3	Методи досліджень та устаткування	01.10.2021	
4	Тепловий розрахунок бензинового двигуна ПД-10М на номінальному режимі	15.10.2021	
5	Дослідження впливу складу паливоповітряної суміші на техніко-економічні показники двотактного двигуна	01.11.2021	
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	10.11.2021	
7	Економічне обґрунтування наукової роботи	20.11.2021	
8	Висновки з магістерської роботи	25.11.2021	
9	Оформлення роботи, нормоконтроль	30.11.2021	
10	Розробка презентації та доповіді до захисту	04.12.2021	
11	Подання роботи до захисту	06.12.2021	

Студент(ка)

(підпис)

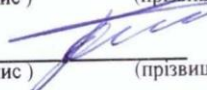


Тимашев В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)



Слинько Г.І.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 94 с., 18 табл., 13 рис., 38 джерел, 2 додатки

БЕНЗИН, ВЛАСТИВОСТІ, ДВОТАКТНИЙ ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, МАСЛО, ПД-10М, СКЛАД ПАЛИВА, ТЕПЛОЄМНІСТЬ

Проведено аналіз літературних джерел за тематикою дослідження. Обґрунтовано актуальність та перспективність теми дослідження. Проаналізовано конструкцію та розглянуто технічні характеристики об'єкта дослідження – бензинового двигуна ПД-10М. Обрано методики дослідження впливу складу паливоповітряної суміші на техніко-економічні показники двотактного двигуна. Виконано тепловий розрахунок двигуна ПД-10М на номінальному режимі роботи, визначені індикаторні та ефективні показники, побудовані індикаторні діаграми температури та тиску. Визначено фізико-хімічні властивості сумішевого палива (бензин–масло) двотактного двигуна ПД-10М при співвідношенні масла до бензину 1:15, 1:25, 1:33, 1:50.

Визначено величину впливу від додавання масла до бензину на властивості палива та паливоповітряної суміші двотактного двигуна.

Це дозволило визначити техніко-економічні показники двотактного двигуна ПД-10М і уточнити фізико-математичну модель професора Я. О. Єгорова. Підвищено точність теплового розрахунку 2-тактних ДВЗ з іскровим запалюванням до 4,6 %;

Мета роботи – підвищення точності існуючої фізико-математичної моделі, що використовується для розрахунку термодинамічного циклу ДВЗ.

Об'єкт дослідження – 2-тактний 1-циліндровий бензиновий двигун ПД-10М з зовнішнім сумішоутворенням та іскровим запалюванням.

Предмет дослідження – вплив складу робочої суміші на техніко-економічні показники двотактного двигуна з іскровим запалюванням.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	10
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ	12
1.1 Ефективність продувки 2-тактних ДВЗ	13
1.1.1 Прямоточні системи продувки	13
1.1.2 Контурні системи продувки	15
1.2 Склад та властивості палива для 2-тактних ДВЗ	16
1.3 Висновки за розділом та напрямку досліджень	23
2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА УСТАТКУВАННЯ	24
2.1 Конструкція та технічна характеристика бензинового двигуна ПД- 10М	24
2.2 Система живлення двигуна ПД-10М	28
2.3 Основні положення теплового розрахунку робочого циклу ДВЗ	30
2.3.1 Фізико-математична модель	30
2.3.2 Порядок розрахунку	32
2.4 Висновки до розділу	33
3 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА ПД-10М НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ (БЕЗ ВРАХУВАННЯ МАСЛА)	34
3.1 Тепловий розрахунок	34
3.2 Висновки за розділом	43
4 ВПЛИВ СКЛАДУ ПАЛИВОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ НА ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДВОТАКТНОГО ДВИГУНА	44
4.1 Зміна властивостей палива та паливоповітряної суміші двотактних ДВЗ за рахунок врахування добавки масла	44
4.2 Вплив складу паливоповітряної суміші на техніко-економічні	

показники двотактного двигуна	52
4.3 Висновки за розділом	57
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	58
5.1 Аналіз потенційних небезпек	58
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки	59
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	61
5.4 Заходи з пожежної безпеки та дії надзвичайній ситуації	67
5.5 Дії персоналу у випадку аварії з викидом небезпечних хімічних речовин	69
5.6 Висновки за розділом	71
6 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ	72
6.1 Визначення витрат на проведення магістерської роботи	72
6.1.1 Визначення витрат на матеріали	72
6.1.2 Розрахунок вартості палива й енергії	74
6.1.3 Розрахунок амортизації універсального устаткування	75
6.1.4 Розрахунок заробітної плати	77
6.1.5 Внески на соціальні заходи	78
6.1.6 Накладні витрати	78
6.2 Висновки до розділу	79
ВИСНОВКИ	80
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	82
ДОДАТОК А	87
ДОДАТОК Б	94

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ

2-Т – двотактний;

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

НХР – небезпечна хімічна речовина;

ПД-10М – пусковий двигун потужністю 10 к. с. модернізований;

ФММ – фізико-математична модель;

$\Delta m_{\text{вц}}$ – циклова подача повітря, $\frac{\text{КГ}}{\text{ЦИКЛ}}$;

$\Delta m_{\text{тц}}$ – циклова подача палива, $\frac{\text{КГ}}{\text{ЦИКЛ}}$;

ΔT – підігрів повітря на впуску, К;

$\Delta \varphi_{\text{сг}}$ – кутова тривалість згорання, ° ПКВ;

α – коефіцієнт надлишку повітря;

γ – коефіцієнт залишкових газів;

η_i – індикаторний ККД;

η_m – механічний ККД;

η_e – ефективний ККД;

η_v – коефіцієнт наповнення;

ρ – щільність (густина), кг/м^3 ;

φ_c – кут початку згорання, ° ПКВ;

φ_z – кут кінця згорання, ° ПКВ;

ω – кутова швидкість обертання кривошипа, с^{-1} ;

°ПКВ – градуси повороту колінчатого валу;

С – вуглець;

c_v – ізохорна теплоємність, $\frac{\text{Дж}}{\text{КГ} \cdot \text{К}}$;

c_p – ізобарна теплоємність, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

D – діаметр циліндра, м;

G_T – годинна витрата палива, $\frac{\text{кг}}{\text{год}}$;

g_e – питома ефективна витрата палива, $\frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$;

g_i – питома індикаторна витрата палива, $\frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$;

F_{Π} – площа плоскої поверхні поршня, м^2 ;

F_{Π}' – площа теплообміну поршня, м^2 ;

F_K – площа теплообміну кришки, м^2 ;

H – водень;

H_u – теплота згорання, МДж/кг

k – показник адіабати;

L_i – індикаторна робота циклу, $\frac{\text{Дж}}{\text{цикл}}$;

$L_{\text{ш}}$ – довжина шатуна, м;

L_o – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг палива, кг/кмоль ;

ℓ_o – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг палива, кг/кг ;

m_A – маси частин, що поступально рухаються і обертаються, кг;

m_a – початкова маса робочого тіла в циліндрі, $\frac{\text{кг}}{\text{цикл}}$;

m_T – молекулярна маса;

m_1 – показник процесу згорання;

N – нітроген;

n – частота обертання колінчастого валу, хв^{-1} ;

N_e – ефективна потужність, кВт ;

O – кисень;

S – хід поршня, м;

S – сірка;

p_a – початковий тиск, Па;

p_e – середній ефективний тиск, Па;

p_i – середній індикаторний тиск, Па;

r_k – радіус кривошипа, м;

T_r – температура залишкових газів.

T_a – температура повітря на початку процесу стиснення, К;

T_w – середня температура стінок, К;

V_a – початковий об'єм циліндра, м³;

V_c – об'єм камери стиснення, м³.

V_h – робочий об'єм циліндра, м³.

x_i – масова частка i -го компонента суміші.

ВСТУП

Двотактні (2-тактні, 2-Т) двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ), незважаючи на складність дотримання ними сучасних екологічних вимог, все ще мають значне поширення і будуть використовуватись в промисловості і народному господарстві щонайменше протягом наступного десятиліття. Тому питання дослідження їх робочого процесу є актуальним, оскільки воно спрямоване на комплексне покращення показників двотактних двигунів.

З аналізу літературних джерел встановлено, що в розрахункових методиках циклу ДВЗ, відомим з наукової та технічної літератури, приділяються недостатньо уваги питанню складу сумішевих палив. Особливо це важливо для 2-Т ДВЗ, паливо для яких комбіноване, складається з бензину та масла. Пропорція цих величин є величиною варійованою протягом життєвого циклу двигуна. Як це впливає на техніко-економічні показники ДВЗ з іскровим запалюванням – в науковій літературі не розглянуто.

Таким чином можна стверджувати, що визначення впливу складу паливоповітряної суміші на техніко-економічні показники двотактного двигуна з іскровим запалюванням є актуальним питанням.

Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи є підвищенню точності існуючих фізико-математичних моделей, що використовуються для розрахунку ДВЗ.

Для досягнення мети, вирішувався ряд **завдань**:

- аналіз наукової та технічної літератури за темою дослідження, визначення граничних величин складу палива для 2-Т ДВЗ для подальшого дослідження;
- визначення з літературних джерел властивостей складових палива для 2-тактних ДВЗ (бензин і моторне масло);
- аналіз конструкції 2-тактного двигуна ПД-10М;
- складання методики розрахунку впливу складу паливоповітряної

суміші на техніко-економічні показники двотактного двигуна;

- тепловий розрахунок двигуна ПД-10М на номінальному режимі (при роботі на бензині);

- визначення властивостей палива та паливоповітряної суміші за рахунок врахування наявності масла в паливі 2-Т ДВЗ;

- теплові розрахунки двигуна ПД-10М на номінальному режимі (при роботі на бензині з додаванням масла);

- аналіз отриманих результатів.

Об’єкт дослідження – 2-тактний 1-циліндровий бензиновий двигун ПД-10М із зовнішнім сумішоутворенням та іскровим запалюванням.

Предмет дослідження – вплив складу робочої суміші на техніко-економічні показники двотактного двигуна з іскровим запалюванням.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- вперше визначено величину впливу від додавання масла до бензину на властивості робочої суміші двотактного двигуна;

- уточнено фізико-математичну модель професора Я. О. Єгорова з врахуванням фізико-хімічних показників сумішевого палива.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

- уточнені властивості палива та паливоповітряної суміші прийнято до впровадження в комп’ютерній програмі Engine Calculation, яка використовується в навчальному процесі НУ «Запорізька політехніка», в науково-дослідних роботах студентів та аспірантів, дозволяє підвищити точність теплового розрахунку 2-тактних ДВЗ з іскровим запалюванням до 4,6 %.

Апробація

Основні положення досліджень представлені у конкурсній роботі, поданій до участі у Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт 2021/2022 навчального року.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

Двотактні (2-тактні, 2-Т) ДВЗ, на відміну від 4-тактних, відрізняються більш простою конструкцією (оскільки відсутні системи мащення та газорозподілу), мають в 1,5...2 рази більшу літрову та питому потужність (див. таблицю 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння потужності ДВЗ різних типів (кращі значення для серійних ДВЗ)

Тип двигуна	2-тактні	4-тактні
Літрова потужність, кВт/л	до 180	до 130 (атмосферні) до 160 (з наддувом)
Питома потужність, кВт/кг	до 1	до 2

Проте 2-Т ДВЗ мають і ряд недоліків:

- збільшена витрата палива;
- низькі екологічні показники;
- шумність;
- менший ресурс.

Перший і другий недоліки безпосередньо пов'язані з організацією робочого процесу в двигуні, оскільки частина робочої суміші використовується для продувки циліндрів. Детальніше ці процеси розглянуто в розділі 1.1. Підвищену шумність двигуна можна вважати наслідком конструкції більшості 2-Т ДВЗ як двигунів з повітряним охолодженням та зі спрощеними системами глушення шуму (через переважне використання таких ДВЗ на легких транспортних установках та засобах малої механізації). Зменшений ресурс 2-Т ДВЗ порівняно з 4-тактними двигунами викликаний спрощеними умовами мащення пар тертя.

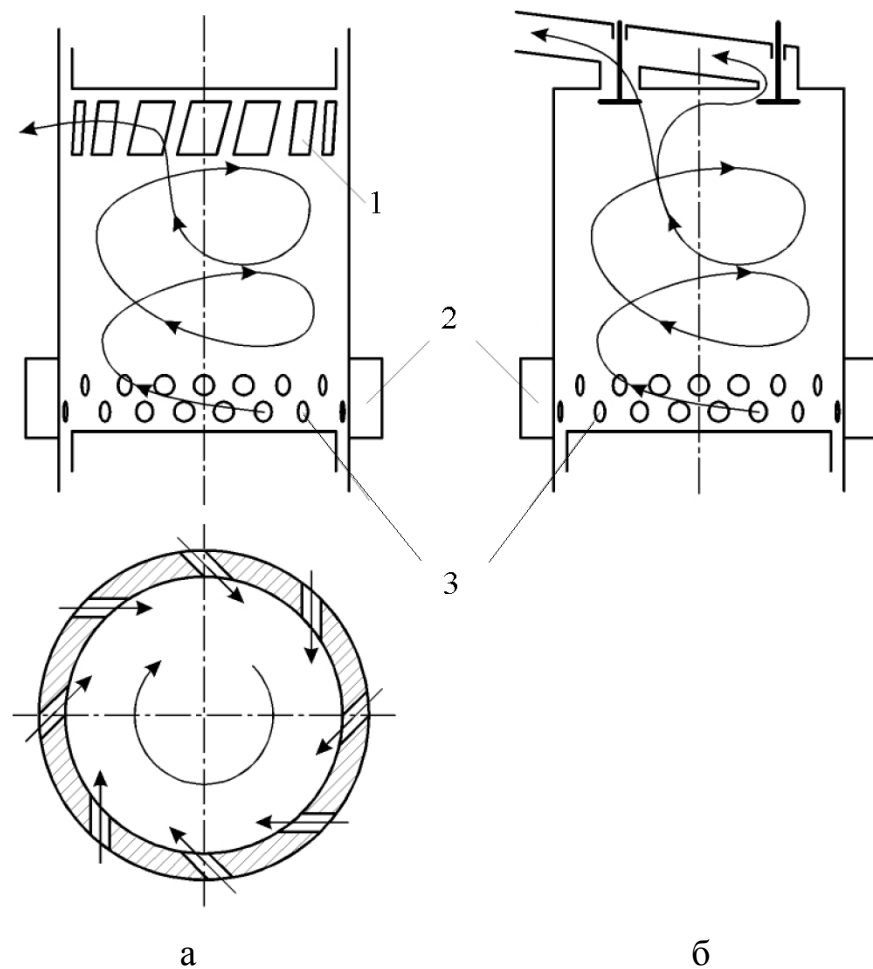
Дослідженню робочих процесів у ДВЗ різних типів, створенню математичних моделей їх роботи, дослідженню впливу окремих конструкційних, експлуатаційних, регулювальних чинників присвячено дуже багато робіт. Проте більшість вчених, зокрема, українських, свою увагу приділяють моделюванню роботи 4-тактних ДВЗ. Відомі роботи щодо 2-Т ДВЗ [1–9] стосуються переважно процесів газообміну, способу подачі палива, покращення ефективності та економічності. В більшості з цих та інших робіт не досліджено питання складу палива 2-Т ДВЗ на техніко-економічні показники двотактного двигуна. Паливо приймається як звичайний бензин з певними параметрами (теплота згорання, антидетонаційні властивості), в той час як воно є комбінованим (бензин з додаванням моторного масла). Тому це питання вимагає додаткового дослідження.

1.1 Ефективність продувки 2-тактних ДВЗ

За характером руху повітря в циліндрі двигуна системи продувки поділяють на прямоточні і контурні [6].

1.1.1 Прямоточні системи продувки

Існують дві схеми прямоточної продувки: прямоточно-щілинна, або безклапанна (рисунок 1.1, а) і клапанно-щілинна (рисунок 1.1, б).



1 – випускні вікна; 2 – ресивер; 3 – продувочні вікна

а – прямоточно-щілинна (безклапанна) продувка; б – клапанно-щілинна

Рисунок 1.1 – Схеми прямоотної продувки [6]

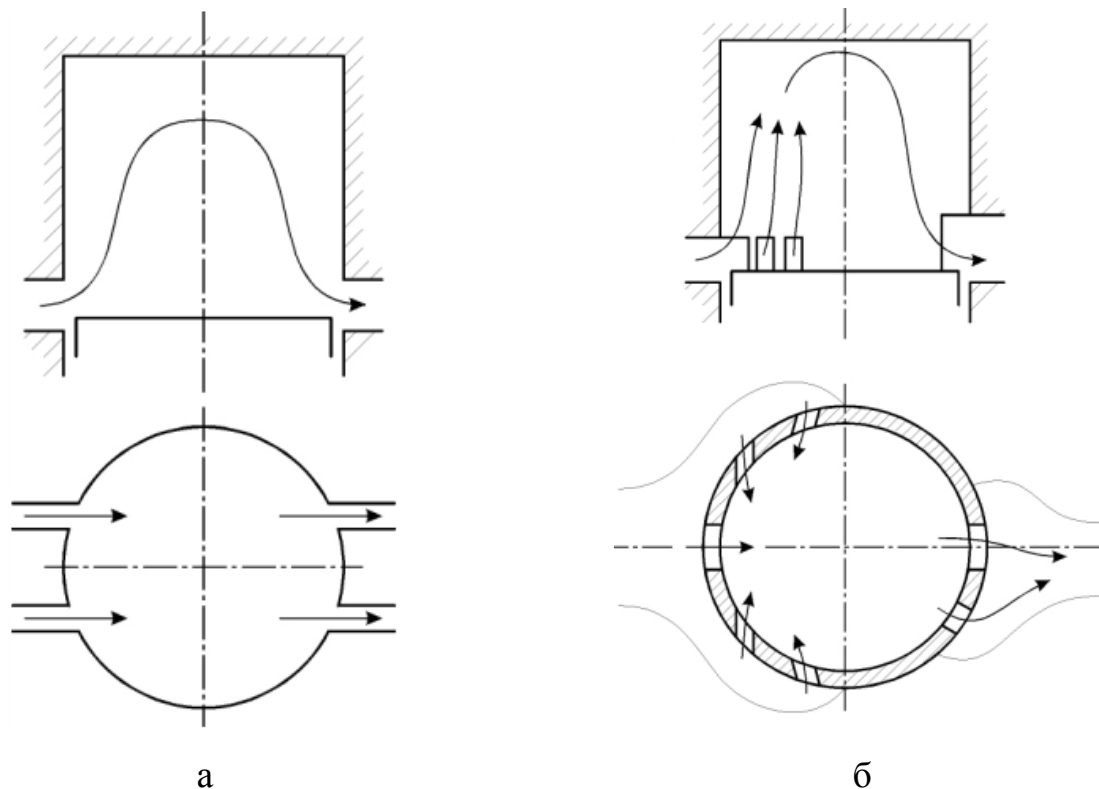
Прямоточно-щілинна продування застосовується в двигунах з протилежно рухомими поршнями (дизелі 2Д-100). В ресивер нагнітається повітря від продувочного насоса. Через тангенціально спрямовані продувні вікна повітря «закручується» в циліндр, витісняючи відпрацьовані гази. Прямоточно-щілинна – це найбільш досконала система продувки. Якість продувки оцінюється коефіцієнтом залишкових газів γ . Для прямоотно-щілинний схеми $\gamma = 0,03...0,08$ [6].

Клапанно-щілинна продування застосовувалося в автомобільних дизелях ЯАЗ-204, ЯАЗ-206. Для схеми клапанно-щілинної продувки $\gamma = 0,05...0,12$, якість продувки гірше, але ще досить якісна.

1.1.2 Контурні системи продувки

Поперечно-щілинна продування з паралельними вікнами в плані (рисунок 1.2, а) характеризується $\gamma = 0,15...0,25$. Нижчі величини γ відносяться до малооберткових двигунів.

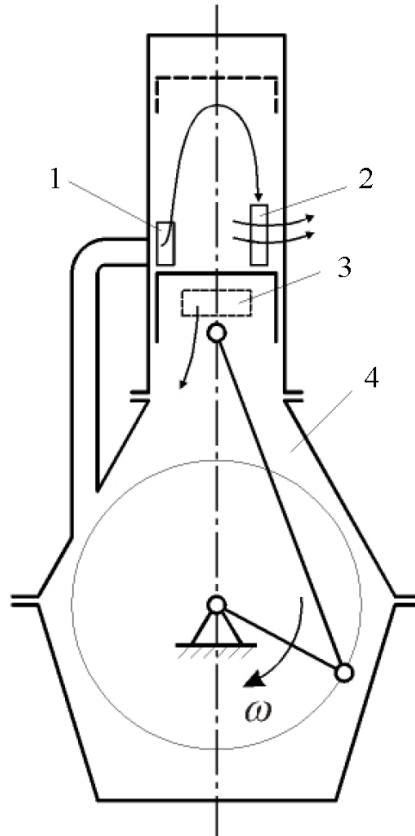
У ДВЗ з поперечно-щілинною продувкою з ексцентричним розташуванням вікон в плані (рис. 1.2, б) при русі поршня до НМТ спочатку відкриваються випускні вікна, а потім – продувочні. Через продувочні вікна потік повітря концентрованим пучком прямує вгору. Така схема продувки застосовується в дизелях заводів Sulzer і FIAT. Коефіцієнт залишкових газів для високооберткових двигунів знаходиться в межах $\gamma = 0,12...0,18$, а для малооберткових – $\gamma = 0,08...0,10$ [6].



а – з паралельним розташуванням вікон в плані; б – з ексцентричним розташуванням вікон в плані

Рисунок 1.2 – Схеми поперечно-щільової продувки [6]

Схема кривошипно-камерної продувки (рисунок 1.3) є недосконалою, але її головна перевага – відсутність продувочного насоса. Його роль виконує поршень з кривошипною камерою. Коефіцієнт залишкових газів для цієї схеми продувки великий і знаходиться в межах $\gamma = 0,30 \dots 0,40$. Застосовується в мотоциклетних, пускових двигунах, бензопилах, лодочних двигунах [6].



1 – продувочне вікно; 2 – випускне вікно; 3 – впускне вікно;
4 – кривошипна камера

Рисунок 1.3 – Схема кривошипно-камерної продувки [6]

1.2 Склад та властивості палива для 2-тактних ДВЗ

Моторні масла призначені для мащення двигунів внутрішнього згоряння. Залежно від призначення їх підрозділяють на масла для дизелів, карбюраторних і авіаційних двигунів, 2-тактних двигунів. Всі сучасні моторні масла складаються з базових масел і присадок, які поліпшують їх властивості.

За температурним межами працездатності моторні масла розділяють на літні, зимові та всесезонні [10].

В якості базових масел використовують дистильовані компоненти різної в'язкості, залишкові компоненти, суміші залишкового і дистильованих компонентів, а також синтетичні продукти (полі-альфа-олефіни, алкіл-бензоли, ефіри). Більшість всесезонних масел отримують шляхом загущення малов'язкої основи макрополімерними присадками. За складом базового масла моторні масла підрозділяють на синтетичні, мінеральні та частково синтетичні (суміші мінерального і синтетичних компонентів) [10].

Паливом для 2-Т ДВЗ слугує суміш, що складається із бензину та масла. У якості масла можуть слугувати моторні масла для 2-Т ДВЗ, рідше – моторні масла для 4-тактних ДВЗ, моторні масла для дизелів, автоли (див. таблицю 1.1).

З таблиці 1.1 видно, що пропорції масла до бензину для різних 2-Т двигунів відрізняються, найчастіше:

- у період обкатки – від 1:33 до 1:15;
- після обкатки – від 1:50 до 1:15.

Таким чином, визначено, що паливо для 2-Т двигунів складається з бензину від 93,3 % до 98 % (за об'ємом) та масла в кількості від 2 % до 6,7 % (за об'ємом).

Щільність моторного мастила вища, ніж у бензину (див. таблицю 1.2) на 10...21 %, залежно від марки нафтопродукту. Таким чином, масова частка масла в паливі для 2-Т ДВЗ складає від 2,4 % до 7,9 %.

В таблиці 1.3 наведено елементний склад та основні показники бензину та дизельного палива, що використовуються в більшості розрахункових моделей циклу ДВЗ. С, Н, О – елементарний склад палива (масові частки елементів, що входять до складу палива: вуглець, водень, кисень). Крім вищезазначених елементів, у паливі можуть міститися: сірка S, азот N, а також негорючі мінеральні домішки (зола, волога), однак їх кількість незначна та зазвичай ними нехтують [8].

Таблиця 1.1 – Палива для 2-тактних ДВЗ

Двигун	Паливо
Мотор Січ Д-70Д	Суміш 2-Т масла (Mobil Super T, Valvoline 2T або АЗМОЛ Старт 2Т) і неетилованого бензину (з октановим числом 92 за дослідницьким методом) у відношенні 1:40 (при обкатці 1:30) [11]
Husqvarna	Суміш 2-Т масла Husqvarna і бензину у відношенні 1:50. При використанні масла іншої марки – у відношенні 1:33 або 1:25 [12]
ПД-10М	Суміш автомобільного бензину А66 з дизельним маслом в пропорції 15:1 за об'ємом [13]
Мотор Січ ПЛМ-40Э	Суміш високоякісного 2-Т масла для ДВЗ з водяним охолодженням експлуатаційної категорії NMMA-TC-W3 і бензину у відношенні 1:33 при обкатці, 1:40 при експлуатації [14]
Минск М 125Х	Суміш 2-Т масла і бензину (з октановим числом не менше 90) у відношенні 1:40 (на 10 л бензину 0,25 л масла) [15]
Вихрь-25, Вихрь-30	Суміш автолу марок АС-10, АСЗп-10 і бензину А-71 або А-76 у відношенні 1:20 у період обкатки, 1:25 при експлуатації [16]
Jawa 638 (Jawa 350/638 12В)	Суміш 2-Т масла SAE 10 W/30 і бензину (з октановим числом 90...93) у відношенні 1:33 при обкатці, 1:40 при експлуатації [17]
Д-300	Суміш 2-Т масла МС-20 і бензину А72 у об'ємному відношенні 1:20 при обкатці, 1:25 при експлуатації [18]

Таблиця 1.2 – Щільність компонентів палива 2-Г ДВЗ при 20 °С [19,20]

Рідина	ρ , кг/м ³
Бензин А-92	725...745
Бензин А-95	725...780
Бензин А-98	750...780
Масло 5W30	863...868
Масло 5W40	867...872
Масло 10W30	865...868
Масло 10W40	865...870
Масло 15W40	910...915
Масло 20W50	872...880

Таблиця 1.3 – Інформація про палива для ДВЗ [21]

Вид палива	Елементарний склад			Молекулярна маса	Теплота згорання
	С	Н	О	m_T	H_u , МДж/кг
Бензин	0,855	0,145	0	110...120	44,0
Дизельне	0,870	0,126	0,004	180...200	42,5

В інших методиках (див. [22]) для правильного представлення теплових властивостей палива існує поняття горючої маси, в якій азот та сірка враховуються:

$$C + H + O + N + S = 100 \% . \quad (1.1)$$

Поняття «горюча маса» є умовним, оскільки дійсно горючими її елементами є тільки вуглець, водень і сірка [22].

Масляна основа нафтових масел представляє собою складну суміш високо киплячих вуглеводнів з числом вуглеводних атомів від 20 до 60 (молекулярна маса 300...750), які википають в інтервалі 300...650 °С [23].

Моторне масло за своїм елементним складом близьке до масел

трансформаторного та індустриального. Порівнюючи елементний склад масел нафтового походження (див. таблицю 1.4) зі складом бензину, встановлено, що відмінність за вмістом вуглецю складає 1,5 %, водню – 6,2 %.

Таблиця 1.4 – Елементний склад масел, % мас. [24, 25]

Вид масла	C	H	O	N	S
Масло трансформаторне	0,857	0,141	0,001	0,001	сліди
Масло індустриальне И-20А	0,842	0,154	0,001	0,001	0,002
Солярове масло	0,865	0,128	0,004		0,003

Основною характеристикою палива є теплота згорання. Теплотою згорання палива називається кількість тепла (Дж), що виділяється з 1 кг палива при повному його згоранні. Теплота згорання залежить від хімічного складу палива та умов його спалювання. Найбільший практичний інтерес представляє теплота згорання робочої маси палива та нижча теплота згорання. Нижчою теплотою згорання H_u називають тепло, що виділяється при повному згоранні 1 кг палива, за винятком тепла, витраченого на випаровування як вологи, що міститься у паливі, так і вологи, що утворюється при згоранні вуглецю [22]. Знаючи склад палива, нижчу теплоту згорання можна визначити за формулою Д. І. Менделєєва, або за довідковими даними.

З довідкової літератури [25–30] встановлено, що нижча теплота згорання масел нафтового походження (усереднене значення) складає:

- масло моторне $H_u = 41,8$ МДж/кг;
- масло моторне (відпрацьоване) $H_u = 39,7$ МДж/кг;
- масло солярне $H_u = 42,2$ МДж/кг;
- масло трансформаторне $H_u = 43,1$ МДж/кг;
- масло індустриальне $H_u = 42,3$ МДж/кг;

Величини H_u для бензину і дизельного палива наведено в таблиці 1.3.

З порівняння числових даних видно, що моторне масло має на 5 %

меншу теплоту згорання, ніж бензин.

Теоретично необхідна кількість повітря при згоранні [8]:

– бензину $\ell_o = 14,96$ кг/кг; $L_o = 0,516$ кмоль/кг;

– дизельного палива $\ell_o = 14,45$ кг/кг; $L_o = 0,500$ кмоль/кг;

– моторного палива $\ell_o = 14,38$ кг/кг; $L_o = 0,496$ кмоль/кг.

З довідкової літератури [23, 31] встановлено, що молекулярна маса масел нафтового походження складає $m_T = 300 \dots 700$. У порівнянні з бензином, молекулярна маса масла більше в 3...7 раз, що має значний вплив на кількість свіжого заряду, що визначається за формулою [21]:

$$m_1 = 1 + \alpha \ell_o, \text{ кг/кг}, \quad (1.2)$$

$$M_1 = \frac{1}{m_T} + \alpha L_o, \text{ кмоль/кг}, \quad (1.3)$$

та, відповідно, масову кількість продуктів згорання

$$m_2 = 1 + \alpha \ell_o, \text{ кг/кг}, \quad (1.4)$$

де L_o , ℓ_o – теоретично необхідна кількість повітря (в розрахунку на 1 кг палива), кг/кмоль та кг/кг відповідно.

Для моторного масла величина $\ell_o = 16,5$ кг/кг [32].

У відомих фізико-математичних моделях розрахунку циклу ДВЗ [8, 9] використовуються властивості робочого тіла, зокрема, теплоємність при стисненні, теплоємність при розширенні, показник адіабати.

Теплоємності робочого тіла і показник адіабати для процесів стиснення і розширення прийняті постійними, але різними залежно від виду процесу і типу двигуна з урахуванням реальних діапазонів зміни температури [8]:

– у бензинових ДВЗ:

а) при стисненні $c_v = 727,6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $c_p = 1014,6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $k = 1,40$;

б) при згоранні-розширенні $c_{vг}=954,1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $c_{pг}=1241,1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $k_{г} = 1,30$;

– у дизельних ДВЗ:

а) при стисненні $c_v=740,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $c_p=1027,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $k=1,39$;

б) при згоранні-розширенні $c_{vг}=905,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $c_{pг}=1192,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $k_{г} = 1,32$.

Під час пошуку та аналізу літературних джерел досліджень щодо спалюванні моторних масел в якості палива встановлено, що таких публікацій дуже мало, питання не вивчене. Теплофізичні властивості бензину та масел відомі для обмежених умов (температура від 20 ° С до 150 ° С) (див. табл. 1.5).

Склад відпрацьованих газів при згоранні сумішевого палива бензин–масло, а отже і властивості робочого тіла під час процесу розширення, практично такі ж, як і при згоранні тільки бензину. Тому для процесів згорання-розширення величини $c_{vг}$, $c_{pг}$ не визначаємо.

Таблиця 1.5 – Теплоємність c_p , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, за різних температурах [25, 32]

Речовина	20 ° С	150 ° С
Бензин	2060...2090	2740
Бензин, пари	–	2280
Масло мінеральне	1670...2010	–
Масло ВМ-4	1440	1620
Масло МС-20	1980	2440
Масло трансформаторне	–	2040
Масло солярове	2010	–

З таблиці 1.5 видно, що величина теплоємності при сталому тиску c_p у масла на 3,8 %...40 % вище, ніж у бензину. Це необхідно враховувати при розрахунках процесів стиснення та розширення ДВЗ.

1.3 Висновки за розділом та напрямку досліджень

За проведеним аналізом літературних джерел можна стверджувати, що визначення впливу складу паливоповітряної суміші на техніко-економічні показники двотактного двигуна з іскровим запалюванням є актуальним питанням. Визначено граничні величини складу палива для 2-Т ДВЗ для подальшого дослідження. З літературних джерел визначено властивості складових палива для 2-тактних ДВЗ (бензин і моторне масло).

З огляду на вміст масла в паливі 2-Т двигунів у кількості до 7,9 % (за масою), та відмінності у хіміко-фізичних показниках моторного масла від бензину (за окремими показниками – до 40 %), робимо висновок, що існуючі фізико-математичні моделі розрахунку циклу ДВЗ (зокрема, ФММ професора Я. О. Єгорова) необхідно доповнити, а саме уточнити наступні параметри палива при розрахунках 2-Т ДВЗ:

- елементарний склад (С, Н, О);
- молекулярна маса;
- нижча теплота згорання H_u ;
- теплоємності c_p , c_v при стисненні;
- показник адіабати k ;
- щільність ρ_T ;
- теоретично необхідна кількість повітря ℓ_o , L_o .

За уточненими значеннями вказаних показників необхідно виконати порівняльні теплові розрахунки для 2-Т двигуна при різному вмісті масла в паливі (обкатка та післяобкаточна експлуатація).

Для дослідження необхідно визначитись з об'єктом дослідження, обрати розрахункову методику, визначити всі змінні величини та коефіцієнти, що залежать від складу палива у 2-Т ДВЗ з іскровим запалюванням.

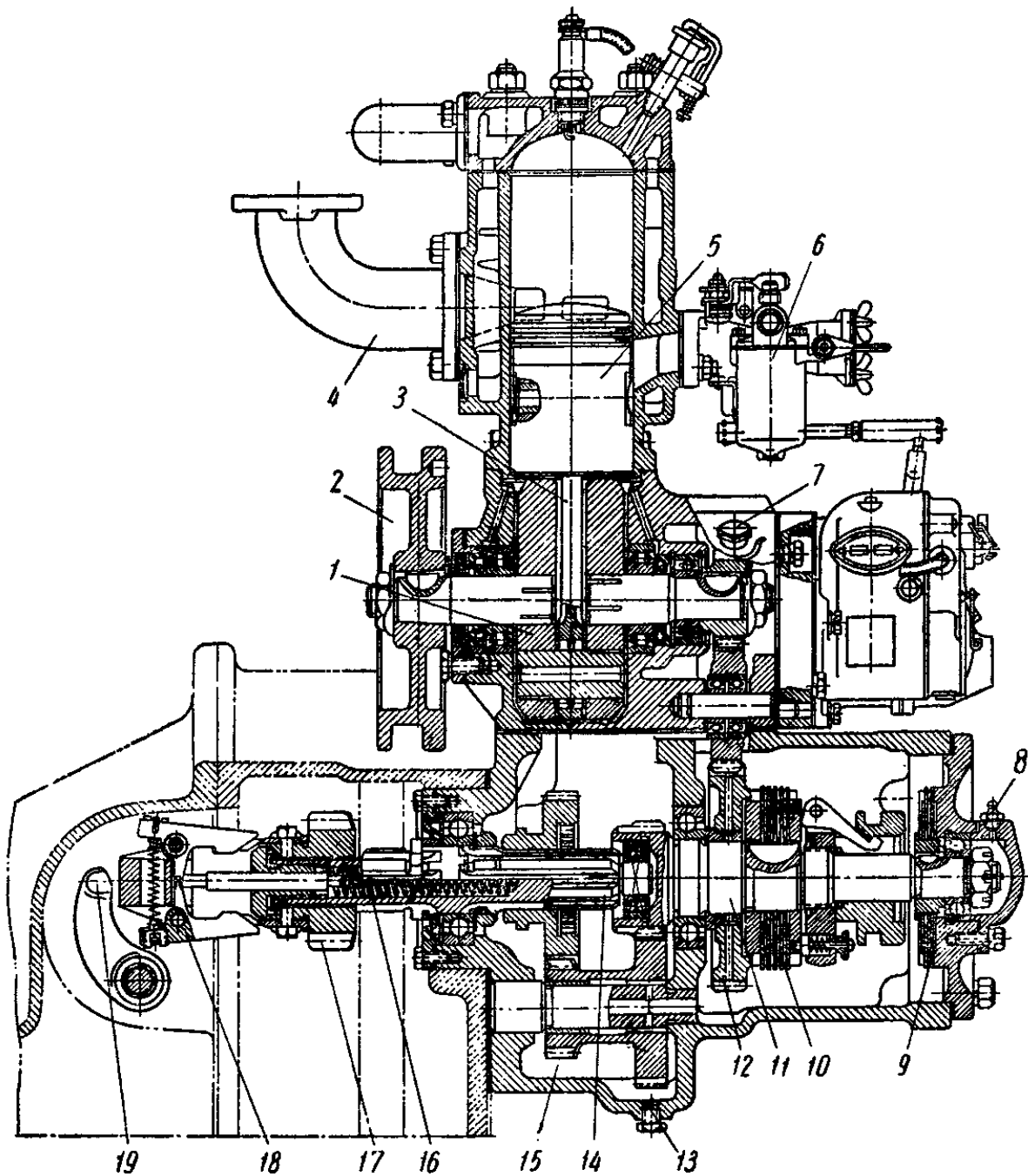
2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА УСТАТКУВАННЯ

2.1 Конструкція та технічна характеристика бензинового двигуна ПД-10М

Двигун ПД-10М використовується в якості пускового на тракторах Д-54А, Д-40Р, Д-75. Двигун ПД-10М – двотактний карбюраторний з кривошипно-камерною продувкою [13]. Технічні характеристики двигуна ПД-10М наведено в таблиці 2.1. На рисунку 2.1 показано вид двигуна ПД-10М у розрізі.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики двигуна ПД-10М [13]

Найменування характеристики	Значення
Номінальна потужність, кВт (к.с.)	7,35 (10)
Максимальний крутний момент, Н·м	25
Число обертів колінчастого валу при номінальній потужності, хв ⁻¹	3500
Максимальне число обертів колінчастого валу, не більше, хв ⁻¹	3900
Мінімальне стійке число обертів колінчастого валу, не більше, хв ⁻¹	1300
Напрямок обертання колінчастого валу (якщо дивитись з боку маховика)	за годинниковою стрілкою
Число циліндрів	1
Діаметр циліндра, мм	72
Хід поршня, мм	85
Робочий об'єм, дм ³	0,346
Ступінь стиснення	6,2
Свіча запалювання	А-11У або А11/11В
Кут випередження запалювання, ° ВМТ	27



1 – колінчастий вал; 2 – маховик; 3 – шатун; 4 – випускний патрубок; 5 – поршень; 6 – карбюратор; 7 – пробка отвору для заливки масла; 8 – маслянка; 9 – тор мозок муфти зчеплення; 10 – муфта зчеплення; 11 – ведомий вал; 12 – проміжна шестерня з двома вінцями; 13 – спускна пробка; 14 – вал механізму виключення; 15 – картер; 16 – велика і мала пружини штовхача; 17 – шестерня механізму виключення; 18 – грузи; 19 – ричав включення шестерні

Рисунок 2.1 – Пусковий двигун і передаточний механізм (поздовжній

вертикальний розріз) [13]

Основними частинками двигуна ПД-10М є герметичний картер, циліндр, головка циліндра, кривошипний механізм, передавальні шестерні, система живлення, система запалювання і регулятор.

Картер, що складається з двох роз'ємних половин, є основою всього двигуна і одночасно продувочною камерою [13].

Циліндр двигуна, відлитий разом з газовими каналами і водяною сорочкою, кріпиться до картера за допомогою фланця.

На робочій поверхні циліндра є три пари вікон - впускних, випускних і продувочних. Зовні до циліндра прикріплені патрубки підведення води і відведення відпрацьованих газів.

Головка циліндра також відлита разом з водяною сорочкою і має всередині шатрову камеру згоряння. Зовні на голівці встановлюють свічку запалювання, заливний краник і патрубків відводу води.

Кривошипний механізм складається в основному з поршня з трьома компресійними кільцями, нероз'ємного шатуна і складеного колінчастого вала з щоками, які служать одночасно противагами.

Ось колінчастого вала зміщена від осі циліндра на 5 мм вліво, якщо дивитися з боку маховика – двигун дезаксіальний.

На задньому кінці колінчастого вала посаджений маховик з канавкою для намотування пускового шнура або з зубчастим вінцем для з'єднання з шестернею електростартера. На передньому кінці вала встановлена привідна шестерня приводу, яка передає обертання проміжної шестерні, а від неї шестерням редуктора, магнето і регулятора [13].

У верхню головку шатуна запресована бронзова втулка, в нижню – встановлені циліндричні ролики в два ряди.

Установка нероз'ємного шатуна на колінчастий вал можлива тому, що колінчастий вал складаний. При складанні колінчастого вала з шатуном приймається ряд заходів, що забезпечують точність складання і високу якість вузла: підбір деталей за розмірними групами, шліфування шийок після складання і т. д. Тому розбирання валу в експлуатації допустима тільки при

наявності спеціального пристосування, що гарантує співвісність шийок при подальшому складанні.

Корінні шийки колінчастого вала обертаються на роликівих підшипниках.

Поршень 5 з алюмінієвого сплаву АК12М2МгН має три компресійних кільця. Щоб замки не потрапляли в вікна і не було поломок кілець, останні зафіксовані. Для правильної установки поршня з кільцями щодо вікон на дні поршня набивається стрілка. При установці поршня стрілка має вказувати до випускних вікон.

На передній стороні двигуна встановлені магнето, карбюратор і регулятор.

Робота пускового двигуна відбувається наступним чином. Пуск здійснюється вручну за допомогою пускового шнура або за допомогою електростартера. Для пуску двигуна вручну вузол, наявний на одному з кінців пускового шнура, вставляють в один з двох пазів на гребені маховика. Шнур намотують в канавку за годинниковою стрілкою (якщо дивитися з боку маховика), потім різким ривком за вільний кінець шнура (з рукояткою) розмотують шнур з маховика, надаючи маховику і колінчастому валу двигуна обертальний, а поршню – зворотно-поступальний рух.

Коли двигун починає працювати, рух від поршня передається через шатун 3 до колінчастого вала 1. Обертання від шестерні, закріпленої на кінці колінчастого вала, передається на ведений вал 11 передавального механізму через проміжну шестерню і муфту зчеплення 10.

Пусковий двигун не має самостійної системи охолодження, він приєднаний до системи охолодження дизеля.

Під час холостого ходу пускового двигуна в його водяній сорочці і в невеликій частині водяної сорочки дизеля виникає місцева термосифонна циркуляція, при якій пусковий двигун перегрівается (до температури кипіння води), а вся інша система охолодження дизеля залишається холодною. З цієї причини робота двигуна на холостому ходу більше 2 хв. не допускається.

Під час провертання вала дизеля, коли працює водяний насос, створюється циркуляція води у всій системі охолодження, і пусковий двигун не перегрівается. При цьому більш холодна вода надходить з блоку дизеля через нижній патрубок до циліндра пускового двигуна, а звідти, нагріваючись, піднімається в головку і через верхній патрубок повертається в головку дизеля. Завдяки загальній системі охолодження тепло, що відбирається водою від пускового двигуна, в деякій мірі сприяє прогріванню дизеля.

Для прискорення прогріву використовується також і тепло випускних газів пускового двигуна, які підігрівають повітря, що надходить в дизель. Для цього випускна труба пускового двигуна пропущена через впускний трубопровід дизеля.

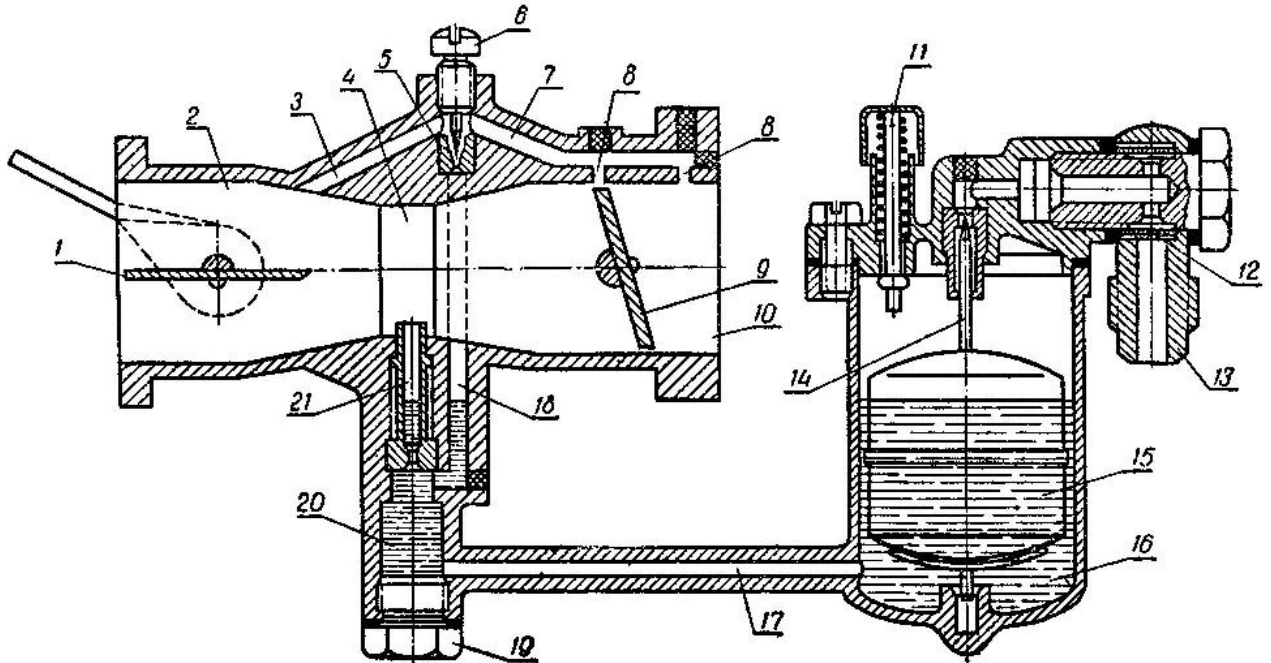
2.2 Система живлення двигуна ПД-10М

До складу системи живлення входять: бензиновий бачок, відстійник-фільтр, паливопровід, карбюратор К-16 (рисунок 2.2).

В якості палива використовується суміш: бензин з додаванням моторного масла дизеля в пропорції 15:1.

Детальніше розглянемо принцип роботи карбюратора К-16А. Паливо потрапляє в камеру поплавця 16 карбюратора через шланг за допомогою штуцера 13, в якому встановлено фільтр 12. Постійний рівень палива в камері поплавця карбюратора підтримується за допомогою поплавця 15 і голчастого клапана 14. Для збагачення суміші при запуску двигуна на кришці клапана передбачено утоплювач 11 поплавця. Сполучення порожнини камери поплавця з атмосферою здійснюється через отвір в кришці камери. Колодязь 20 сполучається з порожниною камери поплавця за допомогою каналу 17, а за рахунок головного жиклера 21 і розпилювача відбувається сполучення з дифузором 4 карбюратора. Жиклер холостого ходу 5, а також канали 3 і 7

з'єднується каналом 18 з об'ємом, розташованим під головним жиклером. Сполучення між каналом 7 і змішувальною камерою 10 здійснюється за допомогою отворів 8, в свою чергу канал 3 з'єднаний з впускним патрубком 2. Регулювальний гвинт 6 дозволяє змінювати перетин жиклера холостого ходу.



1 – повітряна заслінка; 2 – впускний патрубок; 3 – канал в карбюраторі;
 4 – дифузор; 5 – жиклер холостого ходу; 6 – гвинт холостого ходу; 7 – канал в карбюраторі; 8 – отвори; 9 – дросельна заслінка; 10 – змішувальна камера;
 11 – утоплювач поплавця; 12 – сітчастий фільтр; 13 – паливопідвідний штуцер;
 14 – голчастий клапан; 15 – поплавець; 16 – поплавцева камера; 17,18 – канал в карбюраторі; 19 – пробка; 20 – колодязь головного жиклера; 21 – головний жиклер

Рисунок 2.2 – Загальний вигляд карбюратора К-16А [30]

При русі поршня вгору (до верхньої мертвої точки) в кривошипну камеру надходить горюча суміш. Масло, що міститься в ній, осідає на деталях, і змащує поверхні тертя. Таким способом змащуються всі деталі кривошипного механізму, частина масла згорає в циліндрі. Для поліпшення доступу масла до поршневого пальця і шатунних підшипників в головках шатуна зроблені спеціальні отвори. Для підведення масла до корінних підшипників в картері є

два канали.

Масло, що знімається поршнем зі стінок циліндра, стікає вниз, потрапляє в ці канали і по них надходить до підшипників. Ззовні корінні підшипники ущільнені самопіджимними сальниками, які перешкоджають витіканню масла з кривошипної камери. Надлишок масла, що накопичується на дні камери, слід періодично спускати через отвір, розташований у дні картера.

Шестерні розподілу пускового двигуна і їх підшипники змащуються маслом, яке розбризкується шестернями передавального механізму.

2.3 Основні положення теплового розрахунку робочого циклу ДВЗ

Тепловий розрахунок робочого циклу бензинового двигуна виконується [8, 21] з використанням комп'ютерної програми Engine Calculation. В основі програми знаходиться фізико-математична модель розрахунку циклу ДВЗ другого рівня.

2.3.1 Фізико-математична модель

Фізико-математична модель другого рівня має дві модифікації. Перша з них складена з урахуванням зміни складу робочого тіла в циліндрі. У другій модифікації вплив зміни складу врахований приблизно; у процесах впуску і стиснення робочим тілом вважається повітря, в процесах розширення і випуску – продукти згоряння. Застосування моделі другої модифікації істотно спрощує обчислювальні процедури і мало впливає на точність розрахунку. Тому далі описана ФММ другого рівня у другій модифікації.

Крім того, в цій моделі розрахунок виконують для основних процесів

(стиснення, згоряння, розширення) при зміні кута повороту кривошипа φ в межах від 0° до 360° для двотактного двигуна. Вплив процесів при впуску і випуску враховано сумарно за статистичними даними.

Дана ФММ включає чотири основні диференціальні рівняння:

– перше кінематичне рівняння, або рівняння зміни об'єму робочої порожнини;

– рівняння балансу маси;

– рівняння енергетичного балансу;

– рівняння стану робочого тіла і ряд інших додаткових рівнянь в диференціальній або кінцевій формі. Ці додаткові рівняння потрібні для визначення величин, що входять у вигляді окремих членів або множників в основні рівняння.

$$\left. \begin{aligned} dV &= F_n r_k \left(\sin \varphi + \frac{\lambda_k}{2} \sin 2\varphi \right) d\varphi; \\ dm &= \Delta m_{тц} \cdot dx; \\ dT &= \frac{1}{c_v m} (dQ_c + dQ_w) - T \frac{dm}{m} - (k-1) \frac{dV}{V} T; \\ \frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} &= \frac{dm}{m} + \frac{dT}{T}. \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Система (2.1) складається із звичайних нелінійних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами. Сучасними аналітичними методами така система не може бути вирішена. Тому вона вирішується чисельними методами із застосуванням комп'ютерної техніки. Кінцевою метою рішення системи є функції $V(\varphi)$; $m(\varphi)$; $T(\varphi)$; $p(\varphi)$.

2.3.2 Порядок розрахунку

Уточнений тепловий розрахунок ДВЗ (із врахуванням вмісту масла в бензині) виконується за наступною схемою.

1) З теплового розрахунку циклу бензинового двигуна визначаються температура і тиск процесів впуску і розширення.

2) визначаються показники робочого тіла (бензин–масло) на впуску:

– елементарний склад (С, Н, О);

– молекулярна маса;

– нижча теплота згорання H_u ;

– теплоємності c_p , c_v при стисненні;

– показник адіабати k ;

– щільність палива;

– теоретично необхідна кількість повітря ℓ_o , L_o .

3) Проводиться повторний тепловий розрахунок двигуна. Розраховані згідно п. 2 до комп'ютерної програми Engine Calculation вводяться як в явному вигляді (рисунок 2.3), так і при розрахунках інших вихідних даних.

З протоколу теплового розрахунку визначаються індикаторні показники робочого циклу ДВЗ (індикаторна робота L_i , питома індикаторна витрата палива g_i , індикаторний тиск p_i , індикаторний ККД η_i).

4) Розраховуються та порівнюються з базовими ефективні показники робочого циклу ДВЗ.

	при стисненні	при згоранні- розширенні	Дж/(кг*К)
Теплоємність при $V=const$	C_v 727.6	954.5	
Теплоємність при $p=const$	C_p 1014.6	1241.1	
Показник адіабати	k 1.4	1.3	
Теоретично необхідна кількість повітря для повного згорання	L_o	0.516	кмоль/кг

Паливо: Бензин

- Бензин $C_v = 727.6$
- Дизель $C_p = 1014.6$
- test $C_{vg} = 954.5$
- Бензин нові $C_{pg} = 1241.1$
- пропан-бутан $k = 1.4$
- метан MeM3 $kg = 1.3$
- E20 MeM3 $L_o = 0.516$
- M30 Mem3
- M30 Mem3

Зберегти

Рисунок 2.3 – Вікно вводу теплофізичних показників робочого тіла

В роботі розраховані та досліджуються палива: бензин; бензин з маслом у пропорції 1:15, 1:25, 1:33, 1:50 (за масою) (таблиця 2.2). Також до таблиці 2.2 занесені:

- об’ємна частка масла в паливі (від 2,0 % до 6,7 %);
- масова частка масла в паливі (від 2,4 % до 7,9 %).

Таблиця 2.2 – До визначення частки масла в паливі 2-Т ДВЗ

Величина	Числове значення					
Співвідношення масло:бензин	1:15	1:20	1:25	1:33	1:40	1:50
Частка масла в паливі (об’ємна), %	6,7	5,0	4,0	3,0	2,5	2,0
Частка масла в паливі (масова), %	7,9	6,0	4,8	3,6	3,0	2,4

В роботі визначаються:

- властивості палива та паливоповітряної суміші при різному співвідношенні бензину та масла в паливі 2-Т двигуна ПД-10М;
- масові частки компонентів паливоповітряної суміші при різному співвідношенні бензину та масла в паливі;
- індикаторні показники двигуна ПД-10М;
- ефективні показники двигуна ПД-10М.

2.4 Висновки до розділу

Розглянуто особливості конструкції двигуна ПД-10М і його системи живлення. Складено розрахункову методику дослідження впливу складу палива на ефективні показники 2-тактного ДВЗ, яка враховує фізико-хімічні властивості добавки масла в бензині.

3 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА ПД-10М НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ (БЕЗ ВРАХУВАННЯ МАСЛА)

3.1 Тепловий розрахунок

Виконуємо тепловий розрахунок двигуна ПД-10М відповідно до вимог та рекомендацій [8]. Вихідними даними для розрахунку є технічні характеристики двигуна (таблиця 2.1).

Виконуємо оцінку очікуваної величини середнього ефективного тиску p_e залежно від тиску наддуву p_k , температури наддувочного повітря T_k і типу двигуна. Далі на основі формули ефективної потужності

$$N_e = i \cdot V_h \cdot p_e \cdot \frac{n}{\tau} \quad (3.1)$$

розраховуємо робочий об'єм даного циліндра

$$V_h = \frac{N_e}{i \cdot p_e} \cdot \frac{\tau}{n} = \frac{7,35 \cdot 10^3}{4 \cdot 0,37 \cdot 10^6} \cdot \frac{2 \cdot 60}{3500} = 0,0003405 \text{ м}^3. \quad (3.2)$$

Перевіряємо величину діаметра циліндра:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot \frac{S}{D}}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,0003405}{3,14 \cdot 1,181}} = 0,0716 \text{ м}. \quad (3.3)$$

Приймаємо $D = 0,072$ м згідно до технічних даних двигуна ПД-10М.

Хід поршня

$$S = D \cdot \frac{S}{D} = 0,072 \cdot 1,181 = 0,0850 \text{ м}. \quad (3.4)$$

Радіус кривошипа

$$r_k = \frac{S}{2} = \frac{0.085}{2} = 0,0425 \text{ м.} \quad (3.5)$$

Уточнюємо величину робочого об'єму циліндра

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S = \frac{3.14 \cdot 0.072^2}{4} 0.085 = 0.000346 \text{ м}^3. \quad (3.6)$$

Далі розраховуємо усі величини, які використовуються в комп'ютерній програмі Engine Calculation, заносимо їх до таблиці 3.1.

Тактність – 2-тактний.

Конфігурація – рядний.

Паливо – бензин.

Теплота згорання палива $H_{uT} = 44 \text{ МДж/кг}$.

Показник процесу згорання вибирають на основі рекомендацій [8]. Для бензинових ДВЗ $m_1 = 3,2...4,0$. Приймаємо $m_1 = 3,6$.

Кількість циліндрів – 1.

Діаметр циліндра $D = 0.072 \text{ м}$.

Площа плоскої поверхні поршня, перпендикулярна осі циліндра

$$F_n = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3.14}{4} 0.072^2 = 0,00407 \text{ м}^2. \quad (3.7)$$

Радіус кривошипа $r_k = 0,0425 \text{ м}$.

Відношення радіусу кривошипа до довжини шатуна $\lambda_k = \frac{r_k}{L_{ш}}$ є

конструктивним параметром, що характеризує геометрію кривошипно-

шатунового механізму. Для автотракторних ДВЗ $\lambda_k = 0,25 \dots 0,32$ [8]. За геометричними даними двигуном-прототипом приймаємо $\lambda_k = 0,275$.

Тоді

$$L_{ш} = \frac{r_k}{\lambda_k} = \frac{0,0425}{0,275} = 0,155 \text{ м.} \quad (3.8)$$

Площа теплообміну поршня F_p' залежить від конфігурації днища. При плоскому днищі $F_p' = F_p$. Для бензинових ДВЗ $F_p' = (1,0 \dots 1,1) \cdot F_p$ [8]. З огляду на конструкцію поршня двигуна ПД-10М приймаємо

$$F_p' = 1,1 \cdot F_p = 1,1 \cdot 0,00407 = 0,00448 \text{ м}^2. \quad (3.9)$$

Площа теплообміну кришки F_k залежить від конструкції камери стиснення. У бензинових ДВЗ має місце співвідношення $F_k = (1,1 \dots 1,3) \cdot F_p$ [8]. У двигуна ПД-10М камера стиснення має напівсферичну форму, тому

$$F_k = 1,3 \cdot F_p = 1,3 \cdot 0,00407 = 0,00529 \text{ м}^2. \quad (3.10)$$

Об'єм камери стиснення

$$V_c = \frac{\pi}{2} D^2 \cdot r_k \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} = \frac{3,14}{2} 0,072^2 \cdot 0,0425 \cdot \frac{1}{6,2 - 1} = 66,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3. \quad (3.11)$$

Двигун не має наддуву, тому тиск $p_k = p_o = 101300 \text{ Па}$.

Температура повітря на вході в двигун $T_k = T_o = 293 \text{ К}$.

Кут початку згорання φ_c у бензинових двигунів залежить від кута випередження запалювання $\Delta\varphi_{оп}$

$$\varphi_c = 360 - \Delta\varphi_{оп} = 360 - 27 = 333 \text{ }^\circ \text{ ПКВ}, \quad (3.12)$$

де $\Delta\varphi_{оп} = 27 \text{ }^\circ$ – згідно таблиці 2.1;

Кут кінця згорання пов'язаний з кутовою тривалістю згорання $\Delta\varphi_{сг}$

$$\varphi_z = \varphi_c + \Delta\varphi_{сг} = 333 + 70 = 403 \text{ }^\circ \text{ ПКВ}. \quad (3.13)$$

Кутова швидкість обертання кривошипа ω визначається від частоти обертання колінчатого валу n , с^{-1} :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3500}{60} = 366,3 \text{ } \text{с}^{-1}. \quad (3.14)$$

Коефіцієнт надлишку повітря на номінальному режимі $\alpha = 0,75$.

Циклова подача палива знаходиться в залежності від циклового заряду повітря $\Delta m_{вц}$

$$\Delta m_{вц} = V_h \cdot \rho_k \cdot \eta_v = 0,000346 \cdot 1,184 \cdot 0,422 = 0,1728 \text{ г/цикл}, \quad (3.15)$$

де щільність заряду на вході в циліндр визначається за формулою

$$\rho_k = \frac{p_k}{RT_k} = \frac{101300}{287 \cdot 298} = 1,184 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad (3.16)$$

коефіцієнт наповнення дорівнює

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_k - \Delta p_{вп}}{p_k} \cdot \frac{T_k}{T_k + \Delta T + \gamma T_r}, \quad (3.17)$$

$$\eta_v = \frac{6,2}{6,2 - 1} \cdot \frac{101300 - 10130}{101300} \cdot \frac{298}{298 + 20 + 0,4 \cdot 1100} = 0,422.$$

де $\Delta p_{\text{вп}} = 0,1 \cdot p_{\text{к}} = 0,1 \cdot 101300 = 10130$ Па – втрата тиску на впуску;

$\Delta T = 20$ К – підігрів заряду на впуску;

$\gamma = 0,2$ – коефіцієнт залишкових газів;

$T_{\text{г}} = 1100$ К – температура залишкових газів.

Тоді циклова масова подача палива

$$\Delta m_{\text{тц}} = \frac{\Delta m_{\text{вц}}}{\alpha \cdot \ell_0} = \frac{0.0001728}{0,75 \cdot 14,96} = 0,0154 \text{ г/цикл.} \quad (3.18)$$

Середня температура стінок T_{w} залежить від типу двигуна, рівня форсування, режиму роботи, матеріалів основних деталей (поршня, кришки, клапанів, циліндра) [8]. Оскільки двигун має чавунний циліндр, приймаємо $T_{\text{w}} = 600$ К.

Далі розраховуємо початкові умови циклу:

– початковий тиск

$$p_{\text{а}} = p_{\text{к}} - \Delta p_{\text{вп}} = 101300 - 10130 = 91170 \text{ Па;} \quad (3.19)$$

– початкова температура

$$T_{\text{а}} = \frac{1}{1 + \gamma} (T_{\text{к}} + \Delta T_{\text{вп}} + \gamma T_{\text{г}}), \quad (3.20)$$

$$T_{\text{а}} = \frac{1}{1 + 0,4} (298 + 20 + 0,4 \cdot 1100) = 541,4 \text{ К;}$$

– початкова маса робочого тіла в циліндрі дорівнює сумі масових кількостей свіжого заряду і залишкових газів, отже:

$$m_{\text{а}} = (1 + \gamma) \cdot \Delta m_{\text{вц}} = (1 + 0,4) \cdot 0,0001728 = 0,242 \text{ г/цикл;} \quad (3.21)$$

– початковий об'єм циліндра

$$V_a = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot V_h = \frac{6,2}{6,2 - 1} \cdot 0,000346 = 412,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3. \quad (3.22)$$

Початкові параметри повинні задовольняти рівнянню стану, яке в даному випадку є контрольним:

$$\begin{aligned} P_a V_a &= R m_a T_a, & (3.23) \\ 91170 \cdot 412,4 \cdot 10^{-6} &= 287 \cdot 0,242 \cdot 10^{-3} \cdot 541,4, \\ 37,5985 &= 37,6024. \end{aligned}$$

Похибка цього рівняння складає $\left| \frac{37,5985 - 37,6024}{37,5985} \right| \cdot 100\% = 0,01 \%$.

Для виконання динамічного розрахунку необхідно знати маси частин, що поступально рухаються і обертаються. Приведена маса частин, що поступально рухаються, включає масу поршневого комплексу (поршня, пальця, кілець) і частину маси шатуна, віднесеної до осі поршневого пальця:

$$\begin{aligned} m_A &= [m'_n + (0,2 \dots 0,3) \cdot m'_m] \cdot F_n, & (3.24) \\ m_A &= [120 + 0,25 \cdot 200] \cdot 0,00407 = 0,692 \text{ кг}, \end{aligned}$$

де коефіцієнт 0,25 представляє частину маси шатуна, віднесеної до осі поршневого пальця.

Величини m'_n і m'_m в правій частині формули визначають на основі статистичних даних існуючих конструкцій ДВЗ [8] та двигуна ПД-10М.

Розраховані величини заносимо до таблиці 3.1. Після розрахунку в програмі Engine Calculation отримано протоколи теплового і динамічного розрахунку (додаток А).

Таблиця 3.1 – Дані для розрахунку робочого циклу двигуна ПД-10М

№	Найменування величини	Значення величин	Позначення і одиниці виміру
I.	Тактність	2-тактний	–
II.	Паливо	бензин	–
III.	Тип двигуна 1. Теплота згорання палива 2. Показник процесу згорання	44 3,6	$H_{шт}$, МДж/кг m_1
IV.	Конструктивні дані 3. Кількість циліндрів 4. Рядний (1); V-подібний (0) 5. Діаметр циліндра 6. Площа поршня 7. Радіус кривошипа 8. Відношення $\lambda_k = \frac{r_k}{L_{ш}}$ 9. Площа теплообміну поршня 10. Площа теплообміну кришки 11. Об'єм камери стиснення	1 1 0.072 $4,07 \cdot 10^{-3}$ 0.0425 0.275 $4,48 \cdot 10^{-3}$ $5,29 \cdot 10^{-3}$ $66,5 \cdot 10^{-6}$	i – D , м $F_{п}$, м ² r_k , м λ_k $F_{п}'$, м ² F_k , м ² V_c , м ³
V.	Наддув 12. Тиск наддуву 13. Температура повітря	101300 298	p_k , Па T_k , К
VI.	Регульовальні дані 14. Кут початку згорання 15. Кут кінця згорання	333 403	φ_c , град. φ_z , град.
VII.	Режимні дані 16. Кутова швидкість валу 17. Коефіцієнт надлишку повітря 18. Циклова подача палива 19. Середня температура стінок	366,3 0,75 0,0154 600	ω , рад/с α $\Delta m_{шт}$, г/цикл T_w , К
VIII.	Початкові умови 20. Тиск 21. Температура 22. Маса робочого тіла 23. Об'єм робочої порожнини	91170 541,4 0,242 $0,4124 \cdot 10^{-3}$	p_a , Па T_a , К m_a , г/цикл V_a , м ³
IX.	Дані до динамічного розрахунку 24. Маса поступально рухомих частин (приведена)	0,56	m_A , кг
X.	Розрахунковий крок	1	$\Delta\varphi$, град.

Студент групи Т-410м

Керівник д.т.н., професор

Тимашев В.В.

Слинько Г.І.

Протокол теплового розрахунку містить запис параметрів робочого тіла (тиску p , температури T , маси m , об'єму V) при різних кутах повороту кривошипа колінчатого валу (ПКВ) φ . Розрахунковий діапазон зміни кута повороту кривошипа для 2-тактного ДВЗ $\varphi = 0 \dots 360^\circ$ ПКВ.

У кінці протоколу наведені основні циклові і питомі показники:

- індикаторна робота $L_i = 156,36$ Дж/цикл;
- середній індикаторний тиск $p_i = 0,4520$ МПа;
- індикаторний ККД $\eta_i = 0,3560$;
- питома індикаторна витрата палива $g_i = 0,3546 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$.

Контрольною величиною для оцінки результатів розрахунку є ефективна потужність двигуна

$$N_e = i \cdot L_i \cdot \frac{n}{\tau} \cdot \eta_m = 1 \cdot 156,36 \cdot \frac{3500}{1 \cdot 60} \cdot 0,8 = 7,30 \text{ кВт}, \quad (3.25)$$

де η_m – механічний ККД двигуна, який враховує вплив механічних втрат, і середній ефективний тиск

$$p_e = p_i \cdot \eta_m = 0,452 \cdot 0,8 = 0,3616 \text{ МПа}. \quad (3.26)$$

Похибка розрахунку складає:

- за ефективною потужністю $\left| \frac{7,30 - 7,35}{7,35} \right| \cdot 100\% = 0,7 \%$;
- за середнім ефективним тиском $\left| \frac{0,3616 - 0,37}{0,37} \right| \cdot 100\% = 2,3 \%$.

За отриманими значеннями похибок можна стверджувати, що тепловий розрахунок виконано вірно.

Розрахуємо інші ефективні показники двигуна ПД-10М: питому витрату палива g_e та ККД η_e

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,356 \cdot 0,8 = 0,2848; \quad (3.27)$$

$$g_e = g_i / \eta_m = 0,3546 / 0,8 = 0,4433 \text{ кг/(кВт·год)}. \quad (3.28)$$

За даними таблиці А.1 (додаток А) будемо індикаторні діаграми двигуна температури та тиску ПД-10М (рисунок 3.1).

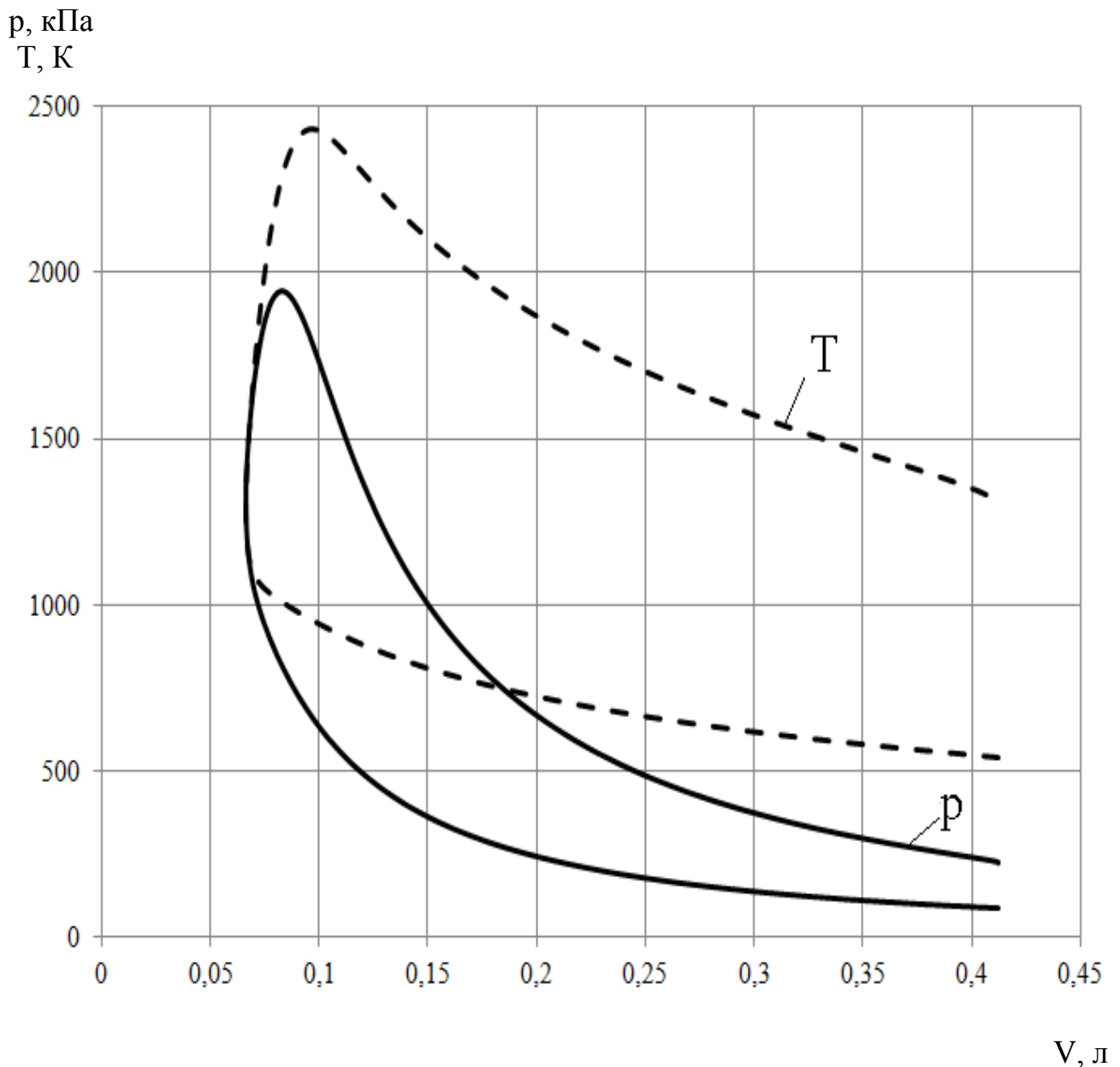


Рисунок 3.1 – Індикаторна діаграма температури та тиску двигуна ПД-10М на номінальному режимі

3.2 Висновки за розділом

Порівнюючи отримані з теплового розрахунку індикаторні показники двигуна ПД-10М з показниками інших ДВЗ різних типів (табл. 2.7 [8]), можна стверджувати, що двигун ПД-10М має зменшене значення індикаторного тиску та збільшену витрату палива. Це пояснюється низьким ступенем стиснення двигуна ПД-10М ($\epsilon = 6,2$), низькою частотою обертання ($n = 3500 \text{ хв}^{-1}$), великою вагою деталей циліндро-поршневої та кривошипно-шатунної груп, не найкращим приготуванням паливоповітряної суміші системою живлення із зовнішнім сумішоутворенням.

Встановлено, що за своєю конструкцією, індикаторними та ефективними показниками двигун ПД-10М значно відрізняється від більшості сучасних ДВЗ. Також, в складі палива для двотактного двигуна не враховано добавку масла, яке має додаватися в пропорції 1:15, що складає 7,9 % від маси палива.

Таким чином впливає задача провести повторні теплові розрахунки із коригуванням наступних властивостей палива:

- елементарний склад (С, Н, О);
- молекулярна маса;
- нижча теплота згорання H_u ;
- теплоємності c_p , c_v при стисненні;
- показник адіабати k ;
- щільність палива;
- теоретично необхідна кількість повітря ℓ_o , L_o .

4 ВПЛИВ СКЛАДУ ПАЛИВОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДВОТАКТНОГО ДВИГУНА

4.1 Зміна властивостей палива та паливоповітряної суміші двотактних ДВЗ за рахунок врахування добавки масла

В розділі 1.2 встановлено, що для роботи 2-тактних бензинових ДВЗ використовується паливо, що містить від 2,2 % до 6 % (за масою) моторного масла. Основні фізико-хімічні властивості моторного масла суттєво відрізняються від властивостей бензину, зокрема:

- нижча теплота згорання H_u – менше на 5 %;
- елементарний склад (С – менше на 1,3 %; Н – більше на 0,9 %; О – більше на 0,1 %);
- щільність палива ρ_T – вища на 10...21 %;
- молекулярна маса m_T – більше в 2,5...6,8 разів;
- теоретично необхідна кількість повітря ℓ_o – більше на 10,3 %;
- теплоємність робочого тіла – вище на 3,8...40 %.

В існуючих фізико-математичних моделях розрахунку циклу ДВЗ, зокрема, в ФММ проф. Єгорова Я.О. [8, 9] не враховується, що паливо для 2-Т ДВЗ містить масляну складову.

Відповідно до задач дослідження, необхідно визначити вплив масла, що домішується до бензину, на властивості палива для 2-тактних ДВЗ.

Використовуючи дані розділу 1.2 роботи, а також довідкову літературу, визначаємо фізико-хімічні властивості сумішевого палива (бензин–масло). Ці величини, а також властивості «чистих» бензину та масла занесемо до таблиці 4.1.

Теоретично необхідна кількість повітря (в розрахунку на 1 кг палива) для згорання 1 кг масла

Таблиця 4.1 – Властивості палива та паливоповітряної суміші при різному співвідношенні бензину та масла в паливі 2-Г двигуна ПД-10М

Величина	Числове значення для палива або паливної суміші					
	масло	1:15	1:25	1:33	1:50	бензин
Частка масла в паливі (масова), %	100	7,9	4,8	3,6	2,4	0
Частка бензину в паливі (масова), %	0	92,1	95,2	96,4	97,6	100
C	0,844	0,85431	0,85458	0,85468	0,85478	0,855
H	0,155	0,14563	0,14538	0,14529	0,14520	0,145
O	0,001	0,00006	0,00004	0,00003	0,00002	0
H _ц , МДж/кг	41,8	43,863	43,915	43,935	43,957	44,0
m _T	525	140,63	130,77	127,06	123,04	115
ρ _T , кг/м ³	870	738,75	735,38	734,12	732,75	730
ℓ _о , кг/кг	16,5	15,056	15,019	15,005	14,990	14,96
L _о , кг/кг	0,519	0,5162	0,5161	0,5161	0,5161	0,516
c _p , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	1219,41	1296,13	1298,09	1298,83	1299,64	1301,24
c _v , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	917,20	981,13	982,77	983,38	984,05	985,39
k	1,3295	1,3211	1,3209	1,3208	1,3207	1,3205

$$L_o = \frac{1}{0,21} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right), \quad (4.1)$$

$$L_o = \frac{1}{0,21} \left(\frac{0,844}{12} + \frac{0,155}{4} - \frac{0,001}{32} \right) = 0,519 \text{ кмоль/кг.}$$

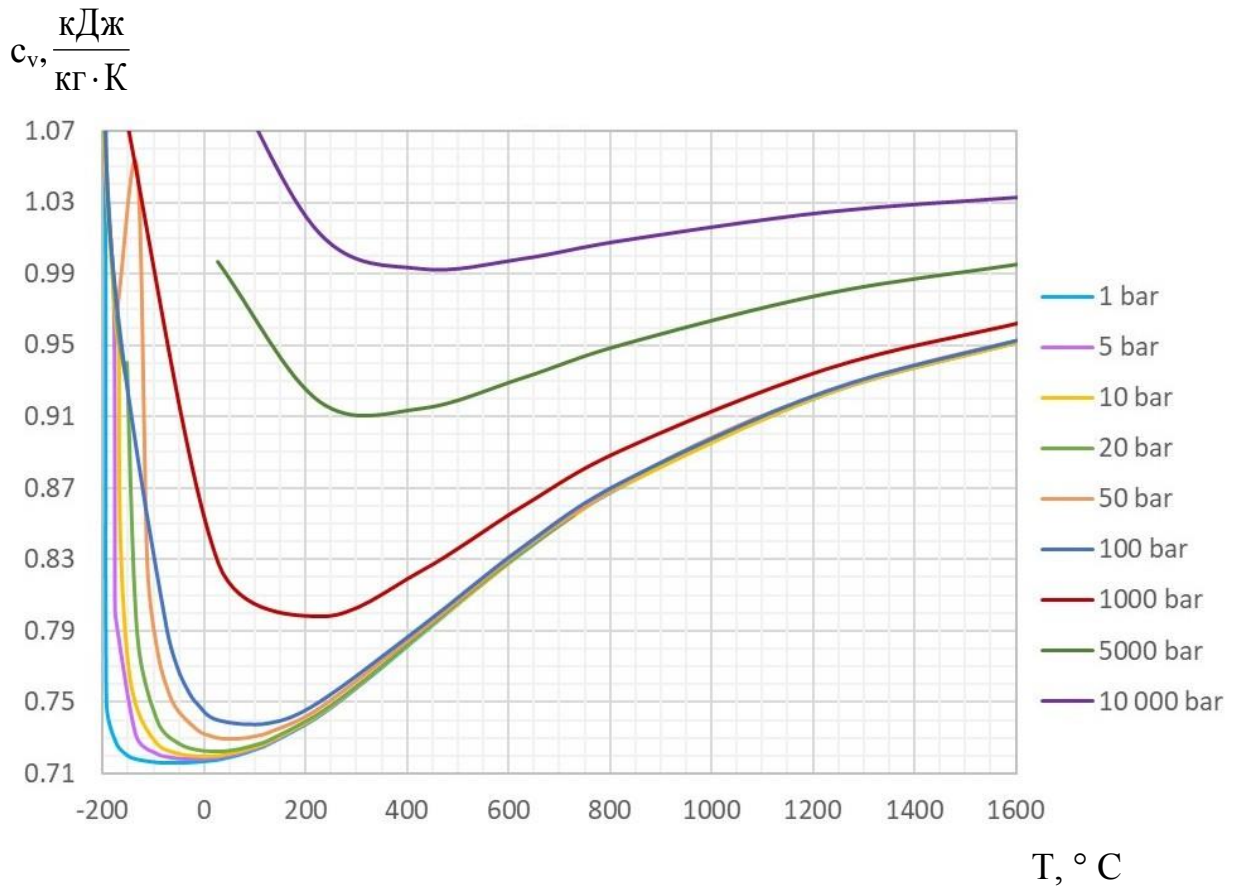
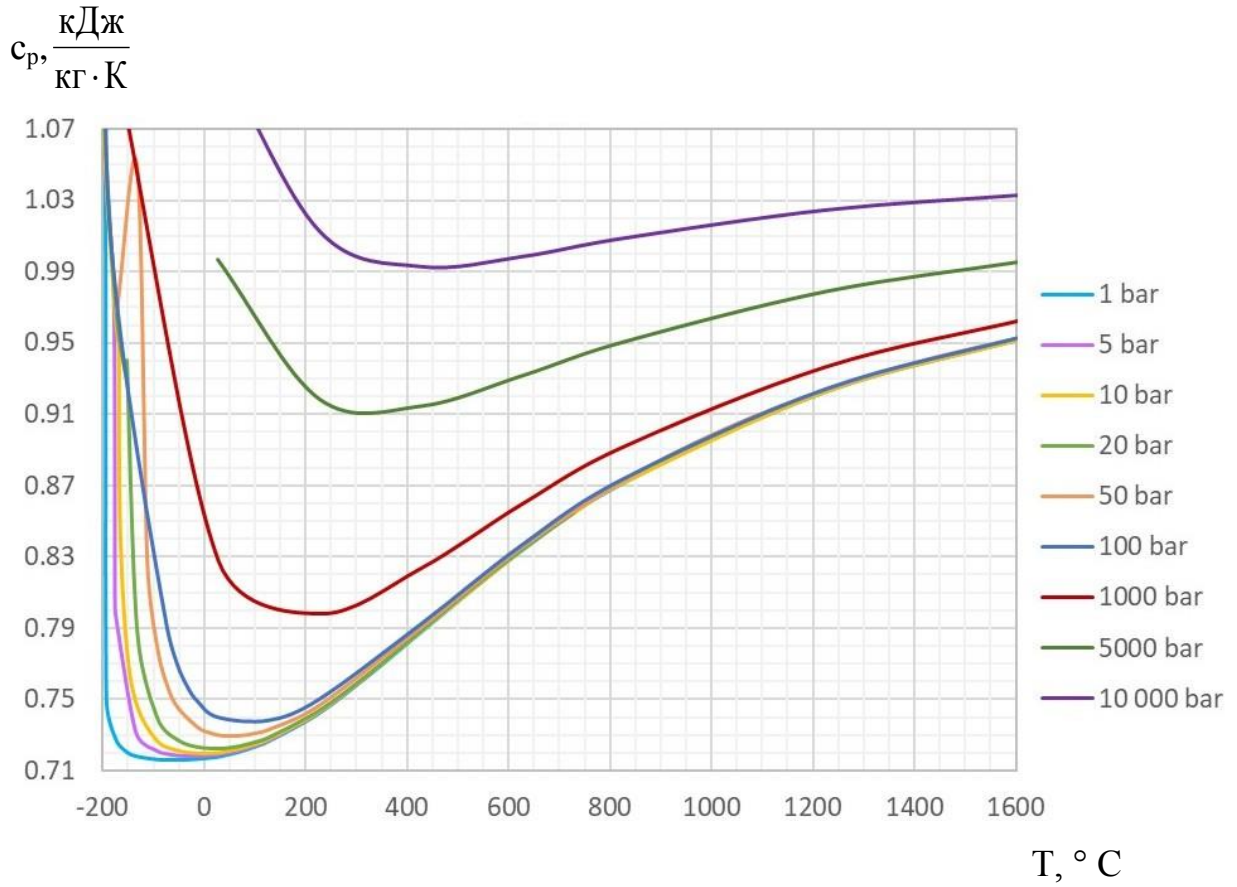


Рисунок 4.1 – Изобарна (c_p) та ізохорна (c_v) теплоємності повітря при різних температурах та тиску [34]

Виходячи з практичного досвіду та літературних даних [29, 32] відомо, що склад відпрацьованих газів при згоранні сумішевого палива бензин–масло, а отже і властивості робочого тіла під час процесу розширення, відрізняються незначно від тих, що утворюються при згоранні тільки бензину. Тому для процесів згорання-розширення значення величин c_{vt} , c_{pt} беремо з [8].

Для процесу стиснення c_v , c_p визначаємо наступним чином. З протоколу теплового розрахунку (таблиця А.1 додатку А) для інтервалу $\varphi = 0 \dots 180^\circ$ ПКВ визначаємо середнє значення температури і тиску $T = 729,9$ К (456° С), $p = 332,9$ кПа.

За допомогою графічних (рисунок 4.1) або аналітичних даних [34] визначаємо усереднену величину ізобарної c_p та ізохорної c_v теплоємності повітря для $T = 729,9$ К, $p = 332,9$ кПа: $c_{p \text{ пов}} = 1083 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $c_{v \text{ пов}} = 794,7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

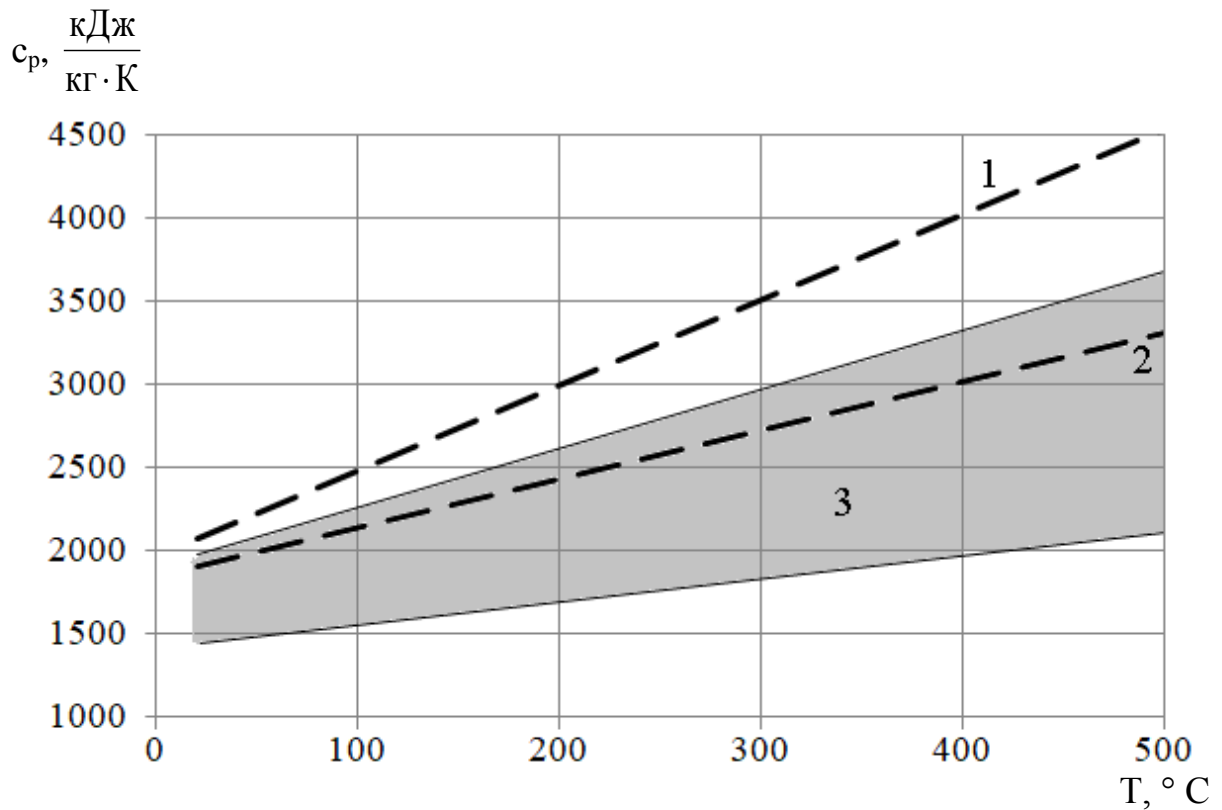
Ізобарну теплоємність c_p бензину та масла визначаємо з рисунку 4.2, побудованого на основі даних таблиці 1.5, з використанням методу апроксимації. Лініями 1 і 2 показано зміну величини c_p для бензину і парів бензину. Оскільки двигун ПД-10М карбюраторний, то під час процесу стиснення паливо в циліндрі міститься як у вигляді пари, так і у вигляді крапель. Для температури $T = 729,9$ К (456° С) визначаємо $c_{p \text{ бенз}} = 3750 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Моторні масла різних марок дуже відрізняються теплоємністю (на рисунку 4.2 показано сірою зоною 3). Для температури $T = 729,9$ К визначаємо

$$c_{p \text{ масл}} = 2750 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Показник адіабати є відношенням між c_p і c_v

$$k = c_p / c_v. \quad (4.2)$$



1 – бензин; 2 – пари бензину; 3 – масла (різних марок)

Рисунок 4.2 – Ізобарна теплоємність c_p бензину та масла при різних температурах

З літературних джерел відомо, що для бензину і масла показник адіабати складає $k = 1,2$. Тоді розраховуємо

$$c_v = c_p / k, \quad (4.3)$$

$$c_{v \text{ бенз}} = 3750 / 1,2 = 3125,0 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}},$$

$$c_{v \text{ масл}} = 2750 / 1,2 = 2291,7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Тепер можна визначити сумарні ізобарну та ізохорну теплоємності робочого тіла під час процесу стиснення. Виходячи із того, що теплоємність суміші речовин підлягає правилу адитивності, можна вивести формули

$$c_p = c_{p \text{ пов}} \cdot X_{\text{пов}} + c_{p \text{ бенз}} \cdot X_{\text{бенз}} + c_{p \text{ масл}} \cdot X_{\text{масл}}, \quad (4.4)$$

$$c_v = c_{v \text{ пов}} \cdot X_{\text{пов}} + c_{v \text{ бенз}} \cdot X_{\text{бенз}} + c_{v \text{ масл}} \cdot X_{\text{масл}}, \quad (4.5)$$

де x_i – масова доля компоненту в суміші (повітря, бензин, масло).

Частки $X_{\text{пов}}$, $X_{\text{бенз}}$, $X_{\text{масл}}$, визначаємо з теплового розрахунку двигуна ПД-10М (розділ 3 роботи).

За один цикл впуску в камері згорання двигуна маємо $m_a = 0,242$ г/цикл робочого тіла, з якого:

- паливо (бензин і масло) – $\Delta m_{\text{тц}} = 0,0154$ г/цикл;
- повітря – $\Delta m_{\text{вц}} = 0,1728$ г/цикл;
- залишкові (відпрацьовані) гази

$$m_{\text{вг}} = m_a - \Delta m_{\text{тц}} - \Delta m_{\text{вц}}, \quad (4.6)$$

$$m_{\text{вг}} = 0,242 - 0,0154 - 0,1728 = 0,0538 \text{ г/цикл.}$$

За допомогою пропорцій знаходимо співвідношення між повітрям і паливом:

$$X_{\text{пов}} = \frac{0,1728}{0,0154 + 0,1728} = 0,91817;$$

$$X_{\text{пал}} = \frac{0,0154}{0,0154 + 0,1728} = 0,08183.$$

Залишкові гази в не враховуємо, оскільки їх властивості є середніми між паливом та повітрям.

Знаючи масові співвідношення палива у паливоповітряній суміші та співвідношення масла до бензину, розраховуємо масову частку компонентів паливоповітряної суміші – повітря $X_{\text{пов}}$, бензину $X_{\text{бенз}}$, масла $X_{\text{масл}}$ (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Масові частки компонентів паливоповітряної суміші при різному співвідношенні бензину та масла в паливі

Величина	Числове значення для палива або паливної суміші					
	масло	1:15	1:25	1:33	1:50	бензин
Частка повітря в суміші $x_{\text{пов}}$	0,91817					
Частка бензину в суміші $x_{\text{бенз}}$	0	0,07672	0,07868	0,07942	0,08023	0,08183
Частка масла в суміші $x_{\text{масл}}$	0,08183	0,00511	0,00315	0,00241	0,00160	0
Разом	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Знаючи масові частки компонентів паливоповітряної суміші та властивості окремих компонентів пропорційно (за законом адитивності) визначаємо властивості палива та паливоповітряної суміші при різному співвідношенні бензину та масла в паливі 2-Т двигуна ПД-10М (для палива пропорцією 1:15):

– елементарний склад

$$C = 0,844 \cdot \frac{1}{16} + 0,855 \cdot \frac{15}{16} = 0,85431,$$

$$H = 0,155 \cdot \frac{1}{16} + 0,145 \cdot \frac{15}{16} = 0,14563,$$

$$O = 0,001 \cdot \frac{1}{16} + 0 \cdot \frac{15}{16} = 0,00006;$$

– нижча теплота згорання

$$H_u = 41,8 \cdot \frac{1}{16} + 44 \cdot \frac{15}{16} = 43,863 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}};$$

– молекулярна маса

$$m_T = 525 \cdot \frac{1}{16} + 115 \cdot \frac{15}{16} = 140,63;$$

– щільність палива

$$\rho_T = 870 \cdot \frac{1}{16} + 730 \cdot \frac{15}{16} = 738,75 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3};$$

– теоретично необхідна кількість повітря ℓ_o, L_o

$$\ell_o = 16,5 \cdot \frac{1}{16} + 14,96 \cdot \frac{15}{16} = 15,056 \frac{\text{КГ}}{\text{КГ}};$$

$$L_o = 0,519 \cdot \frac{1}{16} + 0,516 \cdot \frac{15}{16} = 0,5162 \frac{\text{КГ}}{\text{КГ}};$$

За формулами 4.4, 4.5 розраховуємо теплоємність паливоповітряної суміші під час стиснення (для палива пропорцією 1:15)

$$c_p = 1083 \cdot 0,91817 + 3750 \cdot 0,07672 + 2750 \cdot 0,00511 = 1296,13 \frac{\text{Дж}}{\text{КГ} \cdot \text{К}},$$

$$c_v = 794,7 \cdot 0,91817 + 3125 \cdot 0,07672 + 2291,7 \cdot 0,00511 = 981,13 \frac{\text{Дж}}{\text{КГ} \cdot \text{К}}.$$

k показник адіабати

$$k = \frac{1296,13}{981,13} = 1,3211.$$

Результати розрахунків для паливної суміші з пропорцією 1:15, а також

для інших пропорцій заносимо до таблиці 4.1.

З таблиці 4.1 визначимо величини, які при врахуванні масла (пропорція 1:15) в паливі змінюються найбільше (масовий вміст масла в паливі 7,9 %, масовий вміст масла в паливоповітряній суміші 0,511 %):

- молекулярна маса – зростає на 22,3 %;
- щільність палива – зростає на 1,2 %;
- теоретично необхідна кількість повітря ℓ_o – зростає на 0,64 %;
- вміст водню Н – зростає на 0,43 %;
- теплоємність c_p при стисненні – зменшується на 0,39 %;
- теплоємність c_v при стисненні – зменшується на 0,43 %.

Відмінність показників теплоємності c_p і c_v при стисненні можна пояснити тим, що індикаторні та ефективні показники двигуна ПД-10М значно відрізняються від інших двигунів аналогічної конструкції. Двигун має збільшену циклову витрату палива, а бензин та масло мають більші значення c_p і c_v , ніж повітря.

4.2 Вплив складу паливоповітряної суміші на техніко-економічні показники двотактного двигуна

Виконуємо теплові розрахунки двотактного двигуна ПД-10М, що працює на паливо-повітряних сумішах із співвідношенням масла до бензину 1:15, 1:25, 1:33, 1:50 за методикою [8].

До таблиці 4.3 заносимо всі вихідні дані та величини, що змінювались при введенні до комп'ютерної програми Engine Calculation.

Протоколи теплового розрахунку представлені в додатку А.

З протоколів визначаємо індикаторні показники двигуна ПД-10М (індикаторна робота L_i ; середній індикаторний тиск p_i ; індикаторний ККД η_i ; питома індикаторна витрата палива g_i) на номінальному режимі роботи, при

паливах різного складу (таблиця 4.4).

Таблиця 4.3 – Дані для розрахунку робочого циклу двигуна ПД-10М

Величина	Числове значення для палива або паливної суміші					
	1:15	1:25	1:33	1:50	бензин (кориговані дані)	бензин (базові дані)
Частка масла в паливі (масова), %	7,9	4,8	3,6	2,4	0	0
$\Delta m_{\text{тц}}$, мг/цикл	15,31	15,34	15,36	15,37	15,4	15,4
H_u , МДж/кг	43,863	43,915	43,935	43,957	44,0	44,0
ℓ_o , кг/кг	15,056	15,019	15,005	14,990	14,96	14,96
L_o , кг/кг	0,5162	0,5161	0,5161	0,5161	0,516	0,516
c_p , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	1296,13	1298,09	1298,83	1299,64	1301,24	1301,24
c_v , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	981,13	982,77	983,38	984,05	985,39	985,39
k	1,3211	1,3209	1,3208	1,3207	1,3205	1,3205

Таблиця 4.4 – Індикаторні показники двигуна ПД-10М

Величина	Числове значення для палива або паливної суміші					
	1:15	1:25	1:33	1:50	бензин (кориговані дані)	бензин (базові дані)
Частка масла в паливі (масова), %	7,9	4,8	3,6	2,4	0	0
L_i , Дж/цикл	147,957	148,472	148,742	148,929	149,405	156,36
p_i , кПа	427,746	429,236	430,015	430,556	431,934	452,034
η_i	0,3406	0,3404	0,3404	0,3403	0,3402	0,3560
g_i , $\frac{\text{Г}}{\text{кВт} \cdot \text{ГОД}}$	372,514	371,948	371,758	371,533	371,071	354,6

За формулами 3.25–3.28 розраховуємо ефективні показники двигуна ПД-10М (таблиця 4.5): ефективна потужність N_e , середній ефективний тиск p_e , механічний ККД η_m , питома витрата палива g_e .

З аналізу даних таблиці 4.4 можна зробити наступні висновки. Додавання масла до бензину у 2-Г двигуні у кількості 7,9 % (за масою), що відповідає пропорції 1:15, призводить до наступної зміни ефективних показників двигуна:

- ефективна потужність N_e зменшується на 0,97 % (рисунок 4.2);
- середній ефективний тиск p_e зменшується на 0,97 % (рисунок 4.3);
- ефективний ККД η_e зростає на 0,12 % (рисунок 4.4);
- питома ефективна витрата палива g_e зростає на 0,39 % (рисунок 4.5).

Таблиця 4.4 – Ефективні показники двигуна ПД-10М

Величина	Числове значення для палива або паливної суміші					
	1:15	1:25	1:33	1:50	бензин (кориговані дані)	бензин (базові дані)
1	2	3	4	5	6	7
Частка масла в паливі (масова), %	7,9	4,8	3,6	2,4	0	0
N_e , кВт	6,90	6,93	6,94	6,95	6,97	7,30
p_e , кПа	342,2	343,4	344,0	344,4	345,5	361,6
η_e	0,27253	0,272	0,2723	0,2722	0,2722	0,2848
g_e , $\frac{\Gamma}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$	465,643	464,935	464,698	464,416	463,839	443,3

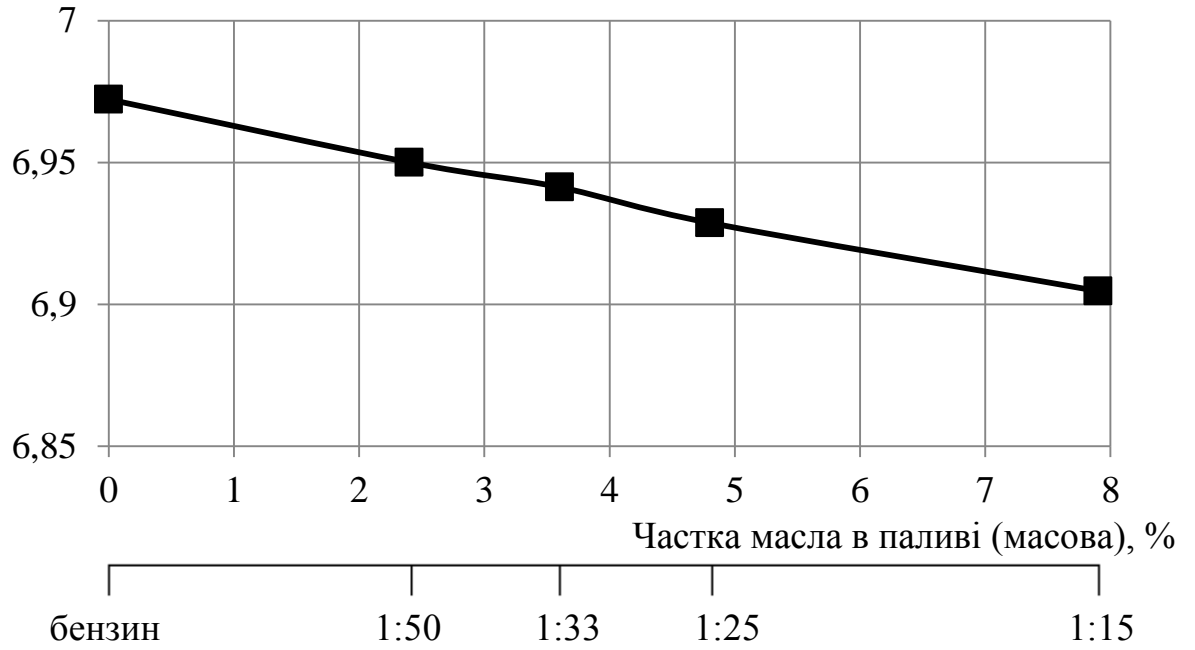
N_e , кВт

Рисунок 4.3 – Ефективна потужність двигуна ПД-10М на номінальному режимі при різній кількості масла в бензині

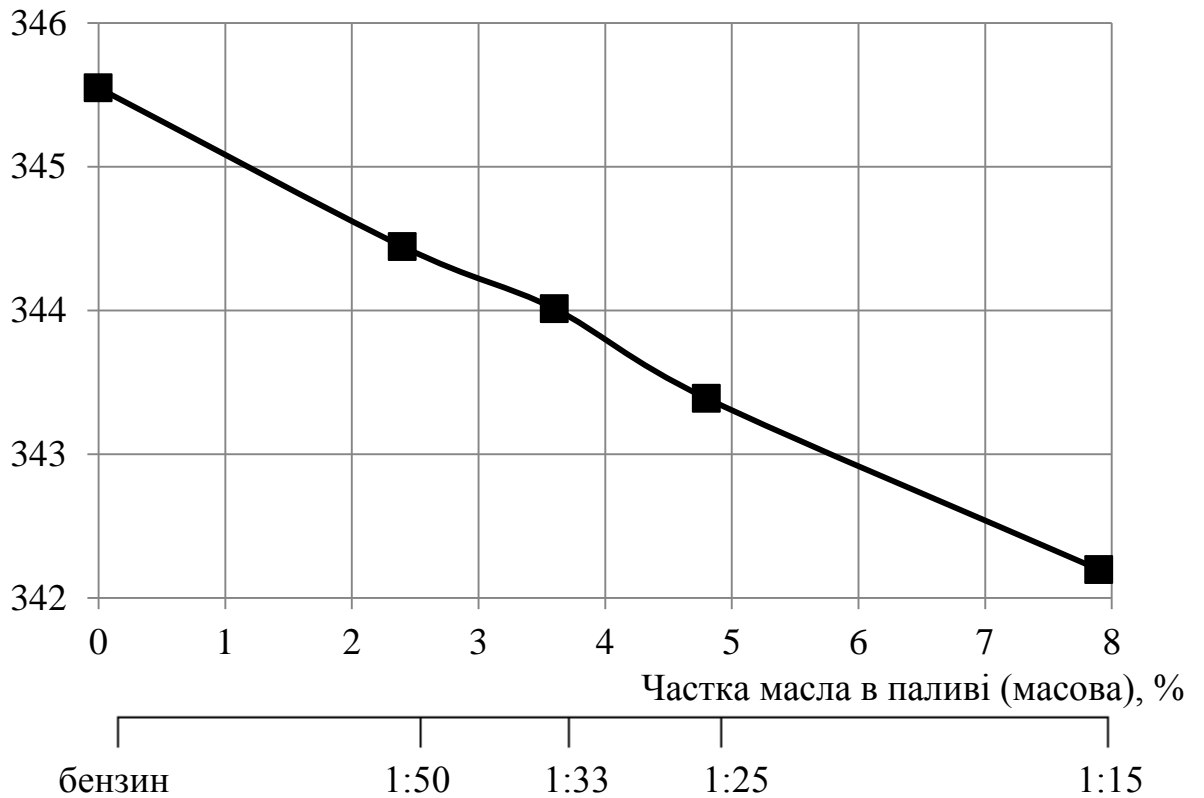
 p_e , кПа

Рисунок 4.4 – Середній ефективний тиск двигуна ПД-10М на номінальному режимі при різній кількості масла в бензині

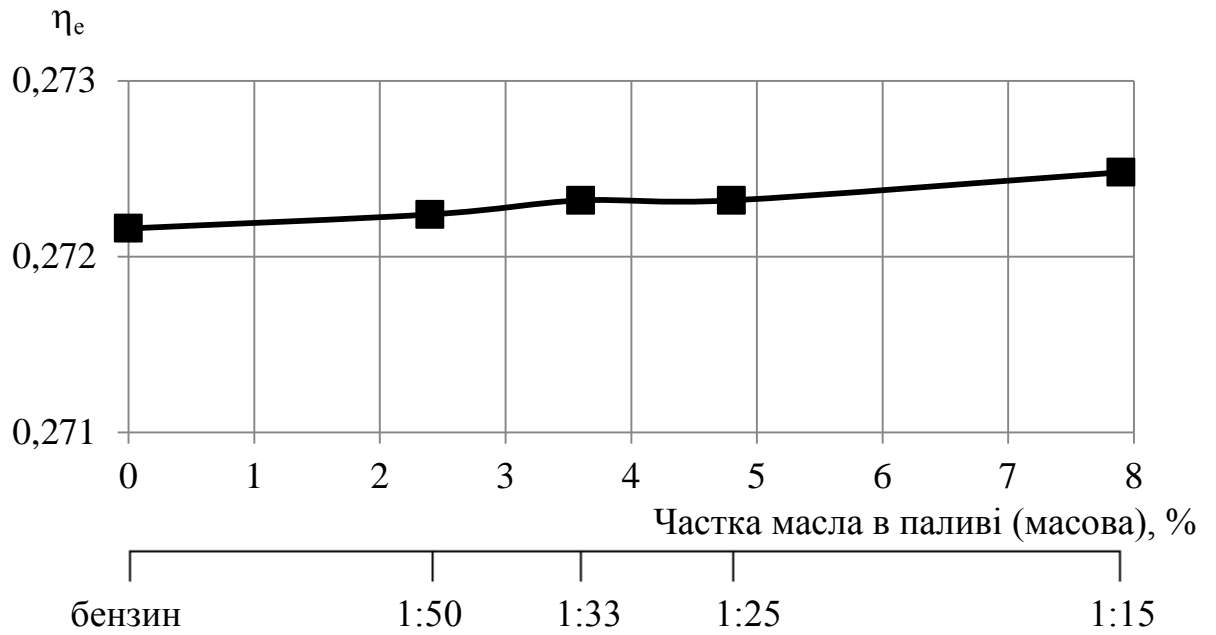


Рисунок 4.5 – Ефективний ККД двигуна ПД-10М на номінальному режимі при різній кількості масла в бензині

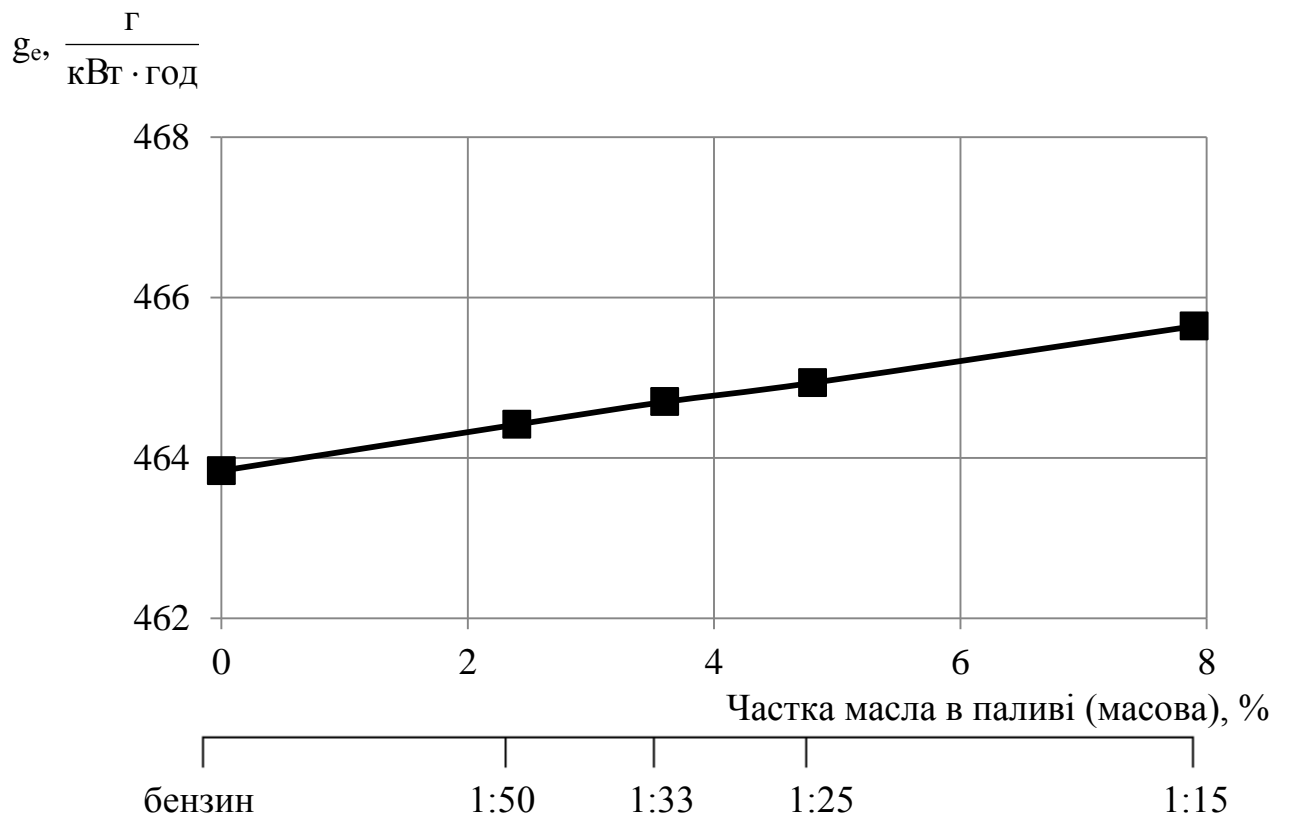


Рисунок 4.6 – Питома ефективна витрата палива двигуна ПД-10М на номінальному режимі при різній кількості масла в бензині

4.3 Висновки за розділом

В розділі визначено фізико-хімічні властивості сумішевого палива (бензин–масло) двотактного двигуна при співвідношенні масла до бензину 1:15, 1:25, 1:33, 1:50.

З аналізу колонок 6 і 7 таблиці 4.4 випливає, що перерахунок величини ізобарної та ізохорної теплоємностей для процесу стиснення двигуна ПД-10М, відповідно до розрахованої середньої температури робочого тіла протягом процесу стиснення, а також зміна величини ℓ_o (яка вплинула на циклову подачу палива), призвела до наступної зміни ефективних показників двигуна:

- ефективна потужність N_e зменшується на 4,45 %;
- середній ефективний тиск p_e зменшується на 4,44 %;
- ефективний ККД η_e зростає на 0,12 %;
- питома ефективна витрата палива g_e зростає на 4,64 %.

Значні відмінності ізобарної c_p та ізохорної c_v теплоємності при стисненні (більше на 28,2 % і 35,43 % відповідно, у порівнянні зі значеннями, рекомендованими у [8]) пояснюються тим, що двигун ПД-10М за своїми індикаторними показниками значно відрізняється від більшості бензинових (в тому числі 4-тактних) ДВЗ, для яких і розроблено рекомендації [8] щодо вибору величин c_p і c_v . Як було сказано наприкінці розділу 3, 2-Т двигун ПД-10М має збільшену витрату палива, що, напередусім, і призводить до зростання величин c_p і c_v .

Таким чином, в роботі вперше визначено величину впливу від додавання масла до бензину на властивості робочої суміші двотактного двигуна. Отримані результати дозволяють уточнити фізико-математичну модель професора Я. О. Єгорова врахуванням фізико-хімічних показників сумішевого палива.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Згідно теми магістерської роботи, яка стосується дослідження надійності 2-тактних бензинових ДВЗ, проведено аналіз небезпек при проведенні досліджень, розглянуто методи та засоби їх усунення згідно до рекомендацій [35, 36].

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Виявлено наступні небезпеки, які можуть підстерігати дослідника:

- можливості отримання механічних травм при використанні ручного інструмента внаслідок відсутності навичок, несправності інструменту, порушень правил роботи з інструментом, порушень інструкцій з техніки безпеки;

- можливості ураження електричним струмом. Основною причиною є порушення правил з електробезпеки, зокрема допуск до виконання робіт осіб, які не пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки, або несправності енергоспоживаючого обладнання, що може призвести до електричних травм або до летальних наслідків;

- недоліки в організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, що призводять до зниження працездатності та у подальшому – до захворювань опорно-рухового апарату;

- небезпеки, які пов'язані з використанням комп'ютера (електростатичні поля, електромагнітне випромінювання, локальне стомлення, загальна втома, стомленість очей, небезпека ураження електричним струмом, пожежонебезпека);

- недостатній рівень освітлення в приміщеннях дослідницької

лабораторії призводить до втомлюваності працівників, що може викликати хронічні захворювання;

– незадовільні параметри мікроклімату на робочому місці дослідника внаслідок нагрівання та висушування повітря гарячими деталями працюючого двигуна, за неефективності опалення та вентиляції;

– можливість отруєння парами бензину та відпрацьованими газами внаслідок їх виходу з двигуна через впускну систему, за відсутності або несправності місцевої витяжної вентиляції;

– можливості загорянь внаслідок порушення правил з пожежної безпеки, що може призвести до пожежі.

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Згідно ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги» конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальне положення для ніг. Підставка для ніг має регулюватись по висоті. Ширина повинна бути не менше 300 мм, довжина – не менш 400 мм. Поверхня підставки повинна бути рифленою. По передньому краю слід передбачати бортик висотою 10 мм. Важливим фактором є простір під столом, його має бути досить, щоб можна було зручно згинати та розгинати коліна. Стіл повинен мати криволінійну форму. Крісло повинно забезпечувати фізіологічну раціональну робочу позу, при якій не порушується циркуляція крові і не було б іншого шкідливого впливу. Для цього необхідно, щоб у крісла була пружна спинка анатомічної форми, яка зменшить навантаження на хребет. Також крісло обов'язково повинно бути з підлокітниками і мати можливість повороту, зміни висоти кута нахилу сидіння й спинки. Монітор повинен розташовуватись на робочому столі прямо, і віддаленням від очей мінімум на 50...60 см. Верхня границя

екрану повинна бути на рівні очей або не нижче 15 см від рівня очей. Клавіатура повинна розташовуватись в 10...15 см (в залежності від довжини ліктя) від краю стола. Глибина стола повинна дозволяти повністю положити лікті на стіл, відсунути клавіатуру до монітора.

З метою вирішення можливих питань стосовно електробезпеки, необхідним є знання основних заходів, для попередження уражень електричним струмом, згідно ДНАОП 1.1.10-1.01-2000 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Обов'язковим є захисне заземлення або занулення. Обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту, зокрема гумовий діелектричний килимок, опір якого слід періодично перевіряти. Обов'язковим є встановлення автоматичних блокуючих пристроїв згідно ДНАОП 0.00-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», які запобігають небезпечним діям людини, зокрема кінцеві вимикачі. Блокуючи пристрої розподіляють на механічні, електричні, та електричномеханічні.

Небезпекою фізичного характеру може бути механічне травмування, яке пов'язано з руйнуванням ручного інструменту при порушенні режимів навантаження. Також до механічного травмування працюючих може призвести порушення правил експлуатації інструменту.

При роботі з інструментом необхідне виконання вимог НПАОП 0.00-1.30-01 «Правила безпечної роботи з інструментом та пристроями».

Персонал, що працює на комп'ютері, зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі ДСанПін 3.3.2.007-98 «Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і поломку комп'ютера.

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи з комп'ютером повинні встановлюватися регламентовані

перерви. Монітори комп'ютера оснащуються антибліковим покриттям з коефіцієнтом відбиття не більше 0,5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного заряду з поверхні екрана, іскріння і накопичення пилу. Корпус монітора повинен забезпечувати захист від іонізуючих та неіонізуючих випромінювань. Відстань між стіною з віконними прорізами і столом має бути не менше 0,8 м. При невеликій кількості робочих місць бажано розташовувати столи біля протилежної стіни щодо віконних прорізів. Відстань між робочими столами повинна бути не менше 1,2 м.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Для ефективної роботи слід забезпечити належні метеоумови на робочому місці. Параметри мікроклімату приміщення встановлюють згідно ДСН 3.3.6.042-99 в залежності від категорії робіт за важкістю. Для забезпечення цих параметрів передбачають системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря.

Оскільки висота дослідницького приміщення становить 4,90 м, за результатами попереднього розрахунку освітленості встановлюємо люмінесцентні лампи типів ЛБ чи ЛД потужністю 60 Вт, що буде відповідати В класу зорової роботи відповідно до ДБН В.2.5-28-2018.

Захист персоналу від шуму двигуна, в виробничих приміщеннях і на робочих місцях забезпечується згідно вимог ДБН В.1.1-31:2013.

Для захисту від шуму передбачають наступні заходи:

- використання шумозахисних навушників;
- віброізоляція стенду з двигуном, застосування індивідуальних віброізолюваних фундаментів для обладнання зі значними динамічними навантаженнями, а також віброізоляція трубопроводів інженерних мереж;

При роботі на ПК проводимо заміри шкідливих факторів на робочому місці та вносимо наявні фактори умов праці та виробничого середовища що впливають на працівника в процесі трудової діяльності їх фактичне значення та час дії вносимо до стовпчиків 1–3 таблиці 8.1.

2. Відповідно до додатка А [36], за витратами енергії, визначаємо категорію робіт для інженера-дослідника центральній заводській лабораторії обладнаної ПК. Умови праці, за витратами енергії, не перевищують 139 Вт (90-120 ккал/год) та повинні відповідати легким фізичним роботам – категорії I-а.

3. З додатків [36], відповідно до категорії робіт I-а, розряду зорових робіт Б-1 та виявлених показників умов та напруженості праці, визначаємо ГДК (ГДР) виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 4 таблиці 8.1.

4. Для окремих факторів і показників за методикою, визначеною «Гігієнічною класифікацією праці», визначаємо розрахункові коефіцієнти $X_{\text{визн}}$ та вносять їх значення до стовпчика 5 таблиці 8.1:

– для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС- індекс, додаток Б [36]. Розрахунковий коефіцієнт $X_{\text{визн}}$ при оцінка мікроклімату визначаємо в балах, за формулою:

$$X_{\text{визн}} = \frac{3 \cdot t_3}{T} = \frac{3 \cdot 9}{10} = 2,7; \quad (5.1)$$

– для показників важкості та напруженості праці розрахункові коефіцієнти визначаються за основними та допоміжними показниками, що є характерними для конкретного робочого місця, за формулою:

$$X_{\text{визн}} = \frac{P_{\text{вим}} \cdot T \cdot K_{\text{знач}}}{8 \cdot P_{\text{доп}}}; \quad (5.2)$$

Таблиця 5.1 – Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Виміряні показники $P_{\text{вим}}$	Час дії, год.	ГДК, ГДР, показники, $P_{\text{доп}}$	$X_{\text{визн}}$, бали	Клас умов праці	X_i , бали
Мікроклімат за ТНС-індексом, t, °С	27,5	9	23,5-26,4	3	3,3	3
Освітленість приміщення E, лк	200	10	300	—	3,1	1
Розряд і підрозряд зорових робіт, $Z_{\text{ор}}$	Б-1	—	—	—	—	—
Рівень шуму L, дБА	95	5	80	—	3,2	1,25
Загальні енергозатрати організму, Вт	190	7	290	0,57	3,3	3
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	63000	7	40000	1,38		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	81	7	75	0,95		
Тривалість робочого дня, год.	10	10	8	0,23		

а) загальні енергозатрати організму, $K_{\text{знач}} = 1,0$

$$X_{\text{визн}} = \frac{190 \cdot 7 \cdot 1}{8 \cdot 290} = 0,57;$$

б) Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), $K_{\text{знач}} = 1,0$

$$X_{\text{визн}} = \frac{63000 \cdot 7 \cdot 1}{8 \cdot 40000} = 1,38;$$

в) Тривалість зосередження уваги (% від часу зміни), $K_{\text{знач}} = 1,0$

$$X_{\text{визн}} = \frac{81 \cdot 7 \cdot 1}{8 \cdot 75} = 0,95;$$

г) Тривалість робочого дня (зміни), $K_{\text{знач}} = 0,15$

$$X_{\text{визн}} = \frac{10 \cdot 10 \cdot 0,15}{8 \cdot 8} = 0,23.$$

5. Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 6, таблиці 8.1:

– для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта $X_{\text{визн}} = 2,7$, з таблиці 7.2 [36] – 3 клас, 3 ступінь (3.3);

– при оцінці освітленості робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до $\Pi_{\text{вим}} = 200$ лк, за додатками Г та табл. Г.1 [36] – 3 клас, 1 ступінь (3.1);

– для гігієнічної оцінки рівня шуму, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до виміряного значення рівня шуму $\Pi_{\text{вим}} = 95$ дБА, за додатками Д та табл. Д.1 [36] – 3 клас, 2 ступінь (3.2);

– клас і ступінь важкості та напруженості праці визначаємо як суму розрахованих балів усіх показників $X_{\text{визн}}$ за формулою

$$X_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n X_i = 0,57 + 1,38 + 0,95 + 0,23 = 3,13. \quad (5.3)$$

З таблиці 7.3 [36] за значенням суми розрахованих балів показників

$X_{\text{сум}} = 3,13$ – 3 клас, 3 ступінь (3.3);

6. Оскільки загальна гігієнічна оцінка умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, з урахуванням комбінованої та сумісної дії

виробничих факторів, встановлюється за найбільш високим класом та ступенем шкідливості окремих факторів і показників, тому в результаті досліджень, відповідно до розрахунків, встановлено, що умови праці на робочому місці інженера-дослідника центральній заводській лабораторії обладнаної ПК належать до 3 класу, 3 ступеню.

7. Оскільки при гігієнічній оцінці виявлена наявність шкідливих та особливо шкідливих, важких та особливо важких умов праці, проводимо дослідження фактичного стану умов праці, з метою визначення розмірів доплат за ступені шкідливості факторів виробничого середовища та показників важкості та напруженості праці за бальною шкалою, та вносимо їх значення до стовпчика 7, таблиці 8.1:

– для оцінки впливу мікроклімату виходимо з того, що він відповідає 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час його дії уже врахований, тому $X_{ст} = X_i = 3$;

– при оцінці впливу освітленості виходимо з того, що вона відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 10 годин, тому $X_{ст} = X_i = 1$;

– для оцінки впливу шуму виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 5 годин, тому значення X_i визначаємо по формулою

$$X_i = X_{ст} \cdot \frac{T}{8} = 2 \cdot 0.625 = 1,25 ; \quad (5.4)$$

– для оцінки впливу важкості та напруженості праці, виходимо з того що вони відповідають 3 класу, 2 ступеню умов праці, а час їх дії уже врахований, тому $X_{ст} = X_i = 3$;

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень X_i , за формулою

$$X_{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n X_i = 3 + 1 + 1,25 + 3 = 8,25. \quad (5.5)$$

8. Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану – $X_{\text{факт}} = 8,25$, на підставі Типового положення «Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці», з таблиці 7.4 [36]. Розмір доплати до тарифної ставки (окладу) – 20 %.

9. На підставі результатів загальної гігієнічної оцінки умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, а також дослідження фактичного стану умов праці робимо висновки та пропозиції:

1. Умови, важкості та напруженості праці на робочому місці дослідника лабораторії, згідно результатів досліджень, належать до 3 класу, 3 ступеню (особливо важкі та особливо шкідливі умови праці), що не відповідає вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» до даного робочого місця;

2. Відповідно до класифікації умови, важкість та напруженість праці на робочому місці дослідника лабораторії належать до категорії I-а, тому необхідно привести ці умови у відповідність до нормативних значень, які відповідають оптимальним параметрам для категорії I-а, а саме:

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища - ТНС-індексом – $21,0 \dots 23,4 \text{ } ^\circ \text{C}$;
- освітленість кабінетів та робочих кімнат відповідає розряду зорових робіт Б-1, нормована загальна освітленість якого – $E = 300 \text{ лк}$;
- рівень шуму в робочій зоні дослідника – 80 дБА ;
- загальні енергозатрати організму – до 139 Вт ;
- стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук) – до 40000 ;
- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни) – до 75 \% ;

– тривалість робочого дня – 6 або 7 год.

3. Для приведення умов, важкості та напруженості праці до вищезазначених показників необхідно передбачити комплекс заходів, які забезпечать нормалізацію умов праці, наприклад:

– для приведення мікрокліматичних умов до відповідності, необхідно забезпечити припливно-витяжну механічну вентиляцію та кондиціонування приміщення;

– освітленість приміщення відповідає нормам тому корегувати немає необхідності;

– для зниження рівня шуму в робочій зоні дослідника лабораторії необхідно замість матричних принтерів застосувати лазерні; з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом;

– для зменшення загальних енергозатрат організму, необхідно скоротити тривалість робочого дня до 6 або 7 год.

– для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин, кожні 1...2 години;

– для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви.

4. Якщо, з об'єктивних причин, вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці, відповідно до таблиці 7.4 [36], у розмірі 20 %.

5.4 Заходи з пожежної безпеки та дії надзвичайній ситуації

Для попередження пожеж передбачається використовувати первинні засоби пожежогасіння. В приміщенні, де експлуатуються ПК, відповідно до

«Правил пожежної безпеки в Україні» та «Типових норм належності вогнегасників» НАПБ Б.03.308-2018 при площі 20 м² належить розміщувати 1 вогнегасник ВВК-2, тому для дослідницької лабораторії площею 72 м² з ПЕОМ необхідно 4 вуглекислотних вогнегасника ВВК-2.

Також необхідно періодично проводити інструктажі, навчання, та тренування персоналу.

У разі загорання проводки, спробувати загасити вогнище вогню за допомогою вогнегасників, та звернутися до Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Якщо пожежу не вдалося загасити вогнегасником, виникає можливість розповсюдження пожежі по приміщенню.

З цивільного захисту відомо, що в умовах надзвичайних ситуацій найголовніше знати свої дії і чітко їх наслідувати. Для цього необхідне регулярне проведення інструктажів по пожежній безпеці відповідно до НАПБ А.01.001-2004 "Правила пожежної безпеки в Україні".

Для ефективнішого управління персоналом проводити навчання по пожежній безпеці. При пожежі дзвонити в пожежну службу і включити сигнал тривоги. Відключити усі електроприлади за допомогою автоматів на щитку.

У випадках неможливості загасити пожежу, слід прикрити ніс і рот тканиною, бажано вологою, і повзучи пробиратися поряд із стінкою до виходу.

Якщо спалахнув одяг, потрібно лягти на підлогу (землю) і, перекочуючись, збити вогонь або накинути на себе пальто, плащ і щільно притиснути, щоб припинити приплив повітря до вогню.

Необхідно триматися чимдалі від вікон, дзеркал, світильників, уважно стежити, щоб не впала на голову штукатурка.

Коли приїдуть пожежники, якомога більше розповісти про причину пожежі, описати матеріали, що горять, надати усю інформацію про пожежу.

У разі спалаху випробувального двигуна внутрішнього згорання, спробувати загасити вогонь за допомогою вогнегасників порошкового типу.

5.5 Дії персоналу у випадку аварії з викидом небезпечних хімічних речовин

Численні підприємства м. Запоріжжя використовують у виробничих процесах різні речовини, небезпечні для населення міста. Корпуси НУ «Запорізька політехніка» розташовані поряд з залізодорожним вузлом, яким перевозять різні вантажі, в тому числі небезпечні хімічні речовини (НХР): аміак, хлор, соляна кислота, сірководень тощо. Аварії на хімічно небезпечних об'єктах, що супроводжуються розливом або викидом в повітря НХР, називають хімічними аваріями.

Внаслідок аварій можливі зараження навколишнього середовища, масові ураження людей, тварин та рослин. У зв'язку з цим для захисту персоналу та населення при аваріях рекомендується [37]:

- використовувати індивідуальні засоби захисту та сховища з режимом повної ізоляції;
- евакуювати людей із зони зараження, що виникла під час аварії;
- застосовувати антидоти та засоби обробки шкірних покривів;
- дотримуватись режимів поведінки (захисту) на зараженій території;
- проводити санітарну обробку людей, дегазацію одягу, території споруд, транспорту, техніки та майна.

Виробничий персонал хімічного підприємства, на якому сталася аварія, діє відповідно до планів ліквідації аварій, а також вказівок диспетчера (чергового) по підприємству, який повинен чітко та ясно повідомити, що сталося, де і які заходи захисту слід вжити в даній ситуації.

Для захисту органів дихання слід надіти протигаз. За його відсутності необхідно негайно вийти із зони ураження перпендикулярно напрямку вітру, використавши при цьому як захисні засоби тканинні пов'язки та підручні вироби з тканини, змочені водою. Якщо шляхів відходу немає, рекомендується сховатися в приміщенні та загерметизувати його.

При цьому потрібно пам'ятати, що НХР важче за повітря будуть проникати у підвальні приміщення та нижні поверхи будівель, низини та яри, а НХР легше за повітря – заповнювати верхні поверхи будівель.

При русі на зараженій місцевості необхідно суворо дотримуватися таких правил:

- рухатися швидко, але не бігти та не піднімати пил;
- не тулитися до будівель та не торкатися навколишніх предметів;
- не наступати на краплі рідини, що зустрічаються на шляху, або порошкоподібні розсипи невідомих речовин;
- не знімати засоби індивідуального захисту до розпорядження;
- при виявленні крапель НХР на шкірі, одязі, взутті, засобах індивідуального захисту видаляти їх тампоном з паперу, ганчірки або носовичком; по можливості заражене місце промивати водою;
- надавати допомогу особам, не здатним рухатися самостійно.

Вийшовши із зони зараження, промити очі та відкриті ділянки тіла водою, звернутися за допомогою до медичного працівника для визначення ступеня ураження та проведення профілактичних та лікувальних заходів.

Треба пам'ятати, що дія хімічних речовин настає навіть за дуже малих доз. Їхній руйнівний вплив позначається на всіх людях.

Хімічні речовини проникають у організм через органи дихання, шкіру, очі, шлунково-кишковий тракт, поверхні ран, викликаючи як місцеві, так і загальні ураження. Залежно від фізичного стану хімічної речовини, її концентрації у навколишньому та внутрішньому (організмі) середовищах у людини можуть бути уражені печінка, нирки, серце, легені, нервова система та головний мозок.

Найбільш характерні ознаки хімічного отруєння: поява почуття страху, загальне збудження, емоційна нестійкість, порушення сну, подразнення очей, слизової оболонки носа та гортані, почервоніння шкіри, блювання, нудота, поява неприродного, специфічного запаху.

Загальними принципами невідкладної допомоги при ураженнях НХР є:

- припинення подальшого надходження отрути в організм;
- виведення з організму отруйних речовин, що всмокталися;
- відновлення та підтримання життєво важливих функцій організму.

5.6 Висновки за розділом

Проведено аналіз небезпек при проведенні досліджень 2-тактних бензинових ДВЗ, розглянуто методи та засоби їх усунення. Розроблено заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці, заходи з пожежної безпеки та дії надзвичайній ситуації.

6 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

6.1 Визначення витрат на проведення магістерської роботи

Виконано магістерську роботу «Дослідження впливу складу паливоповітряної суміші на техніко-економічні показники двотактного двигуна», яка має наукове спрямування. Метою роботи є підвищення точності існуючої фізико-математичної моделі, що використовується для розрахунку термодинамічного циклу ДВЗ.

Через епідемічний стан в Україні магістерська робота виконувалась вдома, без залучення лабораторного обладнання.

Для визначення грошових витрат на проведення науково-дослідної роботи складаємо кошторис витрат за наступними статтями:

- матеріали за винятком зворотних відходів,
- паливо й енергія з боку;
- амортизація універсального устаткування;
- заробітна плата основна і додаткова;
- внески на соціальні заходи;
- накладні витрати.

6.1.1 Визначення витрат на матеріали

Витрати на основні матеріали M_o розраховуємо за формулою:

$$B_M = (1 + K_{т.з.}) \cdot \sum_{i=1}^n (C_i \cdot N_i - C_{ib} \cdot N_{ib}), \quad (6.1)$$

$$B_M = (1 + 0,15) \cdot (95 \cdot 1 - 95 \cdot 0 + 250 \cdot 1 - 250 \cdot 0 + 500 \cdot 1 - 500 \cdot 0) = 971,75 \text{ грн,}$$

де $K_{т.з.}$ – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати ($K_{т.з.} = 0,15...0,20$);

$Ц_i$ – ціна i -го найменування матеріалу, грн.;

N_i – необхідна потреба в матеріалі i -го найменування;

$N_{ів}$ – норма зворотних відходів матеріалі i -го найменування;

$Ц_{ів}$ – ціна зворотних відходів i -го найменування матеріалу;

n – кількість найменувань матеріалів.

Результати розрахунків зводимо до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Розрахунок витрат на матеріали

№ п/п	Матеріал	Одиниця виміру	Витрати матеріалу на тему	Ціна за одиницю виміру	Сума витрат, грн.
1	Папір А4 (пачка)	шт.	1	95	95,00
2	Канцелярські товари (набір)	шт.	1	250	250,00
3	Картридж для принтера	шт.	1	500	500,00
	Підсумок за винятком зворотних витрат	–	–	–	845,00
	Транспортно-заготівельні витрати	%	10	10	126,75
	Разом із транспортно-заготівельними витратами	–	–	–	971,75

6.1.2 Розрахунок вартості палива й енергії

Витрати на силову енергію E_c визначаємо за формулою

$$E_c = \frac{P_y \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_v \cdot C_e}{\text{ККД}}, \quad (6.2)$$

$$E_{c(\text{комп'ютер})} = \frac{0,4 \cdot 539 \cdot 0,9 \cdot 1,68}{0,8} = 407,48 \text{ грн,}$$

$$E_{c(\text{монітор})} = \frac{0,025 \cdot 539 \cdot 0,9 \cdot 1,68}{0,9} = 22,64 \text{ грн,}$$

$$E_{c(\text{принтер})} = \frac{0,35 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 1,68}{0,8} = 1,18 \text{ грн,}$$

$$E_{c(\text{роутер})} = \frac{0,002 \cdot 539 \cdot 0,9 \cdot 1,68}{0,8} = 2,04 \text{ грн,}$$

$$E_{c(\text{освітлення})} = \frac{0,012 \cdot 539 \cdot 0,8 \cdot 1,68}{0,8} = 10,87 \text{ грн,}$$

де P_y – установлена потужність енергетичних струмоприймачів устаткування, кВт;

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи даного виду устаткування, годин;

K_v – коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу ($K_v \approx 0,8 \dots 0,9$);

C_e – ціна 1 кВт·година електроенергії, для населення, грн/кВт·год;

ККД = 0,8.....0,9.

$\Phi_{\text{еф}}$ для комп'ютера, монітора, WI-FI роутера, освітлення розраховуємо для 67 робочих днів, по 8 годин на день:

$$\Phi_{\text{еф}} = 67 \cdot 8 = 539 \text{ год.}$$

Виконанні розрахунки заносимо до таблиці 6.2. Розраховуємо сумарну вартість енергоресурсів та енергії збоку 444,20 грн.

Таблиця 6.2 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Устаткування	Вид енерго-ресурсів	P_y , кВт	K_B	$\Phi_{\text{эф}}$	C_e , грн/(кВт·год)	Вартість енерго-ресурсів, грн.
Комп'ютер	електрична енергія	0,4	0,9	539	1,68	407,48
Монітор		0,025	0,9	539		22,64
Принтер		0,35	0,8	2		1,18
WI-FI роутер		0,002	0,9	539		2,04
Світильник		0,012	0,8	539		10,87
Разом						444,20

6.1.3 Розрахунок амортизації універсального устаткування

Визначаємо річну суму амортизації з урахуванням первісної вартості основних засобів та норми амортизації. Результати розрахунку зводимо до таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Група основних засобів	Норма амортизації	Первісна вартість ОЗ на 01.01	Надійшло ОЗ		Вибуло ОЗ		Сума грн
			дата	пер. вар.	дата	пер. вар.	
Комп'ютер	2666,67	16000	1.2021	16000	12.2021	13333,33	2666,67
Монітор	583,33	3500	1.2021	3500	12.2021	2916,67	583,33
Принтер	360,00	1800	1.2021	1800	12.2021	1440,00	360,00
WI-FI роутер	193,33	580	1.2021	580	12.2021	386,67	193,33
Світильник	116,67	350	1.2021	350	12.2021	233,33	116,67
Разом	3920,00	22230	х	22230	х	18310,00	3920,00

Розраховуємо норму амортизації за прямолінійним методом:

- для комп'ютера $16000 \text{ грн.} / 6 \text{ років} = 2666,67 \text{ грн.}$
- для монітора $3500 \text{ грн.} / 6 \text{ років} = 583,33 \text{ грн.}$
- для принтера $1800 \text{ грн.} / 5 \text{ років} = 360,00 \text{ грн.}$
- для WI-FI роутера $580 \text{ грн.} / 3 \text{ років} = 193,33 \text{ грн.}$
- для світильника $350 \text{ грн.} / 3 \text{ років} = 116,67 \text{ грн.}$

Загальна сума амортизації ОЗ складає 3920,00 грн.

6.1.4 Розрахунок заробітної плати

У цю статтю включається заробітна плата всіх категорій працівників, що безпосередньо зайняті в процесі проведення всіх етапів робіт. Сума заробітної плати розраховується на основі зайнятості виконавців по окремих етапах робіт і середньоденного заробітку для кожної категорії персоналу.

Розрахунок основної заробітної плати виконуємо у таблиці 6.4.

При тривалості робочого місяця 22 дні, за місячним окладом розраховуємо середньоденну зарплату (4 стовпчик таблиці). Зайнятість НДР (5 стовпчик) визначаємо за календарним графіком виконання магістерської роботи.

Таблиця 6.4 – Розрахунок основної і заробітної плати

Посада виконавця	Кількість, людей	Місячний оклад, грн.	Середньоденна зарплата, грн.	Зайнятість НДР, днів	Підсумкова сума основної зарплати, грн.
1	2	3	4	5	6
Керівник	1	9500	431,82	53	22886,36
Магістрант	1	1668,72	75,86	67	5082,86
Спеціаліст з охорони праці	1	8300	377,27	8	1672,73
Економіст	1	9200	418,18	4	3018,18
Нормоконт ролер	1	7250	329,55	4	1318,18
Підсумок	5	–	1632,68	132	33978,32

До підсумкової суми основної зарплати робітників $ЗП_0 = 33978,32$ грн додається премія в розмірі 10 %:

$$ЗП_{\text{премія}} = ЗП_0 \cdot 0,1 = 33978,32 \cdot 0,1 = 3397,83 \text{ грн.} \quad (6.4)$$

Заробітна плата основна і додаткова

$$ЗП = ЗП_0 + ЗП_д = 33978,32 + 3397,83 = 37376,15 \text{ грн.} \quad (6.5)$$

6.1.5 Внески на соціальні заходи

Внески на соціальні заходи визначають у відсотковому відношенні від суми основної і додаткової зарплати з урахуванням премій:

$$B_{cз} = \frac{(ЗП_о + ЗП_д) \cdot Y_{cз}}{100\%} \quad (6.6)$$

$$B_{cз} = \frac{(33978,32 + 3397,83) \cdot 22}{100} = 8222,75 \text{ грн,}$$

де $Y_{c/стр}$ – питома вага внесків на соціальні заходи, визначається за даними діючого законодавства, %, приймаємо 22 %.

6.1.6 Накладні витрати

Накладні витрати розраховуються у відсотках від основної заробітної плати виконавців (20 %)

$$B_n = ЗП_о \cdot 20 / 100 = 33978,32 \cdot 20 / 100 = 6795,66 \text{ грн.} \quad (6.7)$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 6.5.

Кошторис витрат на виконання магістерської роботи складає 65173,16 грн.

Таблиця 6.5 – Кошторис витрат на виконання НДР

Витрати	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
Матеріали за винятком зворотних відходів	971,75	1,68
Паливо й енергія з боку	444,20	0,77
Амортизація універсального устаткування	3920,00	6,79
Заробітна плата основна і додаткова	37376,15	64,79
Відрахування на соціальні заходи	8222,75	14,24
Накладні витрати	6795,66	11,77
Усього	57730,51	100

6.2 Висновки до розділу

Складено кошторис витрат на виконання магістерської роботи в сумі 57730,51 грн за наступними статтями:

- матеріали за винятком зворотних відходів – 1,68;
- паливо й енергія з боку – 0,77;
- амортизація універсального устаткування – 6,79;
- заробітна плата основна і додаткова – 64,79;
- внески на соціальні заходи – 14,24 %;
- накладні витрати – 11,77 %.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз літературних джерел за тематикою дослідження. Обґрунтовано актуальність дослідження складу паливоповітряної суміші на техніко-економічні показники двотактного двигуна, оскільки у відомих розрахункових методиках не враховується добавка масла до бензину.

Складено розрахункову методику з використанням комп'ютерної програми Engine Calculation.

З огляду на вміст масла в паливі 2-Т двигунів у кількості від 2,4 % до 7,9 % (за масою), та відмінності у фізико-хімічних властивостях моторного масла та бензину, уточнено ряд величин:

Визначено фізико-хімічні властивості сумішевого палива (бензин–масло) двотактного двигуна при співвідношенні масла до бензину 1:15, 1:25, 1:33, 1:50. При врахуванні масла в паливі (у двигуна ПД-10М пропорція 1:15) в паливі змінюються найбільше:

- молекулярна маса – зростає на 22,3 %;
- щільність палива – зростає на 1,2 %;
- теоретично необхідна кількість повітря ℓ_0 – зростає на 0,64 %;
- вміст водню Н – зростає на 0,43 %;
- теплоємність c_p при стисненні – зменшується на 0,39 %;
- теплоємність c_v при стисненні – зменшується на 0,43 %;

Уточнення і врахування величини ізобарної та ізохорної теплоємності для процесу стиснення двигуна ПД-10М, елементарного складу палива; молекулярної маси; нижчої теплоти згорання H_u ; показника адіабати k ; щільності палива; теоретично необхідної кількості повітря ℓ_0 , L_0 призвела до наступної зміни ефективних показників двигуна:

- ефективна потужність N_e зменшується на 4,45 %;
- середній ефективний тиск p_e зменшується на 4,44 %;
- ефективний ККД η_e зростає на 0,12 %;

– питома ефективна витрата палива g_e зростає на 4,64 %.

Таким чином, врахування добавки масла до бензину у 2-тактних ДВЗ, тобто врахування його теплофізичних показників при теплових розрахунках за фізико-математичною моделлю професора Я. О. Єгорова, яка практично використовується у формі комп'ютерної програми Engine Calculation, дозволяє підвищити точність розрахунку до 4,64 %.

Визначено основні небезпеки про роботі з 2-тактними ДВЗ в умовах дослідницької лабораторії. Розроблено заходи по усуненню цих небезпек і для забезпечення безпечних умов дослідника.

Складено кошторис витрат на виконання магістерської роботи в сумі 57730,51 грн.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Бояршинов, О. Д.** Математическая модель расчета двухтактных двигателей с кривошипно-камерной продувкой [Текст] / О. Д. Бояршинов // Молодой учёный. – 2016. – № 8 (112). – С. 188–194.
2. **Корогодський, В. А.** Наукові основи перспективних робочих процесів двигунів з іскровим запалюванням при внутрішньому сумішоутворенні [Текст] : дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки, 14 Електрична інженерія / В. А. Корогодський. – Харків, 2018. – 499 с.
3. **Stanzer, S.** Konstruktion und Auslegung eines schadstoffarmen 2-Takt Hochleistungsmotors mit Direkteinspritzung [Текст] : Diplomarbeit / Stefan Stanzer. – Technische Universität Graz. – 2013. – 141 P.
4. **Василенко, О. В.** Удосконалення робочого процесу двотактного двигуна з іскровим запалюванням і безпосереднім вприскуванням палива [Текст] : автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки / О. В. Василенко. – Х. – 2016. – 21 с.
5. **Орлин, А. С.** Процессы выхлопа и продувки в двухтактных быстроходных двигателях [Текст] / А. С. Орлин. – М. : Оборонгиз, 1940. – 100 с.
6. **Шароглазов, Б. А.** Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов [Текст] : Учебник / Б. А. Шароглазов, М. Ф. Фарафонов, В. В. Клементьев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – 403 с.
7. **Korohodskyi, V.** Determining the characteristics for the rational adjusting of an fuel-air mixture composition in a two-stroke engine with internal mixture formation [Текст] / V. Korohodskyi, S. Kryshchyna, V. Migal, A. Rogovyi, A. Polivyanchuk, G. Sly'ko, V. Manoylo, O. Vasylenko, O. Osetrov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – № 2/5 (104). – P. 39–52. DOI:

10.15587/1729-4061.2020.200766

8. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Теорія ДВЗ» для студентів спеціальності 7(8).05050304 «Двигуни внутрішнього згорання» всіх форм навчання [Текст] / Укл.: Г.І. Слинько, Я.О. Єгоров. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 50 с.

9. **Егоров, Я. А.** Физико-математическая модель рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания автотракторного типа [Текст] : Учеб. пособие / Я. А. Егоров. – К.: УМК ВО, 1991. – 56 с.

10. **Пикалов, С. Г.** Методические указания для бакалавров для выполнения практических занятий по дисциплине «Общая теория экологических систем» [Текст] / С. Г. Пикалов. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2017. – 86 с.

11. **Токарева, Л. В.** Бензорез абразивный «Мотор Січ МБА-300» : Руководство по эксплуатации 0580030000 РЭ [Текст] / Л. В. Токарева. – Запорожье : Мотор Січ, 2011. – 40 с.

12. Brush Cutters, Trimmers, Pruners, Pruning Saws, Hedge Trimmers, Ice Drills, Blowers : Workshop Manual 1019074-26 [Електронний ресурс]. – Husqvarna. – Режим доступу: www.mymowerparts.com

13. **Вейхман, Х. А.** Двигатели Д-54А, Д-40Р и Д-75 [Текст] : Руководство по эксплуатации / Х. А. Вейхман, И. А. Проскурин, Г. А. Рыстенко, В. Т. Сепитый. – М. : Машгиз, 1960. – 254 с.

14. **Юнусова, Т. В.** Моторы лодочные подвесные «Мотор Січ ПЛМ-40Э» («МС-40Э»), «Мотор Січ ПЛМ-40ЭД» («МС-40ЭД») : Руководство по эксплуатации 0585100000-02 РЭ [Текст] / Т. В. Юнусова. – Запорожье : Мотор Січ, 2012. – 32 с.

15. Руководство по эксплуатации мотоцикла "Минск М 125", "Минск М 125Х" [Електронний ресурс]. – Сайт «Запчасти к мотоциклам Минск». – Режим доступу: <http://new-minsk.ru/techdoc.php>

16. Моторы лодочные подвесные «Вихрь-25Р электрон», «Вихрь-30Р электрон», «Вихрь-30 электрон», «Вихрь-30», «Вихрь-М» и «Вихрь-30Р» :

Техническое описание и инструкция по эксплуатации 4.000-700ТО [Текст] / Куйбышев, 1988. – 61 с.

17. Руководство по эксплуатации, ремонт и регулировка мотоциклов Jawa 638 (Ява 350/638 12В) [Электронный ресурс]. – Сайт «roker.kiev.ua». – Режим доступа: https://roker.kiev.ua/techinfo/638/rukovodstvo_instruktsiya_jawa-638/rukovodstvo_jawa_638.html

18. Двигатель карбюраторный Д-300 : Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Сайт «d300engine.narod.ru». – Режим доступа: <http://d300engine.narod.ru/Files/D300manual.pdf>

19. Методичні рекомендації для практичної роботи та виконання індивідуальних завдань з дисципліни «Екологізація двигунів внутрішнього згорання» для студентів, що навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» (освітня програма «Двигуни внутрішнього згорання»), усіх форм навчання. Частина 2 [Текст] / Укл.: Г. І. Слинько, Р. Ф. Сухонос – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 23 с.

20. **Неткачев, Д. И.** Влияние плотности моторного масла на его показатели при использовании в ДВС [Электронный ресурс] / Д. И. Неткачев. – Сайт «maslo.biz». – Режим доступа : <https://maslo.biz/interesting/plotnost.html>

21. Методичні вказівки до індивідуальних розрахунково-графічних робіт з теплового та динамічного розрахунків ДВЗ для студентів спеціальності 7(8).05050304 «Двигуни внутрішнього згорання» всіх форм навчання [Текст] / Укл. Г. І. Слинько, Р. Ф. Сухонос – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 30 с.

22. **Быстрицкий, Г. Ф.** Основы энергетики: Учебник [Текст] / Г. Ф. Быстрицкий – М. : ИНФРА-М, 2005. – 278 с.

23. Методические указания к практической работе по дисциплине «Технология получения специальных продуктов нефтепереработки» для студентов направления подготовки 18.03.01 Химическая технология [Электронный ресурс]. – Ставрополь, 2015. – 60 с. – Режим доступа : https://www.ncfu.ru/export/uploads/imported-from-dle/op/doclinks2015/Metod_TPSPN_18.03.01_2015.pdf

24. **Каменчук, Я. А.** Отработанные нефтяные масла и их регенерация (на примере трансформаторных и промышленных масел) [Текст] : автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. хим. наук : специальность: 02.00.13 – нефтехимия / Я. А. Каменчук. – Томск. – 2007. – 23 с.

25. Удельная теплоемкость жидких веществ при 20°C [Электронный ресурс]. – Сайт «Ксирон Холод». – Режим доступа: <https://www.xiron.ru/content/view/30534/137/>

26. Физико-химические и огнеопасные свойства различных веществ. Полезные справочники [Электронный ресурс]. – Сайт «Проектант». – 2008–2021. – Режим доступа: <https://www.proektant.org/index.php/topic,1701.0.html>

27. Справочные данные по физико-химическим и пожароопасным свойствам веществ и материалов [Электронный ресурс]. – Сайт «Портал о строительстве и ремонте». – Режим доступа : http://infremont.ru/fire_safety/fire75/

28. **Цедерберг, Н. В.** Теплопроводность газов и жидкостей [Текст] / Н. В. Цедерберг. – М. : Госэнергоиздат, 1963. – 408 с.

29. **Бабичев, А. П.** Физические величины. Справочник. [Текст] / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др.; Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

30. Система питания пускового двигателя ПД-10 [Электронный ресурс]. – Сайт «Сельмашкомплект». – Режим доступа: <http://selmashkomplekt.com/infoblock/systema-pitaniya-puskovogo-dvigatelya-pd-10/>

31. **Долинский, А. А.** Теплофизические параметры и экспериментальное оборудование для получения жидких биотоплив из растительных масел и спиртов [Текст] / А. А. Долинский, Л. Н. Грабов, В. И. Мерций, А. И. Шматок // Промышленная теплотехника. – 2010. – Т. 32. – № 3. – С. 50–58.

32. **Калейников, Г.** Сжигание отработанных масел в виде эмульсий [Текст] / Г. Калейников, А. Немец // АКВА-ТЕРМ. – 2012. – № 1. – С. 26–29.

33. Свойства топлива и масел [Электронный ресурс]. – Сайт

«Thermalinfo.ru». – Режим доступу: <http://thermalinfo.ru/svoystva-zhidkostej/toplivo-i-masla/svoystva-topliva-i-masel>

34. Air - Specific Heat vs. Temperature and Constant Pressure [Електронний ресурс]. – Сайт «The Engineering ToolBox». – Режим доступу: https://www.engineeringtoolbox.com/air-specific-heat-capacity-d_705.html

35. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості і напруженості праці» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх спеціальностей та усіх форми навчання [Текст] / Укл.: М. І. Лазуткін, М. О. Журавель. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018 р. – 44 с.

36. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах (проектах) зі спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування» за освітньою програмою (спеціалізацією) – «Двигуни внутрішнього згорання» для усіх форм навчання [Текст] / Укл. : М. І. Лазуткін – Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2020 – 34 с.

37. Действия работников организаций и населения в чрезвычайных ситуациях техногенного характера, а также при угрозе совершения террористических акций [Електронний ресурс]. – Новосибирск : ИХКГ СО РАН, 2006. – Режим доступу: <http://kinetics.nsc.ru/images/Docs/GOChS/GOChSLecture4.pdf>

38. Методичні рекомендації щодо виконання економічного розділу дипломного проекту здобувачами вищої освіти технічних спеціальностей за освітнім ступенем «магістр» [Текст] / Каф. підприємництва, торгівлі та біржової діяльності. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 12 с.

Додаток А

Таблиця А.1 – Протокол теплового розрахунку (номінальний режим, паливо – бензин, розрахунок з базовими величинами)

φ, °ПКВ	P, кПа	T, К	m, г	V·10 ³ , м ³
0	88331,1	541,5	0,242	0,412
10	89029,0	543,2	0,242	0,410
20	90920,7	547,0	0,242	0,405
30	94136,1	552,9	0,242	0,395
40	98906,4	561,3	0,242	0,382
50	105591,9	572,2	0,242	0,365
60	114727,6	586,2	0,242	0,344
70	127097,8	603,8	0,242	0,320
80	143853,5	625,5	0,242	0,293
90	166696,9	652,2	0,242	0,263
100	198164,5	684,8	0,242	0,232
110	242039,4	724,2	0,242	0,201
120	303869,5	771,5	0,242	0,171
130	391329,8	827,3	0,242	0,142
140	513385,5	891,2	0,242	0,117
150	675320,9	959,8	0,242	0,096
160	865220,7	1025,1	0,242	0,080
170	1059214,5	1098,8	0,242	0,070
180	1318096,5	1295,5	0,243	0,067
190	1645306,8	1673,6	0,247	0,070
200	1928697,9	2189,5	0,253	0,080
210	1812039,8	2430,2	0,256	0,096
220	1425089,2	2326,3	0,257	0,117
230	1081120,3	2149,1	0,257	0,142
240	835555,3	1994,6	0,257	0,171
250	662834,8	1864,7	0,257	0,201
260	540504,6	1756,1	0,257	0,232
270	452740,6	1665,5	0,257	0,263
280	388885,5	1589,9	0,257	0,293
290	341838,6	1526,8	0,257	0,320
300	306848,1	1474,2	0,257	0,344
310	280701,9	1430,2	0,257	0,365
320	261206,2	1393,6	0,257	0,382
330	246853,9	1363,3	0,257	0,395
340	236615,6	1338,4	0,257	0,405
350	229808,0	1318,4	0,257	0,410
360	223967,2	1304,0	0,257	0,412

ПД-10М

L_i = 156,358059 Дж/циклP_i = 452033,855466 Паη_i = 0,356000g_i = 0,354571 кг/(кВт·год)

Таблиця А.2 – Протокол динамічного розрахунку

φ, °ПКВ	P, Н	N, Н	S, Н	T, Н	K, Н	M, Н·м
0	2808,2	0,0	2808,2	0,0	-2808,2	0,0
10	2816,5	-134,7	2819,7	-356,5	-2797,1	-15,2
20	2834,6	-267,8	2847,2	-717,8	-2755,2	-30,5
30	2845,7	-395,0	2873,0	-1080,7	-2662,0	-45,9
40	2824,7	-507,3	2869,9	-1427,1	-2489,9	-60,7
50	2742,4	-591,0	2805,4	-1720,9	-2215,5	-73,1
60	2570,3	-630,3	2646,4	-1910,8	-1831,0	-81,2
70	2285,9	-611,5	2366,3	-1938,9	-1356,4	-82,4
80	1878,1	-528,4	1951,1	-1757,9	-846,5	-74,7
90	1351,3	-386,5	1405,5	-1351,3	-386,5	-57,4
100	728,7	-205,0	757,0	-753,2	-75,4	-32,0
110	54,4	-14,5	56,3	-56,1	4,9	-2,4
120	-606,1	148,6	-624,1	599,2	-174,3	25,5
130	-1167,8	251,7	-1194,6	1056,4	-557,9	44,9
140	-1534,4	275,6	-1558,9	1197,4	-998,3	50,9
150	-1624,1	225,5	-1639,7	1007,3	-1293,8	42,8
160	-1430,7	135,2	-1437,1	616,4	-1298,2	26,2
170	-1007,8	48,2	-1008,9	222,4	-984,1	9,5
180	-79,7	0,0	-79,7	0,0	-79,7	0,0
190	1377,3	65,8	1378,9	304,0	1344,9	12,9
200	2897,0	273,7	2909,9	1248,0	2628,7	53,0
210	3001,7	416,7	3030,5	1861,7	2391,2	79,1
220	2175,7	390,7	2210,5	1697,8	1415,5	72,2
230	1639,2	353,2	1676,8	1482,8	783,1	63,0
240	1557,5	381,9	1603,7	1539,8	448,0	65,4
250	1766,8	472,6	1828,9	1821,9	160,2	77,4
260	2121,8	596,9	2204,2	2193,2	-219,4	93,2
270	2515,3	719,5	2616,2	2515,3	-719,5	106,9
280	2875,3	808,9	2986,9	2691,1	-1295,9	114,4
290	3159,8	845,2	3270,9	2680,1	-1875,0	113,9
300	3352,1	822,0	3451,4	2492,0	-2387,9	105,9
310	3455,0	744,5	3534,3	2168,1	-2791,2	92,1
320	3485,2	625,9	3540,9	1760,8	-3072,1	74,8
330	3467,2	481,3	3500,4	1316,8	-3243,3	56,0
340	3427,5	323,8	3442,8	868,0	-3331,5	36,9
350	3389,4	162,0	3393,2	429,0	-3366,0	18,2
360	3360,1	0,0	3360,1	0,0	-3360,1	0,0

Таблиця А.3 – Протокол теплового розрахунку (номінальний режим, паливо – бензин, розрахунок із зкоригованими величинами c_p , c_v)

φ , °ПКВ	P , кПа	T , К	m , г	$V \cdot 10^3$, м ³
0	88328,3	541,4	0,242	0,412
10	88962,7	542,8	0,242	0,410
20	90722,2	545,8	0,242	0,405
30	93725,5	550,5	0,242	0,395
40	98183,0	557,1	0,242	0,382
50	104421,1	565,9	0,242	0,365
60	112921,5	577,0	0,242	0,344
70	124384,7	590,9	0,242	0,320
80	139829,8	608,0	0,242	0,293
90	160749,1	629,0	0,242	0,263
100	189341,5	654,3	0,242	0,232
110	228844,2	684,7	0,242	0,201
120	283935,1	720,9	0,242	0,171
130	360970,0	763,2	0,242	0,142
140	467179,1	811,0	0,242	0,117
150	606450,4	861,9	0,242	0,096
160	768240,9	910,2	0,242	0,080
170	930256,5	965,1	0,242	0,070
180	1131178,6	1111,8	0,243	0,067
190	1474794,6	1500,2	0,247	0,070
200	1790642,6	2032,8	0,253	0,080
210	1708401,5	2291,2	0,256	0,096
220	1349293,1	2202,6	0,257	0,117
230	1025304,8	2038,1	0,257	0,142
240	793549,5	1894,3	0,257	0,171
250	630346,1	1773,3	0,257	0,201
260	514649,0	1672,1	0,257	0,232
270	431586,3	1587,7	0,257	0,263
280	371124,0	1517,3	0,257	0,293
290	326567,6	1458,6	0,257	0,320
300	293432,6	1409,7	0,257	0,344
310	268685,0	1369,0	0,257	0,365
320	250251,4	1335,2	0,257	0,382
330	236707,4	1307,3	0,257	0,395
340	227080,3	1284,5	0,257	0,405
350	220725,3	1266,3	0,257	0,410
360	215353,5	1253,4	0,257	0,412

ПД-10М

 $L_i = 149,405394$ Дж/цикл $P_i = 431933,581724$ Па $\eta_i = 0,340170$ $g_i = 0,371071$ кг/(кВт·год)

Таблиця А.4 – Протокол теплового розрахунку (номінальний режим, паливо – 1:50)

φ , °ПКВ	P, кПа	T, К	m, г	$V \cdot 10^3$, м ³
0	88328,3	541,4	0,242	0,412
10	88962,9	542,8	0,242	0,410
20	90722,8	545,8	0,242	0,405
30	93726,6	550,5	0,242	0,395
40	98185,0	557,2	0,242	0,382
50	104424,3	565,9	0,242	0,365
60	112926,3	577,0	0,242	0,344
70	124391,7	590,9	0,242	0,320
80	139840,1	608,1	0,242	0,293
90	160764,3	629,0	0,242	0,263
100	189363,7	654,4	0,242	0,232
110	228877,1	684,8	0,242	0,201
120	283984,4	721,0	0,242	0,171
130	361044,3	763,3	0,242	0,142
140	467291,0	811,2	0,242	0,117
150	606615,7	862,2	0,242	0,096
160	768470,9	910,5	0,242	0,080
170	930499,1	965,3	0,242	0,070
180	1131115,0	1111,7	0,243	0,067
190	1473235,6	1498,7	0,247	0,070
200	1787373,6	2029,3	0,253	0,080
210	1704801,3	2286,6	0,256	0,096
220	1346438,0	2198,1	0,257	0,117
230	1023187,6	2034,1	0,257	0,142
240	791950,0	1890,7	0,257	0,171
250	629104,5	1770,0	0,257	0,201
260	513657,4	1669,1	0,257	0,232
270	430772,2	1584,9	0,257	0,263
280	370438,3	1514,7	0,257	0,293
290	325976,2	1456,2	0,257	0,320
300	292911,4	1407,4	0,257	0,344
310	268216,8	1366,8	0,257	0,365
320	249823,3	1333,0	0,257	0,382
330	236309,8	1305,2	0,257	0,395
340	226705,6	1282,5	0,257	0,405
350	220367,5	1264,3	0,257	0,410
360	215013,3	1251,5	0,257	0,412

ПД-10М

 $L_i = 148,929025 \text{ Дж/цикл}$ $P_i = 430556,390784 \text{ Па}$ $\eta_i = 0,340296$ $g_i = 0,371533 \text{ кг/(кВт·год)}$

Таблиця А.5 – Протокол теплового розрахунку (номінальний режим, паливо – 1:33)

φ , °ПКВ	P, кПа	T, К	m, г	$V \cdot 10^3$, м ³
0	88328,3	541,4	0,242	0,412
10	88963,0	542,8	0,242	0,410
20	90723,1	545,8	0,242	0,405
30	93727,2	550,5	0,242	0,395
40	98186,0	557,2	0,242	0,382
50	104425,8	565,9	0,242	0,365
60	112928,6	577,0	0,242	0,344
70	124395,2	591,0	0,242	0,320
80	139845,3	608,1	0,242	0,293
90	160771,9	629,1	0,242	0,263
100	189374,8	654,4	0,242	0,232
110	228893,5	684,9	0,242	0,201
120	284009,0	721,1	0,242	0,171
130	361081,5	763,4	0,242	0,142
140	467347,1	811,3	0,242	0,117
150	606698,5	862,3	0,242	0,096
160	768586,1	910,6	0,242	0,080
170	930628,0	965,4	0,242	0,070
180	1131143,3	1111,8	0,243	0,067
190	1472663,3	1498,1	0,247	0,070
200	1786111,1	2027,9	0,253	0,080
210	1703397,3	2284,8	0,256	0,096
220	1345323,2	2196,4	0,257	0,117
230	1022361,2	2032,6	0,257	0,142
240	791325,9	1889,3	0,257	0,171
250	628620,2	1768,7	0,257	0,201
260	513270,8	1667,9	0,257	0,232
270	430455,0	1583,8	0,257	0,263
280	370171,1	1513,7	0,257	0,293
290	325745,8	1455,2	0,257	0,320
300	292708,5	1406,5	0,257	0,344
310	268034,5	1365,9	0,257	0,365
320	249656,8	1332,2	0,257	0,382
330	236155,1	1304,4	0,257	0,395
340	226559,8	1281,8	0,257	0,405
350	220228,3	1263,6	0,257	0,410
360	214881,1	1250,8	0,257	0,412

ПД-10М

 $L_i = 148,741806 \text{ Дж/цикл}$ $P_i = 430015,136709 \text{ Па}$ $\eta_i = 0,340353$ $g_i = 0,371758 \text{ кг/(кВт·год)}$

Таблиця А.6 – Протокол теплового розрахунку (номінальний режим, паливо – 1:25)

φ , °ПКВ	P, кПа	T, К	m, г	$V \cdot 10^3$, м ³
0	88328,3	541,4	0,242	0,412
10	88963,1	542,8	0,242	0,410
20	90723,4	545,8	0,242	0,405
30	93727,7	550,5	0,242	0,395
40	98186,9	557,2	0,242	0,382
50	104427,4	565,9	0,242	0,365
60	112931,0	577,0	0,242	0,344
70	124398,7	591,0	0,242	0,320
80	139850,5	608,1	0,242	0,293
90	160779,4	629,1	0,242	0,263
100	189385,9	654,4	0,242	0,232
110	228910,0	684,9	0,242	0,201
120	284033,6	721,1	0,242	0,171
130	361118,6	763,5	0,242	0,142
140	467403,1	811,4	0,242	0,117
150	606781,4	862,4	0,242	0,096
160	768701,5	910,8	0,242	0,080
170	930744,3	965,6	0,242	0,070
180	1131066,0	1111,7	0,243	0,067
190	1471751,3	1497,2	0,247	0,070
200	1784247,4	2025,9	0,253	0,080
210	1701355,1	2282,2	0,256	0,096
220	1343704,4	2193,9	0,257	0,117
230	1021160,5	2030,3	0,257	0,142
240	790418,5	1887,3	0,257	0,171
250	627915,7	1766,9	0,257	0,201
260	512708,0	1666,2	0,257	0,232
270	429992,8	1582,2	0,257	0,263
280	369781,7	1512,2	0,257	0,293
290	325409,9	1453,8	0,257	0,320
300	292412,4	1405,1	0,257	0,344
310	267768,4	1364,6	0,257	0,365
320	249413,4	1331,0	0,257	0,382
330	235929,0	1303,3	0,257	0,395
340	226346,7	1280,6	0,257	0,405
350	220024,7	1262,5	0,257	0,410
360	214687,4	1249,7	0,257	0,412

ПД-10М

 $L_i = 148,472320$ Дж/цикл $P_i = 429236,048167$ Па $\eta_i = 0,340418$ $g_i = 0,371948$ кг/(кВт·год)

Таблиця А.7 – Протокол теплового розрахунку (номінальний режим, паливо – 1:15)

φ , °ПКВ	P, кПа	T, К	m, г	$V \cdot 10^3$, м ³
0	88328,3	541,4	0,242	0,412
10	88963,3	542,8	0,242	0,410
20	90724,0	545,8	0,242	0,405
30	93729,0	550,6	0,242	0,395
40	98189,0	557,2	0,242	0,382
50	104430,6	565,9	0,242	0,365
60	112935,9	577,1	0,242	0,344
70	124406,0	591,0	0,242	0,320
80	139861,0	608,2	0,242	0,293
90	160794,7	629,1	0,242	0,263
100	189408,3	654,5	0,242	0,232
110	228943,1	685,0	0,242	0,201
120	284083,0	721,3	0,242	0,171
130	361192,9	763,6	0,242	0,142
140	467514,7	811,6	0,242	0,117
150	606945,7	862,6	0,242	0,096
160	768929,3	911,1	0,242	0,080
170	930982,9	965,8	0,242	0,070
180	1130995,0	1111,6	0,243	0,067
190	1470058,4	1495,6	0,247	0,070
200	1780700,1	2022,0	0,253	0,080
210	1697448,8	2277,2	0,256	0,096
220	1340606,6	2189,1	0,257	0,117
230	1018863,3	2026,0	0,257	0,142
240	788683,0	1883,4	0,257	0,171
250	626568,4	1763,3	0,257	0,201
260	511632,0	1662,9	0,257	0,232
270	429109,5	1579,1	0,257	0,263
280	369037,7	1509,3	0,257	0,293
290	324768,2	1451,1	0,257	0,320
300	291846,9	1402,6	0,257	0,344
310	267260,4	1362,2	0,257	0,365
320	248949,0	1328,7	0,257	0,382
330	235497,6	1301,0	0,257	0,395
340	225940,2	1278,5	0,257	0,405
350	219636,5	1260,4	0,257	0,410
360	214318,4	1247,7	0,257	0,412

ПД-10М

 $L_i = 147,956875$ Дж/цикл $P_i = 427745,887405$ Па $\eta_i = 0,340560$ $g_i = 0,372514$ кг/(кВт·год)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

КАФЕДРА «ДВИГУНИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ»

АКТ

впровадження результатів НДР

01 грудня 2021 р.

м. Запоріжжя

Складено комісією у складі:

Голови зав. кафедри «ДВЗ», д.т.н., професор Георгій СЛИНЬКО,
члени комісії к.т.н., доцент кафедри «ДВЗ» Володимир МАЗІН,
старший викладач кафедри «ДВЗ» Роман СУХОНОС,
старший викладач кафедри «ДВЗ» Віра СЛИНЬКО.

Комісія провела роботу по визначенню фактичного впровадження науково-дослідної роботи НДР 02211 «Теплові та газодинамічні процеси в двигунах внутрішнього згорання та системах»,

виконаної у НУ «Запорізька політехніка» згідно п. 1.1 «Дослідження теплових та газодинамічних процесів процеси в двигунах внутрішнього згорання та системах машинобудування» тематичного плану НДР 02211 на 2021-2022 н.р.,
та установила, що результати вказаної роботи впроваджені в навчальний процес кафедри «Двигуни внутрішнього згорання» НУ «Запорізька політехніка».

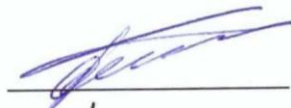
Вид та об'єм впровадження уточнену фізико-математичну модель 2-го рівня 2-ї модифікації розрахунку термодинамічного циклу ДВЗ, яка практично використовується у вигляді комп'ютерної програми Engine Calculation,
врахуванням добавки масла до бензину у 2-тактних ДВЗ, впроваджено в курс дисципліни «Теорія ДВЗ» підготовки бакалаврів, що навчаються за ОПП «Двигуни внутрішнього згорання» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

Досягнуті технічні результати, їх рівень підвищення точності теплового розрахунку 2-тактних ДВЗ до 4,64 %; підвищення рівня підготовки фахівців ОПП «Двигуни внутрішнього згорання» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

Складено в 2 прим.: 1-й прим. в НДЧ НУ «Запорізька політехніка»


2-й прим. виконавцю

Голова комісії



Георгій СЛИНЬКО

Члени комісії



Володимир МАЗІН



Роман СУХОНОС



Віра СЛИНЬКО