

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний ін-т, Транспортний ф-т

(повне найменування інституту, факультету)

Двигуни внутрішнього згорання

(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження впливу параметрів паливоподачі на техніко-економічні показники двигуна ЯМЗ-238

Виконав: студент(ка) 2(м) курсу, групи T-419м  
Спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Двигуни внутрішнього згорання

Питляк М.Ф.

(прізвище та ініціали)

Керівник

д.т.н., проф. Слинко Г.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Циганов В.В.

(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.  
«07» 12 2020 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

Питляк Микола Федорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження впливу параметрів паливоподачі на техніко-економічні показники двигуна ЯМЗ-238

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 30.11.2020 року № 362

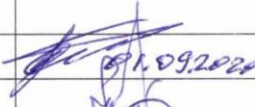
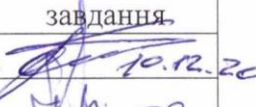
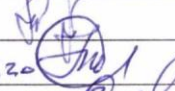
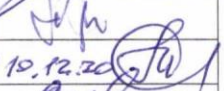
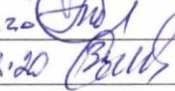
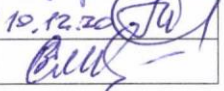


2. Строк подання студентом проекту (роботи) 05 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) 4-тактний дизельний двигун ЯМЗ-238Д

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз літератури за темою дослідження; тепловий розрахунок двигуна ЯМЗ-238Д на номінальному та дослідницьких режимах; дослідження впливу величини циклової подачі палива та коефіцієнту надлишку повітря на техніко-економічні показники двигуна; розрахунок економічної ефективності дослідження; розробка заходів з охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) креслення двигуна ЯМЗ-238 (повздовжній та поперечний перерізи)

## 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	 05.09.2020	 10.12.20
5	Лазуткін М.І., к.т.н., доцент	 20.11.20	 10.12.20
6	Левченко Н.М., д.н. держ. упр., професор	 10.12.20	 10.12.20
н/контроль	Слинько В.В., ст. викладач	 10.12.20	 10.12.20

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2020 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	05.09.2020	
2	Аналітичний огляд літератури	15.09.2020	
3	Методи досліджень та устаткування	01.10.2020	
4	Тепловий розрахунок двигуна ЯМЗ-238Д	15.10.2020	
5	Дослідження впливу величини циклової подачі палива та коефіцієнту надлишку повітря на техніко-економічні показники двигуна	01.11.2020	
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	10.11.2020	
7	Економічне обґрунтування наукової роботи	20.11.2020	
8	Формування висновків з магістерської роботи	25.11.2020	
9	Оформлення магістерської роботи, нормоконтроль	30.11.2020	
10	Розробка презентації та доповіді до захисту, виконання креслень	04.12.2020	
11	Подання роботи до захисту	05.12.2020	

Студент(ка)

  
(підпис)

Питляк М.Ф.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

  
(підпис)

Слинько Г.І.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 84 с., 12 табл., 14 рис., 2 дод., 36 джерел.

КОЕФІЦІЄНТ НАДЛИШКУ ПОВІТРЯ, ВИТРАТА ПАЛИВА, ДВИГУН  
ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, ДИЗЕЛЬ, ПАЛИВО, ПОТУЖНІСТЬ,  
РОБОЧИЙ ПРОЦЕС, ТЕМПЕРАТУРА, ТИСК

Актуальність теми дослідження полягає у підвищенні ефективних та економічних показників дизельних ДВЗ.

Об'єкт дослідження – система живлення 4-тактного дизельного двигуна ЯМЗ-238 з турбонаддувом.

Предмет дослідження – ефективні показники двигуна ЯМЗ-238.

Метою даної роботи є підвищення ефективних показників 4-тактного дизельного ДВЗ на прикладі двигуна ЯМЗ-238.

Проведено теплові розрахунки із змінюваними дослідницькими факторами, коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha$  і цикловим масовим зарядом палива  $\Delta m_{\text{ци}}$ . Коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  змінювався від  $\alpha = 1,5$  до  $\alpha = 2,3$ .

Зростання  $\alpha$  з 1,7 до 1,9 призводить до наступних змін ефективних показників двигуна ЯМЗ-238Д: ефективна потужність  $N_e$  зменшується на 23,8 кВт (9,6 %); середній ефективний тиск  $p_e$  зростає на 91,5 кПа (9,6 %); ефективна питома витрата палива  $g_e$  скорочується на 1,0 %; ефективний ККД збільшується на 1,1 %.

Розглянуто питання безпечних умов праці при виконанні магістерської роботи, проведено економічний розрахунок витрат на проведення магістерської роботи дослідницького характеру.

# ЗМІСТ

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАК І СИМВОЛІВ

### ВСТУП

## 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Керування процесом паливоподачі в дизелях

1.2 Аналіз особливостей сумішоутворення і згорання в дизелях

1.3 Особливості роботи систем газотурбінного наддуву

1.4 Аналіз особливостей сумішоутворення і згорання в дизелях з газотурбінним наддувом

1.5 Висновки за розділом

## 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА УСТАТКУВАННЯ

2.1 Конструкція та технічна характеристика двигуна ЯМЗ-238

2.2 Методика теплового розрахунку ДВЗ

## 3 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ДВИГУНА ЯМЗ-238Д НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПАЛИВОПОДАЧІ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДВИГУНА ЯМЗ-238Д

4.1 Тепловий розрахунок двигуна на дослідницьких режимах паливоподачі

4.2 Аналіз результатів теплових розрахунків

4.3 Висновки за розділом

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

5.3 Заходи до забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

5.4 Заходи з пожежної безпеки

5.5 Заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.6 Висновки до розділу

## 6 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

6.1 Визначення витрат на проведення магістерської роботи

6.2 Розрахунок економічної ефективності науково-дослідної роботи

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

ДОДАТОК А ПРОТОКОЛИ ТЕПЛОВОГО РОЗРАХУНКУ ДВИГУНА

ЯМЗ-238Д В ПРОГРАМІ ENGINE CALCULATION

ДОДАТОК Б СПЕЦИФІКАЦІЇ СКЛАДАЛЬНИХ КРЕСЛЕНЬ

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАК І СИМВОЛІВ

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;

КДВЗ – комбінований двигун внутрішнього згорання;

ККД, к.к.д. – коефіцієнт корисної дії;

ПКВ – поворот колінчастого валу;

ТКР – турбокомпресор;

ФММ – фізико-математична модель;

ЯМЗ – Ярославський моторний завод;

$c_v$  – питома теплоємність робочого тіла при постійному об'ємі;

$D$  – діаметр циліндра, м;

$dQ_c$  – елементарна кількість теплоти, підведена до робочого тіла за рахунок згорання, Дж;

$dQ_w$  – елементарна кількість теплоти за рахунок зовнішнього теплообміну (теплообміну зі стінками), Дж;

$dx$  – масова частка палива, що згоріло в циліндрі до даного моменту;

$F_n$  – площа поршня;

$F_w$  – площа поверхні тепловіддачі,  $m^2$ ;

$G_T$  – година витрата палива, кг/год;

$g_e$  – питома ефективна витрата палива, кг/(кВт·год);

$g_i$  – питома індикаторна витрата палива, кг/(кВт·год);

$H_{uT}$  – теоретична теплота згорання (при повному згорянні палива), Дж/кг;

$H_u$  – дійсна теплота згорання палива, Дж/кг;

$k$  – показник адіабати;

$L_i$  – індикаторна робота, Дж/цикл;

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

$m_1$  – показник згоряння;

$N_e$  – ефективна потужність, кВт;

$p_e$  – середній ефективного тиск, Па;

$p_i$  – середній індикаторний тиск, Па;

$p_k$  – тиск наддуву, Па;

$p_o$  – атмосферний тиск, Па;

$r_k$  – радіус кривошипа;

$R$  – газова стала для робочого тіла;

$T$  – абсолютна температура робочого тіла, К;

$T_k$  – температура атмосферного повітря (на впуску), К;

$T_w$  – температура стінки, К;

$V_c$  – об'єм камери стиснення, м<sup>3</sup>;

$\alpha$  – коефіцієнт надлишку повітря;

$\alpha_d$  – найменший допустимий за ступенем димності відпрацьованих газів

коефіцієнт надлишку повітря;

$\alpha_w$  – коефіцієнт тепловіддачі на границі робоче тіло - тверда стінка;

$\Delta m_{вц}$  – циклова подача повітря, кг/цикл;

$\Delta m_{тц}$  – циклова подача палива, кг/цикл;

$\eta_e$  – ефективний ККД;

$\eta_i$  – індикаторний ККД;

$\eta_m$  – механічний ККД;

$\varphi$  – кут повороту кривошипа;

$\varphi_c$  і  $\varphi_z$  – кути повороту кривошипа, що відповідають початку процесу згоряння і його кінцю;

$\omega$  – кутова швидкість обертання кривошипа;

$\omega_d$  – коефіцієнт використання повітря.



## ВСТУП

Покращення ефективності роботи дизельних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) являє собою важливу задачу для промисловості та транспорту України. Дизелі середньої та великої потужності наразі є основним типом силової установки для вантажних автомобілів, військової та спеціальної техніки, суден, стаціонарних генераторів, ці двигуни широко поширені на залізничному транспорті.

Отримання найвигіднішої паливоповітряної суміші і раціонального закону згорання – складна науково-технічна задача, якій приділили увагу багато дослідників, в тому числі вітчизняних. Тому питання дослідження впливу параметрів паливоподачі на техніко-економічні показники дизельного двигуна (на прикладі двигуна ЯМЗ-238) є актуальним.

Об'єкт дослідження – система живлення 4-тактного дизельного двигуна ЯМЗ-238 з турбонаддувом.

Предмет дослідження – ефективні показники двигуна ЯМЗ-238.

Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи є підвищення ефективних показників 4-тактного дизельного ДВЗ на прикладі двигуна ЯМЗ-238.

Для досягнення мети, вирішено ряд завдань:

- визначити особливості робочих процесів у системі живлення двигуна ЯМЗ-238, оснащеного турбонаддувом;
- виконати теплові розрахунки двигуна ЯМЗ-238 при різному складі паливоповітряної суміші;
- визначити залежність ефективних показників (потужність, питома витрата палива, ККД, середній тиск) двигуна ЯМЗ-238 від складу суміші;
- обґрунтувати склад паливоповітряної суміші двигуна ЯМЗ-238 з

врахуванням сучасних екологічних норм;

- розробити рекомендації щодо покращення ефективних показників двигуна ЯМЗ-238;

- розрахунок економічну вартість виконання магістерської роботи;

- визначити техніко-економічну ефективність магістерської роботи дослідницького характеру;

Використані методи дослідження: методи аналізу наукової літератури та теоретичного узагальнення, методи статистичного аналізу, синтезу, спостереження, метод проектної розробки.

Наукова новизну роботи:

- за результатами теплового розрахунку визначено залежність ефективної потужності, середнього ефективного тиску, ефективного ККД, питомої ефективної витрати палива дизеля ЯМЗ-238Д від складу паливоповітряної суміші.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

- результати досліджень можуть бути використані для модернізації 4-тактного двигуна ЯМЗ-238 з метою покращення його ефективних показників, а також при регулювальних роботах в процесі експлуатації.

# 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

Двигуни родини ЯМЗ-236/238/240 відомі у великій кількості виконань – як атмосферні, так і з газотурбінним наддувом. Тому, згідно до теми магістерського дослідження впливу параметрів паливоподачі на техніко-економічні показники дизельного двигуна, в розділі наведено аналіз досліджень провідних фахівців за даним напрямком, визначено вимоги до основних показників дизеля, що впливають на його потужність та питому витрату палива.

## 1.1 Керування процесом паливоподачі в дизелях

Паливна система дизельного двигуна забезпечує зберігання, підготовку і подачу палива в певний період робочого циклу і його розподіл в камері згорання. Система також здійснює дозування палива при подачі його в циліндри [1]. Для згорання в циліндрі паливо розпилюється на краплі розміром в декілька мікрон. Цього вдається досягти при впорскуванні палива через отвір форсунки діаметром 0,1...0,8 мм зі швидкістю 200...400 м/с. Це потребує подачі палива під високим тиском (до 150...250 МПа) [1, 2].

При роботі двигуна зміна теплоти згорання паливоповітряної суміші можлива лише шляхом коригування якості суміші, тобто коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$ .

В дизельному ДВЗ кількість повітря, що потрапляє до циліндрів, залишається незмінною, а змінюється витрата впорскуваного через форсунку палива. Це призводить до зміни  $\alpha$ . Такий спосіб регулювання називається якісним регулюванням.

Специфічні особливості утворення робочої суміші і процесу згорання в

дизеля визначають можливість швидкого запалювання та повного згорання палива при великих коефіцієнтах надлишку повітря [1].

## 1.2 Аналіз особливостей сумішоутворення і згорання в дизелях

За характером процесу сумішоутворення і пов'язаного з ним процесу згорання можна говорити про три типи процесів сумішоутворення: об'ємному, плівковому і об'ємно-плівковому. Практично в сучасних дизельних двигунах реалізується змішаний тип сумішоутворення [3].

Повне згорання палива в циліндрі ДВЗ отримати дуже складно. В дизельних двигунах неповне згорання має місце навіть у тому випадку, коли є надлишок повітря в порівнянні з теоретично необхідною його кількістю для повного окислення основних компонентів палива. Це пояснюється труднощами організації рівномірного змішування палива з повітрям. Тому, хоча в камері згорання є надлишок повітря, в багатьох зонах камери згорання паливо не знаходить необхідного для повного згорання кисню за обмежений проміжок часу [4].

Своєрідність згорання палива в дизелях полягає ще й в тому, що при локальній нестачі повітря вуглець палива майже не згорає в оксид вуглецю, а утворює сажу. Процес утворення сажі інтенсифікується при тиску 5...7 МПа і температурах вище за 650...750 °С.

Якщо при незмінній кількості повітря, що надійшло до циліндра працюючого дизеля, збільшувати кількість впорскнутого палива, то повнота згорання прогресивно погіршується. Об'єктивно це погіршення можна спостерігати по збільшенню димності відпрацьованих газів. Ступінь димності оцінюють кількістю сажі, що міститься в одиниці об'єму відпрацьованих газів.

Ступінь димності  $R$  відпрацьованих газів залежить від коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  (див. рис. 1.1). Зазвичай димність висловлюють в  $\text{г/м}^3$  або у

відсотках (при використанні оптичних димомірів).

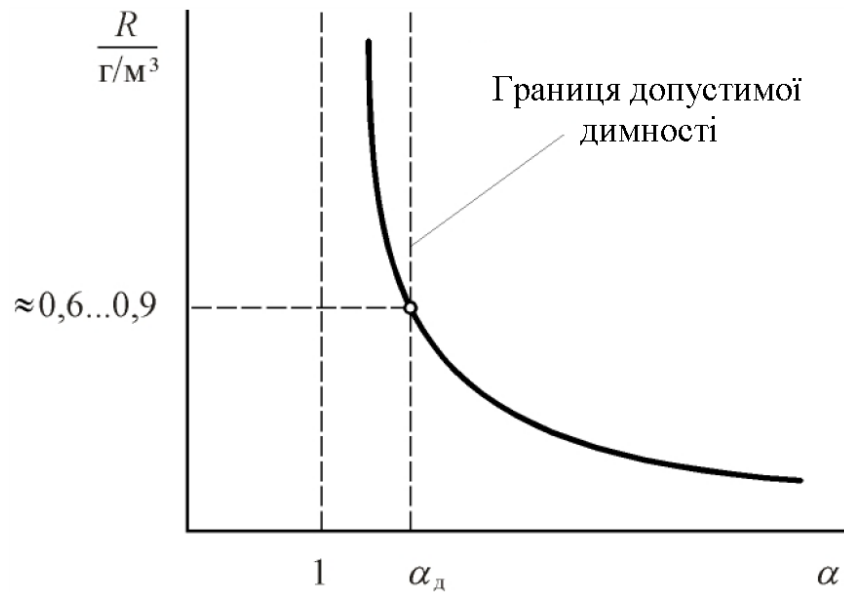


Рисунок 1.1 – Ступінь димності  $R$  відпрацьованих газів дизеля в залежності від коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  [4]

Існує найбільша допустима ступінь димності відпрацьованих газів, вище якої робота дизеля стає неекономічною і ненадійною.

Сажа є продуктом неповного згорання палива. Тому збільшення вмісту сажі у відпрацьованих газах пов'язано з підвищенням питомої витрати палива. Окрім того, сажа потрапляє у зазори між кільцями і поршневыми канавками, змішується з маслом, що сприяє нагароутворенню та пригоранню кілець. Це веде до порушення герметичності циліндра, що, в свою чергу – до зниження потужності і зростанню питомої витрати палива [4, 5].

Для швидкохідних дизелів найбільшу допустиму ступінь димності відпрацьованих газів  $R_d$  можна прийняти рівною (для нових дизелів) приблизно  $0,6 \text{ г/м}^3$ , або 85 % по фотодимоміру і 50 % по фільтродимоміру. Для дизелів, які працювали понад 6 місяців в експлуатації або після капітального ремонту,  $R_d$  може бути прийнятою рівною  $0,9 \text{ г/м}^3$ , або 90 % і 60 % по фото- і фільтродимоміру відповідно [4].

Коефіцієнт надлишку повітря, що відповідає найбільшій допустимій димності відпрацьованих газів, називається найменшим допустимим за

ступенем димності відпрацьованих газів коефіцієнтом надлишку повітря. Позначимо його через  $\alpha_d$ . Величина, зворотна  $\alpha_d$ , називається коефіцієнтом використання повітря ( $\omega_d = 1 / \alpha_d$ ). В сучасних дизелях  $\alpha_d$  значно більше одиниці. Залежно від способу утворення суміші (типу камери згоряння) його значення коливається в межах  $\alpha_d = 1,2 \dots 1,8$  ( $\omega_d$  має значення відповідно від 85 % до 55 %). Чим менше  $\alpha_d$ , тим більше кисню повітря в циліндрі дизеля використовується в процесі згоряння, тобто, більша кількість палива може бути спалено і, отже, більшу потужність зможе розвинути двигун. Таким чином,  $\alpha_d$  – один з найважливіших параметрів, що характеризують роботу дизеля [4].

Зі сказаного випливає, що в порівнянні з двигунами із зовнішнім сумішоутворенням, що працюють при значеннях коефіцієнта надлишку повітря, близькими до одиниці ( $\alpha \approx 1$ ), в дизелях гірше використовується робочий об'єм циліндра і, отже, питомі потужності виявляються меншими. Величина  $\alpha_d$  визначається якісним рівнем організації процесів сумішоутворення і згоряння в камерах згоряння дизелів. Зменшення  $\alpha_d$  в дизелях досягається, головним чином, організацією руху (завихренням) повітря в камері згоряння [5].

В роботі [20] розглянуто взаємозв'язок коефіцієнта надлишку повітря дизелів та умов згорання палива в циліндрі. При малих навантаженнях дизеля коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha = 3,5 \dots 4,0$ . Максимальне значення границі ефективного збіднення суміші визначається якістю процесів розпилювання палива, турбулізації заряду, інтенсифікації дифузійного догорання палива в останній частині заряду [20].

При значному збідненні суміші ( $\alpha > 4,0$ ), що відповідає дуже малим навантаженням дизеля, повнота згорання зменшується. З ростом навантаження в дизелях відбуваються наступні процеси. Зменшується коефіцієнт надлишку повітря. Зростає механічний ККД, знижується питома ефективна витрата палива [20]. Оптимальне значення ефективного ККД і питомої витрати палива в дизелі мають місце при певному навантаженні – 80...85 % від повного навантаження двигуна. Саме в цьому діапазоні навантажень має місце

максимальне значення ефективного ККД і мінімальне – питомої витрати палива. Коефіцієнт надлишку повітря при цьому складає  $\alpha = 1,4 \dots 1,5$ .

Як правило, збільшення циклової дози палива обмежене деяким значенням. Якщо цього не притримуватись, то подальше зростання навантаження при  $\alpha > 1,3$  приведе до різкого погіршення процесу згорання. В першу чергу, це пояснюється нестачею в повітрі кисню, необхідного для окиснення впорскнутого в циліндр палива. Повне згорання палива не забезпечиться, різко підвищиться температура газів в циліндрі. В умовах високої температури і нестачі кисню в повітрі незгорівше вуглеводневе паливо буде підвергтися піролізу (термічному крекінгу) з утворенням твердих частинок вуглецю – сажі. Дизель почне диміти, а підвищення температури може призвести до перегріву деталей дизеля і вивести дизель з ладу [20].

В роботі [21] запропоновано метод визначення сажі у відпрацьованих газах дизеля, в якому вміст сажі,  $\text{г/м}^3$ , можна визначити, якщо незгорівшу кількість вуглецю віднести до об'єму відпрацьованих газів за формулою

$$D = \frac{1000 \cdot C \cdot \rho_{\text{ог}} \cdot \alpha_m}{\alpha \cdot L_o + 1}. \quad (1.1)$$

З формули 1.1 випливає, що кількість сажі у відпрацьованих газах дизеля має прямопропорційну залежність від коефіцієнту надлишку повітря.

### 1.3 Особливості роботи систем газотурбінного наддуву

Найочевидніший спосіб підвищити потужність двигуна без збільшення його робочого об'єму – збільшення обертів колінчастого вала, але при цьому виникнуть серйозні проблеми, пов'язані з ростом сил інерції і різким збільшенням механічних навантажень на деталі силового агрегату, що призведе

до зниження ресурсу двигуна.

Тому найбільш дієвим способом в цій ситуації є збільшення кількості палива, що згоряє в циліндрі. А для забезпечення необхідного коефіцієнту надлишку повітря необхідно збільшити кількість повітря за допомогою наддуву. ДВЗ, оснащені агрегатами наддуву, називають комбінованими двигунами внутрішнього згорання (КДВЗ). Застосовують три типу наддуву [1, 6, 7]:

- резонансний, при якому використовується кінетична енергія об'єму повітря у впускному колекторі (нагнітач в цьому випадку не потрібний);

- механічний – в цьому варіанті компресор приводиться в обертання безпосередньо від двигуна ременем або шестеренним приводом та витрачає на привід частину його потужності;

- газотурбінний – коли турбіна приводиться в рух потоком відпрацьованих газів, а отримана механічна енергія передається на компресор.

З огляду на об'єкт дослідження, детальніше зупинимось на системах газотурбінного наддуву.

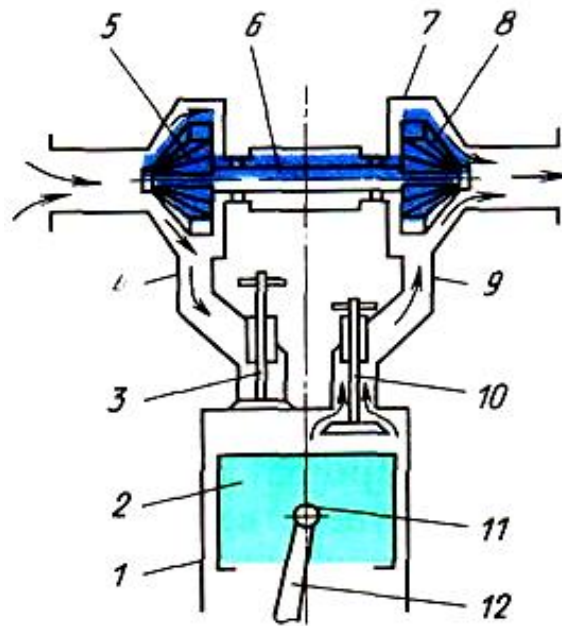
У турбокомпресора (див. рис. 1.2) крильчатка нагнітача (компресора) сидить на одному валу з крильчаткою турбіни, корпус якої вбудовано у впускний колектор двигуна і приводиться в обертання відпрацьованими газами. Частота обертання складає  $40\ 000 \dots 200\ 000\ \text{хв}^{-1}$ . Прямого зв'язку з колінчастим валом двигуна немає, і управління подачею повітря здійснюється за рахунок тиску, створюваного відпрацьованими газами [8].

До переваг турбонаддуву відносять: підвищення ККД і питомої економічності КДВЗ (механічний привід відбирає потужність у двигуна, а в даному випадку використовується енергію відпрацьованих газів, отже, ККД збільшується).

Газотурбінний наддув дає можливість досягти заданих характеристик силового агрегату при менших габаритах і масі, ніж у випадку застосування безнаддувного («атмосферного») двигуна. Крім того, у КДВЗ кращі екологічні показники. Наддув камери згорання призводить до зниження температури і,



отже, зменшення утворення оксидів азоту.



1 – циліндр; 2 – поршень; 3 – впускний клапан; 4 – впускний трубопровід;  
5 – колесо відцентрового компресора; 6 – вал турбокомпресора; 7 – корпус турбокомпресора; 8 – колесо турбіни; 9 – газівідвідний патрубок;  
10 – випускний клапан; 11 – поршневий палець; 12 – шатун

Рисунок 1.2 – Схема роботи турбодизелів родини ЯМЗ

У дизелях додаткова подача повітря дозволяє відсунути границю виникнення димності, зменшити викиди твердих часток (сажі). Дизелі істотно краще пристосовані до наддуву взагалі, і до турбонаддуву зокрема, ніж ДВЗ із зовнішнім сумішоутворенням. На відміну від бензинових двигунів, в яких тиск наддуву обмежується небезпекою виникнення детонації, дизельним ДВЗ таке явище невідомо. В дизелях можна збільшувати тиск аж до досягнення граничних механічних навантажень в його механізмах.

До того ж відсутність дроселювання повітря на впуску і високий коефіцієнт надлишку повітря ( $\alpha = 1,4 \dots 3,5$ ) забезпечують більший тиск відпрацьованих газів і їх меншу температуру в порівнянні з бензиновими двигунами. Це додаткові переваги дизельних КДВЗ у порівнянні з бензиновими

з точки зору застосування турбокомпресора.

Механічний і газотурбінний наддув по-різному впливають на потужність і ККД двигуна. Так як середній тиск тертя при збільшенні тиску наддуву зростає повільніше, ніж середній ефективний тиск  $p_e$ , то механічний ККД  $\eta_m$  при підвищенні середнього ефективного тиску за рахунок наддуву збільшується. Тому, як правило, відмінність питомої витрати палива у двигунів без наддуву і двигунів з механічним наддувом невелика, якщо мова йде про порівняно високі значення середнього ефективного тиску. Тільки при низьких і високих частотах обертання двигуна втрати потужності на привід механічного нагнітача викликають збільшення питомої витрати палива в порівнянні з двигуном без наддуву

Чим більше відпрацьованих газів з циліндрів потрапляє до турбіни, тим більша її циклова енергія на валу і тим більше додаткового свіжого повітря надходить до циліндрів. Ефективність цього рішення в порівнянні, наприклад, з приводним нагнітачем в тому, що на привід компресора витрачається зовсім небагато енергії двигуна – до 5 %. Та й можливість зняти з меншого робочого об'єму більшу потужність означає менші втрати на тертя, меншу вагу двигуна (і машини в цілому). Все це робить КДВЗ з турбонаддувом більш економічними в порівнянні з атмосферними аналогами рівної потужності [5, 9–11].

#### 1.4 Аналіз особливостей сумішоутворення і згорання в дизелях з газотурбінним наддувом

Як впливає з визначення наддуву, середній ефективний тиск, а, отже, і потужність, при наддуві підвищуються завдяки тому, що в циліндр двигуна вводиться більша кількість палива (збільшується циклова подача). Це призводить до значного зростання температури і тиску робочого тіла (збільшуються істотно  $T_{max}$  та  $p_{max}$ ). Отже, зростають теплова і механічна

напруженість [4].

Висока температура робочого тіла обумовлює підвищення температури поверхонь тертя, змінюється температурний режим масляної плівки. Якість мастила в таких умовах погіршується. Тому при проектуванні і дослідженні двигунів (особливо комбінованих) оцінці рівня теплонапруженості має бути приділено відповідну увагу.

Одним з поширених методів зниження теплової напруженості, є підвищення  $\alpha$ . Коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  при ступені підвищення тиску, що дорівнює 1,5, збільшують приблизно на 7...10 % у порівнянні з атмосферними двигунами. В окремих випадках, особливо при високому наддуванні,  $\alpha$  збільшують на 20...30 % [4].

Дуже ефективним методом зниження теплової напруженості є проміжне охолодження повітря [4, 6, 9, 12].

Рівень механічної напруги при наддуві визначається, перш за все, величиною максимального тиску робочого тіла, що виникає в період горіння. Ці напруги можуть бути значними. Але не завжди рівень таких напружень досягає критичних значень. Для виключення цього недоліку для КДВЗ використовують знижене значення ступеня стиснення (при високих і середніх ступенях наддуву  $\epsilon$  може бути знижено до 10 ... 12).

Водночас, цей захід веде до зниження індикаторного ККД двигуна (особливо на режимах малих навантажень). Для виключення такого недоліку при наддуві застосовують більш високі значення коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$ . Підвищення  $\alpha$  обумовлює підвищення повноти згоряння палива, що забезпечує збільшення  $\eta_i$ . Крім того, великі значення  $\alpha$  сприяють зниженню теплової напруженості деталей [4].

## 1.5 Висновки за розділом

З аналізу літературних джерел [3–5, 12, 13] можна сформулювати загальні вимоги до процесу сумішоутворення і згорання в дизельних двигунах:

1. Найкращі умови для повного згорання палива мають місце при роботі двигуна на режимі 0,8...0,85 від максимальної потужності, коли  $\alpha = 1,4...1,5$ . Для дизелів з наддувом величина  $\alpha$  збільшується порівняно з атмосферними двигунами;

2. Найбільш повне згорання палива на всіх режимах роботи двигуна. Повнота згорання визначається за змістом сажі, якої має бути не більше 0,6 г/м<sup>3</sup>;

3. Характер згорання повинен забезпечити реалізацію якомога кращої економічності робочого циклу при сприятливій динаміці зміни тисків робочого тіла (згорання має бути «м'яким»);

4. Легкий пуск при низьких температурах.

Надалі зосередимося на перших двох питаннях, оскільки 3-тє питання стосується безпосередньо процесу згорання, в тому числі аналізу формули Вібе, 4-те – є переважно технічним питанням, та обидва являють собою окремі наукові задачі.

Таким чином, за результатами аналізу літературних джерел можна поставити задачу визначити характер впливу коефіцієнта надлишку повітря та циклової подачі палива на техніко-економічні показники дизельного двигуна ЯМЗ-238.

При аналізі отриманих в подальшому результатів необхідно приділяти увагу температурному стану КДВЗ.

## 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА УСТАТКУВАННЯ

### 2.1 Конструкція та технічна характеристика двигуна ЯМЗ-238Д

Двигуни ЯМЗ-238 виробництва Ярославського моторного заводу (рис. 2.1) встановлюються на вантажні автомобілі КрАЗ, Урал, МАЗ; спецтехніку МоАЗ; бульдозер ДЗ-240С; суднові двигуни і дизель-редукторні агрегати; кормозбиральні комбайни; дорожні машини; моторні платформи; залізнодорожні крани; автомотриси; шнекороторні снігоочисники; дизель-електростанції і блоки живлення АД100, ЕД100 потужністю 100 кВт; дизель-генераторні установки.

Тип двигуна: дизель, 8-циліндровий, з V-подібним розташуванням циліндрів, чотиритактний з запалюванням від стиснення, безпосереднім впорскуванням палива, рідинним охолодженням. Існують атмосферні версії двигуна, а також більш потужні моделі з газотурбінним наддувом [14].

Дизелі ЯМЗ-238 розраховані на експлуатацію при температурі навколишнього повітря від  $-45^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .

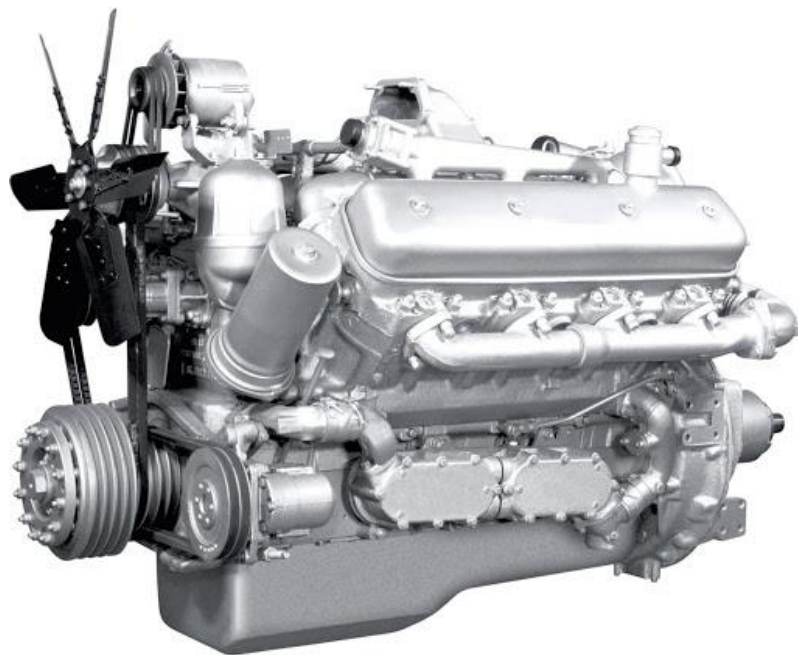


Рисунок 2.1 – Дизельний двигун з турбонаддувом ЯМЗ-238Д. Загальний вигляд

Двигуни ЯМЗ-238 мають багато модифікацій та виконань, для яких технічні характеристики можуть відрізнятися. В даній магістерській роботі розглядається двигун модифікації ЯМЗ-238Д, характеристики якого наведено в таблиці 2.1. На рисунках 2.2 і 2.3 показано двигун ЯМЗ-238Д у розрізі.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика дизеля ЯМЗ-238Д [15–17]

Найменування параметра	Значення
1	2
Тип	чотиритактний дизельний з наддувом
Число і розташування циліндрів	8, V-подібний, $\gamma = 90^\circ$
Порядок роботи циліндрів	1-5-4-2-6-3-7-8
Діаметр циліндра	130
Хід поршня	140
Робочий об'єм, л	14,86
Ступінь стиснення	15,2
Мінімальна питома витрата палива, г/кВт·год	208
Питома витрата палива при номінальній потужності, г/кВт·год	224
Потужність, кВт (к.с.)	243 (330)
Частота обертання, хв. <sup>-1</sup>	2100
Максимальний крутний момент, Н · м	1225
Частота обертання при максимальному крутному моменті, хв. <sup>-1</sup>	1200...1400
Частота обертання холостого ходу, хв. <sup>-1</sup> – максимальна, не більше – мінімальна, не більше	2275 550...650
Витрата масла на угар, % до витрати палива, не більше	0,5

Продовження таблиці 2.1

1	2
Спосіб сумішоутворення	Безпосереднє впорскування
Система подачі палива	Розділеного типу
Габарити, ДхШхВ, мм	1620×992×1070
Маса незаправленого двигуна, кг	1130
Ресурс до капітального ремонту, год	20 000
Призначення	шасі МЗКТ-692378, МЗКТ-65168

Система живлення дизеля ЯМЗ-238 (рисунок 2.4) складається з паливного насоса, форсунок, трубопроводів низького і високого тиску, повітроочисника, впускного і випускного колекторів, паливних фільтрів грубого і тонкого очищення, паливного бака, встановленого на автомобілі, тракторі або екскаваторі.

На дизель ЯМЗ-238 і його модифікації встановлюється паливний насос високого тиску «ЯЗГА». Всі моделі насосів приводяться від колінчастого вала дизеля через розподільні шестерні. Паливний насос має всережимний регулятор і підкачуючий насос поршневого типу, два важелі управління.

У регуляторі насоса розміщується коректор подачі палива, автоматичний збагачувач подачі палива (на пускових обертах), а крім того, є пневматичний обмежувач димлення (пневмокоректор).

Підкачуючий насос встановлений на корпусі насоса високого тиску і наводиться ексцентриком кулачкового вала.

Робочі деталі паливних насосів змащуються проточним маслом, що надходить із системи мащення дизеля в корпус насоса через спеціальний отвір у фланці. Злив масла з корпусу насоса в картер дизеля здійснюється через спеціальне свердління у фланці.

A-A (1)

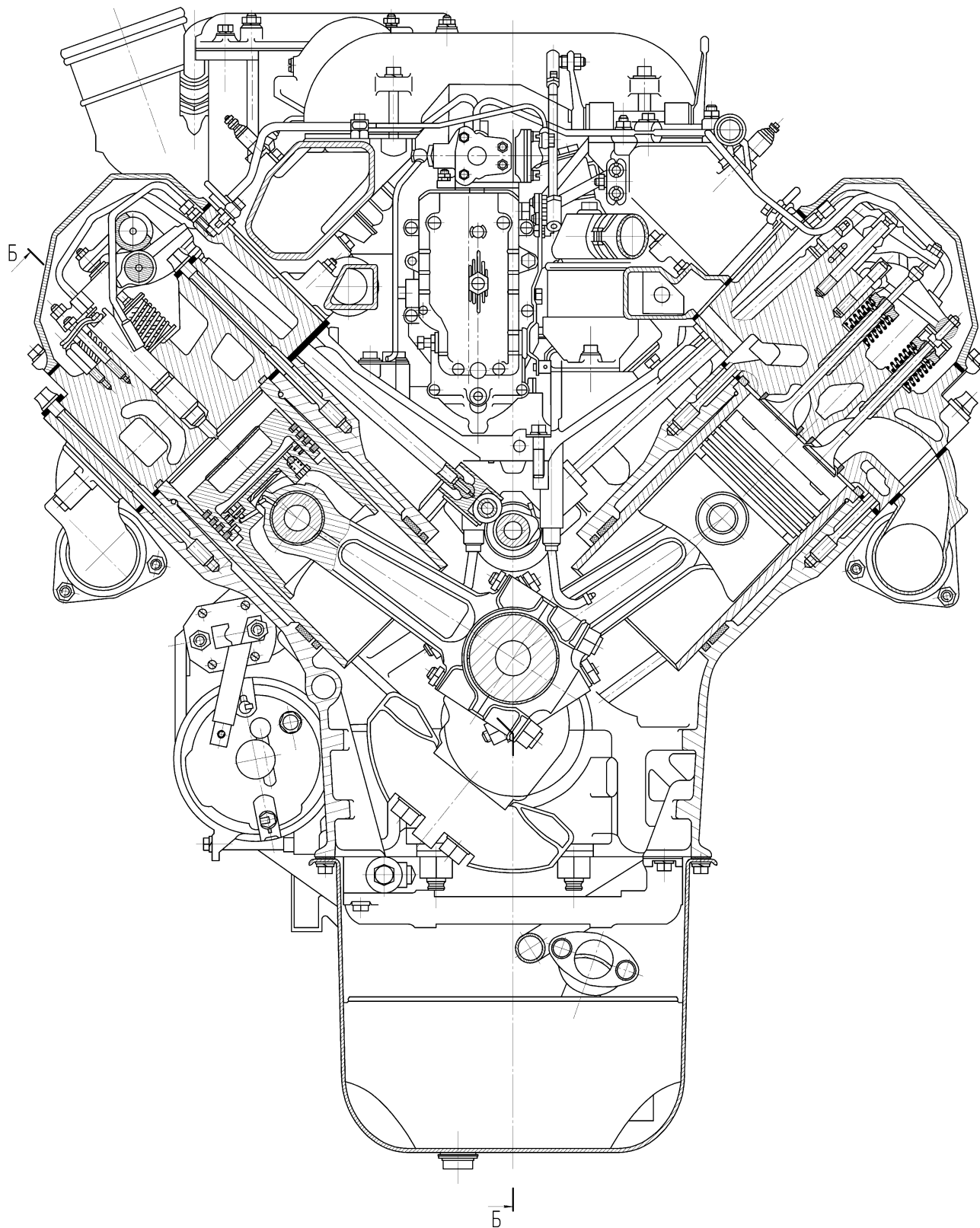


Рисунок 2.2 – Двигун ЯМЗ-238Д. Поперечний переріз



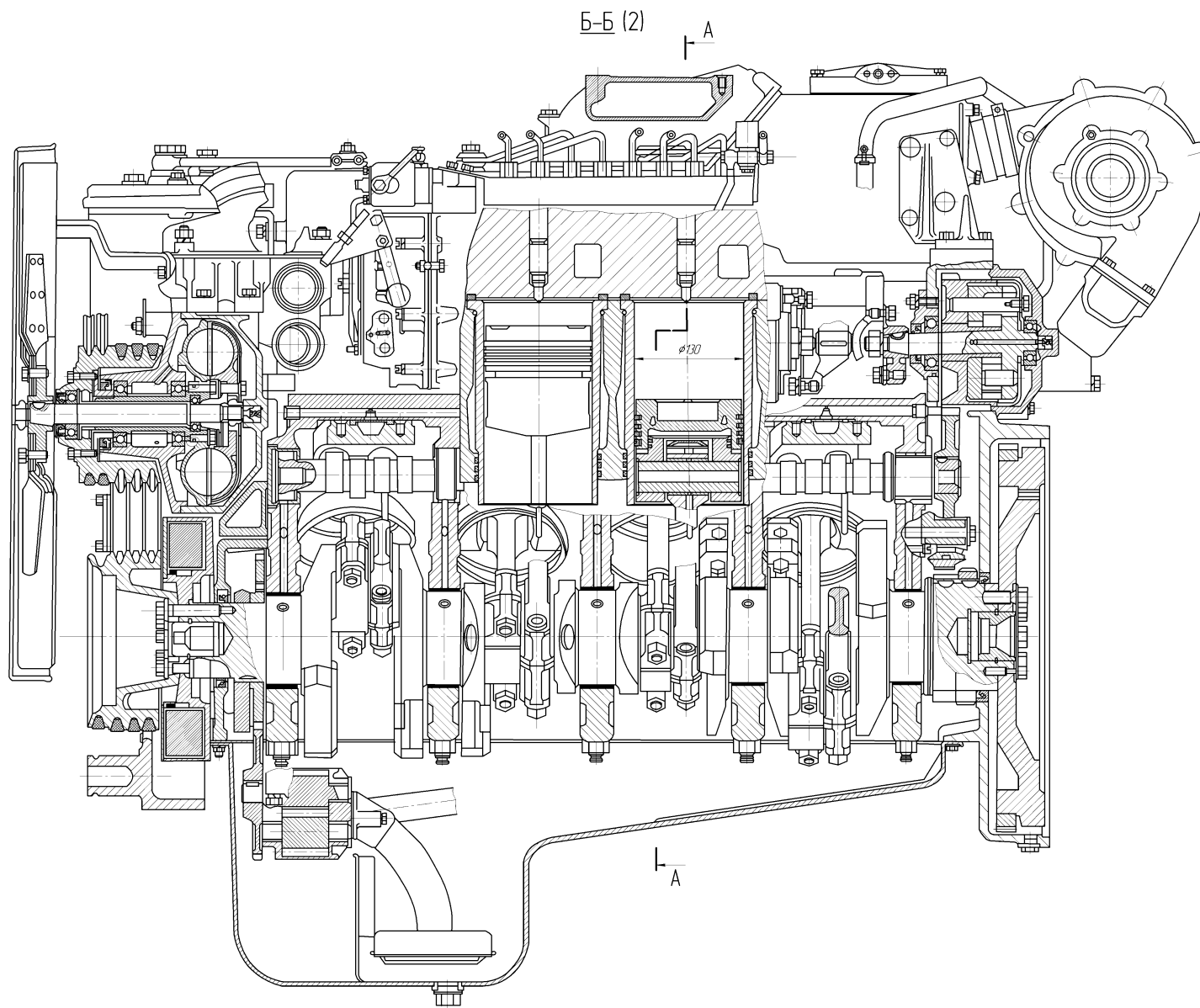
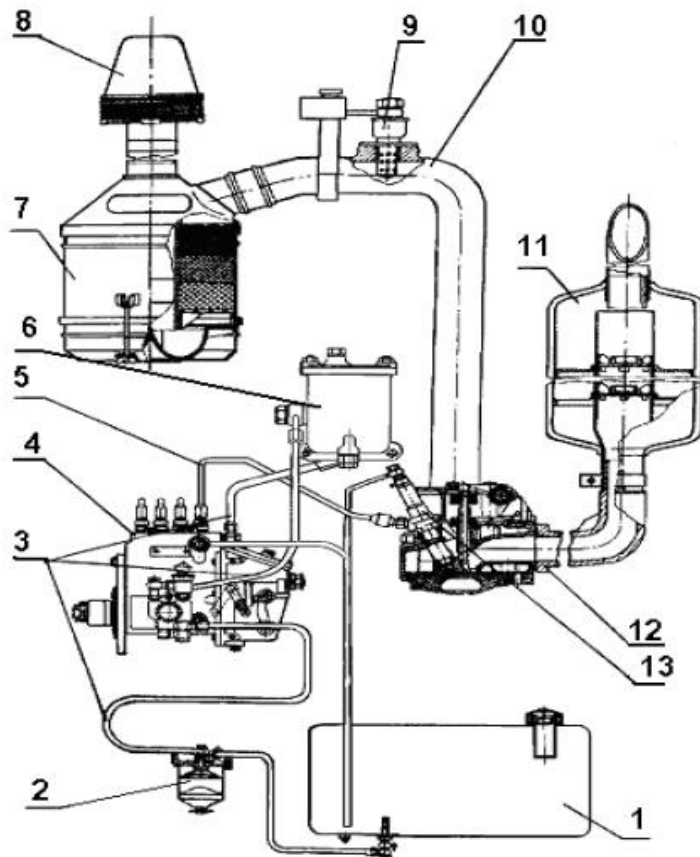


Рисунок 2.3 – Двигун ЯМЗ-238Д. Поздовжній переріз



1 - паливний бак; 2 - фільтр грубого очищення палива; 3 - трубки паливні;  
 4 - паливний насос; 5 - трубка паливна високого тиску; 6 – фільтр тонкого  
 очищення палива; 7 - очисник повітря; 8 - фільтр грубого очищення повітря;  
 9 - електрофакельний підігрівач; 10 - впускний колектор; 11 - глушник;  
 12 - випускний колектор; 13 - форсунка.

Рисунок 2.4 – Схема живлення дизеля ЯМЗ-238

Форсунка призначена для впорскування палива в циліндр дизеля. Вона забезпечує необхідний розпил палива і обмежує початок і кінець подачі. На дизелях ЯМЗ-238 застосовується форсунка з п'ятисопловим розпилювачем закритого типу.

Фільтр грубої очистки служить для попереднього очищення палива від механічних домішок і води. Фільтр грубої очистки складається з корпусу, відбивача з сіткою, розсіювача, склянки з успокоювачем. Злив відстою з фільтра проводиться через отвір в нижній частині склянки, що закривається пробкою.

Фільтр тонкого очищення служить для остаточного очищення палива. Фільтр тонкого очищення має змінний паперовий елемент. Паливо, проходячи крізь штори паперового фільтруючого елемента, очищається від механічних домішок. У нижній частині корпусу фільтра знаходиться отвір з пробкою для зливу відстою. Для видалення повітря з системи живлення на кришці фільтра розташована спеціальна пробка.

Очисник повітря служить для очищення всмоктуваного в циліндри повітря. Очисник повітря дизеля ЯМЗ-238 комбінований: сухе відцентрове очищення і масляний пиловловлювач з мокрим капроновим фільтром. В корпусі повітряного фільтра встановлені три фільтруючих елемента з капронової щетини різного діаметру.

На дизелі ЯМЗ-238 і його модифікаціях передбачено також застосування фільтра повітря, що встановлюється споживачем, що складається з основного і контрольного паперових фільтр-патронів.

На всіх дизелях з запуском від електростартера у впускному колекторі встановлюється електрофакельний підігрівач, який служить для підігріву всмоктуваного в циліндри повітря з метою полегшення пуску дизеля при низькій температурі навколишнього повітря.

Охолодження дизеля рідинне з примусовою циркуляцією охолоджуючої рідини від відцентрового насоса. Температуру охолоджуючої рідини в системі контролюють з дистанційного термометру, датчик якого встановлений в голівці циліндрів. На дизелі ЯМЗ-238Д і його модифікаціях, крім того, передбачено місце для установки датчика в корпусі термостата. Забороняється експлуатація дизеля при загорянні лампи перегріву охолоджуючої рідини. Температура охолоджуючої рідини в системі охолодження повинна підтримуватися в межах 85 °С до 95 °С.

Система мащення двигуна ЯМЗ-238 комбінованого типу - під тиском і розбризкуванням. Підшипники колінчатого і розподільного валів, втулки проміжної шестерні і шестерні приводу паливного насоса, шатунний підшипник колінчастого вала, пневмокомпресор, а також механізм приводу

клапанів змазуються під тиском. Гільзи, поршні, поршневі пальці, штанги, штовхачі і кулачки розподільного вала змащуються розбризкуванням.

На двигуни ЯМЗ-238Д можуть встановлюватися наступні турбокомпресори:

ТКР-11, максимальний ступінь підвищення тиску  $\pi_k = 1,9$ ;

ТКР-100, максимальний ступінь підвищення тиску  $\pi_k = 1,8$ ;

CZ K-36, максимальний ступінь підвищення тиску  $\pi_k = 2,7$ .

## 2.2 Методика теплового розрахунку ДВЗ

Основну складність у вирішенні задачі дослідження впливу величини тиску газотурбінного наддуву на ефективні показники дизельного двигуна ЯМЗ-238 представляє тепловий розрахунок двигуна, у зв'язку з тим, що на процес перетворення теплоти в механічну роботу впливає велика кількість чинників [18]. Для розрахунків використовуємо фізико-математичну модель другого рівня другої модифікації [19].

Модель теплового розрахунку другого рівня розроблена на основі диференціальних балансових рівнянь (розглядається баланс маси і баланс енергії), до яких додані кінематичні рівняння, а також рівняння стану робочого тіла і його складу. 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.

Перше кінематичне рівняння витікає з формули для визначення поточного об'єму робочої порожнини відповідно до закономірностей кривошипно-шатунового механізму:

$$V = V_c + F_{\text{п}} r_{\text{к}} \left[ 1 - \cos \varphi + \frac{\lambda_{\text{к}}}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right], \quad (2.1)$$

де  $V_c$  – об'єм камери стиснення;

$F_{\text{п}}$  – площа поршня;

$r_{\text{к}}$  – радіус кривошипа;

$\lambda_{\text{к}} = \frac{r_{\text{к}}}{L_{\text{ш}}}$  – відношення радіуса кривошипа до довжини шатуна;

$\varphi$  – кут повороту кривошипа.

Після диференціювання формули (2.1) отримуємо перше кінематичне рівняння в диференціальній формі:

$$dV = F_{\text{п}} r_{\text{к}} \left( \sin \varphi + \frac{\lambda_{\text{к}}}{2} \sin 2\varphi \right) d\varphi. \quad (2.2)$$

Зміна маси робочого тіла складає:

$$dm = \Delta m_{\text{тц}} \cdot dx, \quad (2.3)$$

де  $\Delta m_{\text{тц}}$  – циклова масова подача палива;

$dx$  – масова частка палива, що згоріло в циліндрі до даного моменту часу.

В процесах стиснення і розширення  $dx = 0$  і  $dm = 0$ , тобто маса робочого тіла є незмінною.

Співвідношення (2.3) є рівнянням матеріального (масового) балансу в

циліндрі ДВЗ.

Рівняння енергетичного балансу в циліндрі складене на основі першого закону термодинаміки для закритої нетеплоізолюваної системи і має вигляд:

$$dT = \frac{1}{c_v m} (dQ_c + dQ_w) - T \frac{dm}{m} - (k - 1) \frac{dV}{V} T, \quad (2.4)$$

де  $T$  – абсолютна температура робочого тіла;

$c_v$  – питома теплоємність робочого тіла при постійному об'ємі;

$dQ_c$  – елементарна кількість теплоти, підведена до робочого тіла за рахунок згоряння;

$dQ_w$  – елементарна кількість теплоти за рахунок зовнішнього теплообміну (теплообміну зі стінками);

$k$  – показник адіабати робочого тіла.

Рівняння (2.4) складене з урахуванням зміни маси робочого тіла, а також теплової ( $dQ_c$ ,  $dQ_w$ ) і механічної взаємодії із зовнішнім середовищем.

Система основних рівнянь замикається за допомогою рівняння стану робочого тіла, яке в кінцевій формі має вигляд:

$$pV = RmT, \quad (2.5)$$

де  $R$  – газова стала для робочого тіла,

або в диференціальній формі

$$\frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} = \frac{dm}{m} + \frac{dT}{T}. \quad (2.6)$$

Система рівнянь (2.2), (2.3), (2.4) і (2.6) в диференціальній формі і є математичним формулюванням ФММ другого рівня:

$$\left. \begin{aligned} dV &= F_{\Pi} r_K \left( \sin \varphi + \frac{\lambda_K}{2} \sin 2\varphi \right) d\varphi; \\ dm &= \Delta m_{T_{\Pi}} \cdot dx; \\ dT &= \frac{1}{c_v m} (dQ_c + dQ_w) - T \frac{dm}{m} - (k-1) \frac{dV}{V} T; \\ \frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} &= \frac{dm}{m} + \frac{dT}{T}. \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

Система (2.7) вирішується чисельними методами із застосуванням комп'ютерf. Кінцевою метою рішення системи є функції  $V(\varphi)$ ;  $m(\varphi)$ ;  $T(\varphi)$ ;  $p(\varphi)$ .

Для пошуку єдиного рішення, система (2.7) супроводжується додатковими рівняннями, що дозволяють на кожному розрахунковому кроці визначати необхідні доданки та множники.

Елементарна кількість теплоти, підведена до робочого тіла при згорянні

$$dQ_c = H_u \cdot \Delta m_{T_{\Pi}} \cdot dx, \quad (2.8)$$

де  $H_u$  – дійсна теплота згоряння палива. Величина  $H_u$  залежить від роду палива і складу суміші (коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$ ):

$$\left. \begin{aligned} \text{при } \alpha \geq 1 & \text{ маємо } H_u = H_{uT}, \\ \text{при } \alpha < 1 & H_u = H_{uT} - 120 \cdot 10^6 \cdot (1 - \alpha) \cdot L_o \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

де  $H_{uT}$  – теоретична теплота згоряння (при повному згорянні палива), Дж/кг;

$L_o$  – теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива, кмоль/кг.

При складанні формул (2.9) прийнято, що в стехіометричній суміші ( $\alpha = 1$ ) і бідній суміші ( $\alpha > 1$ ) паливо згоряє повністю, а в багатій суміші ( $\alpha < 1$ ) має місце хімічне недогорання внаслідок браку кисню, за рахунок чого дійсна теплота згоряння зменшується.

Закономірність тепловиділення при згорянні описується напівемпіричною формулою І.І. Вібе:

$$dx = 6,908 \frac{m_1 + 1}{\varphi_z - \varphi_c} \left( \frac{\varphi - \varphi_c}{\varphi_z - \varphi_c} \right)^{m_1} \exp \left[ -6,908 \left( \frac{\varphi - \varphi_c}{\varphi_z - \varphi_c} \right)^{m_1 + 1} \right] d\varphi, \quad (2.10)$$

де  $m_1$  – показник згорання, залежить від типу двигуна (способу сумішоутворення);

$\varphi_c$  і  $\varphi_z$  – кути повороту кривошипа, що відповідають початку процесу згорання і його кінцю.

Елементарна кількість теплоти за рахунок теплообміну зі стінками визначають за формулою Ньютона-Ріхмана:

$$dQ_w = \alpha_w F_w (T_w - T) \frac{d\varphi}{\omega}, \quad (2.11)$$

де  $\alpha_w$  – коефіцієнт тепловіддачі на границі робоче тіло - тверда стінка;

$F_w$  – площа поверхні тепловіддачі;

$T_w$  – температура стінки;

$\omega$  – кутова швидкість обертання кривошипа.

Площа поверхні циліндра змінюється у зв'язку з переміщенням поршня, вона залежить від кута повороту кривошипа і виражається другим кінематичним рівнянням:

$$F_{wц} = \pi D \left\{ S_o + r_k \left[ 1 - \cos \varphi + \frac{\lambda_k}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right] \right\}, \quad (2.13)$$

де  $D$  – діаметр циліндра;

$S_o$  – мінімальна відстань між поршнем і кришкою при положенні поршня у



ВМТ. Величина  $S_o$  залежить головним чином від ступені стиснення.

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_w$  залежить від умов теплообміну на границі «газ – стінка», тобто від багатьох чинників, які впливають на формування приграничного шару (щільність, в'язкість газу, локальна швидкість, наявність відкладень на стінці і т. д.). В моделі, що розглядається, застосовано формулу Пфлаума:

$$\alpha_w = 6,8 \cdot 10^{-3} \left( 3 + \frac{p_k - p_o}{p_o} \right) \sqrt{pT}, \quad (2.14)$$

де  $p_k$  – тиск наддуву;

$p_o$  – атмосферний тиск.

Таким чином, додатковими рівняннями є формули (2.8) - (2.14).

Систему рівнянь (2.7) чисельно вирішують модифікованим методом Ейлера, використовується програма DVS2 або Engine Calculation.

Таким чином, чисельне рішення основної системи рівнянь (2.7) з урахуванням додаткових співвідношень (2.8) - (2.14) дозволяє отримати функції  $V(\varphi)$ ,  $m(\varphi)$ ,  $T(\varphi)$ ,  $p(\varphi)$ . Вони використовуються для подальшого аналізу.

Іншою важливою метою теплового розрахунку є визначення циклових енергетичних показників, а саме:

- індикаторна робота циклу;
- середній індикаторний тиск;
- індикаторний к.к.д.;
- питома індикаторна витрата палива.

### 3 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ДВИГУНА ЯМЗ-238Д НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ

Початкові дані для розрахунку готуються в два етапи [18]. Спочатку виконуємо попередні розрахунки, щоб оцінити основні розміри циліндра, необхідні при використанні прийнятої ФММ (див. розділ 2.2).

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

$$V_h = \frac{N_e}{i \cdot p_e} \cdot \frac{\tau}{n} = \frac{243 \cdot 10^3}{8 \cdot 0,93 \cdot 10^6} \cdot \frac{2 \cdot 60}{2100} = 1,8664 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (3.2)$$

Діаметр циліндра (оціночний):

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_h}{\pi \cdot \frac{S}{D}}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,0018664}{3,14 \cdot 1,077}} = 0,1302 \text{ м}. \quad (3.3)$$

У двигуна-прототипа  $D = 0,13 \text{ м} = 130 \text{ мм}$ .

Хід поршня

$$S = D \cdot \frac{S}{D} = 0,13 \cdot 1,077 = 0,140 \text{ м}. \quad (3.4)$$

Радіус кривошипа

$$r_k = \frac{S}{2} = \frac{0,14}{2} = 0,07 \text{ м.} \quad (3.5)$$

Уточнюємо робочий об'єм циліндра

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S = \frac{3,14 \cdot 0,13^2}{4} \cdot 0,14 = 1,8573 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (3.6)$$

На другому етапі розраховуємо усі величини, які являються початковими при використанні ФММ, заносимо їх до таблиці 3.1.

Вид розрахунку: номінальний.

Тип двигуна – дизельний.

1. Теплота згорання палива  $H_{uT} = 42,5$  МДж/кг.
2. Показник процесу згорання вибирають на основі рекомендацій за емпіричними даними. Для дизельних ДВЗ  $m_1 = -0,3 \dots +0,7$ . Приймаємо  $m_1 = 0,4$ .
3. Кількість циліндрів: 8.
4. Компоновка циліндрів: V-подібний.
5. Діаметр циліндра  $D = 0,13$  м.
6. Площа поршня є площею плоскої поверхні поршня, перпендикулярної осі циліндра, вона дорівнює

$$F_n = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3,14}{4} \cdot 0,13^2 = 13,27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \quad (3.7)$$

7. Радіус кривошипа  $r_k = 0,07$  м.

8. Відношення радіусу кривошипа до довжини шатуна  $\lambda_k = \frac{r_k}{L_{ш}}$  є конструктивним параметром, що характеризує геометрію кривошипно-шатунового механізму. Величину  $\lambda_k$  вибирають за практичними рекомендаціями – для автотракторних ДВЗ  $\lambda_k = 0,25 \dots 0,32$  [18]. За прототипом

приймаємо  $\lambda_k = 0,264$ .

Тоді

$$L_{ш} = 0,07/0,264 = 0,265 \text{ м.} \quad (3.8)$$

9. Площа теплообміну поршня  $F_{п}'$  залежить від конфігурації днища. При плоскому днищі  $F_{п}' = F_{п}$ . Якщо днище має складну конфігурацію, наприклад при виконанні спеціальних проточок на поршні для клапанів чи камеру згорання, то  $F_{п}' > F_{п}$ . Для дизельних ДВЗ  $F_{п}' = (1,0 \dots 1,5) \cdot F_{п}$ ;

За прототипом приймаємо:

$$F_{п}' = 1,3 \cdot F_{п} = 1,33 \cdot 0,01327 = 17,64 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \quad (3.9)$$

10. Площа теплообміну кришки  $F_k$  залежить від конструкції камери стиснення. У дизельних ДВЗ має місце співвідношення  $F_k = (1,0 \dots 1,5) \cdot F_{п}$ . Таким чином:

$$F_k = 1,1 \cdot F_{п} = 1,1 \cdot 0,01327 = 14,59 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \quad (3.10)$$

11. Об'єм камери стиснення розраховуємо за співвідношенням

$$V_c = \frac{\pi}{2} D^2 \cdot r_k \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} = \frac{3,14}{2} \cdot 0,13^2 \cdot 0,07 \cdot \frac{1}{15,2 - 1} = 130,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3. \quad (3.11)$$

12. Двигун оснащено турбокомпресором ТКР-11, ступінь підвищення тиску в компресорі  $\pi_k = 1,9$ , тому тиск наддуву  $p_k = p_o \cdot \pi_k = 191,9$  кПа.

13. Температура повітря на вході в двигун залежить від тиску наддуву і охолодження наддуву повітря. Спочатку розраховуємо температуру на виході з компресора:

$$T'_k = T_o \left( 1 + \frac{\pi_k^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1}{\eta_{\text{к ад}}} \right) = 293 \left( 1 + \frac{1,9^{1,4} - 1}{0,7} \right) = 377,2 \text{ К}, \quad (3.12)$$

де  $\kappa = 1,40$  – показник адіабати для повітря;

$\eta_{\text{к ад}} = 0,70 \dots 0,90$  – адіабатний ККД компресора, який залежить від типу і розмірів компресора. Для турбокомпресора ТКР-11  $\eta_{\text{к ад}} = 0,7$ .

При малих ступнях підвищення тиску в компресорі ( $\pi_k < 1,5$ ) охолодження наддувочного повітря зазвичай не застосовують. При високих значеннях  $\pi_k$  (особливо при  $\pi_k > 2$ ) після компресора встановлюють охолоджувач, в якому знижується температура наддувочного повітря, при цьому температура на вході ДВЗ:

$$T_k = T_o + \sigma(T'_k - T_o) = 293 + 0,7(377,2 - 293) = 352,0 \text{ К}, \quad (3.13)$$

де  $\sigma = 0,50 \dots 0,80$  – ступінь охолодження в охолоджувачі, величина  $\sigma$  залежить від конструкції і розмірів охолоджувача.

14. Кут початку згорання  $\varphi_c$  у дизельних ДВЗ залежить від кута випередження впорскування  $\Delta\varphi_{\text{оп}}$  і періоду затримки займання палива  $\Delta\varphi_i$

$$\varphi_c = 360 - \Delta\varphi_{\text{оп}} + \Delta\varphi_i = 360 - 25 + 10 = 345^\circ \text{ п.к.в.}, \quad (3.14)$$

де  $\Delta\varphi_{\text{оп}} = 20 \dots 35^\circ$  – величина, яка залежить від швидкохідності двигуна, розмірів і типу камери згорання;

$\Delta\varphi_i = 8 \dots 12^\circ$  – величина, яка залежить в основному від сорту палива (цетанового числа) і умов в циліндрі в кінці стиснення ( $p_c, T_c$ ).

15. Кут кінця згорання пов'язаний з кутовою тривалістю згорання  $\Delta\varphi_{\text{сг}}$ , яка визначається в залежності від типу двигуна

$$\varphi_z = \varphi_c + \Delta\varphi_{cr} = 345 + 80 = 425^\circ \text{ п.к.в.}, \quad (3.15)$$

де  $\Delta\varphi_{cr} = 60 \dots 100^\circ$  – для дизельних ДВЗ.

16. Кутова швидкість обертання кривошипа  $\omega$ , рад/с, визначається від частоти обертання колінчатого валу  $n$ ,  $\text{с}^{-1}$ :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2100}{60} = 219,8 \text{ с}^{-1}. \quad (3.16)$$

17. Коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  на номінальному режимі:  $\alpha = 1,7$ .

18. Циклова подача палива знаходиться в залежності від циклового заряду повітря.

Цикловий масовий заряд повітря в циліндрі

$$\Delta m_{вц} = V_h \cdot \rho_k \cdot \eta_v = 0,0018573 \cdot 1,9 \cdot 0,818 = 2,885 \cdot 10^{-3} \text{ кг/цикл}, \quad (3.17)$$

де щільність заряду на вході в циліндр визначається за формулою

$$\rho_k = \frac{p_k}{RT_k} = \frac{191900}{287 \cdot 352} = 1,9 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad (3.18)$$

коефіцієнт наповнення дорівнює

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_k - \Delta p_{вп}}{p_k} \cdot \frac{T_k}{T_k + \Delta T + \gamma T_r}, \quad (3.19)$$

$$\eta_v = \frac{15,2}{15,2 - 1} \cdot \frac{191900 - 15352}{191900} \cdot \frac{352}{352 + 40 + 0,04 \cdot 800} = 0,818.$$

де  $\Delta p_{вп} = (0,05 \dots 0,15) \cdot p_k = 0,08 \cdot 191900 = 15352 \text{ Па}$  – втрата тиску на впуску;

$\Delta T$  – підігрів заряду на впуску, для дизельних ДВЗ  $\Delta T = 20 \dots 40 \text{ К}$ ;

$\gamma$  – коефіцієнт залишкових газів, для дизельних ДВЗ  $\gamma = 0,02 \dots 0,06$ .

$T_r$  – температура залишкових газів, для дизельних двигунів  $T_r = 700 \dots 900$  К.

Циклова масова подача палива

$$\Delta m_{\text{тц}} = \frac{\Delta m_{\text{вц}}}{\alpha \cdot \ell_o} = \frac{0.002885}{1,7 \cdot 14,45} = 0,11743 \cdot 10^{-3} \text{ кг/цикл.} \quad (3.20)$$

19. Середня температура стінок  $T_w$  залежить від типу двигуна, рівня форсування, режиму роботи, матеріалів основних деталей (поршня, кришки, клапанів, циліндра). На номінальному режимі роботи приймають:

– для деталей із сталі та чавуну  $T_w = 550 \dots 650$  К,

– для деталей з алюмінієвих сплавів  $T_w = 420 \dots 470$  К.

Більші значення відносяться до форсованих ДВЗ з наддувом при малих величинах коефіцієнта надлишку повітря.

Оскільки у двигуна ЯМЗ-238 стінки циліндра – чавун, а головка циліндра та поршень з алюмінієвого сплаву, приймаємо  $T_w = 500$  К.

20. Початковий тиск дорівнює

$$p_a = p_k - \Delta p_{\text{вп}} = 191900 - 15352 = 176548 \text{ Па.} \quad (3.21)$$

21. Початкова температура оцінюється за допомогою формули, отриманої на основі балансу енергії при впуску:

$$T_a = \frac{1}{1 + \gamma} (T_k + \Delta T_{\text{вп}} + \gamma T_r) = \frac{1}{1 + 0,04} (352 + 40 + 0,04 \cdot 800) = 407,7 \text{ К.} \quad (3.22)$$

22. Початкова маса робочого тіла в циліндрі дорівнює сумі масових кількостей свіжого заряду і залишкових газів, отже:

$$m_a = (1 + \gamma) \cdot \Delta m_{\text{вц}} = (1 + 0,04) \cdot 0.002885 = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ кг/цикл.} \quad (3.23)$$

### 23. Початковий об'єм циліндра

$$V_a = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot V_h = \frac{15,2}{15,2 - 1} \cdot 0,0018573 = 1,988 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (3.24)$$

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

$$\begin{aligned} P_a V_a &= R m_a T_a, & (3.25) \\ 176548 \cdot 1,988 \cdot 10^{-3} &= 287 \cdot 3,0 \cdot 10^{-3} \cdot 407,7, \\ 350,98 &= 351,03. \end{aligned}$$

Похибка цього рівняння складає 0,015 %.

24. 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:

$$\begin{aligned} m_A &= [m'_п + (0,2 \dots 0,3) \cdot m'_ш] \cdot F_п, & (3.26) \\ m_A &= [230 + 0,25 \cdot 320] \cdot 0,01327 = 4,113 \text{ кг}, \end{aligned}$$



Таблиця 3.1 – Початкові дані для розрахунку робочого циклу двигуна ЯМЗ-238Д до програми Engine Calculation

№	Найменування величини	Численні величини	Позначення і одиниці виміру
		Номінальний режим	
I.	Код двигуна	1	Y
II.	Вид розрахунку	1	–
III.	Тип двигуна		
	1. Теплота згорання палива 2. Показник процесу згорання	42500000 0,4	$H_{\text{ут}}, \text{Дж/кг}$ $m_1$
IV.	Конструктивні дані		
	3. Кількість циліндрів	8	$i$
	4. Рядний (1); V-подібний (0)	0	–
	5. Діаметр циліндра	0.13	$D, \text{м}$
	6. Площа поршня	$13,27 \cdot 10^{-3}$	$F_{\text{п}}, \text{м}^2$
	7. Радіус кривошипа	0.07	$r_{\text{к}}, \text{м}$
	8. Відношення $\lambda_{\text{к}} = \frac{r_{\text{к}}}{L_{\text{ш}}}$	0.264	$\lambda_{\text{к}}$
	9. Площа теплообміну поршня	$17,64 \cdot 10^{-3}$	$F_{\text{п}}', \text{м}^2$
	10. Площа теплообміну кришки	$14,59 \cdot 10^{-3}$	$F_{\text{к}}, \text{м}^2$
	11. Об'єм камери стиснення	$130,8 \cdot 10^{-6}$	$V_{\text{с}}, \text{м}^3$
	V.	Наддув	
12. Тиск наддуву		191900	$p_{\text{к}}, \text{Па}$
13. Температура повітря		352	$T_{\text{к}}, \text{К}$
VI.	Регулювальні дані		
	14. Кут початку згорання 15. Кут кінця згорання	345 425	$\varphi_{\text{с}}, \text{град.}$ $\varphi_{\text{з}}, \text{град.}$
VII.	Режимні дані		
	16. Кутова швидкість валу	219,8	$\omega, \text{рад/с}$
	17. Коефіцієнт надлишку повітря	1,7	$\alpha$
	18. Циклова подача палива 19. Середня температура стінок	$0,11743 \cdot 10^{-3}$ 500	$\Delta m_{\text{тп}}, \text{кг/цикл}$ $T_{\text{w}}, \text{К}$
VIII.	Початкові умови		
	20. Тиск	176548	$p_{\text{а}}, \text{Па}$
	21. Температура	407,7	$T_{\text{а}}, \text{К}$
	22. Маса робочого тіла 23. Об'єм робочої порожнини	$3,0 \cdot 10^{-3}$ $1,988 \cdot 10^{-3}$	$m_{\text{а}}, \text{кг/цикл}$ $V_{\text{а}}, \text{м}^3$
IX.	Дані до динамічного розрахунку		
24. Маса поступально рухомих частин (приведена)	4,113	$m_{\text{А}}, \text{кг}$	
X.	Розрахунковий крок	1	$\Delta\varphi, \text{град.}$

Виконав студент групи Т-419м

Питляк М.Ф.

Керівник д.т.н., професор

Слинько Г.І.

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

Величини  $m'_n$  і  $m'_ш$  в правій частині формули визначають на основі статистичних даних існуючих конструкцій ДВЗ та двигуна-прототипа.

Х. Розрахунковий крок рівний  $\Delta\varphi = 1^\circ$ .

Результати розрахунку на ПК отримано у вигляді протоколів (додаток А), в яких подано результати теплового і динамічного розрахунку.

Протокол теплового розрахунку містить запис параметрів робочого тіла (тиску  $p$ , температури  $T$ , маси  $m$ , об'єму  $V$ ) при різних кутах повороту кривошипа колінчатого валу (п.к.в.)  $\varphi$ . Розрахунковий діапазон зміни кута повороту кривошипа  $\varphi = 180 \dots 540^\circ$ , що відповідає умовам ФММ моделі другої модифікації для чотиритактного ДВЗ.

У кінці протоколу наведені основні циклові і питомі показники:

– середній індикаторний тиск  $p_i = 1,365$  МПа;

– індикаторна робота  $L_i = 2535,9$  Дж/цикл;

– індикаторний ККД  $\eta_i = 0,508$ ;

– питома індикаторна витрата палива  $g_i = 0,1667$  кг/(кВт·год).

Контрольною величиною для оцінки результатів розрахунку є ефективна потужність двигуна, яка розраховується за формулою:

$$N_e = i \cdot L_i \cdot \frac{n}{\tau} \cdot \eta_m = 8 \cdot 2535,9 \cdot \frac{2100}{2 \cdot 60} \cdot 0,7 = 248,45 \text{ кВт}, \quad (3.27)$$

де  $\eta_m$  – механічний ККД двигуна, який враховує вплив механічних втрат.

Похибка складає

$$\frac{248,45 - 243}{243} = 2,3 \%$$

Ефективну питому витрату палива розраховуємо за формулою

$$g_e = g_i / \eta_m = 0,1667 / 0,7 = 0,238 \text{ кг/(кВт·год)}. \quad (3.28)$$

Похибка складає

$$\frac{0,238 - 0,224}{0,224} = 6,3 \%$$

Середній ефективний тиск:

$$p_e = p_i \cdot \eta_m = 1,365 \cdot 0,7 = 0,956 \text{ МПа}. \quad (3.29)$$

Похибка складає

$$\frac{0,956 - 0,93}{0,93} = 2,7 \%$$

Ефективний ККД

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,508 \cdot 0,7 = 0,35. \quad (3.30)$$

За даними протоколу теплового розрахунку побудовано згорнуті індикаторні діаграми для номінального режиму (див. рис. 3.1, рис. 3.2).

Основними параметрами, які характеризують механічну і термічну напруженість деталей двигуна є тиск і температура робочого тіла. З даних протоколу А та з рисунків 3.1, 3.2 визначено величини максимального тиску  $p_{\max} = 14,914 \text{ МПа}$  (при  $365^\circ \text{ п.к.в.}$ ) і максимальної температури  $T_{\max} = 2429,4 \text{ К}$  (при  $372^\circ \text{ п.к.в.}$ ).

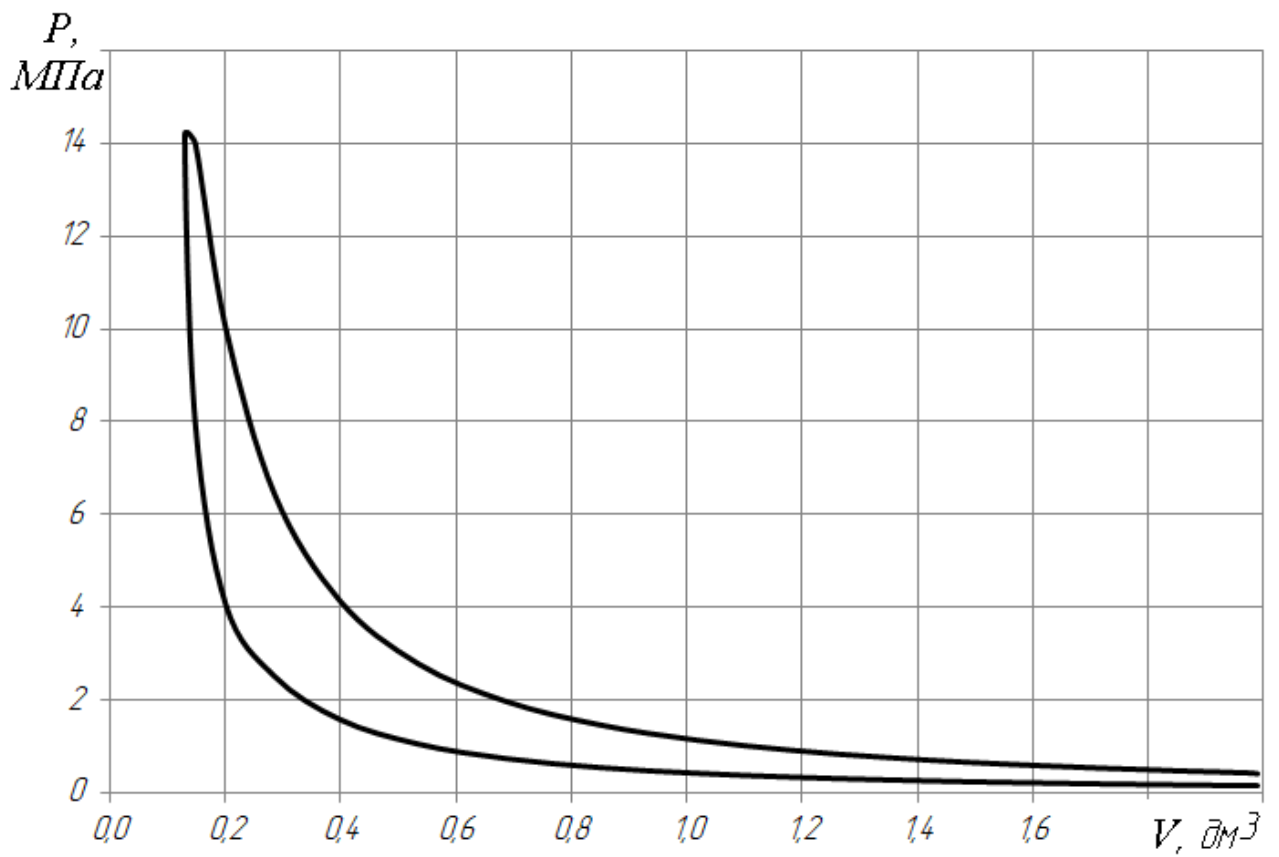


Рисунок 3.1 – Індикаторна діаграма тиску двигуна ЯМЗ-238Д

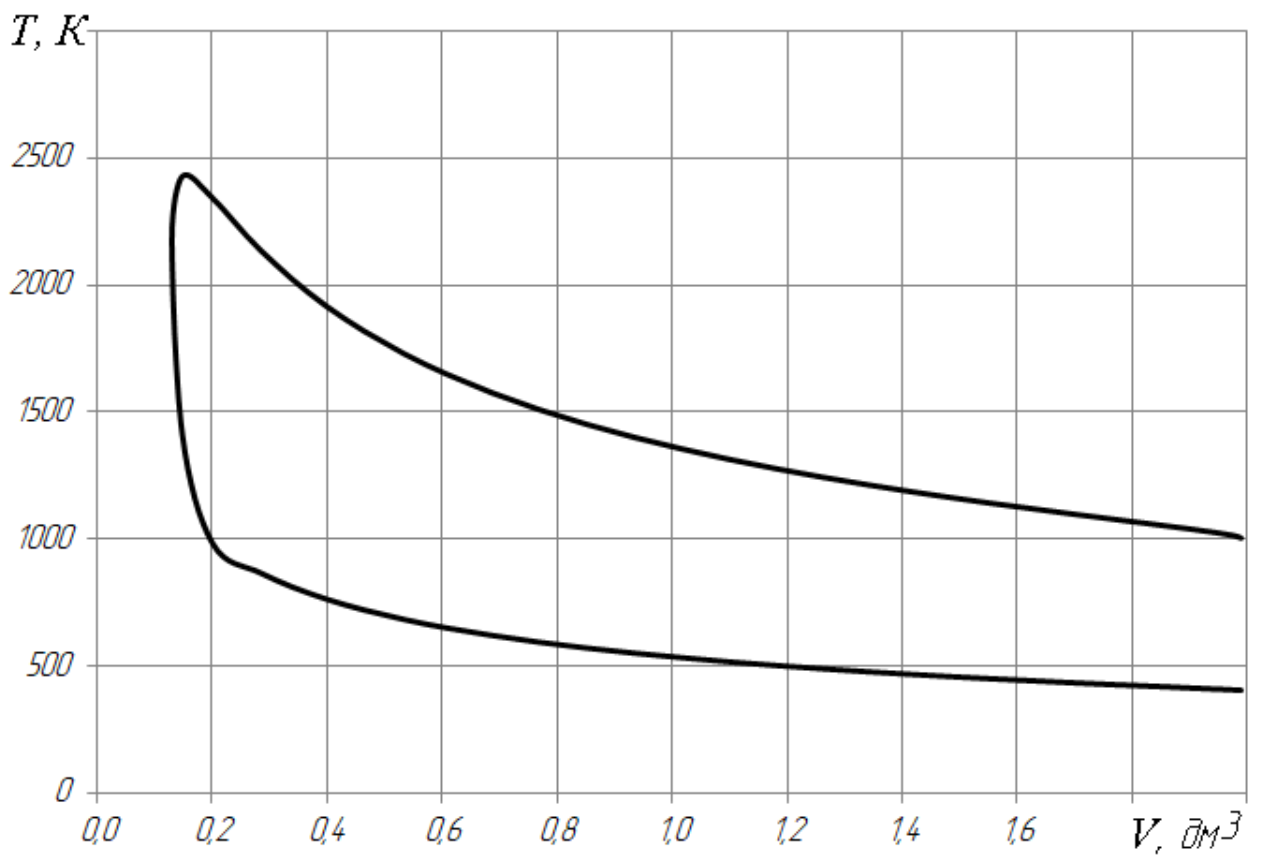


Рисунок 3.2 – Індикаторна діаграма температури двигуна ЯМЗ-238Д

Проведені перевірки циклових і питомих показників вказують на те, що тепловий розрахунок виконано вірно. Отримані значення максимальної температури та тиску  $T_{\max}$ ,  $p_{\max}$  відповідають літературним даним [18, табл. 2.6].

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПАЛИВОПОДАЧІ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДВИГУНА ЯМЗ-238Д

### 4.1 Тепловий розрахунок двигуна на дослідницьких режимах паливоподачі

Двигуни родини ЯМЗ-238 мають високий запас міцності та часто піддаються різного роду форсуванню. Один з найпростіших способів підвищення показників роботи двигуна – зміна коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  з відповідною зміною циклової подачі палива  $\Delta m_{\text{тц}}$ , в той час як циклова подача повітря  $\Delta m_{\text{вц}}$ , з огляду на принцип роботи дизельного двигуна, очевидно, залишається незмінною.

Згідно методики теплового розрахунку, наведеної в розділі 3, проводимо підготовку величин для комп'ютерної програми Engine Calculation. Ті з них, які відрізняються від значень для номінального режиму при  $\alpha = 1,7$ , заносимо до таблиці 4.1. Розрахунок проводимо для  $\alpha = 1,5 \dots 2,3$  з кроком  $\alpha = 0,2$ .

Таблиця 4.1 – Величини, що змінюються в ході теплового розрахунку ЯМЗ-238Д в комп'ютерній програмі Engine Calculation при варіюванні величини  $\alpha$

Величина	Значення				
$\alpha$	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3
$\Delta m_{\text{тц}}$ , кг/цикл	0,00013308	0,00011743	0,00010507	0,00009506	0,00008679

Проведено теплові розрахунки двигуна ЯМЗ-238Д з різними значеннями коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  та циклової подачі палива  $\Delta m_{\text{тц}}$  за даними з таблиць 3.1 і 4.1. Протоколи розрахунків наведено в додатку А.

## 4.2 Аналіз результатів теплових розрахунків

Побудуємо індикаторні діаграми  $p(V)$ ,  $T(V)$  для двигуна ЯМЗ-238Д, що працює на номінальному режимі, при різних значеннях  $\alpha$  (рис. 4.1, 4.2).

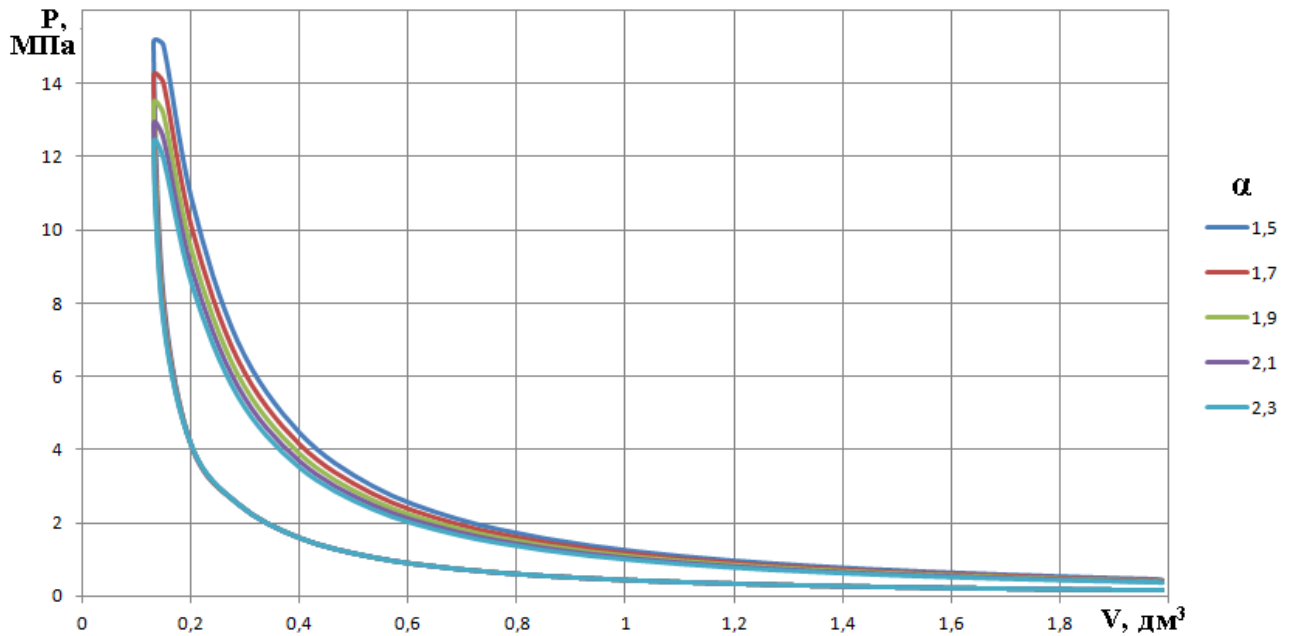


Рисунок 4.1 – Індикаторна діаграма тиску двигуна ЯМЗ-238Д при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$

З діаграми  $P(V)$  на рисунку 4.1 видно, що коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  суттєво впливає на тиск робочого тіла в циліндрі. Під час такту стиснення ( $\varphi = 180 \dots 360^\circ$  ПКВ) різниці тиску немає. Під час такту розширення ( $\varphi = 360 \dots 540^\circ$  ПКВ) збільшення  $\alpha$  на 0,2 призводить до зменшення тиску в середньому на 4,4...5,4 %. Відсутність зміни тиску в процесі стиснення пояснюється тим, що в циліндрах двигуна, незалежно від величини  $\alpha$ , знаходиться одна і та сама кількість повітря. А паливо впорскується за  $\Delta\varphi_{оп} = 25^\circ$  до ВМТ (див. пояснення до формули 3.14).

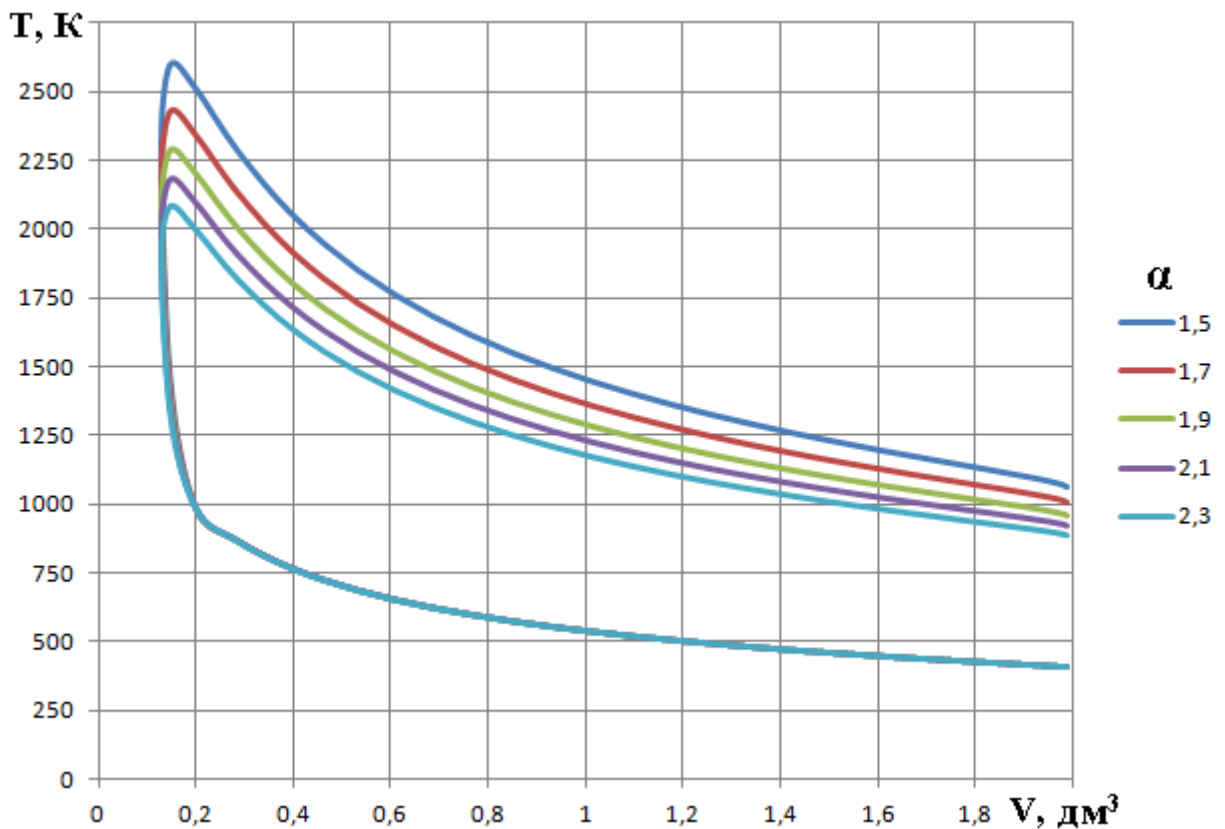


Рисунок 4.2 – Індикаторна діаграма температури двигуна ЯМЗ-238 при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$

З індикаторної діаграми  $T(V)$  на рисунку 4.2 видно, що збільшення коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  на кожні 0,2 одиниці призводить до зменшення температури на 4,1...5,1 % під час такту розширення (43...128 К в абсолютному зчисленні). А під час такту стиснення температура незмінна.

Максимальні значення тиску і температури за цикл наведено в таблиці 4.2. Величини максимального тиску  $p_{\max}$  при різних  $\alpha$  визначено при 365 ° п.к.в., максимальної температури  $T_{\max}$  – при 371...372 ° п.к.в.

Таблиця 4.2 – Максимальний тиск  $p_{\max}$  і температура  $T_{\max}$  за цикл

Величина	Значення				
$\alpha$	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3
$p_{\max}$ , МПа	15,973	14,914	14,086	13,413	12,856
$T_{\max}$ , К	2601,1	2429,4	2292,1	2179,7	2085,9



З протоколів теплового розрахунку визначено індикаторні показники (середній індикаторний тиск  $p_i$ , індикаторна робота  $L_i$ , індикаторний ККД  $\eta_i$ , питома індикаторна витрата палива  $g_i$ ) на номінальному режимі двигуна ЯМЗ-238Д, при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$ . Ці дані заносимо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3– Індикаторні показники двигуна ЯМЗ-238Д

Величина	Значення				
$\alpha$	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3
$p_i$ , МПа	1,528	1,365	1,234	1,127	1,037
$L_i$ , Дж/цикл	2838,5	2535,9	2293,0	2093,5	1926,8
$\eta_i$	0,502	0,508	0,513	0,518	0,522
$g_i$ , кг/(кВт·год)	0,1688	0,1667	0,1650	0,1635	0,1622

За допомогою формул 3.27 – 3.30 на основі індикаторних показників з таблиці 4.3 розраховуємо ефективні показники (середній ефективний тиск  $p_e$ , ефективну потужність  $N_e$ , ефективну питому витрату палива  $g_e$ , ефективний ККД  $\eta_e$ ) двигуна ЯМЗ-238Д при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$ . Результати розрахунків заносимо до таблиці 4.4 та будуємо графіки рисунки 4.3–4.6.

Таблиця 4.4– Ефективні показники двигуна ЯМЗ-238Д

Величина	Значення				
$\alpha$	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3
$p_e$ , МПа	1,070	0,956	0,864	0,789	0,726
$N_e$ , кВт	278,17	248,52	224,71	205,16	188,83
$g_e$ , кг/(кВт·год)	0,241	0,238	0,236	0,234	0,232
$\eta_e$	0,351	0,356	0,359	0,363	0,366
$G_p$ , кг/год	67,07	59,18	52,96	47,91	43,74

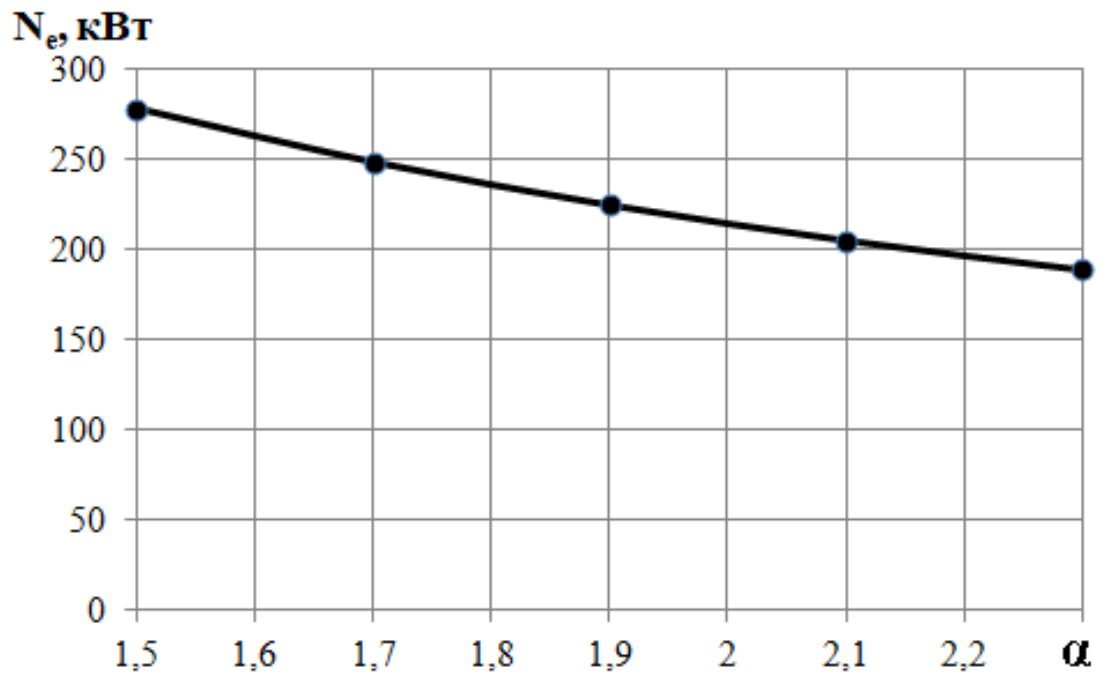


Рисунок 4.3 – Вплив коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  на ефективну потужність  $N_e$  двигуна ЯМЗ-238Д

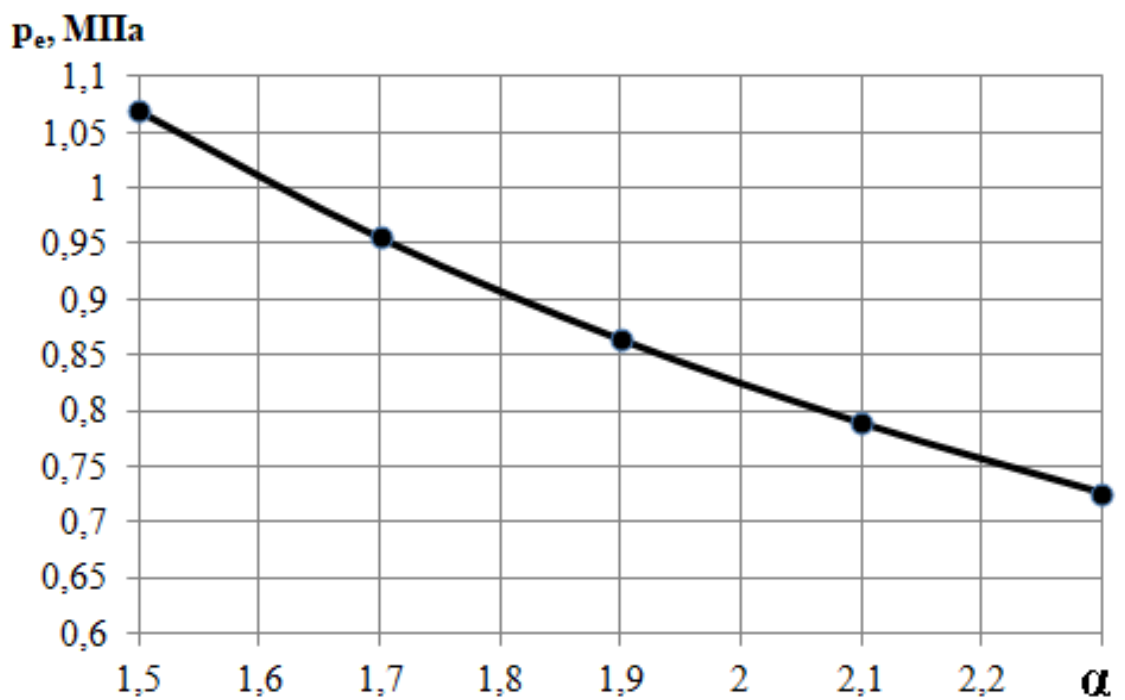


Рисунок 4.4 – Вплив коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  на середній ефективний тиск в циліндрі двигуна ЯМЗ-238Д

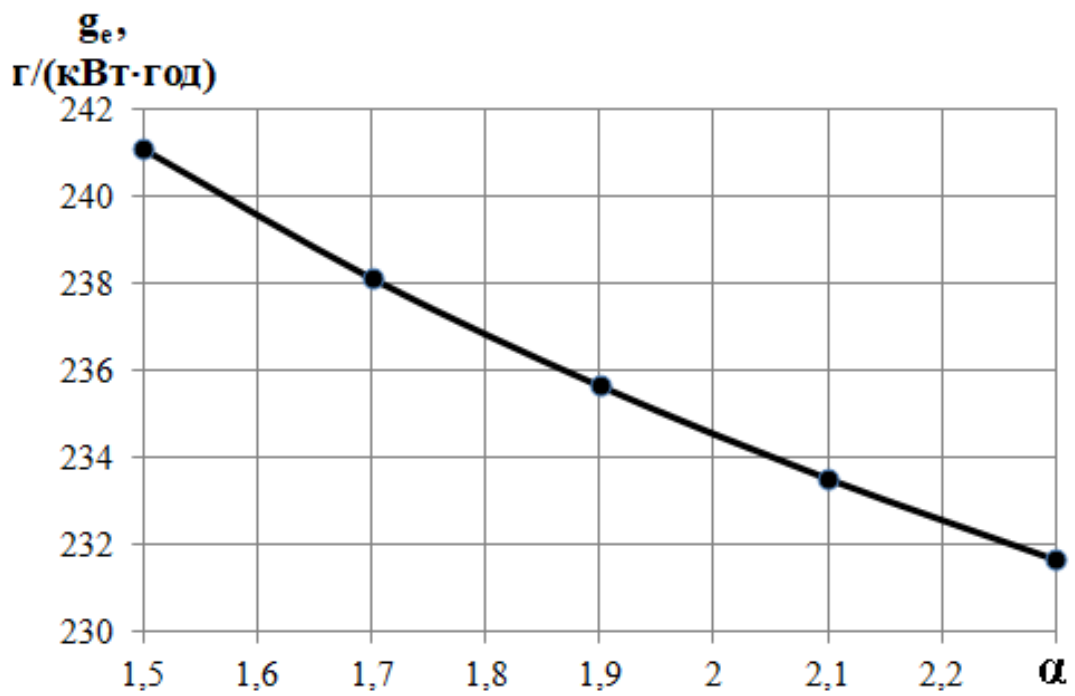


Рисунок 4.5 – Вплив коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  на питому ефективну витрату палива  $g_e$  двигуна ЯМЗ-238Д

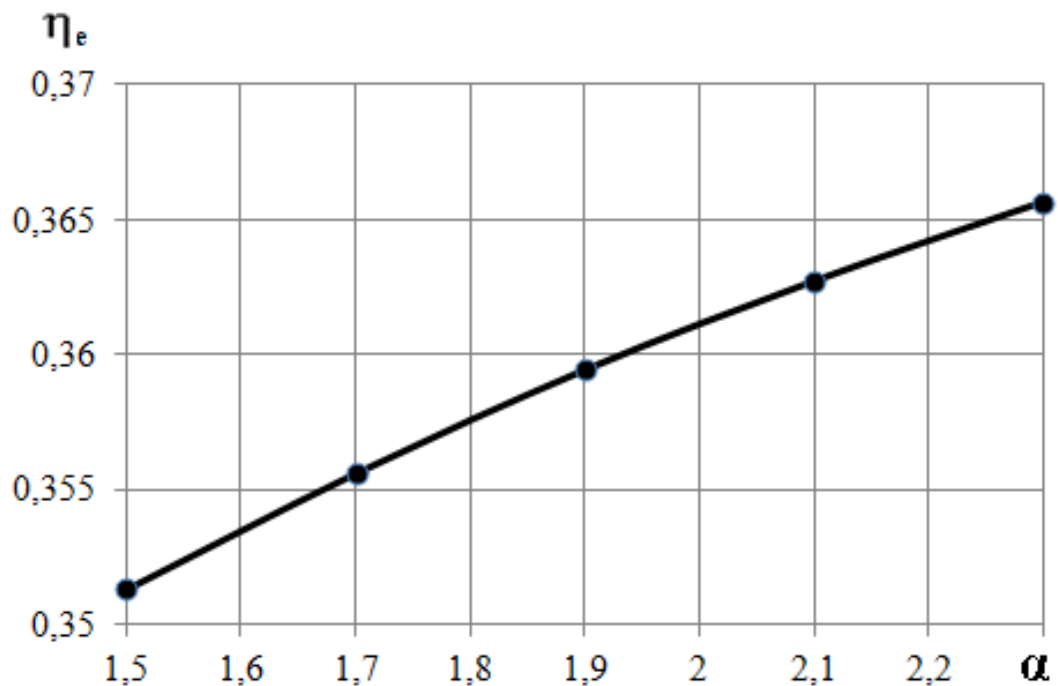


Рисунок 4.6 – Вплив коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  на ефективний ККД  $\eta_e$  двигуна ЯМЗ-238Д

З аналізу рисунків 4.3-4.6 можна зробити висновок, що зміна

коефіцієнта надлишку повітря має двоокий вплив на техніко-економічні показники двигуна ЯМЗ-238Д.

#### 4.3 Висновки за розділом

Зростання  $\alpha$  з 1,7 до 1,9 (див. табл. 4.4) призводить до наступних змін ефективних показників двигуна ЯМЗ-238Д:

- ефективна потужність  $N_e$  зменшується на 23,8 кВт (9,6 %);
- середній ефективний тиск  $p_e$  зростає на 91,5 кПа (9,6 %);
- ефективна питома витрата палива  $g_e$  скорочується на 2 г/(кВт·год) (1,0 %);
- ефективний ККД збільшується на 1,1 %.

Для визначення фактично витрати палива двигуном визначимо величину годинної витрати палива, кг/год

$$G_{\text{п}} = N_e \cdot g_e, \quad (4.1)$$

Розраховані значення  $G_{\text{п}}$  заносимо до таблиці 4.4. При збільшенні  $\alpha$  з 1,7 до 1,9 годинна витрата палива скорочується на 6,23 кг/год, тобто на 10,5 %.

Таким чином, можна зробити висновок, що при збільшенні коефіцієнта надлишку повітря (зменшення циклової подачі палива  $\Delta m_{\text{тц}}$  при незмінній величині циклової подачі повітря) на номінальному режимі роботи дизеля витрата палива зменшується, але зменшується і потужність двигуна. Збільшення ефективного ККД вказує на те, що більші значення  $\alpha$  є більш вигідними. Проте максимальну потужність двигуна можна отримати лише при менших  $\alpha$ .

З аналізу літературних джерел встановлено, що для номінального режиму роботи дизелів характерне  $\alpha = 1,4 \dots 1,5$  (для атмосферних двигунів).

При  $\alpha < 1,3$  неможливо отримати досить повного і бездимного згорання, у відпрацьованих газах з'являється велика кількість сажі.

Для дизелів з наддувом величина  $\alpha$  може збільшуватися на 7...30 % для забезпечення зниження теплової напруженості [4].

Таким чином, для двигуна ЯМЗ-238Д можна рекомендувати оптимальне значення коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha = 1,5$ . Проте це може викликати підвищення теплового режиму двигуна, що потребуватиме додаткових досліджень.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Тема магістерської роботи «Дослідження впливу параметрів паливоподачі на техніко-економічні показники двигуна ЯМЗ-238», у відповідності з якою проведено розрахунок показників ДВЗ при зміні коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  з відповідною зміною циклової подачі палива  $\Delta m_{\text{ци}}$ , за допомогою ПК. Проведемо аналіз потенційних небезпек, розглянемо заходи забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки для приміщень обладнаних ПК, а також питання з цивільного захисту, згідно [28, 29].

### 5.1 Аналіз потенційних небезпек

Виявлені наступні небезпечні та шкідливі фактори при роботі на ПК здатні призвести до травм або ушкодження здоров'я дослідника:

1) Підвищений рівень електромагнітних випромінювань, джерелами яких є блоки живлення, система кадрової розгортки, система рядкової розгортки, блок модуляції променя. Електромагнітні поля, особливо низькочастотні, негативно впливають на нервову систему, викликаючи головний біль, запаморочення, нудоту, депресію, безсоння, відсутність апетиту, виникнення синдрому стресу.

2) Підвищений рівень шуму па робочому місці, джерелом якого є жорсткий диск, вентилятор блоку живлення мережі, вентилятор на процесорі, швидкості CD-ROM, механічні сканери, пересувні механічні частини принтера.

3) Підвищене значення напруги в електричній мережі, внаслідок аварій на лініях електромереж при падінні дерев або поломки опор ліній електромереж (в наслідок природних або техногенних катастроф), може

призвести до виходу з ладу ПК та його периферійних пристроїв, навіть може відбутися пожежа.

4) Ураження електричним струмом, через відсутність заземлення, порушення ізоляції силових дротів в наслідок їх перекручування, переламування або їх механічного пошкодження внаслідок падіння на них металевих предметів. нехтування правилами користування. Це може призвести до опіків на тілі, до смерті.

5) Незадовільний стан показників мікроклімату при роботі за ПК може призвести до простудних захворювань, підвищеної втомлюваності, наслідком чого можуть відбутися травми.

6) Незадовільно організоване робоче місце дослідника в приміщенні, де розташовано ПК, а саме захарашення робочої зони, що може призвести до зниження працездатності, або до травми.

7) Під час роботи ПК з конденсаторів та трансформаторів або інших елементів можуть виділятися токсичні пари, що можуть привести до пошкодження дихальних шляхів, очей, подрізнення, шкіри що може призвести до нещасних випадків .

8) Потенційна небезпека, що пов'язана з проявом наслідків надзвичайних ситуацій можлива через непідготовленість персоналу в умовах надзвичайних ситуацій.

9) Недостатня освітленість робочого місця. Причинами є недостатнє штучне освітлення, через неналежний підбір кількості освітлювальних приладів. Як наслідок при недостатньому освітленні падає ККД, збільшується втома, зростає ймовірність помилкових дій, що може привести до травматизму.

10) Під час обробки даних експерименту на ПК оператор отримує іонізуюче випромінювання, яке негативно впливає на нервову систему, викликає головний біль, зменшує працездатність.

## 5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

1) Для захисту оператора від електромагнітних випромінювань і електростатичних полів, які створює монітор, необхідно використовувати захисні екрани, замінити монітори з електронно-променевою трубкою на рідкокристалічні, рекомендується включати в одну розетку не більше двох комп'ютерів згідно ДСанНіП 3.3.6.096-2002 «Державними санітарними нормами і правилами при роботі з джерелами електромагнітних полів».

2) Постійно перевіряти стан ізоляції електричної проводки, не розташовувати кабелі у вільно доступних місцях, для запобігання пошкодження кабелів рекомендується розміщувати їх в спеціальних коробах, не встановлювати комп'ютерні столи та інші меблі на проводку, використовувати кабелі з подвійною ізоляцією згідно Наказу Держгірпромнагляду України «Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» від 26 березня 2010 р. № 65.

3) Для забезпечення ергономічності робочого місця дослідника при роботі на ПК клавіатура повинна розміщуватися на поверхні столу або спеціальній підставці на відстані від 100 мм до 300 мм від краю, повернутого до користувача. Кут нахилу панелі клавіатури до горизонтальної поверхні повинен бути в межах від 5° до 15°. Висота робочої поверхні столу має бути в межах 680...800 мм. Стіл повинен мати простір для ніг шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм і на рівні витягнутих ніг не менше 650 мм. Під електричні принтери необхідно підкладати килимки для гасіння вібрації та шуму. При використанні пристрою типу «миша» має місце вимушена поза, необхідність постійного контролю за якістю дій, тому потрібно забезпечити велику вільну поверхню столу для переміщення «миші» і зручного упору ліктьового суглоба згідно Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового



процесу» (Наказ МОЗ № 248 від 08.04 2014 р.).

4) Для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців, довгого перебування в одному положенні необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин кожні 1...2 години; для зменшення тривалості зосередження уваги необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви згідно ст. 13 КЗоП Закону України.

### 5.3 Заходи до забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці для приміщення дослідницької лабораторії обладнаної ПК:

1) Освітленість приміщення для роботи з дисплеями й відеотерміналами відповідає розряду зорових робіт А-2. Згідно ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» нормована загальна освітленість для розряду А-2 складає: на робочих столах  $E = 400$  лк, для приведення освітленості до норми бажано використовувати люмінесцентні лампи. Можливе застосування ламп розжарювання в світильниках місцевого освітлення.

2) Відповідно до класифікації, умови важкості та напруженості праці на робочому місці дослідника належать до категорії Іб. Для приведення мікрокліматичних умов до відповідності, необхідно забезпечити температура повітря в холодний період року 22...24 °С. в теплий період року – 23...25 °С. відносна вологість повітря 40...60 %, швидкість руху повітря 0.1...0.2 м/с. використовувати припливно-витяжну механічну вентиляцію та кондиціонування приміщення згідно ДСН 33.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»;

3) Рівень шуму в робочій зоні дослідника - 50 дБА, для зниження рівня шуму в робочій зоні дослідника необхідно замість матричних принтерів

застосовувати лазерні, з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом; використанням звукобірних матеріалів з максимальними коефіцієнтами звукопоглинання в області частот 63...8000 Гц для обробки стін і стелі приміщень згідно ДСН 3.3.6-037 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

4) Допустимі рівні іонізуючого опромінення регламентуються Основними санітарними правилами забезпечення радіаційної безпеки ОСПУ-2005. Негативний вплив рентгенівських та іонізуючих випромінювань можна прибрати змінивши екран для комп'ютера на рідкокристалічний дисплей. Для забезпечення безпеки та захисту здоров'я працівників усе випромінювання від екранних пристроїв має бути зведене до гранично допустимого рівня. Іонізуючі електромагнітні випромінювання на відстані 0,05 м від екрана до корпуса відеотерміналу при будь-яких положеннях регульовальних пристроїв не повинна перевищувати  $7 \times 74 \cdot 10^{-12}$  А/кг, що відповідає еквівалентній дозі 0,1 мбер/год НРБУ № 58 згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

#### 5.4 Заходи з пожежної безпеки

В комп'ютерному класі, де проводилися роботи за ПК знаходиться дерев'яні меблі, електронна апаратура, паперові носії інформації. Клас пожежі у такому приміщенні (згідно ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва») – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, пластмаси, папір) – визначається як клас А. Категорія приміщення (згідно із НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та

зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» визначається як категорії Д. Визначення типу та розрахунок кількості первинних засобів пожежогасіння (згідно із ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва») – для комп'ютерного класу площею 50 м<sup>2</sup> застосовуються три порошкових вогнегасника типу ВП-5 з розрахунку 1 вогнегасник на 20 м<sup>2</sup> (НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою»).

Згідно ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» в приміщенні встановлені комбіновані оптико-теплові датчики СПД-3.5. У разі спрацювання сигналу тривоги він подається на ППКП і передається на звукові та світлові сповіщувачі будівлі.

#### 5.5 Заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях

До захисних споруд цивільного захисту належать:

– сховище – герметична споруда для захисту людей, в якій протягом певного часу створюються умови, що виключають вплив на них небезпечних факторів, які виникають внаслідок надзвичайної ситуації, військових дій та терористичних актів;

– протирадіаційне укриття – негерметична споруда для захисту людей, в якій створюються умови, що виключають вплив на них іонізуючого опромінення у разі радіоактивного забруднення місцевості;

– швидкосторуджувана захисна споруда цивільного захисту – захисна споруда, що зводиться із спеціальних конструкцій за короткий час для захисту людей від дії засобів ураження в особливий період.

Для захисту людей від деяких факторів небезпеки, що виникають внаслідок надзвичайних ситуацій у мирний час, та дії засобів ураження в

особливий період також використовуються споруди подвійного призначення та найпростіші укриття.

Споруда подвійного призначення - це наземна або підземна споруда, що може бути використана за основним функціональним призначенням і для захисту населення.

Найпростіше укриття – це фортифікаційна споруда, цокольне або підвальне приміщення, що знижує комбіноване ураження людей від небезпечних наслідків надзвичайних ситуацій, а також від дії засобів ураження в особливий період.

Укриттю підлягають наступні категорії людей:

– у сховищах:

а) працівники найбільшої працюючої зміни суб'єктів господарювання, віднесених до відповідних категорій цивільного захисту та розташованих у зонах можливих значних руйнувань населених пунктів, які продовжують свою діяльність в особливий період;

б) персонал атомних електростанцій, інших ядерних установок і працівники суб'єктів господарювання які забезпечують функціонування таких станцій (установок);

в) працівники найбільшої працюючої зміни суб'єктів господарювання, віднесених до категорії особливої важливості цивільного захисту та розташованих за межами зон можливих значних руйнувань населених пунктів, а також працівники чергового персоналу суб'єктів господарювання, які забезпечують діяльність міст, віднесених до відповідних груп цивільного захисту;

г) хворі, медичний та обслуговуючий персонал закладів охорони здоров'я, які не підлягають евакуації або не можуть бути евакуйовані у безпечне місце.

Порядок створення, утримання фонду захисних споруд цивільного захисту та ведення його обліку визначається Кабінетом Міністрів України. Проектування, будівництво, утримання фонду захисних споруд та об'єктів

подвійного призначення здійснюються згідно з нормами, які розробляються відповідно до Закону України «про будівельні норми».

Вимоги щодо утримання та експлуатації захисних споруд визначаються центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

Утримання захисних споруд цивільного захисту у готовності до використання за призначенням здійснюється суб'єктами господарювання, на балансі яких вони перебувають.

## 5.6 Висновки до розділу

В розділі розглянутий аналіз потенційних небезпек які можуть вплинути на дослідника при визначенні ефективних показники дизельного двигуна ЯМЗ-238. Розроблені заходи по їх усуненню. Розроблені заходи по пожежній безпеці та діях у випадку надзвичайної ситуації.

## 6 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Магістерська робота за темою «Дослідження впливу параметрів паливоподачі на техніко-економічні показники двигуна ЯМЗ-238» – наукового спрямування, тому визначаємо витрати на її проведення і рівень ефективності дослідження, використовуючи методики [35, 36].

### 6.1 Визначення витрат на проведення магістерської роботи

Розраховуємо **витрати на матеріали** (табл. 6.1), які були використані при виконанні магістерської роботи

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	1	90,00	90,00
2	Настольний набір	набір	1	250	250,00
	Підсумок за винятком зворотних витрат	–	–	–	340,00
	Транспортно-заготівельні витрати	%	10	10	34,00
	Разом із транспортно-заготівельн. витратами	–	–	–	374,00

**Витрати на силову енергію**  $E_c$  визначаємо за формулою [35]:

$$E_c = \frac{P_y \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_B \cdot C_e}{\text{ККД}}, \quad (6.1)$$

$$E_{с\text{ ноутбук}} = \frac{0,5 \cdot 552 \cdot 0,8 \cdot 0,75}{0,9} = 184,00 \text{ грн.};$$

$$E_{с\text{ ноутбук}} = \frac{0,01 \cdot 552 \cdot 0,8 \cdot 0,75}{0,9} = 3,68 \text{ грн.};$$

де  $P_y$  – установлена потужність енергетичних струмоприймачів устаткування, кВт;

$\Phi_{\text{еф}}$  – ефективний фонд часу роботи даного виду устаткування, годин. Приймаємо  $\Phi_{\text{еф}} = 552$  год із розрахунку 69 днів на виконання магістерської роботи, роботи 8 годин кожного робочого дня;

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

$C_e$  – ціна 1 кВт·години електроенергії, грн./(кВт·год);

ККД = 0,8.....0,9.

Виконані розрахунки заносимо до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Устаткування	Вид енерго-ресурсів	$P_y$ , Вт	$\Phi_{\text{еф}}$	Ціна чи вартість, грн./кВт·год	Вартість енерго-ресурсів, грн.
Комп'ютерна техніка	електрична енергія	500	552	0,75	184,00
Освітлення	електрична енергія	10	552		3,68
Разом					187,68

### Розрахунок амортизації універсального устаткування

Суму амортизаційних відрахувань від балансової вартості універсального устаткування, апаратів і приладів, що відносяться до

основних фондів, розраховується у відповідності із зайнятістю їх для даної роботи [35]. Норму амортизації для комп'ютерної техніки приймаємо 50 %.

Результати розрахунку зводимо до таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Устаткування, прилади	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Зайнятість устаткування, год	Річний ефективний фонд часу, год	Сума амортизації, грн.
Комп'ютер	14000	50	552	2085	1853,24
Wi-Fi роутер	555	50	552	8760	17,49
Принтер	4000	50	10	40	500
Разом					2370,73

### Розрахунок заробітної плати

У цю статтю включається заробітна плата всіх категорій працівників, що безпосередньо зайняті в процесі проведення всіх етапів робіт [35]. Сума заробітної плати розраховується на основі зайнятості виконавців по окремих етапах робіт і середньоденного заробітку для кожної категорії персоналу (див. календарний план виконання магістерської роботи). Студент-магістрант виконує магістерську роботу за 3 місяці і 4 дні, (69 робочих днів). Керівник роботи працює протягом того ж часу, проте розподіляє свої обов'язки між 5 магістрантами, тому  $69/5 = 14$  днів. Згідно календарного плану, консультант з економіки витрачає на роботу 8 днів, консультант з охорони праці 7 днів, нормоконтролер – 4 дні.

Розрахунок основної заробітної плати зводимо до таблиці 6.4.



Таблиця 6.4 – Розрахунок основної і заробітної плати

Посада виконавця	К-ть, людей	Місячний оклад, грн.	Середньоденна зарплата, грн.	Зайнятість НДР, днів	Підсумкова сума основної зарплати, грн.
Студент	1	2400,00	85,00	69	8480,00
Керівник	1	9400,00	375,00	14	6580,00
Консультант з економіки	1	9400,00	325,00	8	3760,00
Консультант з охорони праці	1	8000,00	325,00	7	2800,00
Нормо-контролер	1	7500,00	275,00	4	1500,00
Підсумок	5	–	–	90	22920,00

Таким чином, основана заробітна плата  $ЗП_0 = 22920,00$  грн. До підсумкової суми основної зарплати робітників додається премія в розмірі 10 % [35]:

$$ЗП_д = ЗП_0 \cdot 0,1 \quad (6.2)$$

$$ЗП_д = 22920 \cdot 0,1 = 2292,00 \text{ грн.}$$

Таким чином, основна і додаткова зарплата складає

$$ЗП = ЗП_0 + ЗП_д, \quad (6.3)$$

$$ЗП = 22920,00 + 2292,00 = 25212,00 \text{ грн.}$$

**Внески на соціальні заходи** визначаємо у процентному відношенні від суми основної і додаткової зарплати з урахуванням премій [35]:

$$B_{c3} = \frac{(3\Pi_o + 3\Pi_d) \cdot Y_{c3}}{100\%} \quad (6.4)$$

$$B_{c3} = \frac{(22920,00 + 2292,00) \cdot 22}{100} = 5546,64 \text{ грн.},$$

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

**Накладні витрати** розраховуємо у відсотках від основної заробітної плати виконавців (50 %).

$$B_n = 3\Pi_o \cdot 0,5, \quad (6.5)$$

$$B_n = 22920,00 \cdot 0,5 = 11460,00 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків витрат заносимо до таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Кошторис витрат на виконання НДР

Витрати	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
Матеріали за винятком зворотних відходів	374,00	0,83
Паливо й енергія з боку	187,68	0,42
Амортизація універсального устаткування	2370,73	5,25
Заробітна плата основна і додаткова	25212,00	55,84
Відрахування на соціальні заходи	5546,64	12,28
Накладні витрати	11460,00	25,38
Усього	45151,05	100

## 6.2 Розрахунок економічної ефективності науково-дослідної роботи

В зв'язку з тим, що результати дослідження мають теоретичний характер визначаємо техніко-економічну ефективність роботи з урахуванням наступних показників [35]:

- важливості дослідження для народного господарства;
- складності розробки;
- результативності й можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють по його призначенню:

- рішення проблемних питань;
- задоволення вимог спеціальної техніки;
- пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень і т. і.

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з обліком грошових і трудових витрат на їхнє проведення.

Результативність роботи можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає планованому, задовільний (часткове рішення) чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних робіт за формулою:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (6.6)$$

$$K_{\text{НДР}} = \frac{3^2 \cdot 3 \cdot 2}{45,15105 \cdot \frac{3}{12}} = 4,78,$$

де  $K_{\text{НДР}}$  – рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності робіт);

$J^n$  – важливість роботи;

$R$  – результативність роботи;

$T$  – технічна складність виконання НДР;

$B_{\text{НДР}}$  – витрати на проведення НДР, тис грн;

$n$  – показник використання результатів НДР:

$n = 0$  – результати НДР не використовуються;

$n = 1$  – результати НДР використовуються частково;

$n = 2$  – результати НДР використовуються в дослідно-конструкторських роботах (ДКР);

$n = 3$  – результати НДР можуть бути використані без проведення ДКР.

При значенні  $K_{\text{НДР}} \geq 1$  науково-дослідницька робота вважається ефективною.

Таблиця 6.6 – Значення оцінних факторів

Оцінні фактори	J	R	T	C	$t_{\phi}$	n
Припустимі значення	2...5	1...4	1...3	–	–	1...8
Прийняті значення	3	3	2	–	–	3

Розрахований показник оцінки техніко-економічної ефективності  $K_{\text{НДР}} > 1$ , що підтверджує економічну ефективність магістерської роботи дослідницького характеру.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

За результатами аналізу літературних джерел обґрунтовано задачу визначення характеру впливу коефіцієнта надлишку повітря та циклової подачі палива на техніко-економічні показники дизельного двигуна ЯМЗ-238.

Розглянуто конструкцію та технічну характеристику двигуна ЯМЗ-238Д, який використовується для приводу шасі МЗКТ-692378. Розглянуто основні положення фізико-математичної моделі II рівня, яка використовується для теплового розрахунку ДВЗ.

Проведено тепловий розрахунок двигуна ЯМЗ-238Д на номінальному режимі, з використанням комп'ютерної програми Engine Calculation. Потужність двигуна склала 248,45 кВт при  $2100 \text{ хв}^{-1}$ . Ефективна питома витрата палива  $g_e = 0,238 \text{ кг}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ . Ефективний ККД двигуна  $\eta_e = 0,35$ .

Проведено теплові розрахунки із змінюваними дослідницькими факторами, коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha$  і цикловим масовим зарядом палива  $\Delta m_{\text{тц}}$ . Коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  змінювався від  $\alpha = 1,5$  до  $\alpha = 2,3$ . Розраховано індикаторні та ефективні показники двигуна, побудовано індикаторні діаграми двигуна. Визначено залежність ефективної потужності, середнього ефективного тиску, ефективного ККД, питомої ефективної витрати палива дизеля ЯМЗ-238Д від складу паливоповітряної суміші.

Таким чином, для дизеля з наддувом ЯМЗ-238Д можна рекомендувати оптимальне значення коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha = 1,5$ . Проте це може викликати підвищення теплового режиму двигуна, що потребуватиме додаткових досліджень.

Виконано аналіз потенційних небезпек які можуть вплинути на дослідника при визначенні ефективних показники дизельного двигуна ЯМЗ-238. Розроблені заходи по їх усуненню. Розроблені заходи по пожежній безпеці та діях у випадку надзвичайної ситуації.

Розраховані витрати на проведення магістерської роботи згідно кошторису складають 45151,05 гривень. Розрахований показник оцінки техніко-економічної ефективності  $K_{\text{НДР}} = 4,78$ , що підтверджує економічну ефективність магістерської роботи дослідницького характеру.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / В.П. Алексеев, В.Ф. Воронин, Л.В. Грехов. – Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1990. – 284 с.
2. Технология COMMON RAIL DELPHI [Электронный ресурс]. – Сайт «Commonrail.ru». – Режим доступа : [http://www.commonrail.ru/tech/tech\\_03.php](http://www.commonrail.ru/tech/tech_03.php)
3. Дьяченко, В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания. Учебник / В.Г. Дьяченко – Пер. с укр. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 500 с.
4. Шароглазов, Б. А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов: Учебник [Текст] / Б. А. Шароглазов, М. Ф. Фарафонов, В. В. Клементьев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – 403 с.
5. Двигуни внутрішнього згорання. Теорія : підручник [Текст] / В.Г. Дьяченко; За ред. А.П. Марченка. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2008. – 488 с.
6. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др. – М.: Машиностроение, 1983. – 272 с.
7. Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчёт на прочность поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.
8. Трактори та автомобілі. Навч. посібник [Текст] / А.Т. Лебедев, В.М. А. Тощенко, М.Ф. Бойко та ін.; За ред. проф. А.Т Лебедева. – К.:Вища освіта, 2004.
9. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т.1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. [Текст] / За редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України, проф. А.Ф. Шеховцова – Харків: Видавн. центр НТУ “ХПІ”, 2004.
10. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей

[Текст]. – Учебное пособие для ВУЗов. – 4-е изд., стереотип. / А.И. Колчин, В.П. Демидов – М.: Высшая школа, 2008. – 496 с.

11. Дьяченко, Н.Х. Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей [Текст] / Н.Х. Дьяченко. – Л.: Машиностроение, 1969. – 248 с.

12. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т.2. Доводка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин [Текст] / За редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова – Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004.

13. Кадыров, С.М. Двигатели внутреннего сгорания (теория и конструкция) [Текст] / С.М. Кадыров. Под ред. М.М. Арипджанова. – Ташкент, 2012. – 472 с.

14. Характеристики ЯМЗ-238 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wikimotors.ru/yamz-238/>

15. Дизельный двигатель ЯМЗ-238Д [Электронный ресурс]. – Сайт «Торговый дом "Мастер-Электро"». – 2010. – Режим доступа: <http://www.ms-el.com/generator/zalivka/dizelot30/dvigatel/yamz238d.html>

16. Двигатели ЯМЗ-238 [Электронный ресурс]. – Сайт «Ярославские моторы». – Режим доступа: <https://www.yamz-dizel.ru/engines-yamz/238/>

17. Характеристики двигателя ЯМЗ-238Д [Электронный ресурс]. – Сайт «Авто Альянс». – Режим доступа: <http://www.yamzopt.ru/catalog/yamz/engines/euro-0/euro0-v8t-238d.html>

18. 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.

19. 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.



20. Лиханов, В.А. Испытания двигателей внутреннего сгорания и топливной аппаратуры дизелей: Учебное пособие [Текст]. – 3-е изд., испр. и доп. / В.А. Лиханов, Р.Р. Девятьяров. – Киров: Вятская ГСХА, 2008. – 106 с.

21. Морозова, В.С. Прогнозирование содержания сажи в отработавших газах дизеля с использованием оценки эффективности сгорания [Текст] / В.С. Морозова, В. С. Гун, В.Л. Поляцко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – № 2. – С. 105–108.

22. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань [Електронний ресурс] : ДСН 239-96. – На заміну СанПиН 2963-84 ; чинний від 1996-08-01. – К. : МОЗ України, 1996. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96>.

23. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] – Чинний від 2012-11-21. : станом на 01.01.2020 р. – К. : ВР України, 2012. 21 – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. – (Закон України)

24. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.15- 18. – На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18. – К. : Мінсоцполітики України, 2018. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці)

25. Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст] : ДБН В.2.5-67:2013. – На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2013. – 149 с. – (Державні будівельні норми України)

26. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом [Текст] : ДСТУ Б В.2.5- 82:2016. – На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 109 с. – (Державний Стандарт України)

27. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-1.71-13. – Чинний від 2014-03-28. – К. : Міненерговугілля України, 2013. – Режим доступу:

<http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0327-14>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці)

28. 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.

29. 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.

30. Природне і штучне освітлення [Текст] : ДБН В.2.5-28-2018. – На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 133 с. – (Державні будівельні норми України)

31. Захист територій, будинків і споруд від шуму [Текст] : ДБН В.1.1-31:2013. – На заміну СНиП II-12-77 ; чинний з 01.06.2014. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 75 с. – (Державні будівельні норми України)

32. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] : ДСТУ Б В.1.1-36:2016. – На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016. – 66 с. – (Національний стандарт України)

33. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст] : НАПБ А.01.001-14. – На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30. – К. : МВС України, 2014. – 47 с. – (Нормативний акт пожежної безпеки)

34. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>. – (Державні санітарні норми)

35. Методичні вказівки до переддипломної практики, виконання та захисту кваліфікаційної роботи магістрів, що навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», освітня програма «Двигуни внутрішнього згорання» [Текст] / Укл.: Г. І. Слинько, В. І. Кубіч, Р. Ф. Сухонос. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 38 с.

36. Стеблюк, М. І. Цивільна оборона та цивільний захист [Текст] : навч. посіб. для вузів / М. І. Стеблюк. – К. : Знання, 2013. – 487 с.

35. Методичні вказівки для економічного обґрунтування дипломних проектів для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітня програма: «Двигуни внутрішнього згорання» всіх форм навчання [Текст] / Укл.: Борисенко О.Є.– Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – 34 с.

36. Методичні рекомендації щодо виконання економічного розділу дипломного проекту здобувачами вищої освіти технічних спеціальностей за освітнім ступенем «магістр» [Текст]. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 12 с.

## ДОДАТОК А

Протоколи теплового розрахунку двигуна ЯМЗ-238Д в програмі Engine  
Calculation

ПРОТОКОЛ № 1 ( $\alpha = 1,7$ )

$\varphi, ^\circ \text{П.К.В.}$	P, Па	T, К	m, кг	V, м <sup>3</sup>
180	171013	407,8	0,003000	0,001989
190	172575	409,3	0,003000	0,001978
200	176749	412,6	0,003000	0,001947
210	183854	417,7	0,003000	0,001895
220	194466	424,8	0,003000	0,001822
230	209500	434,3	0,003000	0,001729
240	230369	446,4	0,003000	0,001616
250	259241	461,8	0,003000	0,001486
260	299499	481,2	0,003000	0,001340
270	356569	505,5	0,003000	0,001182
280	439437	536,0	0,003000	0,001017
290	563575	574,6	0,003000	0,000850
300	756725	623,5	0,003000	0,000687
310	1070528	686,2	0,003000	0,000535
320	1602911	766,4	0,003000	0,000399
330	2530774	867,6	0,003000	0,000286
340	4087090	985,8	0,003000	0,000201
350	7985234	1414,8	0,003017	0,000149
360	14214557	2186,9	0,003058	0,000131
370	14018174	2426,9	0,003088	0,000149
380	10044558	2341,6	0,003104	0,000201
390	6456417	2133,9	0,003112	0,000286
400	4163159	1917,2	0,003115	0,000399
410	2802490	1729,3	0,003116	0,000535
420	1987458	1576,4	0,003117	0,000687
430	1481207	1453,6	0,003117	0,000850
440	1154712	1355,8	0,003117	0,001017
450	936513	1277,9	0,003117	0,001182
460	785938	1215,4	0,003117	0,001340
470	679397	1164,9	0,003117	0,001486
480	602659	1124,1	0,003117	0,001616
490	546833	1091,0	0,003117	0,001729
500	506209	1064,4	0,003117	0,001822
510	477057	1043,3	0,003117	0,001895
520	456929	1026,7	0,003117	0,001947
530	444263	1014,3	0,003117	0,001978
540	430231	1006,3	0,003117	0,001989

ЯМЗ-238Д

Дата: 02.10.2020

$L_i = 2535,907111$  Дж/цикл

$P_i = 1365005,442332$  Па

$\eta_i = 0,508119$

$g_i = 0,166705$  кг/(кВт\*год)

ПРОТОКОЛ № 2 ( $\alpha = 1,5$ )

$\varphi, ^\circ \text{П.К.В.}$	P, Па	T, К	m, кг	V, м <sup>3</sup>
180	171013	407,8	0,003000	0,001989
190	172575	409,3	0,003000	0,001978
200	176749	412,6	0,003000	0,001947
210	183854	417,7	0,003000	0,001895
220	194466	424,8	0,003000	0,001822
230	209500	434,3	0,003000	0,001729
240	230369	446,4	0,003000	0,001616
250	259241	461,8	0,003000	0,001486
260	299499	481,2	0,003000	0,001340
270	356569	505,5	0,003000	0,001182
280	439437	536,0	0,003000	0,001017
290	563575	574,6	0,003000	0,000850
300	756725	623,5	0,003000	0,000687
310	1070528	686,2	0,003000	0,000535
320	1602911	766,4	0,003000	0,000399
330	2530774	867,6	0,003000	0,000286
340	4087090	985,8	0,003000	0,000201
350	8231782	1457,4	0,003019	0,000149
360	15141366	2323,6	0,003066	0,000131
370	15059981	2597,5	0,003099	0,000149
380	10817682	2510,6	0,003118	0,000201
390	6953871	2287,3	0,003127	0,000286
400	4479841	2052,9	0,003130	0,000399
410	3011830	1849,3	0,003132	0,000535
420	2133037	1683,4	0,003132	0,000687
430	1587582	1550,2	0,003132	0,000850
440	1236092	1444,1	0,003132	0,001017
450	1001362	1359,6	0,003132	0,001182
460	839459	1291,7	0,003132	0,001340
470	724932	1236,9	0,003132	0,001486
480	642436	1192,3	0,003132	0,001616
490	582394	1156,2	0,003132	0,001729
500	538659	1127,1	0,003132	0,001822
510	507211	1103,7	0,003132	0,001895
520	485417	1085,3	0,003132	0,001947
530	471591	1071,3	0,003132	0,001978
540	456348	1062,2	0,003132	0,001989

ЯМЗ-238Д

Дата: 02.10.2020

$L_i = 2838,481043$  Дж/цикл

$P_i = 1527872,237766$  Па

$\eta_i = 0,501862$

$g_i = 0,168783$  кг/(кВт\*год)

ПРОТОКОЛ № 3 ( $\alpha = 1,9$ )

$\varphi, ^\circ \text{П.К.В.}$	P, Па	T, К	m, кг	V, м <sup>3</sup>
180	171013	407,8	0,003000	0,001989
190	172575	409,3	0,003000	0,001978
200	176749	412,6	0,003000	0,001947
210	183854	417,7	0,003000	0,001895
220	194466	424,8	0,003000	0,001822
230	209500	434,3	0,003000	0,001729
240	230369	446,4	0,003000	0,001616
250	259241	461,8	0,003000	0,001486
260	299499	481,2	0,003000	0,001340
270	356569	505,5	0,003000	0,001182
280	439437	536,0	0,003000	0,001017
290	563575	574,6	0,003000	0,000850
300	756725	623,5	0,003000	0,000687
310	1070528	686,2	0,003000	0,000535
320	1602911	766,4	0,003000	0,000399
330	2530774	867,6	0,003000	0,000286
340	4087090	985,8	0,003000	0,000201
350	7790536	1381,2	0,003015	0,000149
360	13480982	2078,2	0,003052	0,000131
370	13190660	2290,5	0,003078	0,000149
380	9428179	2205,7	0,003093	0,000201
390	6058493	2009,9	0,003100	0,000286
400	3909089	1807,2	0,003103	0,000399
410	2634093	1631,8	0,003104	0,000535
420	1870072	1489,1	0,003104	0,000687
430	1395245	1374,6	0,003104	0,000850
440	1088817	1283,5	0,003104	0,001017
450	883907	1210,9	0,003104	0,001182
460	742447	1152,7	0,003104	0,001340
470	642337	1105,8	0,003104	0,001486
480	570237	1067,8	0,003104	0,001616
490	517805	1037,2	0,003104	0,001729
500	479686	1012,7	0,003104	0,001822
510	452376	993,2	0,003104	0,001895
520	433583	978,1	0,003104	0,001947
530	421841	966,9	0,003104	0,001978
540	408778	959,9	0,003104	0,001989

ЯМЗ-238Д

Дата: 02.10.2020

$L_i = 2292,956583$  Дж/цикл

$P_i = 1234232,201255$  Па

$\eta_i = 0,513485$

$g_i = 0,164963$  кг/(кВт\*год)

ПРОТОКОЛ № 4 ( $\alpha = 2,1$ )

$\varphi$ , °П.К.В.	P, Па	T, К	m, кг	V, м <sup>3</sup>
180	171013,3	407,8	0,003000	0,001989
190	172575,2	409,3	0,003000	0,001978
200	176749,2	412,6	0,003000	0,001947
210	183854,5	417,7	0,003000	0,001895
220	194465,9	424,8	0,003000	0,001822
230	209500,4	434,3	0,003000	0,001729
240	230369,3	446,4	0,003000	0,001616
250	259240,8	461,8	0,003000	0,001486
260	299499,4	481,2	0,003000	0,001340
270	356569,3	505,5	0,003000	0,001182
280	439437,2	536,0	0,003000	0,001017
290	563574,9	574,6	0,003000	0,000850
300	756725,0	623,5	0,003000	0,000687
310	1070528,1	686,2	0,003000	0,000535
320	1602911,2	766,4	0,003000	0,000399
330	2530773,5	867,6	0,003000	0,000286
340	4087089,9	985,8	0,003000	0,000201
350	7632869,6	1353,9	0,003014	0,000149
360	12885833,4	1989,7	0,003047	0,000131
370	12517367,6	2178,9	0,003071	0,000149
380	8925142,7	2094,0	0,003084	0,000201
390	5732843,1	1907,8	0,003090	0,000286
400	3700655,1	1716,3	0,003093	0,000399
410	2495639,5	1551,0	0,003094	0,000535
420	1773366,5	1416,7	0,003094	0,000687
430	1324296,8	1308,9	0,003094	0,000850
440	1034339,8	1223,2	0,003094	0,001017
450	840349,8	1154,9	0,003094	0,001182
460	706384,3	1100,2	0,003094	0,001340
470	611566,3	1056,2	0,003094	0,001486
480	543281,5	1020,6	0,003094	0,001616
490	493642,7	992,0	0,003094	0,001729
500	457582,0	969,1	0,003094	0,001822
510	431786,1	951,0	0,003094	0,001895
520	414084,7	937,1	0,003094	0,001947
530	403095,1	926,9	0,003094	0,001978
540	390827,0	920,6	0,003094	0,001989

ЯМЗ-238Д

Дата: 02.10.2020

$L_i = 2093,495861$  Дж/цикл

$P_i = 1126868,264269$  Па

$\eta_i = 0,518186$

$g_i = 0,163466$  кг/(кВт\*год)



ПРОТОКОЛ № 5 ( $\alpha = 2,3$ )

$\varphi$ , °П.К.В.	P, Па	T, К	m, кг	V, м <sup>3</sup>
180	171013,3	407,8	0,003000	0,001989
190	172575,2	409,3	0,003000	0,001978
200	176749,2	412,6	0,003000	0,001947
210	183854,5	417,7	0,003000	0,001895
220	194465,9	424,8	0,003000	0,001822
230	209500,4	434,3	0,003000	0,001729
240	230369,3	446,4	0,003000	0,001616
250	259240,8	461,8	0,003000	0,001486
260	299499,4	481,2	0,003000	0,001340
270	356569,3	505,5	0,003000	0,001182
280	439437,2	536,0	0,003000	0,001017
290	563574,9	574,6	0,003000	0,000850
300	756725,0	623,5	0,003000	0,000687
310	1070528,1	686,2	0,003000	0,000535
320	1602911,2	766,4	0,003000	0,000399
330	2530773,5	867,6	0,003000	0,000286
340	4087089,9	985,8	0,003000	0,000201
350	7502618,4	1331,3	0,003013	0,000149
360	12393424,7	1916,3	0,003043	0,000131
370	11958975,2	2085,9	0,003065	0,000149
380	8506888,0	2000,6	0,003077	0,000201
390	5461449,3	1822,1	0,003083	0,000286
400	3526588,1	1639,8	0,003085	0,000399
410	2379799,0	1482,9	0,003086	0,000535
420	1692318,8	1355,5	0,003086	0,000687
430	1264744,0	1253,4	0,003086	0,000850
440	988547,3	1172,1	0,003086	0,001017
450	803687,8	1107,5	0,003086	0,001182
460	675993,9	1055,7	0,003086	0,001340
470	585605,0	1014,0	0,003086	0,001486
480	520514,9	980,5	0,003086	0,001616
490	473213,7	953,5	0,003086	0,001729
500	438875,0	932,0	0,003086	0,001822
510	414343,0	915,1	0,003086	0,001895
520	397551,5	902,1	0,003086	0,001947
530	387185,5	892,7	0,003086	0,001978
540	375579,7	887,0	0,003086	0,001989

ЯМЗ-238Д

Дата: 02.10.2020

$L_i = 1926,810043$  Дж/цикл

$P_i = 1037146,109671$  Па

$\eta_i = 0,522372$

$g_i = 0,162156$  кг/(кВт\*год)

## ДОДАТОК Б

Специфікації складальних креслень

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перв. примен.				Документация		
			238-1000250 СБ	Двигун		
Справ. №				Деталі		
		1	238-1002008	Блок циліндрів	1	
		2	238-1008025	Випускний колектор	2	
		3	238-1003013	Головка циліндрів	2	
		4	238-1004015	Поршень	8	
		5	238-1004020	Палець поршневий	8	
		6	238-1005015	Вал колінчастий	1	
		7	238-1005120	Маховик	1	
		8	238-1007118	Втулка коромисла	16	
		9	238-1004045	Шатун	8	
		10	238-1007010	Клапан впускний	8	
		11	238-1007015	Клапан випускний	8	
		12	238-1007144	Коромисло клапана	16	
		13	238-1006015	Вал розподільний	1	
		14	238-1007032	Втулка клапана напрямна	16	
		15	238-1104308	Трубка паливна	8	
		16	238-1007028	Сухарь клапана	32	
		17	238-1007020	Пружина клапана зовнішня	16	
		18	238-1007021	Пружина клапана внутрішня	16	
		19	238-1007148	Гвинт регулювальний	16	
		20	238-1004055	Кришка шатуна	8	
		21	238-1003108	Сідло клапана впускного	8	
	22	238-1003110	Сідло клапана випускного	8		
			238-000250 СБ			
Інв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
	Разраб.	Питляк М.Ф.				
	Пров.	Слинько Г.І.				
	Н.контр.	Слинько В.В.				
	Утв.	Слинько Г.І.				
Двигун				Лит.	Лист	Листов
					1	4
				НУ "Запорізька політехніка" Група Т-419м		

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
		23	238-1004030	Кільце компресійне верхнє	8		
		24	238-1004032	Кільце компресійне друге	8		
		25	238-1004025	Кільце компресійне третє	8		
		26	238-1004035	Кільце маслоз'ємне	8		
		27	238-1007180	Штовхач	16		
		28	238-1007275	Ролик штовхача	16		
		29	238-1307170	Ремінь	5		
		30	238-1007024	Тарілка пружин	16		
		31	238-1007176	Штанга штовхача	16		
		32	238-1004058	Вкладиш нижньої головки			
				шатунна	12		
		33	238-1002311	Картер маховика	1		
		34	238-1104426	Трубка підвідна			
				паливного насоса	1		
		35	238-1104422	Трубка відвідна			
				паливного насосу	2		
		36	238-11012055	Пробка зливна	1		
		37	238-201456-П29	Болт	36		
		38	239-1003210	Прокладка головки циліндрів	2		
		39	238-1009040	Прокладка піддону	1		
		40	238-1011398	Маслозаборник	1		
		41	238-1003260	Кришка клапанного			
				механізму	1		
		42	238-1005061	Шків	1		
		43	238-1009010	Картер масляний	1		
		44	238-1002021	Гільза циліндра	8		
		45	238-1005125	Обод зубчатої маховика	1		
		46	238-1009050	Показчик рівня масла	1		
		47	238-1004062	Болт кріплення			
				кришки шатунна	16		
		48	238-1005127	Болт кріплення маховика	8		
		49	238-1002024	Кільце ущільнююче верхнє	8		
Інв. № подл.	238-000250 СБ						Лист
							2
Ізм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
		50	238-1002023	Кільце ущільнюоче нижнє	8			
		51	238-1005170	Вкладыш підшипника				
				колінчастого валу верхній	5			
		52	238-1005175	Вкладыш підшипника				
				коленчастого валу нижній	5			
		53	238-1005043	Масловідбивач передній	1			
		54	238-1005042	Масловідбивач задній	1			
		55	238-311423-П5	Гайка	42			
		56	238-312399-П2	Шайба	42			
		57	238-1004022	Кільце стопорне	16			
		58	238-11004052	Втулка шатуна	8			
		59	238-1004064	Гайка болта кришки шатуна	16			
		60	238-1003016	Шпилька кріплення				
				головки циліндрів	42			
		61	238-1115021	Колектор впускний	2			
		62	238-1009059	Трубка напрямна	1			
		63	238-1008050	Прокладка колектора				
				впускного	8			
		64	238-363081-П29	Шпилька колектора				
				впускного	16			
		65	238-362043-П	Гайка	16			
		66	238-252005-П29	Шайба	16			
		67	238-1308012	Крильчатка вентилятора	1			
		68	238-201499-П29	Болт	4			
		69	238-252136-П2	Шайба	4			
		70	238-314008-П2	Шпонка	1			
				Складальні одиниці				
		71	12.1118010	Турбокомпресор	1			
		72	1109012	Фільтр повітряний	1			
		73	1011014-В3	Насос масляний	1			
Інв. № подл.	Взам. инв. №	Інв. № дубл.	Подп. и дата	238-000250 СБ				Лист
				Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		74	80.1111005	Паливний насос високого тиску ЯЗТА	1	
		75	26.1112010	Фарсунка	8	
		76	1117010-А3	Фільтр тонкої очистки палива	1	
		77	57720000	Акумулятор високого тиску	2	
		78	1308011-Г	Привід вентилятора в зборі	1	
		79	3701000	Генератор Г288Е	1	
		80	25.3708-01	Стартер	1	
				Стандартні вироби		
		81		Шайба А.6.01.08кп ГОСТ 21371-78	38	
		82		Болт М12-6дх60.58 ГОСТ 7798-70	6	
		83		Гайка М12-6Н5 ГОСТ 5915-70	6	
		84		Шайба А.12.01.08кп ГОСТ 21371-78	6	
		85		Болт М8-6дх40.58 ГОСТ 7798-70	22	
		86		Шайба А.8.01.08кп ГОСТ 21371-78	22	
		87		Болт М6-6дх50.58 ГОСТ 7798-70	2	
				Матеріали		
				Масло моторне М-10-Г2к	32л	

Подп. и дата  
 Инв. № докл.  
 Взам. инв. №  
 Подп. и дата  
 Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>238-000250 СБ</b>		Лист
							4