

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 температури повітря на ефективні показники 4-
тактного бензинового ДВЗ

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

Освітня програма (спеціалізація)

Двигуни внутрішнього згорання

Яровий В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., професор Г.І. Слинько

(прізвище та ініціали)

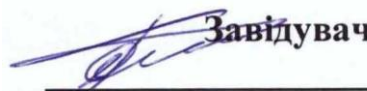
Рецензент Мозговий А.В.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний, Транспортний
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.
"08" 12 2020 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Ярового Владислава Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження впливу температури повітря на ефективні показники 4-тактного бензинового ДВЗ

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 2020 року №

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 7 грудня 2020 р.

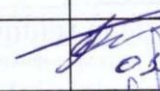
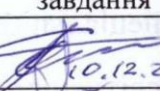
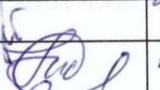
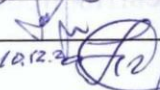
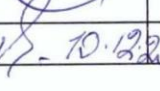
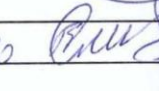
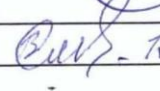
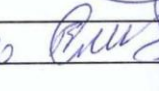
3. Вихідні дані до проекту (роботи) 4-тактний 4-циліндровий бензиновий двигун з зовнішнім сумішоутворенням та іскровим запалюванням ВАЗ-2101 потужністю 45,6 кВт при 5600 хв⁻¹

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналітичний огляд літератури; тепловий розрахунок двигуна ВАЗ-2101; визначення впливу підігріву повітря на впуску на техніко-економічні показники двигуна ВАЗ-2101; тепловий розрахунок двигуна на номінальному режимі ; аналіз небезпек та розробка заходів охорони праці при роботі з ДВЗ; розрахунок економічної ефективності дослідження; висновки

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

Двигуни подовзької розріз ВАЗ-2101, Поперечний розріз двигуна Ваз 2101, Швидкісна характеристика двигуна ВАЗ-2101, Індикаторна діаграма, Ефективна потужність двигуна, при різних температурах і тиску на впуску, Ефективна питома витрата двигуна ВАЗ-2101, Середній ефективний тиск двигуна при різних температурах і тиску на впуску, Набова швидкісна характеристика, графік рівнинної регресії


6. Консультанти розділів проекту (роботи)

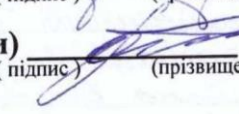
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	Слинько Г.І., д.т.н., професор, завідувач каф. ДВЗ	 05.09.2020	 10.12.20
6	Лазуткін М.І., к.т.н., доцент.каф. ОПіНС	 07.11.20	 10.12.20
7	Левченко Н.М., д.н.держ.упр., проф. каф. ПТБД	 07.11.20	 10.12.20
н/контроль	Слинько В.В., ст. викладач каф. ДВЗ	 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	05.09.20	
2	Аналіз літературних джерел	10.09.20	
3	Методи досліджень та устаткування	15.09.20	
4	Тепловий розрахунок двигуна ВАЗ-2101 на номінальному режимі	25.09.20	
5	Проведення експериментів	15.10.20	
6	Обробка експериментів	20.10.20	
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.10.20	
8	Економічне обґрунтування наукової роботи	07.11.20	
9	Формування висновків з магістерської роботи	15.11.20	
10	Оформлення магістерської роботи, нормоконтроль	25.11.20	
11	Розробка презентації та доповіді до захисту	04.12.20	
12	Подання роботи до захисту	05.12.20	

Студент(ка)  Яровий В.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)  Слинько Г.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 92 с., 5 табл., 10 рис., 40 джерел.

БЕНЗИН, ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, ПИТОМА ЕФЕКТИВНА ВИТРАТА ПАЛИВА, ПОВІТРЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ТИСК, ПОТУЖНІСТЬ

Параметри стану робочого тіла (повітря або паливоповітряна суміш), що потрапляє до циліндрів двигуна внутрішнього згорання, передусім, це температура та тиск, мають вплив на ефективні показники двигуна. У моделях робочого циклу ДВЗ нульового та першого рівнів величину цього впливу можна розрахувати. Більш складні моделі мають більшу кількість різноманітних параметрів, що описують особливості певного двигуна. Зокрема, модель циклу ДВЗ другого рівня професора Я.О. Єгорова, використовувана в науковій та учбовій діяльності на кафедрі двигунів внутрішнього згорання НУ «Запорізька політехніка». Актуальність роботи полягає у перевірці даної методики шляхом проведення теоретичних розрахунків, проведення експериментів, співставлення результатів, їх аналізом.

Мета роботи – визначити вплив величини температури і тиску повітря на ефективні показники 4-тактного бензинового ДВЗ (на прикладі двигуна ВАЗ-2101).

Об'єкт дослідження – стан робочого тіла 4-тактного бензинового ДВЗ.

Предмет дослідження – вплив робочого тіла на техніко-економічні показники 4-тактного бензинового двигуна (на прикладі двигуна ВАЗ-2101).

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1 ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ТИСКУ ПОВІТРЯ НА РОБОЧІ ПРОЦЕСИ В ДВЗ	11
1.1 Аналіз впливу температури на ефективні показники ДВЗ	11
1.2 Аналіз впливу тиску на ефективні показники ДВЗ	13
1.3 Висновки	15
2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА УСТАТКУВАННЯ	16
2.1 Конструкція та технічна характеристика бензинового двигуна ВАЗ- 2101	16
2.2 Випробувальний навантажувальний стенд	24
2.3 Методика проведення експериментів	27
2.4 Особливості теплового розрахунку циклу ДВЗ за допомогою фізико- математичної моделі другого рівня	28
2.5 Висновки	29
3 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ДВИГУНА ВАЗ-2101 НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ ПРИ $p = 101$ кПа, $T = 293$ К	30
4 ТЕПЛОВІ РОЗРАХУНКИ ДВИГУНА ВАЗ-2101 НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ ПРИ ЗМІННИХ p , T	40

4.1	Визначення початкових даних	40
4.2	Індикаторні показники	41
4.3	Ефективні показники	42
5	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ВПУСКУ НА ЕФЕКТИВНІ ПОКАЗНИКИ ДВИГУНА ВАЗ-2101	48
5.1	Проведення експерименту	48
5.2	Обробка результатів експерименту	51
5.3	Апроксимація експериментальних даних	55
5.4	Висновки за розділом	62
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
6.1	Аналіз потенційних небезпек	63
6.2	Заходи по забезпеченню безпеки	64
6.3	Заходи по забезпеченню гігієнічної санітарії та гігієни праці	65
6.4	Заходи по забезпеченню пожежної безпеки	72
6.5	Заходи з цивільного захисту	73
6.6	Висновок охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	74
7	ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ	75
7.1	Визначення витрат на проведення магістерської роботи	75
7.2	Визначення витрат на матеріали	75
7.3	Розрахунок вартості палива й енергії	77
7.4	Розрахунок амортизації універсального устаткування	

7.5 Розрахунок заробітної плати	79
7.6 Внески на соціальні заходи	80
7.7 Накладні витрати	80
7.8 Розрахунок економічної ефективності науково-дослідної роботи	82
ВИСНОВКИ	84
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	86
ДОДАТОК А	91

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ

ВАЗ – Волзький автомобільний завод;

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ФММ – фізико-математична модель;

α – коефіцієнт надлишку повітря.

γ_T – коефіцієнт залишкових газів;

ΔT – підігрів повітря на впуску, К;

η_i – індикаторний ККД;

η_m – механічний ККД;

η_v – коефіцієнт наповнення;

ρ_v – питома вага повітря, кг/м³;

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

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

G_T – годинна витрата палива, кг/год;

L_i – індикаторна робота, Дж/цикл;

n – частота обертання колінчастого валу, хв⁻¹;

N_e – ефективна потужність, кВт;

p_e – середній ефективний тиск, Па;

p_i – середній індикаторний тиск, Па;

T_a – температура повітря на початку процесу стиснення, К;

T_k – температура повітря на впуску, К;

V_h – робочий об'єм циліндра, м³.

ВСТУП

Питання визначення впливу температури та тиску повітря атмосферного повітря на ефективні показники 4-тактного бензинового ДВЗ, на перший погляд, є досить вивченим. Проте ряд дослідників вважає, що воно вимагає додаткового уточнення. При проектуванні та експлуатації ДВЗ в Україні особливу увагу слід приділити умовам їх роботи у високогірній місцевості Карпатського регіону, де переважає низький атмосферний тиск, знижена температура, висока вологість.

Зміна параметрів атмосферного повітря призводить до зміни коефіцієнта наповнення η_v , коефіцієнта залишкових газів γ_r та інш. Все це має вплив на наступні техніко-економічні параметри ДВЗ: ефективна потужність, питома ефективна витрата палива, крутний момент тощо. Приймаючи до уваги велику кількість ДВЗ, що експлуатуються за умов, відмінних від стандартизованих тиску та температури $p_0 = 101$ кПа, $T_0 = 293$ К, тематику дослідження можна вважати актуальною.

Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи є визначення впливу величини температури і тиску повітря на ефективні показники 4-тактного бензинового ДВЗ (на прикладі двигуна ВАЗ-2101).

Для досягнення мети, вирішувався ряд завдань:

- аналіз літературних джерел щодо вивчення питання дослідження, визначення перспективних напрямків дослідження;
- розробка методики визначення впливу величини температури і тиску повітря на ефективні показники 4-тактного бензинового ДВЗ;
- тепловий розрахунок двигуна ВАЗ-2101 при різних температурах та тиску в програмі Engine Calculation;
- аналіз отриманих результатів;

Об'єкт дослідження – стан робочого тіла 4-тактного бензинового ДВЗ.

Предмет дослідження – вплив робочого тіла на техніко-економічні показники 4-тактного бензинового двигуна (на прикладі двигуна ВАЗ-2101).

Практична цінність роботи полягає в наступному:

– результати досліджень можуть бути використані для визначення зміни потужності та витрати палива при експлуатації 4-тактних бензинових ДВЗ за тиску та температури, що відрізняються від стандартних умов.

За результатами досліджень опубліковано наукову роботу:

Слинько, Г.І. Методика визначення тиску повітря у впускній системі ДВЗ [Електронний ресурс] / Г.І. Слинько, Д.П. Чишко, Р.Ф. Сухонос, В.С. Яровий, Я.В. Рогов // Тиждень науки-2020. Транспортний факультет : щоріч. наук.-практ. конф., 13-17 квітня 2020 р. : тези доп. / Редкол.: В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – НУ «Запорізька політехніка», 2020. – С. 46–47.

1 ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ТИСКУ ПОВІТРЯ НА РОБОЧІ ПРОЦЕСИ В ДВЗ

1.1 Аналіз впливу температури на ефективні показники ДВЗ

Тиск, температура і вологість атмосферного повітря мають значний вплив на показники ДВЗ [1–3]. Підвищене значення температури на впуску знижує економічність циклу по причині збільшення теплоємності робочого тіла і дисоціації кінцевих продуктів згорання. За реальних умов експлуатації підвищення температури повітря на впуску сприяє кращому випаровуванню палива, тобто, сумішоутворенню. Завдяки цьому збільшується швидкість розповсюдження пламеню при згоранні, а разом з цим, і потужність.

Таким чином, погіршення економічності через зростання теплоємності дисоціації компенсується покращенням процесу завдяки швидкості згорання [3]. При цьому, величина індикаторного ККД η_i залишається практично незмінною. Залежність коефіцієнта наповнення η_v від підвищення температури повітря в дизелі також призводить до зниження масового наповнення циліндра. Зі зменшенням η_v , як було визначено вище, величина η_i зменшується, але вже через збагачення робочої суміші при збільшенні обертів двигуна. Однак, підвищення температури повітря на впуску у дизелі також має і позитивний вплив на робочий процес, оскільки температура повітря в кінці стиснення T_c , приймаючи більш високі значення, прискорює початкові реакції молекул палива, що впорскується в більш підігріте повітря.

Відомі формули [3] для розрахунків ефективних показників ДВЗ, які включають величину питомої ваги повітря:

– ефективна потужність, к.с.

$$N_e = A_1 \cdot \rho_B \cdot \eta_v \cdot \eta_i \cdot \eta_M \cdot n / \alpha \cdot \tau \quad (1.1)$$

де $A_1 = 0,066 V_h$;

$\tau = 2$ (для 4-тактних ДВЗ) і $\tau = 1$ (для 2-тактних ДВЗ);

V_h – робочий об'єм циліндра;

Q_H / ℓ_0 – теплотворність горючої суміші;

ρ_B – питома вага повітря;

η_v – коефіцієнт наповнення;

η_i – індикаторний ККД;

η_M – механічний ККД;

n – частота обертання колінчастого валу;

α – коефіцієнт надлишку повітря.

– ефективний крутний момент

$$M_e = A_2 \cdot \rho_B \cdot \eta_v \cdot \eta_i \cdot \eta_M / \alpha \cdot \tau, \quad (1.2)$$

де $A_2 = 47,26 V_h$;

– ефективний середній тиск

$$p_e = A_3 \cdot \rho_B \cdot \eta_v \cdot \eta_i \cdot \eta_M / \alpha \cdot \tau, \quad (1.3)$$

де $A_3 = 29,7 V_h$;

– годинна витрата палива

$$G_T = A_4 \cdot \rho_B \cdot \eta_v \cdot n / \alpha \cdot \tau, \quad (1.4)$$

де $A_4 = 0,004 V_h$;

– питома ефективна витрата палива

$$g_e = A_5 / \eta_i \cdot \eta_M, \quad (1.5)$$

де $A_5 = 0,063 V_h$.

За формулами (1.1 – 1.5), знаючи початкові температуру і тиск циклу ДВЗ, можна знайти шукані величини, проте область їх застосування обмежена і вони не можуть бути використані для визначення показників сучасних ДВЗ. В тому числі, обладнаних системами впорскування бензину.

В роботах [4, 5] по визначенню оптимальної температури повітря у впускному колекторі двигуна відмічено, що температура повітря, при якій отримано оптимальне співвідношення паливо повітряної суміші, складає 40...60 °С. Проте в реальних умовах під час руху автомобіля підтримання такого температурного режиму повітря на впуску практично неможливо внаслідок впливу різних перемінних факторів зовнішнього середовища. Під впливом різних факторів автомобіль рухається при різних швидкісних режимах. Тому температура повітря на впуску двигуна коливається в широких межах, залежності від умов експлуатації автомобіля. Так, при зниженні температури на впуску до 10 °С погіршується випаровування палива у впускному колекторі [6]. При температурах 70...80 °С погіршується наповнення циліндрів. Таким чином, температура на впуску двигуна має суттєвий вплив на якість утворення паливоповітряної суміші.

1.2 Аналіз впливу тиску на ефективні показники ДВЗ

Густина повітря, що поступає в циліндри, можна підвищити, підвищуючи тиск повітря, відповідно до формули

$$\rho_v = \frac{p}{R_v \cdot T}, \quad (1.6)$$

де p , T – тиск і температура у впускному трубопроводі відповідно,

$R_v = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – універсальна газова стала для сухого повітря. Для

повітря з відносною вологістю 80 % $R_v = 289 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

При збільшенні густини повітря збільшується значення середнього ефективного тиску двигуна, а значить, і літрова потужність. Також кількість теплоти, що виділяється паливом, зростає в результаті доброго перемішування повітря з паливом і його випаровуванні в камері згорання в результаті його підігріву у впускному колекторі. В результаті досліджень [4] було підтверджено, що робота, витрачена на стиснення, і робота, отримана при розширенні газу, пропорційні його початковій температурі. Повітря потрапляє до впускного колектора при відносно низькій температурі, нагрівається, розширюється при більш високій температурі, потрапляючи в камеру згорання, знову розширюється при більш високій температурі і виконує роботу більшу, ніж та, що була витрачена на розігрів та стиснення.

В роботі [7] отримано чисельні значення динаміки впливу коефіцієнта надлишку повітря на витрату палива дизельним двигуном КамАЗ-740. Були визначені причинно-наслідкові зв'язки між коефіцієнтом надлишку повітря і процесом сумішоутворення, визначено оптимальні інтервали коефіцієнта надлишку повітря, температури і тиску повітря у впускному колекторі, які забезпечують оптимальну витрату палива (див. рис. 1.1).

Слід зауважити, що для дизельних двигунів без наддуву оптимальне значення коефіцієнта надлишку повітря – $\alpha \leq 2,1$.

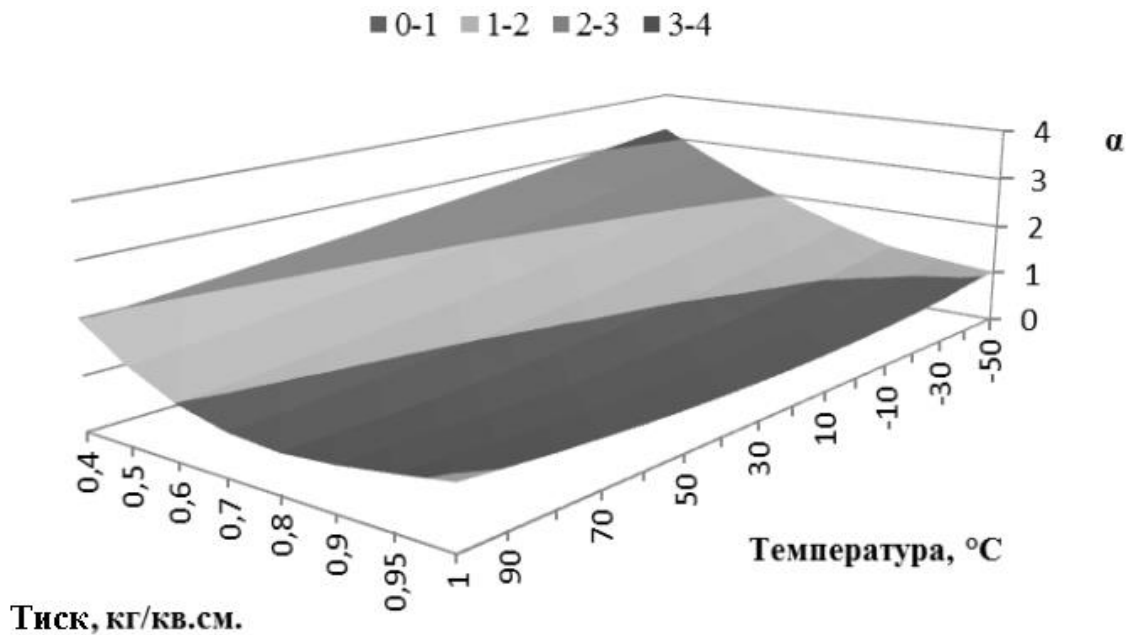


Рисунок 1.1 – Залежність коефіцієнта надлишку повітря від температури та тиску у впускному колекторі двигуна КамАЗ-740 [7].

1.3 Висновки

З аналізу літературних джерел встановлено, що показники стану атмосферного повітря, що подається до системи впуску ДВЗ, мають значний вплив на характеристики двигуна. Відомі розрахункові методики, що дозволяють врахувати вплив температури та тиску повітря на характеристики двигуна, мають значну емпіричну складову. Низька температура повітря на впуску (менше 10 °C) негативно впливає на процеси випаровування палива та сумішоутворення. При високій температурі (70...80 °C) погіршується наповнення циліндрів. Таким чином, можна констатувати, що питання визначення впливу температури атмосферного повітря на ефективні показники 4-тактного бензинового ДВЗ, потребує додаткового дослідження.

2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА УСТАТКУВАННЯ

В розділі розглянуто методики (експериментальні та розрахункові), а також обладнання, за допомогою яких можна отримати необхідні дані, необхідні для визначення впливу величини температури і тиску повітря на ефективні показники 4-тактного бензинового ДВЗ.

2.1 Конструкція та технічна характеристика бензинового двигуна ВАЗ-2101

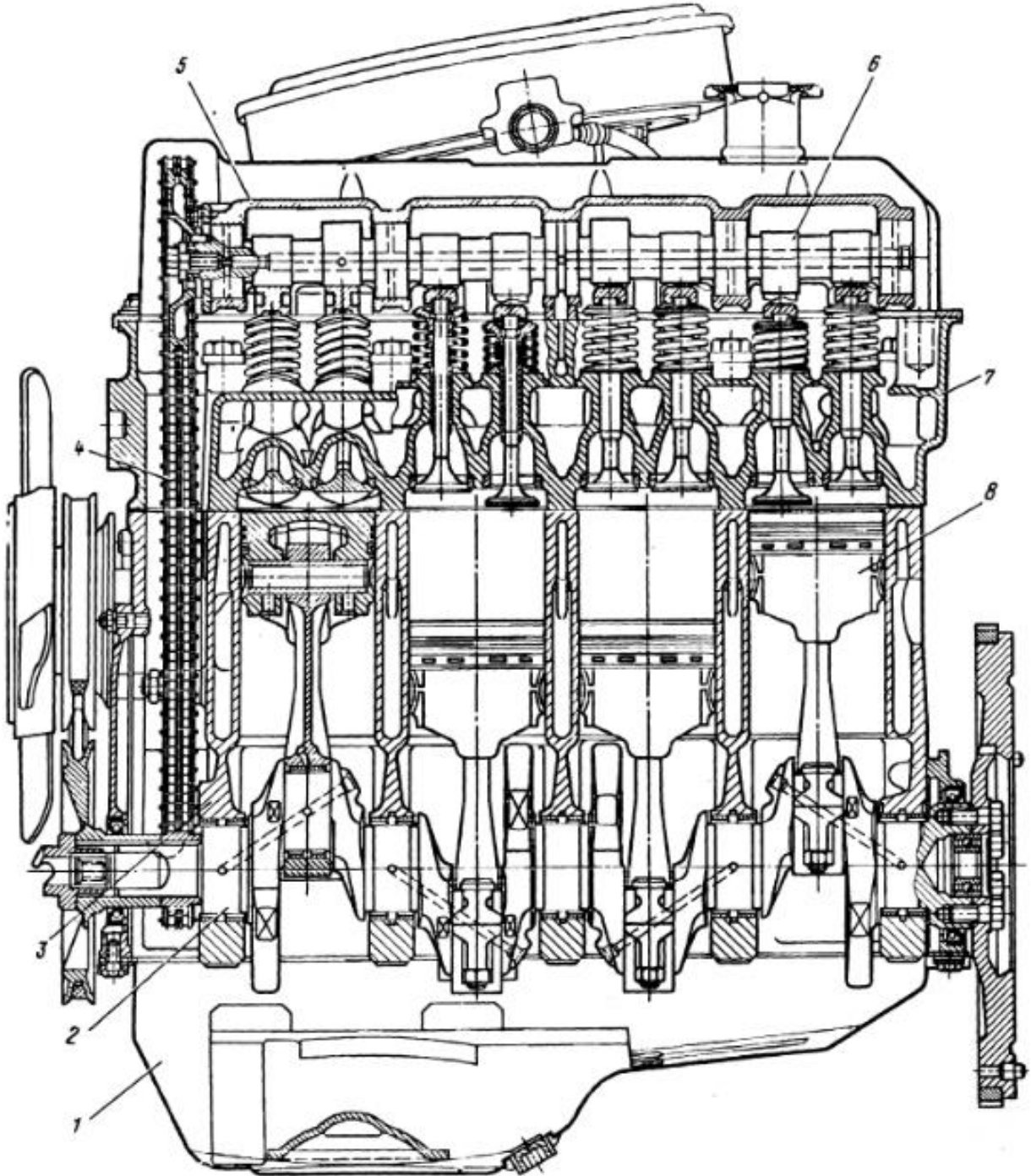
Двигун ВАЗ-2101 – чотиритактний, чотирициліндровий карбюраторний, з верхнім розташуванням розподільного вала.

Двигун призначений для встановлення на легкові автомобілі ВАЗ-2101, -21012, -21013, -21035, -21051, -2102, -21022 «Жигули», а також для поставки в запасні частини [8]. Двигун призначений для експлуатації при температурі навколишнього середовища від +45 °С до –40 °С і відносної вологості повітря до 90 % при +27 °С. Конструктивно забезпечено пуск без пускового підігрівача при температурі до –27 °С.

Циліндри двигуна розташовані вертикально в ряд, об'єднані разом з верхньою частиною картера і являють собою єдиний вилівок - блок циліндрів 3 (див. рис. 2.1), виготовлений зі спеціального чавуну. При такій компоновці забезпечується міцність конструкції, жорсткість, компактність, надійність і зменшується маса двигуна. Протоки для охолоджуючої рідини зроблені по всій висоті циліндрів, що поліпшує охолодження поршнів і поршневих кілець і зменшує деформації блоку від нерівномірного нагрівання.

У нижній частині блоку циліндрів на п'яти опорах встановлено

колінчастий вал 2. Завдяки порівняно великим діаметрам корінних і шатунних шийок вала питомі навантаження на підшипники невеликі, тому колінчастий вал і вкладиші його підшипників мають досить високу довговічність.



1 – масляний картер; 2 – колінчастий вал; 3 – блок циліндрів; 4 – ланцюговий привід; 5 – корпус розподільного валу; 6 – розподільний вал;
7 – головка циліндрів; 8 – поршні

Рисунок 2.1 – Поздовжній розріз двигуна ВАЗ-2101

Колінчастий вал литий, з високоміцного чавуна, 5-опорний, з противагами. Діаметр корінних шийок – 50,575 мм, шатунних – 47,834 мм.

Підшипники корінні і шатунні зі змінними тонкостінними сталевими вкладишами. Товщина, мм: корінного вкладиша – 1,85, шатунного вкладиша – 1,75, антифрикційного шару – 0,45.

Передній і задній кінці колінчастого вала ущільнюються самопіджимними гумовими сальниками.

У передній частині блоку циліндрів є порожнина для розміщення ланцюгового приводу 4 розподільного валу 6. Знизу блок циліндрів закритий сталевим штампованим масляним картером 1. Між блоком циліндрів і кришкою встановлюються пробко-гумові прокладки.

Поршні 8 відливають з алюмінієвого сплаву, лужені. Поршні мають виїмки під три кільця:

- верхнє компресійне чавунне хромоване;
- нижнє компресійне чавунне фосфатоване;
- маслосховище чавунне зі спеціальним профілем і сталюю розширювальною пружиною.

У бобишках поршня при його відливанні встановлюються дві сталеві пластини. Вони компенсують нерівномірності теплової деформації поршня, які виникають при його нагріванні в циліндрах двигуна через нерівномірний розподіл маси металу всередині юбки поршня.

Поршневі пальця сталеві, пустотілі, з пресовою посадкою у верхній головці шатуна.

Шатуни сталеві, ковани, двотаврового перерізу, з отвором у верхній головці для запресування поршневого пальця [8].

Маховик литий, чавунний, з зубчастим вінцем для запуску двигуна стартером.

Головка циліндрів 7 - загальна для всіх циліндрів. У неї запресовані чавунні напрямні втулки і сідла клапанів. Між головкою і блоком циліндрів

встановлюється металоазбестова прокладка. Камера згорання клиновидна. На голівці циліндрів в спеціальному корпусі 5 встановлений розподільний вал, який приводиться в обертання від колінчастого вала дворядним роликівим ланцюгом з напівавтоматичним натяжним пристроєм башмачного типу і заспокоювачем, що нерухомо закріплений на голівці. Ланцюг втулочно-роликівий, двухрядний. Привід від розподільного вала до клапанів здійснюється через короткі важелі 5 (рис. 2.2) без штовхачів, штанг і коромисел. Такий привід забезпечує чітку роботу клапанів при високій частоті обертання колінчастого вала.

Напрямні втулки клапанів чавунні, зі спеціальним лабіринтом ущільненням. Ричаги (важелі) клапанів сталеві, ковані, зі сферичною опорною поверхнею. Клапани тарілчасті, по два клапани на циліндр, розташовані в голівці циліндрів до осі циліндра під кутом 20° . Впускні клапани виготовлені із жароміцної сталі 40Х9С2, діаметр тарілки 37 мм, кут фаски сідла $45,5^\circ$ [8].

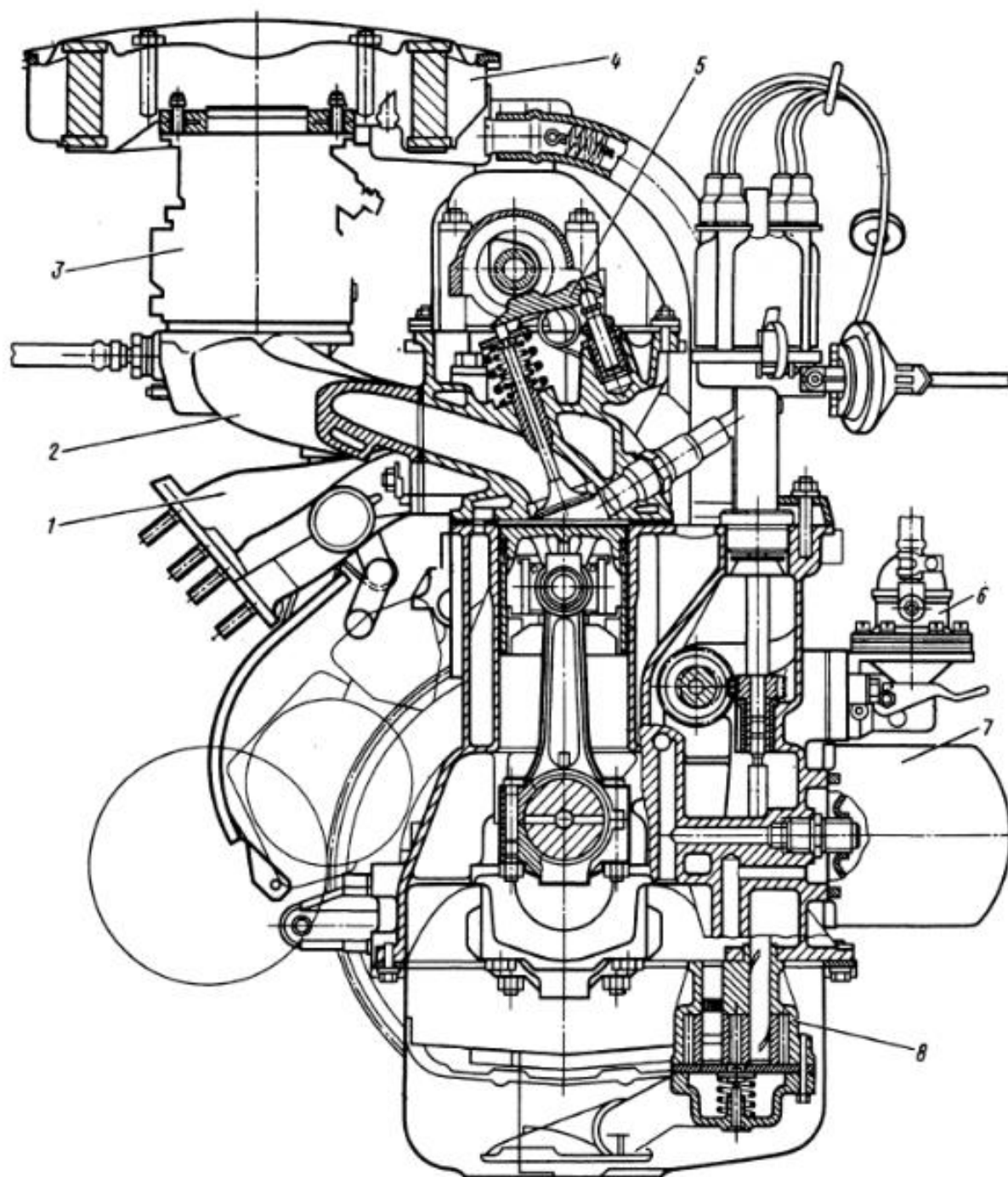
Випускні клапани составні: верхня частина зі сталі 38ХГНМ, нижня із жароміцної сталі 44Х20Г9АН4 з наплавкою робочої поверхні сплавом ЭП616А, діаметр тарілки 31,5 мм, кут фаски сідла $45,5^\circ$ [8].

Система мащення двигуна комбінована: під тиском і розбризуванням. Вузли і деталі з примусовим підведенням мастила: підшипники колінчастого і розподільного валів, валу приводу допоміжних агрегатів. Масляний насос 8 (див. рис. 2.2) – шестерінчастий, 1-секційний.

Масляний фільтр 7 з паперовим фільтруючим елементом, нерозбірний, повнопоточний. Масляний картер штампований зі сталюого листа. Система вентиляції картера закрита, примусова.

Система живлення включає в себе: паливний бак, бензонасос 6, повітряний фільтр 4, вхідну трубу 2, карбюратор 3 з економайзером і діафрагмовим прискорювальним насосом забезпечує високу прийомистість, економічність, впевнений пуск і стійку роботу двигуна відразу після пуску. Паливний насос діафрагмений, з ричагом ручної подачі і приводом від валу

привода масляного насосу і розподільника запалювання. Карбюратор емульсійний, 2-камерний, з падаючим потоком.



1 – випускний колектор; 2 – впускний колектор; 3 – карбюратор;
4 – повітряний фільтр; 5 – важелі клапанів; 6 – паливний насос; 7 – масляний
фільтр; 8 – масляний насос

Рисунок 2.2 – Поперечний розріз двигуна ВАЗ-2101

Повітряний фільтр - сухого типу зі змінним паперовим фільтруючим елементом, що має зовні шар синтетичної вати для попереднього очищення повітря. Випускний тракт включає в себе випускний колектор 1 і два глушника шуму вихлопу [9].

Технічну характеристику двигуна ВАЗ-2101 наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика двигуна ВАЗ-2101 [8, 10, 11]

Показник	Величина
1	2
Тип	Карбюраторний, 4-х тактний
Число циліндрів і їх розташування	4, рядний
Порядок роботи	1-3-4-2
Діаметр циліндра D , мм	76
Хід поршня S , мм	66
Об'єм циліндра V_h , см^3	299,4
Робочий об'єм двигуна $V_{h\Sigma}$, см^3	1197,6
Об'єм камери згорання, см^3	38,38
Ступінь стиснення ε	8,5
Номінальна потужність при 5600 хв^{-1} колінчастого валу N_e , кВт	45,6
Максимальний крутний момент при 3400 хв^{-1} колінчастого валу $M_{кр}$, Нм	87,3

Продовження таблиці 2.1

1	2
Мінімальна частота обертання холостого ходу n_{min} , хв-1	750...800
Середній ефективний тиск, кПа	813,9
Газорозподільний механізм	Привід клапанів рокерами від одного розподільчого валу
Висота підйому клапанів (без урахування зазору), мм: – випускних – впускних	9,728 9,728
Фази газорозподілу (при контрольному зазорі між кулачком і важелем приводу клапана, 0,3 мм), ° ПКВ: – впуск, відкриття /закриття – випуск, відкриття /закриття	12 ° до ВМТ / 40 ° після НМТ 42 ° до НМТ / 10 ° після ВМТ
Зазор між кулачком і важелем приводу клапана на холодному двигуні (при температурі 18...20 ° С) для впускних і випускних клапанів, мм	0,15
Карбюратор	двокамерний «Вебер»
Розподільник запалювання	Р-125

Продовження таблиці 2.1

1	2
Початкова установка випередження запалювання (до ВМТ), ° ПКВ	5...7
Свічки запалювання	A17ДВ
Потужність стартера, кВт	1,3
Максимальна потужність генератора змінного струму, Вт	770
Нормальний тиск масла в системі змащення двигуна при температурі охолоджуючої рідини 85 °С, кгс/см ²	3,5...4,5
Паливо	бензин А-92
Мастило	М-8М, М-12М, М-12ГІ, М-10ГІ
Охолоджуюча рідина	ТОСОЛ А-70
Маса незаправленого маслом без зчеплення та КПП, кг	114
Ресурс до першого капітального ремонту, км	125000

Система охолодження двигуна – рідинна, закритого типу, з примусовою циркуляцією рідини і розширювальним бачком. Водяний насос відцентрового типу. Вентилятор 4-лопатевий, розташований на осі водяного насоса з приводом клиновим ременем від шківів колінчастого валу. Термостат 2-клапанний з твердим наповнювачем і перепускним клапаном. Система заповнюється спеціальної охолоджувальною рідиною, яка замерзає при низьких

температурах.

На рисунку 2.3 наведено швидкісну характеристику двигуна.

2.2 Випробувальний навантажувальний стенд

Для навантаження ДВЗ з метою отримання його характеристик потрібно створювати навантаження на двигун, яке регулюється в широких межах. На кафедрі «Двигуни внутрішнього згорання» НУ «Запорізька політехніка» в навчальній лабораторії (аудиторія 141) встановлено навантажувальний стенд, на якому проводяться експерименти за темою дослідження (рис. 2.4).

Основа стенду – залізобетонна плита, вмурована в окремий фундамент, з напрямними рейками, що необхідно для зменшення вібрацій від стенда та уникнення передачі вібрацій на будівлю. На рейках закріплено двигун ВАЗ-2101 зі зчепленням і коробкою переключення передач, обладнаний всіма штатними системами, і гальмівний механізм індукційного типу ІТ-22.

Підведення повітря до двигуна може здійснюватись ззовні будівлі або зсередини, з приміщення лабораторії. Відпрацьовані гази виводяться назовні.

Параметри та характеристика двигуна ВАЗ-2101 наведено в розділі 2.1. Особливості роботи та характеристика індуктивного гальмівного опристрою наведено в [10].

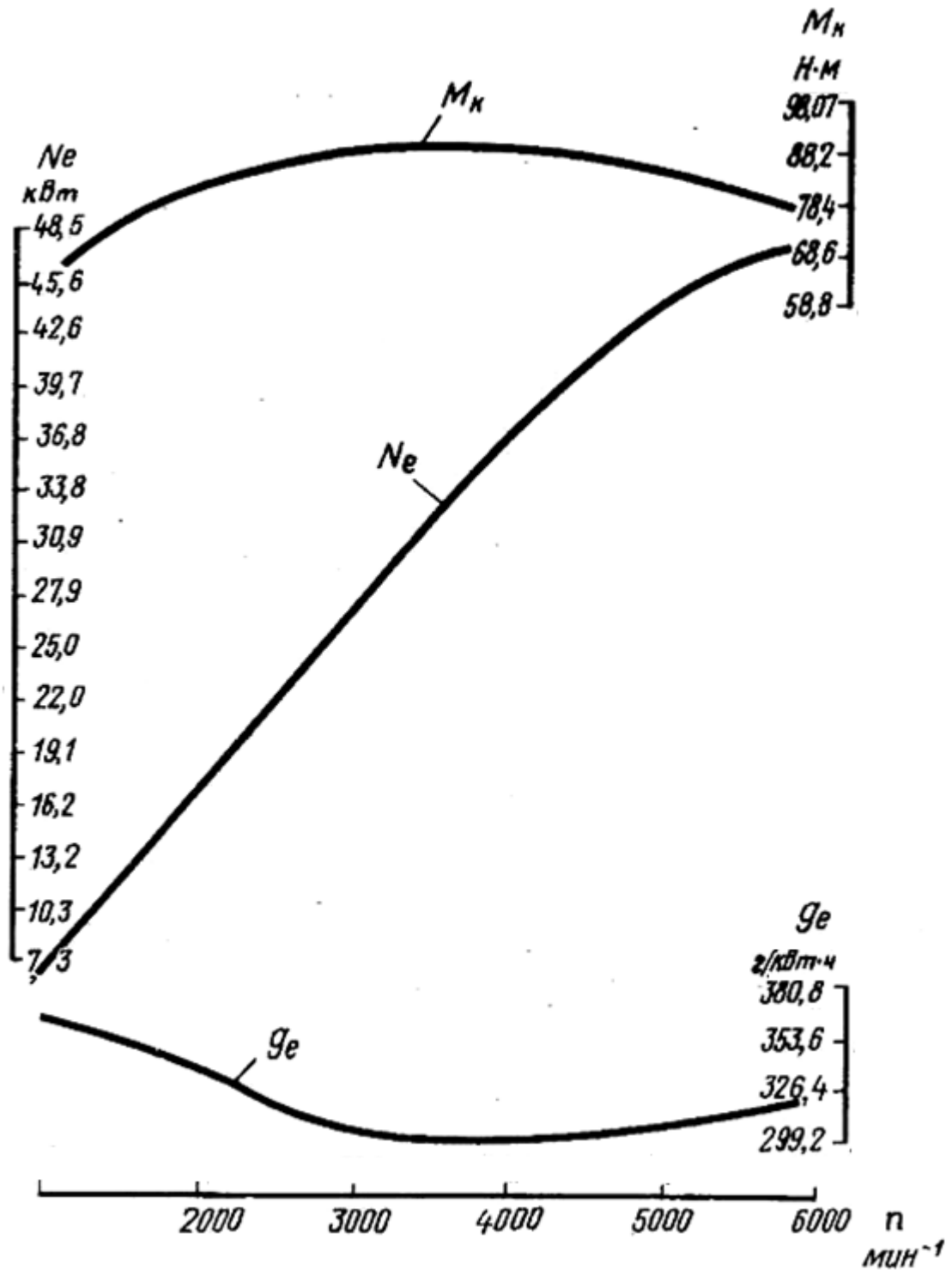
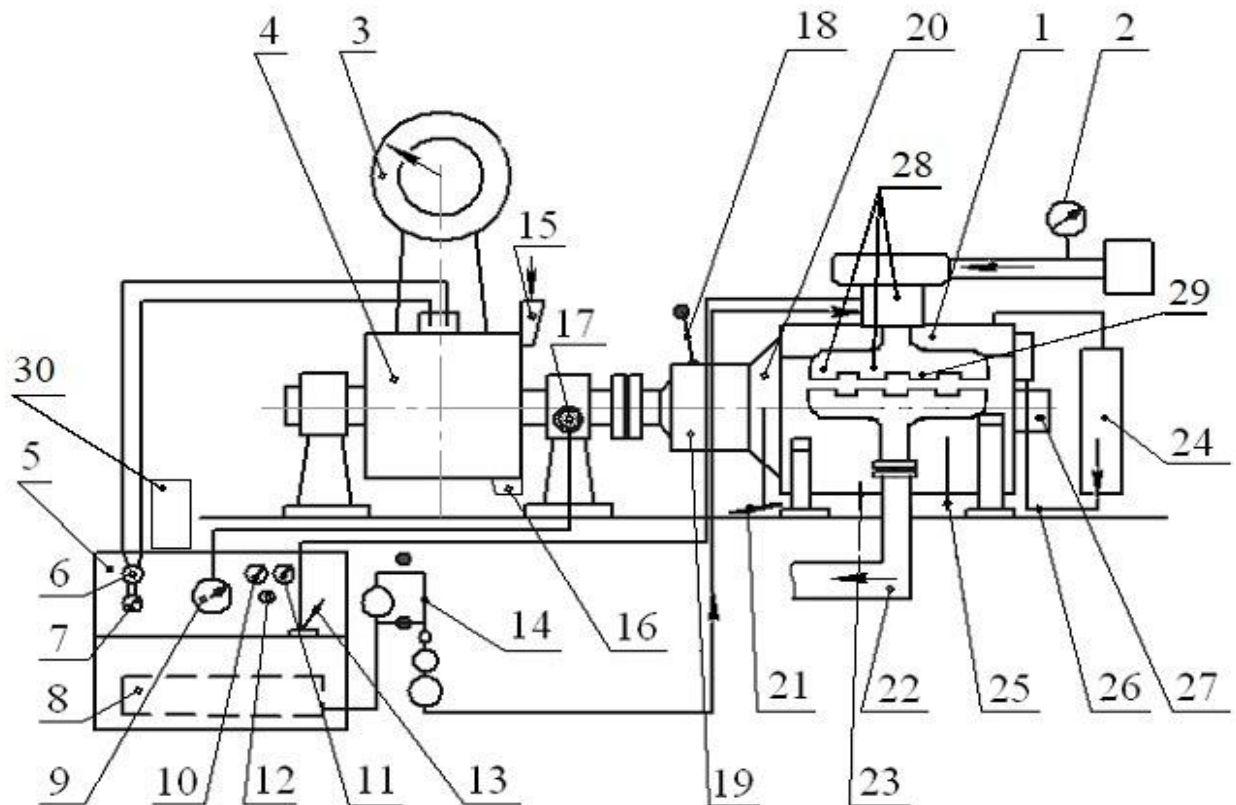


Рисунок 2.3 – Швидкісна характеристика двигуна ВА3-2101 [8]

Керування навантаженням двигуна здійснюється з пульту керування стендом, на який виведено всі контролі прилади та штіхпробер для вимірювання витрати палива.



1 – двигун; 2 – пристрій для вимірювання температури і тиску у впускному колекторі двигуна; 3 – вимірювальний пристрій, який реєструє силу, яку розвиває на відповідному плечі гальмівний пристрій 4; 4 – гальмівний пристрій, який створює навантаження на двигун та забирає потужність, яку розвиває двигун; 5 – пульт керування стендом; 6 – реостат, за допомогою якого регулюють струм в котушці збудження гальмівного пристрою; 7 – амперметр, який реєструє струм в котушці збудження гальмівного пристрою; 8 – паливний бак; 9 – тахометр, який потрібний для вимірювання частоти обертання колінчастого вала двигуна n , хв^{-1} ; 10 – пристрій, який реєструє температуру масла в картері двигуна t_m , $^{\circ}\text{C}$; 11 – пристрій, який реєструє тиск в системі змащення двигуна p_m , $\text{кгс}/\text{см}^2$; 12 – замок запалювання; 13 – ручка керування положенням дросельної заслінки двигуна; 14 – сосуди для вимірювання об'єму палива, який витрачається двигуном (штіхпробер); 15 – подача охолоджуючої води в гальмівний пристрій; 16 – злив охолоджуючої води з гальмівного пристрою; 17 – датчик тахометра; 18 – рычаг включення коробки переміни передач; 19 – коробка переміни передач; 20 – муфта зчеплення; 21 – педаль включення муфти зчеплення; 22 – колектор відпрацьованих газів (ВГ); 23 – датчик тиску масла в системі змазки двигуна p_m , $\text{кгс}/\text{см}^2$; 24 – датчик температури води системи охолодження двигуна; 25 – радіатор системи охолодження двигуна; 28 – датчики тиску; 29 – датчик температури; 30 – комп'ютер разом з вимірювальним ланцюгом.

Рисунок 2.4 – Схема випробувального стенда двигуна VA3-2101 [10]

2.3 Методика проведення експериментів

Експерименти з визначення впливу температури та тиску повітря на ефективні показники 4-тактного бензинового ДВЗ проводяться на навантажувальному стенді (див. розділ 2.2 даної роботи). Експериментальне визначення швидкісної характеристики здійснюється за методикою, наведеною в розділі 2.4 [10]:

- проводиться запуск двигуна, він прогрівається до досягнення температури охолоджуючої рідини 75...85 °С;
- поступово переключаються передачі до досягнення 4-ї (прямої) передачі КПП;
- дросельна заслінка відкривається на величину, що відповідає 40 % натиснення педалі акселератора; одночасно двигун навантажується за допомогою гальмівного пристрою;
- збільшенням навантаження досягається мінімальна стійка частота обертання колінчастого валу двигуна;
- за сигналом керівника випробувань розпочинається фіксація показань вимірювальних приладів на стенді, вимірюється час витрати палива; одночасно на комп'ютері записуються покази температури і тиску у впускному колекторі, фіксується час початку та закінчення експерименту;
- після завершення вимірювань зменшується навантаження, створюване гальмівним пристроєм (оберти двигуна при цьому зростають);
- двигун має пропрацювати 1 хв для досягнення сталого режиму роботи, після цього можна знову здійснювати вимірювання.

Результати вимірювань заносяться до протоколів, також отримано протоколи з даних з Arduino.

Результати експериментів обробляються згідно положень розділу 2.4 [10], зі складанням звіту та побудовою швидкісної характеристики.

Для варіювання значень температури на впуску використовувався підігрівач потужністю 2 кВт з направленим струменем повітря.

2.4 Особливості теплового розрахунку циклу ДВЗ за допомогою фізико-математичної моделі другого рівня

Тепловий розрахунок робочого циклу двигуна виконується за методикою [12], яка реалізована на базі фізико-математичної моделі (ФММ) [13] у вигляді комп'ютерної програми Engine Calculation.

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

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

Дана ФММ включає чотири основні диференціальні рівняння:

- перше кінематичне рівняння, або рівняння зміни об'єму робочої порожнини;
- рівняння балансу маси;
- рівняння енергетичного балансу;
- рівняння стану робочого тіла і ряд інших додаткових рівнянь в диференціальній або кінцевій формі. Ці додаткові рівняння потрібні для

визначення величин, що входять у вигляді окремих членів або множників в основні рівняння.

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

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

2.5 Висновки

Методи досліджень, використані в магістерській роботі, є загальноприйнятими при дослідженні робочих процесів в двигунах внутрішнього згорання [14], а обрання ВАЗ-2101 в якості двигуна-прототипа цілком відповідає меті роботи.

3 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ДВИГУНА ВАЗ-2101 НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ ПРИ $p = 101$ кПа, $T = 293$ К

В розділі наведено розрахунок робочого циклу двигуна ВАЗ-2101, виконаний за методикою [12].

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.

Згідно індивідуального завдання $N_e = 43$ кВт при $n = 5550$ хв⁻¹.

$$V_h = \frac{N_e}{i \cdot p_e} \cdot \frac{\tau}{n} = \frac{43 \cdot 10^3}{4 \cdot 0,81 \cdot 10^6} \cdot \frac{2 \cdot 60}{5500} = 0,0002870 \text{ м}^3. \quad (3.2)$$

Діаметр циліндра:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot \frac{S}{D}}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,000287}{3,14 \cdot 0,868}} = 0,075 \text{ м}. \quad (3.3)$$

Згідно даних двигуна-прототипа уточнюємо $D = 76$ мм.

Хід поршня

$$S = D \cdot \frac{S}{D} = 0,076 \cdot 0,868 = 0,066 \text{ м}. \quad (3.4)$$

Радіус кривошипа

$$r_k = \frac{S}{2} = \frac{0.066}{2} = 0,033 \text{ м.} \quad (3.5)$$

Уточнюємо робочий об'єм циліндра

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S = \frac{3.14 \cdot 0.07^2}{4} 0.066 = 0,0002993 \text{ м}^3. \quad (3.6)$$

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

I. Код двигуна.

Код двигуна $Y=0$ в програмі впливає на вибір теплоємностей робочого тіла, які залежать від складу і температури робочого тіла. Встановлений код для бензинових ДВЗ $Y = 0$.

II. Вид розрахунку: номінальний.

III. Тип двигуна.

Тип двигуна – бензиновий.

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

2. Показник процесу згорання вибирають на основі рекомендацій за емпіричними даними. Для бензинових ДВЗ $m_1 = 3,2...4,0$. Приймаємо $m_1 = 3,5$.

IV. Конструктивні дані.

3. Кількість циліндрів: 4.

4. Рядний.

5. Діаметр циліндра $D = 0.076$ м.

6. Площа поршня є площею плоскої поверхні поршня, перпендикулярної осі циліндра, вона дорівнює

$$F_{\pi} = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3.14}{4} 0.076^2 = 4,534 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \quad (3.7)$$

7. Радіус кривошипа $r_k = 0,033$ м.

8. Відношення радіусу кривошипа до довжини шатуна $\lambda_k = \frac{r_k}{L_{\text{ш}}}$ є конструктивним параметром, що характеризує геометрію кривошипно-шатунового механізму. Для автотракторних ДВЗ $\lambda_k = 0,25 \dots 0,32$ [12]. У двигуна-прототипа довжина шатуна $L_{\text{ш}} = 0,136$ [15], тоді

$$\lambda_k = \frac{r_k}{L_{\text{ш}}} = \frac{0,033}{0,136} = 0,243 \text{ м}. \quad (3.8)$$

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

За прототипом приймаємо:

$$F_{\pi}' = 1,05 \cdot F_{\pi} = 1,1 \cdot 0,004534 = 4,761 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \quad (3.9)$$

10. Площа теплообміну кришки F_k залежить від конструкції камери стиснення. У бензинових ДВЗ застосовують плоскі, шатрові, клиновидні, овальні, напівсферичні та інші камери; для них має місце співвідношення $F_k = (1,1 \dots 1,3) \cdot F_{\pi}$. У двигуна ПД-10 камера має напівсферичну форму, тоді:

$$F_k = 1,2 \cdot F_{\pi} = 1,2 \cdot 0,004534 = 5,441 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \quad (3.10)$$

11. Об'єм камери стиснення розраховують за співвідношенням

$$V_c = \frac{\pi}{2} D^2 \cdot r_k \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} = \frac{3.14}{2} 0.076^2 \cdot 0.033 \cdot \frac{1}{8.5 - 1} = 39.9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3. \quad (3.11)$$

V. Наддув двигуна.

12. Двигун не має агрегатів наддуву, тому $p_k = 101 \text{ кПа}$.

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

VI. Регулювальні дані.

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

$$\varphi_c = 360 - \Delta\varphi_{оп} = 360 - 30 = 330^\circ \text{ п.к.в.}, \quad (3.12)$$

де $\Delta\varphi_{оп} = 18 \dots 35^\circ$ – величина, яка залежить від швидкохідності двигуна, розмірів і типу камери згорання. Згідно [16] для двигуна ВАЗ-2101 на номінальному режимі роботи $\Delta\varphi_{оп} = 30^\circ$.

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

$$\varphi_z = \varphi_c + \Delta\varphi_{сг} = 330 + 50 = 380^\circ \text{ п.к.в.} \quad (3.13)$$

VII. Режимні дані.

16. Кутова швидкість обертання кривошипа ω , рад/с, визначається за індивідуальним завданням в залежності від частоти обертання колінчатого валу n , с^{-1} :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 5500}{60} = 580.9 \text{ с}^{-1}. \quad (3.14)$$

17. Коефіцієнт надлишку повітря α на номінальному режимі: $\alpha = 0,8$.

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

Цикловий масовий заряд повітря в циліндрі

$$\Delta m_{\text{вц}} = V_h \cdot \rho_k \cdot \eta_v = 0.0002993 \cdot 1.201 \cdot 0,649 = 233,27 \cdot 10^{-6} \text{ кг/цикл}, \quad (3.15)$$

де щільність заряду на вході в циліндр визначається за формулою

$$\rho_k = \frac{p_k}{RT_k} = \frac{101000}{287 \cdot 293} = 1,201 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad (3.16)$$

коефіцієнт наповнення дорівнює

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

$$\eta_v = \frac{8,5}{8,5 - 1} \cdot \frac{101000 - 10100}{101000} \cdot \frac{293}{293 + 10 + 0,15 \cdot 1050} = 0,649.$$

де $\Delta p_{\text{вп}} = (0,05 \dots 0,15) \cdot p_k = 0,1 \cdot 101000 = 10100 \text{ Па}$ – втрата тиску на впуску;

$\Delta T = 0 \dots 20 \text{ К}$ – підігрів заряду на впуску для бензинових ДВЗ,

$\gamma = 0 \dots 0,2$ – коефіцієнт залишкових газів.

$T_\Gamma = 900 \dots 1100 \text{ К}$ – температура залишкових газів для бензинових двигунів.

Циклова масова подача палива

$$\Delta m_{\text{тц}} = \frac{\Delta m_{\text{вц}}}{\alpha \cdot \ell_o} = \frac{0.00023327}{0,9 \cdot 14,96} = 19,49 \cdot 10^{-6} \text{ кг/цикл}. \quad (3.18)$$

19. Середня температура стінок T_w залежить від типу двигуна, рівня форсування, режиму роботи, матеріалів основних деталей (поршня, кришки, клапанів, циліндра). З рекомендацій [12] приймаємо $T_w = 500$ К.

VIII. Початкові умови.

20. Початковий тиск дорівнює

$$p_a = p_k - \Delta p_{вп} = 101000 - 10100 = 90900 \text{ Па}, \quad (3.19)$$

де $\Delta p_{вп}$ визначається за рекомендаціями п. 18 даного розділу.

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

$$T_a = \frac{1}{1 + \gamma} (T_k + \Delta T_{вп} + \gamma T_r), \quad (3.20)$$

$$T_a = \frac{1}{1 + 0,15} (293 + 10 + 0,15 \cdot 1050) = 400,4 \text{ К.}$$

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

$$m_a = (1 + \gamma) \cdot \Delta m_{вц} = (1 + 0,15) \cdot 0,00023327 = 268,3 \cdot 10^{-6} \text{ кг/цикл.} \quad (3.21)$$

23. Початковий об'єм циліндра

$$V_a = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot V_h = \frac{8,5}{8,5 - 1} 0,0002993 = 339,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3. \quad (3.22)$$

Початкові параметри повинні задовольняти рівнянню стану, яке в даному

випадку є контрольним:

$$P_a V_a = R m_a T_a, \quad (3.23)$$

$$90900 \cdot 0,0003392 = 287 \cdot 0,0002683 \cdot 400,4,$$

$$30,8333 = 30,8316.$$

Похибка цього рівняння складає 0,005 %.

IX. Дані до динамічного розрахунку.

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:

$$m_A = [m'_п + (0,2 \dots 0,3) \cdot m'_ш] \cdot F_п, \quad (3.24)$$

$$m_A = [105 + 0,25 \cdot 150] \cdot 0,0045342 = 0,646 \text{ кг},$$

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

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

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

Інформацію за пунктами I-X заносимо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Початкові дані для розрахунку робочого циклу двигуна ВА3-2101 до програми Engine Calculation

№	Найменування величини	Значення величин	Позначення і одиниці виміру
I.	Код двигуна	0	Y
II.	Вид розрахунку	1	–
III.	Тип двигуна 1. Теплота згорання палива 2. Показник процесу згорання	44000000 3,5	$H_{\text{ут}}$, Дж/кг m_1
IV.	Конструктивні дані 3. Кількість циліндрів 4. Рядний (1); V-подібний (0) 5. Діаметр циліндра 6. Площа поршня 7. Радіус кривошипа 8. Відношення $\lambda_k = \frac{r_k}{L_{\text{ш}}}$ 9. Площа теплообміну поршня 10. Площа теплообміну кришки 11. Об'єм камери стиснення	4 1 0.076 0.0045342 0.033 0.243 0.004761 0.005441 0.0000399	i – D , м $F_{\text{п}}$, м ² r_k , м λ_k $F_{\text{п}}'$, м ² F_k , м ² V_c , м ³
V.	Наддув 12. Тиск наддуву 13. Температура повітря	101000 293	p_k , Па T_k , К
VI.	Регульовальні дані 14. Кут початку згорання 15. Кут кінця згорання	330 380	φ_c , град. φ_z , град.
VII.	Режимні дані 16. Кутова швидкість валу 17. Коефіцієнт надлишку повітря 18. Циклова подача палива 19. Середня температура стінок	580,9 0,8 0,01949 500	ω , рад/с α $\Delta m_{\text{тп}}$, г/цикл T_w , К
VIII.	Початкові умови 20. Тиск 21. Температура 22. Маса робочого тіла 23. Об'єм робочої порожнини	90900 400,4 0,0002683 0,0003392	p_a , Па T_a , К m_a , кг/цикл V_a , м ³
IX.	Дані до динамічного розрахунку 24. Маса поступально рухомих частин (приведена)	0,646	m_A , кг
X.	Розрахунковий крок	1	$\Delta\varphi$, град.

Студент гр. Т-419м.

Яровий В.С

Керівник д.т.н., професор

Слинько Г.І.

За результатами розрахунку отримано протокол теплового розрахунку (додаток А), основні циклові і питомі показники двигуна ВАЗ-2101:

- індикаторна робота $L_i = 291,732$ Дж/цикл;
- середній індикаторний тиск $p_i = 0,9749$ МПа;
- індикаторний ККД $\eta_i = 0,4735$;
- питома індикаторна витрата палива $g_i = 0,2405 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$.

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

$$N_e = i \cdot L_i \cdot \frac{n}{\tau} \cdot \eta_m = 1 \cdot 291,732 \cdot \frac{5500}{1 \cdot 60} \cdot 0,8 = 43,18 \text{ кВт}, \quad (3.25)$$

де η_m – механічний ККД двигуна, який враховує вплив механічних втрат.

Розрахуємо інші ефективні показники двигуна ПД-10:

$$p_e = p_i \cdot \eta_m = 0,97486 \cdot 0,8 = 0,780 \text{ МПа}; \quad (3.26)$$

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,4734 \cdot 0,8 = 0,379; \quad (3.27)$$

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,2405}{0,8} = 0,301 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}. \quad (3.28)$$

За отриманим результатом можна стверджувати, що тепловий розрахунок виконано вірно.

Основними параметрами, які характеризують механічну і термічну напруженість деталей двигуна, є тиск і температура робочого тіла. У протоколі теплового розрахунку знаходимо величини максимального тиску $p_{\max} = 5,984$ МПа (при $\varphi = 369^\circ$ ПКВ) і максимальної температури $T_{\max} = 3221,5$ К (при $\varphi = 372^\circ$ ПКВ).

На рисунку 3.1 показана індикаторна діаграма двигуна ВАЗ-2101.

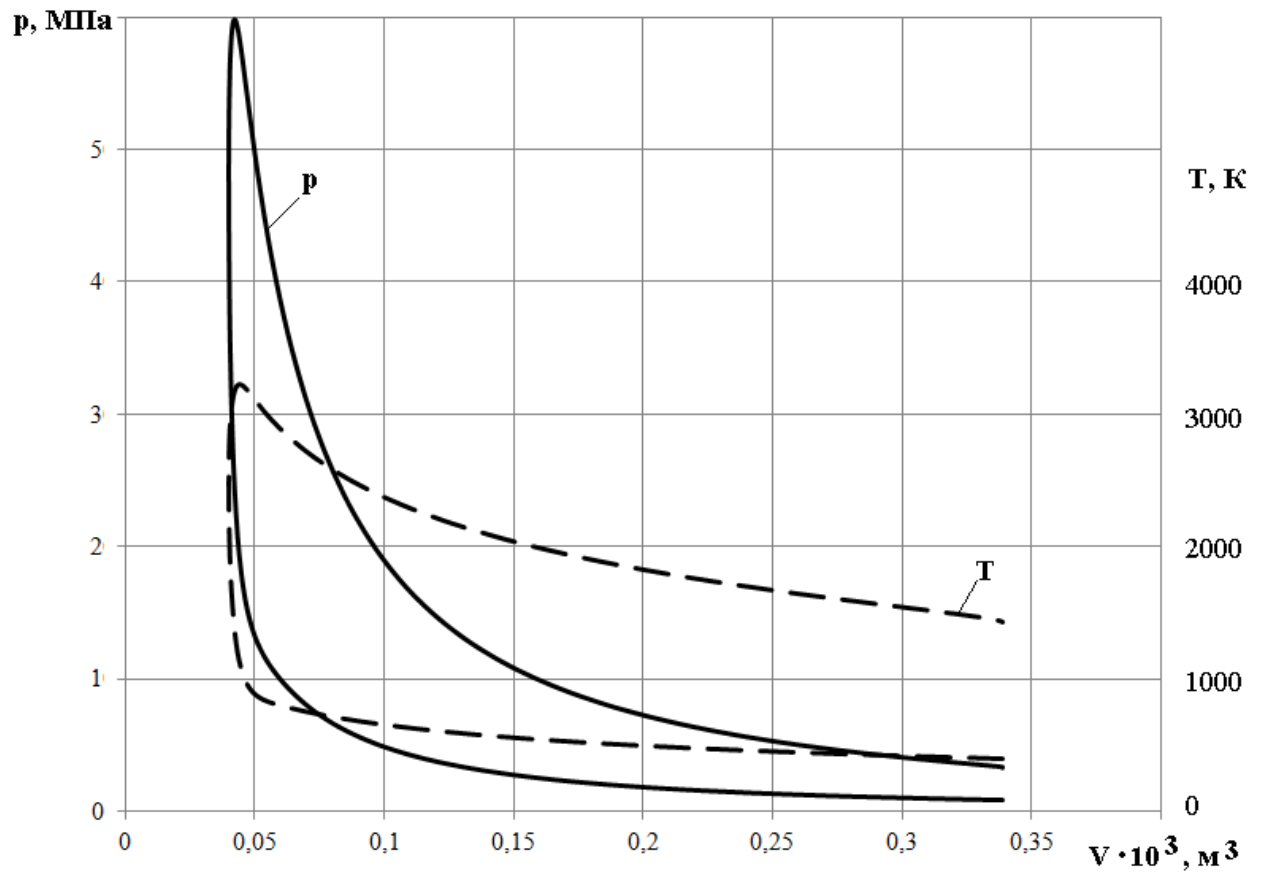


Рисунок 4.1 – Індикаторна діаграма $P(V)$ двигуна ВАЗ-2101 при $T_k=293$
 K і $p_k = 101$ кПа

4 ТЕПЛОВІ РОЗРАХУНКИ ДВИГУНА ВАЗ-2101 НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ ПРИ ЗМІННИХ p, T

4.1 Визначення початкових даних

Для дослідження впливу температури та тиску повітря на ефективні показники 4-тактного бензинового ДВЗ проведено ряд теплових розрахунків з використанням комп'ютерної програми Engine Calculation. В цих розрахунках змінювались величини температури T_k і тиску p_k на впуску, що приводило до зміни інших величин в таблиці 3.1: ρ , $\Delta p_{вп}$, η_v , $\Delta m_{вц}$, $\Delta m_{тц}$, p_a , T_a , m_a . Всі ці величини показані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Змінні теплофізичні та циклові показники при варіюванні температури і тиску на впуску

Показник	Величина			
1	2			
$T_k, K / p_k, \text{кПа}$	273/101	293/101	313/101	333/101
$\rho, \text{кг/м}^3$	1,289	1,201	1,124	1,057
$\Delta p_{вп}, \text{кПа}$	10,1	10,1	10,1	10,1
η_v	0,632	0,649	0,664	0,679
$\Delta m_{вц}, \text{кг/цикл}, \cdot 10^6$	243,86	233,27	223,56	214,62
$\Delta m_{тц}, \text{кг/цикл}, \cdot 10^6$	20,38	19,49	18,68	17,93
$p_a, \text{кПа}$	90,9	90,9	90,9	90,9
T_a, K	383,0	400,4	417,8	435,2
$m_a, \text{кг/цикл}, \cdot 10^6$	280,4	268,3	257,1	246,8

Продовження таблиці 4.1

1	2			
$T_k, K / p_k, \text{кПа}$	273/95	293/95	313/95	333/95
$\rho, \text{кг/м}^3$	1,212	1,130	1,058	0,994
$\Delta p_{\text{вп}}, \text{кПа}$	9,5	9,5	9,5	9,5
η_v	0,632	0,649	0,664	0,679
$\Delta m_{\text{вц}}, \text{кг/цикл}, \cdot 10^6$	229,37	219,41	210,28	201,87
$\Delta m_{\text{тц}}, \text{кг/цикл}, \cdot 10^6$	19,17	18,33	17,57	16,87
$p_a, \text{кПа}$	85,5	85,5	85,5	85,5
T_a, K	383,0	400,4	417,8	435,2
$m_a, \text{кг/цикл}, \cdot 10^6$	263,8	252,3	241,8	232,2

4.2 Індикаторні показники

За результатами розрахунків циклу двигуна ВАЗ-2101 в комп'ютерній програмі Engine Calculation визначено основні індикаторні показники двигуна (див. таблицю 4.2): індикаторна робота за цикл L_i , індикаторний тиск p_i , індикаторний ККД η_i , індикатора питома витрата палива g_i . Протоколи теплового розрахунку, окрім наведеного в додатку А для $T_k = 293 \text{ K}$ і $p_k = 101 \text{ кПа}$, вважаючи на їх значний об'єм, в роботі не наводяться.

Таблиця 4.2 – Індикаторні показники двигуна ВАЗ-2101 на номінальному режимі

Показник	Величина			
1	2			
$T_{к}, K / p_{к}, кПа$	273/101	293/101	313/101	333/101
$L_i, Дж/цикл$	306,84	291,75	277,94	265,14
$p_i, МПа$	0,1025	0,9749	0,9288	0,8860
η_i	0,4762	0,4735	0,4706	0,4677
$g_i, кг/(кВт·год)$	0,2391	0,2405	0,2420	0,2434
$T_{к}, K / p_{к}, кПа$	273/95	293/95	313/95	333/95
$L_i, Дж/цикл$	288,20	273,95	260,99	249,05
$p_i, МПа$	0,9631	0,9154	0,8721	0,8322
η_i	0,4755	0,4727	0,4698	0,4667
$g_i, кг/(кВт·год)$	0,2395	0,2409	0,2424	0,2439

4.3 Ефективні показники

Знаючи індикаторні показники двигуна ВАЗ-2101 (див. табл. 4.2), за допомогою формул 3.25-3.28 розраховуємо ефективні показники двигуна, які заносимо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Ефективні показники двигуна ВАЗ-2101 на номінальному режимі

Показник	Величина			
1	2			
$T_{к}, K / p_{к}, \text{кПа}$	273/101	293/101	313/101	333/101
$N_{е}, \text{кВт}$	45,41	43,18	41,13	39,24
$g_{е}, \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ГОД}}$	0,299	0,301	0,302	0,304
$\eta_{е}$	0,381	0,379	0,376	0,374
$p_{е}, \text{кПа}$	0,820	0,780	0,743	0,709
$T_{к}, K / p_{к}, \text{кПа}$	273/95	293/95	313/95	333/95
$N_{е}, \text{кВт}$	42,65	40,54	38,63	36,86
$g_{е}, \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ГОД}}$	0,299	0,301	0,303	0,305
$\eta_{е}$	0,380	0,378	0,376	0,373
$p_{е}, \text{кПа}$	0,770	0,732	0,698	0,666

За даними таблиці 4.3 будуюмо діаграми залежності ефективної потужності $N_{е}$, ефективного ККД $\eta_{е}$, ефективної витрати палива $g_{е}$ від температури та тиску повітря на впуску (рисунки 4.1-4.4).

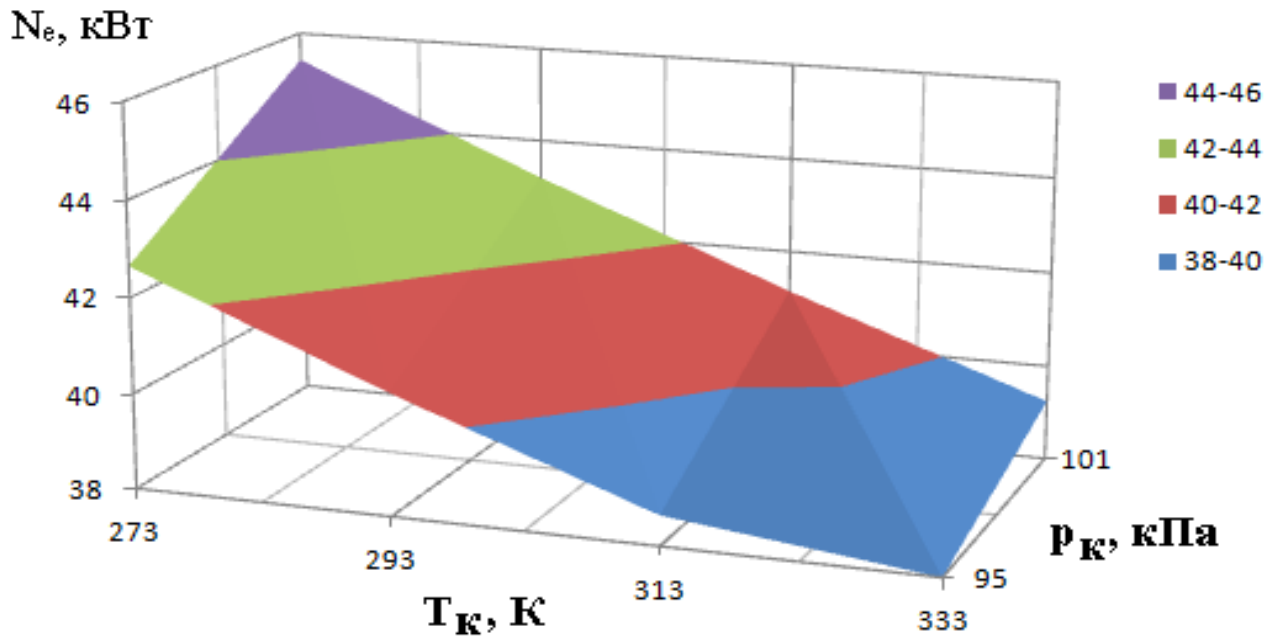


Рисунок 4.1 – Ефективна потужність двигуна ВАЗ-2101, при різних температурі й тиску на впуску

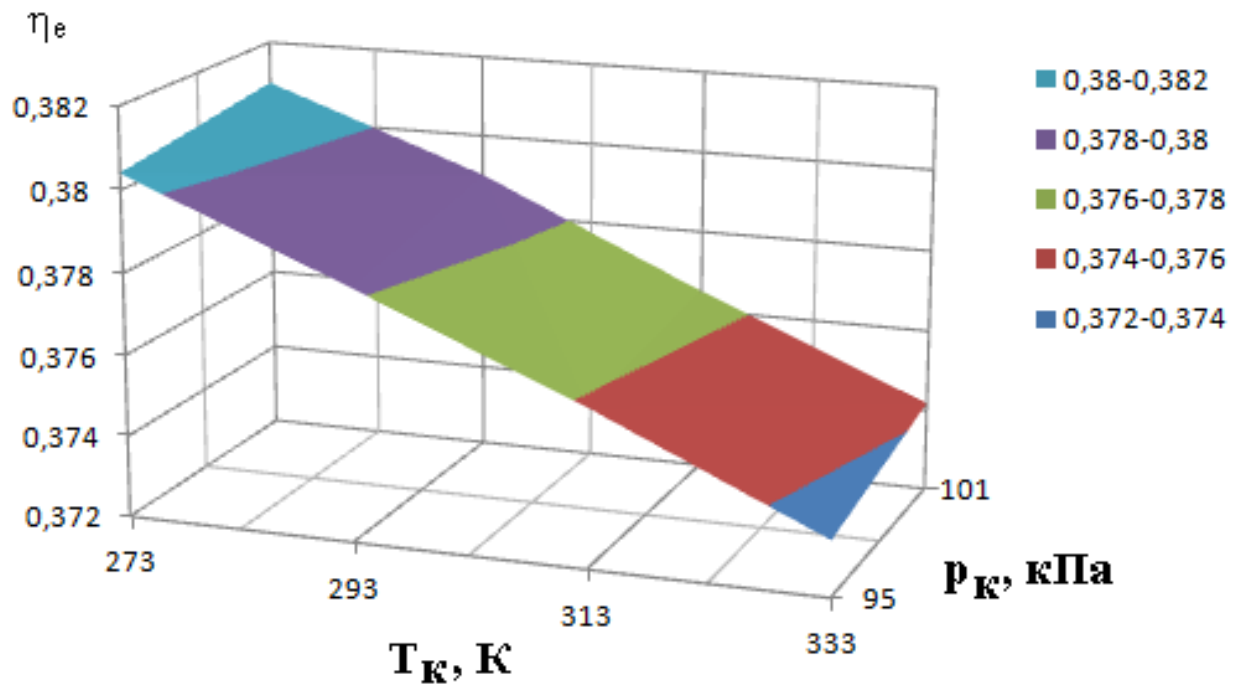


Рисунок 4.2 – Ефективний ККД двигуна ВАЗ-2101, при різних температурі й тиску на впуску

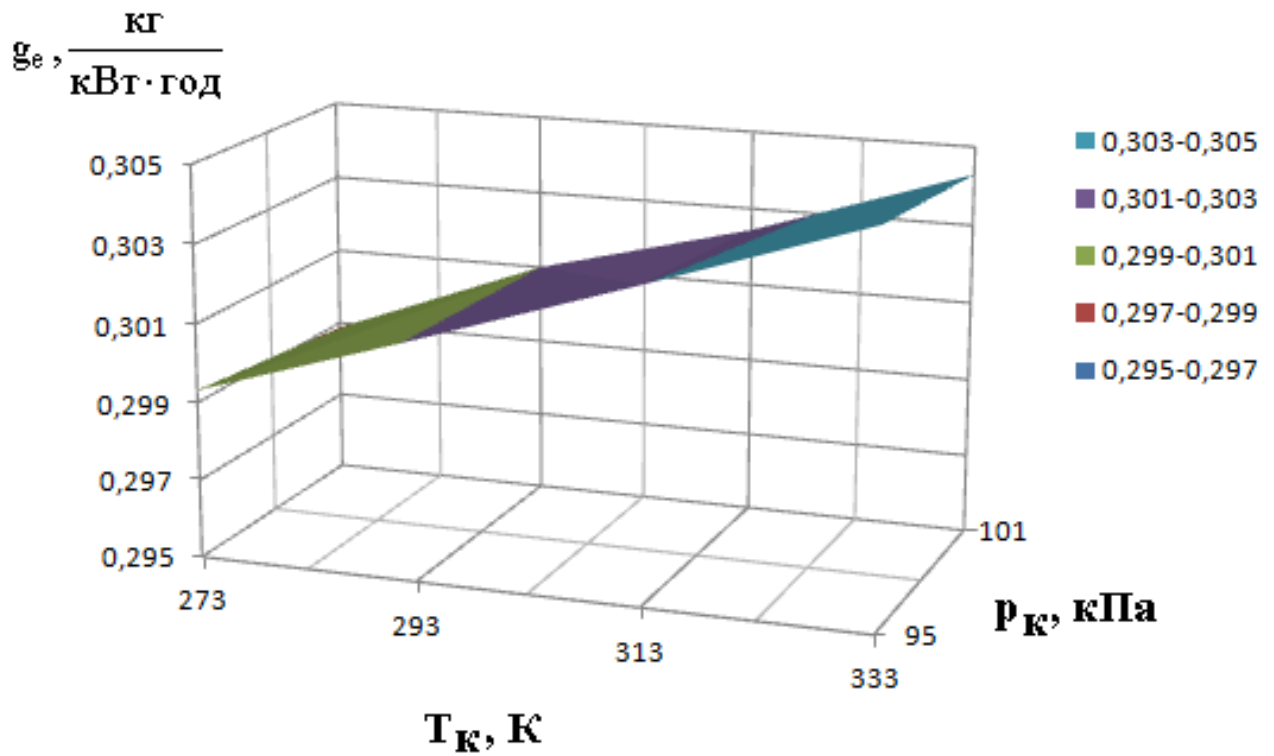


Рисунок 4.3 – Ефективна питома витрата двигуна ВАЗ-2101, при різних температурах і тиску на впуску

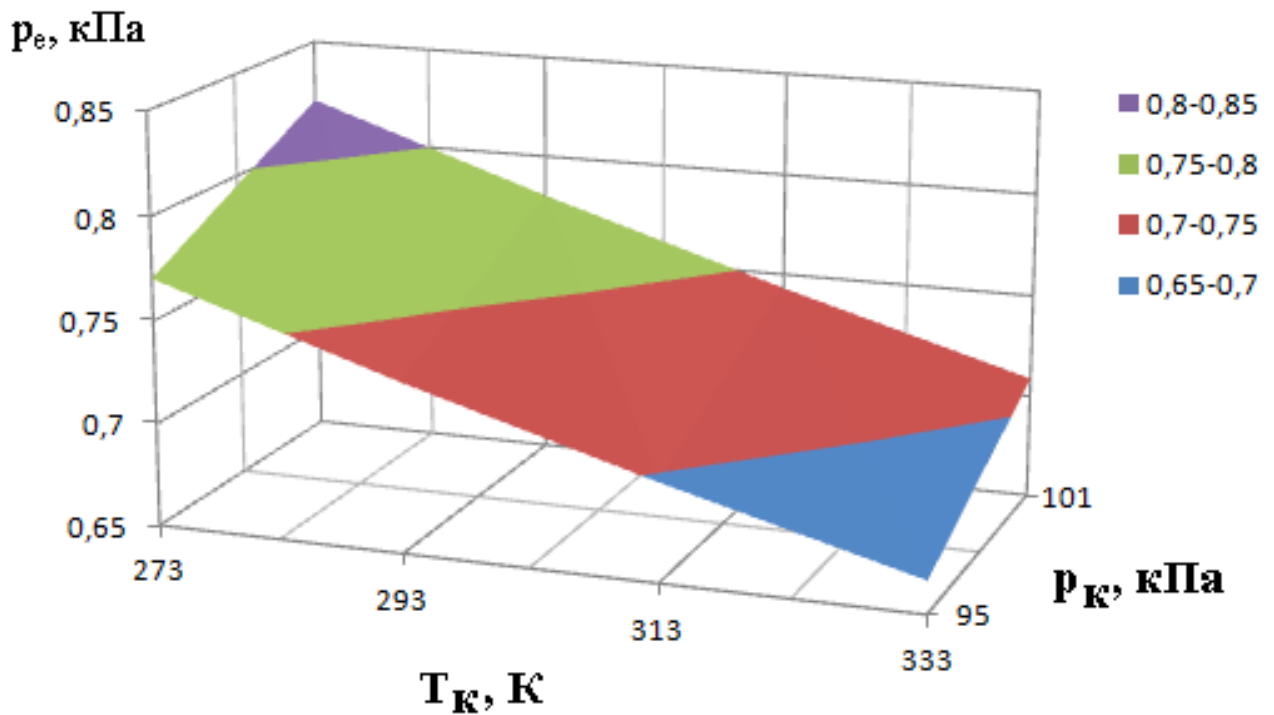


Рисунок 4.4 – Середній ефективний тиск двигуна ВАЗ-2101, при різних температурах і тиску на впуску

З рисунків 4.1-4.4 видно, що зростання температури повітря на впуску на кожні 20 К призводить до наступних змін ефективних показників двигуна ВАЗ-2101:

- ефективна потужність N_e зменшується (в середньому) на 4,8 %;
- середній ефективний тиск p_e зменшується (в середньому) на 4,8 %;
- ефективний ККД η_e зменшується (в середньому) на 0,6 %;
- ефективна витрата палива g_e зростає (в середньому) на 0,6 %.

Визначаємо годинну витрату палива для номінального режиму роботи:

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

$$G_{\text{п}} = 0,301 \cdot 43,18 = 12,98 \text{ кг/год.}$$

З розрахунків $G_{\text{п}}$ випливає, що зростання температури повітря на впуску на кожні 20 К призводить до збільшення годинної витрати палива в середньому на 0,54 кг/год, або на 4,2 %.

З рисунків 4.1-4.4 також видно, що зменшення тиску повітря на впуску на кожні 6 кПа призводить до наступних змін ефективних показників двигуна ВАЗ-2101:

- ефективна потужність N_e зменшується (в середньому) на 6,5 %;
- середній ефективний тиск p_e зменшується (в середньому) на 6,5 %;
- ефективний ККД η_e зменшується (в середньому) на 0,19 %;
- ефективна витрата палива g_e зростає (в середньому) на 0,13 %;
- годинна витрата палива $G_{\text{п}}$ зростає (в середньому) на 0,76 кг/год, або 6,3 %.

4.4 Висновки за розділом

З теплового розрахунку двигуна ВАЗ-2101 можна зробити висновок, що найбільш сприятливі умови для покращення показників двигуна досягаються за знижених температур та підвищеному значенні тиску.

В діапазоні температур 273 К до 333 К визначено, що найкращі показники двигуна досягаються при $T_k = 273$ К, $p_k = 101$ кПа:

- ефективна потужність $N_e = 45,41$ кВт;
- середній ефективний тиск $p_e = 0,82$ МПа;
- ефективний ККД $\eta_e = 0,381$;
- ефективна витрата палива $g_e = 299 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$.

Варто зазначити, що фізико-математична модель розрахунку циклу ДВЗ II рівня II модифікації не дозволяє визначити вплив зниженої температури впускного повітря на якість сумішоутворення та розпилення. Тому результати, отримані розрахунковим методом, необхідно підтвердити експериментально.

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ВПУСКУ НА ЕФЕКТИВНІ ПОКАЗНИКИ ДВИГУНА ВАЗ-2101

5.1 Проведення експерименту

На навантажувальному стенді з двигуном ВАЗ-2101 (див. розділ 2.2) за методикою, описаній в [10], визначаємо часткові швидкісні характеристики двигуна при 40 % натисненні педалі акселератора. Проводимо 3 експерименти:

- № 1 – робота двигуна в штатному режимі;
- № 2 – робота двигуна з підігрівом повітря на впуску 45,4 °С;
- № 3 – робота двигуна з підігрівом повітря на впуску 69,4 °С.

В ході експерименту реєструємо величини згідно ГОСТ 14846-81:

- частота обертання вихідного валу двигуна n , хв^{-1} ;
- покази навантаження на ваговому пристрої $P_{\text{вес}}$, кгс;
- час проведення заміру τ , с;
- температура охолоджуючої рідини $t_{\text{ж}}$, °С;
- тиск масла в системі мащення $p_{\text{м}}$, $\text{кгс}/\text{см}^2$;
- сила струму гальмівного пристрою I , А.

Також фіксуємо середні значення температури та тиску у впускному колекторі: $p_{\text{к ср}}$, $t_{\text{к ср}}$. Для цього використовується вимірювальний ланцюг на основі Arduino, описаний в роботах [17, 18].

Температура і тиск в приміщенні, звідки здійснювався забір повітря: $p_{\text{атм}} = 101,6 \text{ кПа}$, $t_{\text{атм}} = 15,6 \text{ °С}$.

Результати вимірювань за експериментами № 1–3 заносимо до таблиць 5.1–5.3.

Таблиця 5.1 – Протокол випробування експерименту № 1 (без підігріву повітря на впуску)

№ п/п	n, хв ⁻¹	P _{вес} , кгс	V, см ³	τ, с	t _ж , °С	ρ _м , кгс/см ²	I, А	M _к , Н·м	N _е , кВт	G _т , кг/год	g _е , г/(кВт·год)	p _{к ср} , кПа	t _{к ср} , °С
1	1450	5,75	31	42,0	85	0,5	1,4	67,69	10,28	1,993	193,9	99,3	36
2	2350	5,65	31	28,5	85	1,0	1,2	66,51	16,37	2,937	179,4	97,3	35
3	2500	5,60	31	29,3	85	1,5	1,0	65,92	17,26	2,857	165,5	97,2	38
4	3000	5,50	31	25,2	90	1,5	1,0	64,75	20,34	3,321	163,3	94,4	23
5	3500	4,65	31	24,2	95	2,0	0,8	54,74	20,06	3,459	172,4	95,5	25
6	3850	3,40	31	24,3	90	2,5	0,7	40,02	16,14	3,444	213,4	94,0	22
7	4500	2,55	31	19,0	90	2,5	0,55	30,02	14,15	4,405	311,4	95,5	16

Таблиця 5.2 – Протокол випробування експерименту № 2 (з підігрівом повітря на впуску 45,4 °С)

№ п/п	n, хв ⁻¹	P _{вес} , кгс	V, см ³	τ, с	t _ж , °С	ρ _м , кгс/см ²	I, А	M _к , Н·м	N _е , кВт	G _т , кг/год	g _е , г/(кВт·год)	p _{к ср} , кПа	t _{к ср} , °С
1	1550	5,65	31	39,5	80	0,5	1,3	66,51	10,80	2,119	196,3	100,19	44,6
2	2050	5,60	31	29,7	80	0,5	1,2	65,92	14,15	2,818	199,1	99,29	45,1

3	2500	5,45	31	28,0	80	0,5	1,1	64,16	16,80	2,989	178,0	98,29	43,9
4	3000	4,70	31	27,6	85	1,0	0,9	55,33	17,38	3,033	174,5	97,32	45,8
5	3650	3,60	31	25,7	85	1,0	0,7	42,38	16,20	3,257	201,1	96,33	44,0
6	4200	2,00	31	20,7	90	1,5	0,45	23,54	10,36	4,043	390,5	95,48	45,2

Таблиця 5.3 – Протокол випробування експерименту № 3 (з підігрівом повітря на впуску 69,4 °С)

№ п/п	n, хв ⁻¹	P _{вес} , кгс	V, см ³	τ, с	t _ж , °С	ρ _м , кгс/см ²	I, А	M _к , Н·м	N _е , кВт	G _т , кг/год	g _е , г/(кВт·год)	p _{к ср} , кПа	t _{к ср} , °С
1	2100	5,15	31	29,6	80	0,5	0,9	60,63	13,33	2,828	212,1	98,49	66,4
2	2700	4,70	31	27,1	80	0,5	0,8	55,33	15,64	3,089	197,4	97,27	63,4
3	3050	4,40	31	26,4	85	1,0	0,8	51,80	16,54	3,170	191,6	96,38	61,1
4	3500	3,85	31	23,9	85	1,0	0,75	45,32	16,61	3,502	210,8	95,42	67,9
5	3750	3,30	31	22,8	90	1,5	0,6	38,85	15,26	3,671	240,6	94,30	69,7
6	4200	2,15	31	22,0	90	2,0	0,4	25,31	11,13	3,805	341,8	92,95	64,8

5.2 Обробка результатів експерименту

Результати експериментів з таблиць 5.1–5.3 обробляємо за методикою, наведеною в розділі 1.4 [10].

Обертальний момент двигуна

$$M_k = P_{\text{вс}} \cdot l \cdot 9,81, \quad (5.1)$$

Виконаємо розрахунок обертального моменту для 1-го вимірювання в експерименті № 3

$$M_k = 5,15 \cdot 1,2 \cdot 9,81 = 60,63 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

де $l = 1,2 \text{ м}$ – плече вагового пристрою гальма

Ефективна потужність

$$N_e = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9549}, \quad (5.2)$$

$$N_e = \frac{60,63 \cdot 2100}{9549} = 13,33 \text{ кВт}.$$

Годинна витрата палива

$$G_T = 3,6 \frac{V \cdot \rho_T}{\tau}, \quad (5.3)$$

$$G_T = 3,6 \frac{31 \cdot 0,750}{29,6} = 2,828 \text{ кг/год},$$

де $V = 31 \text{ см}^3$ – об'єм мірної ємності;

$\rho_T = 0,75 \text{ г/см}^3$ – щільність палива при випробуваннях;

Питома витрата палива

$$g_e = \frac{G_T \cdot 1000}{N_e}, \quad (5.4)$$

$$g_e = \frac{2,828 \cdot 1000}{13,33} = 212,1 \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{год}},$$

Всі величини N_e , M_k , G_T , g_e розраховуємо для експериментів № 1–3 та заносимо до таблиць 5.1–5.3, будуємо графіки часткових швидкісних характеристик двигуна ВАЗ-2101 (рисунки 5.1–5.3).

З графіка на рисунку 5.1 випливає, що різниця крутного моменту двигуна між експериментами № 1 та № 3 складає в середньому 16 % – при підігріві повітря крутний момент зменшується. При зростанні температури повітря на впуску потужність зменшується в середньому на 17 %.

З рисунків 5.2 і 5.3 можна зробити висновок, що абсолютне значення витрати палива (величина годинної витрати палива G_T) залишається практично незмінною. А питома витрата палива g_e у двигуна ВАЗ-2101 при збільшенні підігріву впускного повітря (експеримент № 3) порівняно з експериментом №1 (без підігріву повітря) зростає за рахунок зменшення потужності (див. формулу 5.4) на величину від 13 % до 25 % (при частоті обертання $n > 3700 \text{ хв}^{-1}$), в середньому на 18 %.

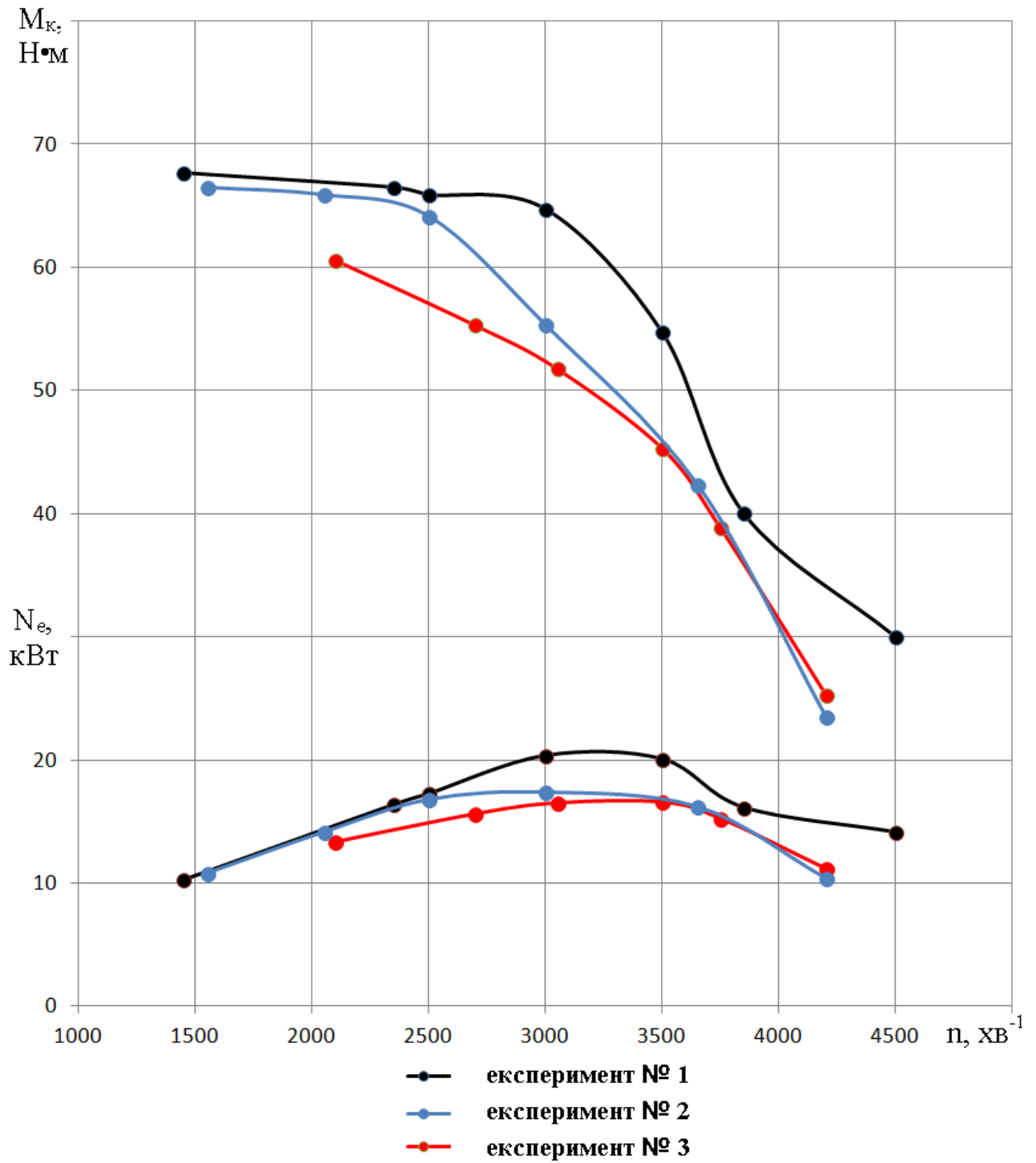


Рисунок 5.1 – Часткова швидкісна характеристика двигуна ВА3-2101 (крутний момент M_k та потужність N_e) при різних температурах повітря в системі впуску

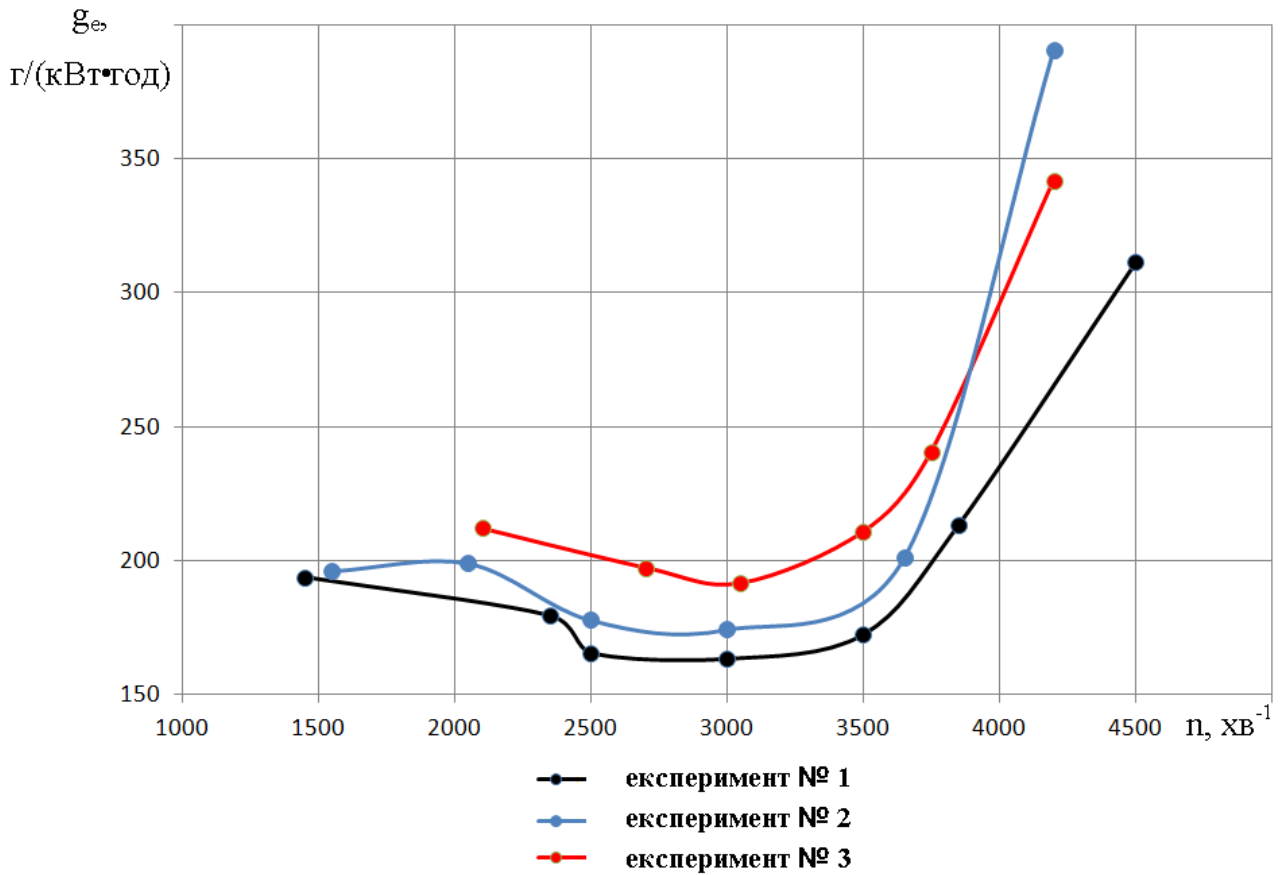


Рисунок 5.2 – Часткова швидкісна характеристика двигуна ВАЗ-2101 (питома витрата палива g_e) при різних температурах повітря в системі впуску

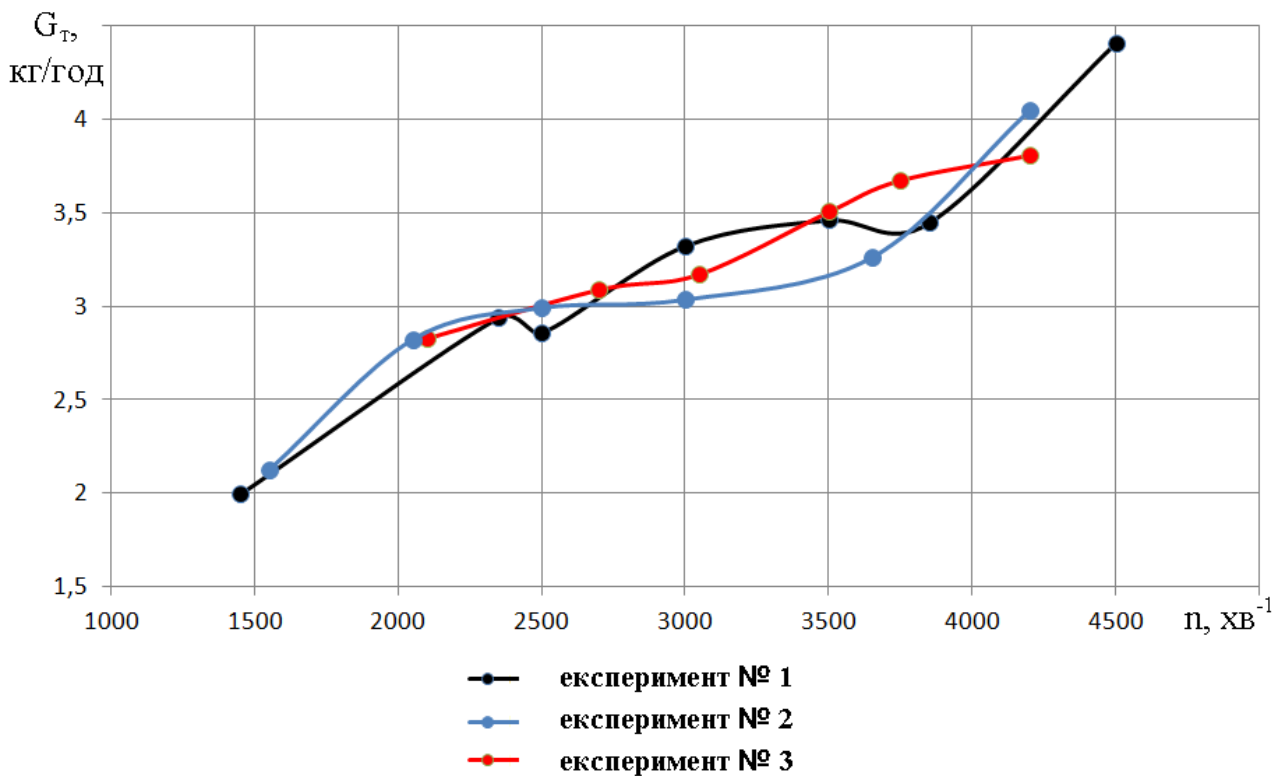


Рисунок 5.3 – Часткова швидкісна характеристика двигуна ВАЗ-2101 (годинна витрата палива G_T) при різних температурах повітря в системі впуску

5.3 Апроксимація експериментальних даних

В результаті проведених експериментів отримано графіки залежності ефективної потужності N_e , крутного моменту M_k , годинної витрати палива G_T , питомої ефективної витрати палива g_e від частоти обертання колінчастого валу двигуна (швидкісні характеристики) (рисунки 5.1–5.3). Для зручності роботи з графічними даними виконуємо їх апроксимацію.

З огляду на характер графіку ефективної потужності N_e (рис. 5.1), можна виконати апроксимацію знаходженням квадратичної регресії за методикою [19]. Складаємо таблицю початкових даних (табл. 5.4) для ефективної потужності для експерименту №1.

Таблиця 5.4 – Таблиця початкових даних

i	x_i	y_i
1	1450	10,28
2	2350	16,37
3	2500	17,26
4	3000	20,34
5	3500	20,06
6	3850	16,14
7	4500	14,15

Складаємо таблицю допоміжних величин (табл. 5.5).

Знаходимо коефіцієнти a , b , c рівняння квадратичної регресії $\hat{y} = ax^2 + bx + c$ з системи рівнянь:

$$\begin{cases} a\sum x_i^2 + b\sum x_i + nc = \sum y_i, \\ a\sum x_i^3 + b\sum x_i^2 + c\sum x_i = \sum x_i y_i, \\ a\sum x_i^4 + b\sum x_i^3 + c\sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i. \end{cases} \quad (5.5)$$

Після підстановки отримуємо:

Таблиця 5.5 – Таблиця допоміжних величин для знаходження квадратичної функції

i	x_i	y_i	x_i^2	x_i^3	x_i^4	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2 \cdot y_i$
1	1450	10.28	2102500	3048625000	4420506250000	14906	21613700
2	2350	16.37	5522500	12977875000	30498006250000	38469.5	90403325
3	2500	17.26	6250000	15625000000	39062500000000	43150	107875000
4	3000	20.34	9000000	27000000000	81000000000000	61020	183060000
5	3500	20.06	12250000	42875000000	150062500000000	70210	245735000
6	3850	16.14	14822500	57066625000	219706506250000	62139	239235150
7	4500	14.15	20250000	91125000000	410062500000000	63675	286537500
Σ	21150	114.6	70197500	249718125000	934812518749999.9	353569.5	1174459675

$$\begin{cases} 70197500a + 21150b + 7c = 114,6, \\ 249718125000a + 70197500b + 2110c = 353569.5, \\ 934812518749999.9a + 249718125000b + 70197500c = 1174459675. \end{cases}$$

Вирішуємо цю систему лінійних рівнянь методом Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 70197500 & 21150 & 7 \\ 249718125000 & 70197500 & 21150 \\ 934812518749999.9 & 249718125000 & 70197500 \end{vmatrix} = -263972656062501130000,$$

$$\Delta a = \begin{vmatrix} 114.6 & 21150 & 7 \\ 353569.5 & 70197500 & 21150 \\ 1174459675 & 249718125000 & 70197500 \end{vmatrix} = 814612074624996.4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a = \frac{\Delta a}{\Delta} = \frac{814612074624996.4}{-263972656062501130000} = -3e - 6;$$

$$\Delta b = \begin{vmatrix} 70197500 & 114.6 & 7 \\ 249718125000 & 353569.5 & 21150 \\ 934812518749999.9 & 1174459675 & 70197500 \end{vmatrix} = -5175723156731281000 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow b = \frac{\Delta b}{\Delta} = \frac{-5175723156731281000}{-263972656062501130000} = 0.0196;$$

$$\Delta c = \begin{vmatrix} 70197500 & 21150 & 114.6 \\ 249718125000 & 70197500 & 353569.5 \\ 934812518749999.9 & 249718125000 & 1174459675 \end{vmatrix} = 3.1473e + 21 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow c = \frac{\Delta c}{\Delta} = \frac{3.1473e + 21}{-263972656062501130000} = -11.9231;$$

Тоді шукане рівняння квадратичної регресії отримає вигляд

$$\hat{y} = -3 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 + 0,0196x - 11,9231.$$

Виконуємо побудову графіка рівняння регресії (рис. 5.4).

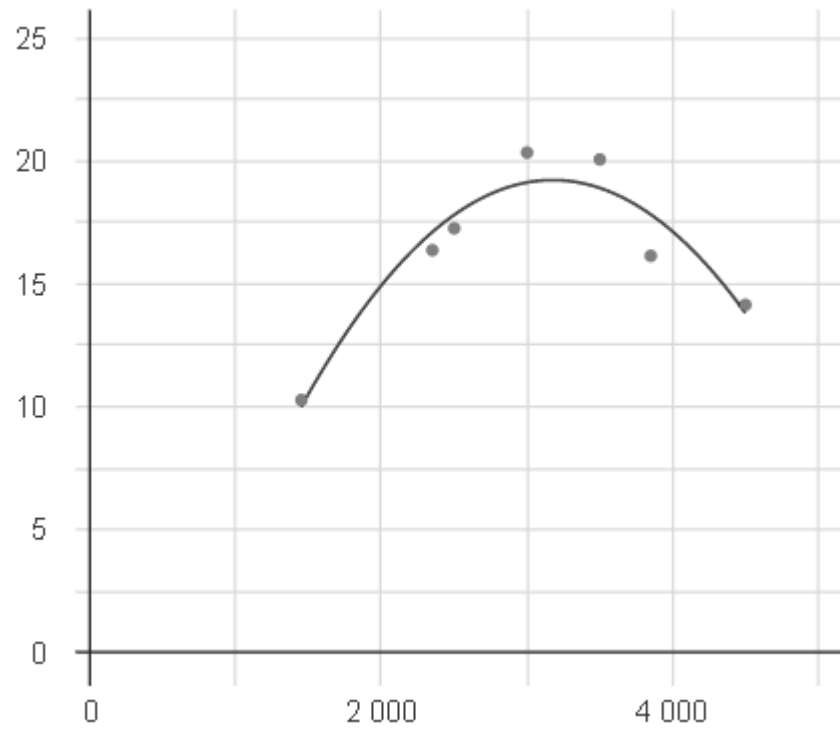


Рисунок 5.4 – Побудова графіка рівняння регресії

$$\hat{y} = -3 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 + 0,0196x - 11,9231$$

Для оцінки значимості параметрів регресії і кореляції:

– знаходимо середнє значення y :

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i = \frac{114,6}{7} = 16,3714;$$

– складаємо таблицю допоміжних величин (табл. 5.6), де $\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i$; $\Delta\varepsilon_i =$

$$\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}; A_i = \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|.$$

Таблиця 5.6 – Таблиця допоміжних величин

i	x_i	y_i	\hat{y}_i	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	ε_i	ε_i^2	A_i	$\Delta\varepsilon_i$	$(\Delta\varepsilon_i)^2$
1	1450	10.28	10.0189	-6.0914	37.1055	0.2611	0.0682	0.0254	—	—
2	2350	16.37	17.1112	-0.0014	0	-0.7412	0.5494	0.0453	-1.0023	1.0046
3	2500	17.26	17.8072	0.8886	0.7896	-0.5472	0.2994	0.0317	0.194	0.0376
4	3000	20.34	19.1243	3.9686	15.7496	1.2157	1.4779	0.0598	1.7629	3.1078
5	3500	20.06	18.8984	3.6886	13.6056	1.1616	1.3492	0.0579	-0.0541	0.0029
6	3850	16.14	17.8222	-0.2314	0.0536	-1.6822	2.8299	0.1042	-2.8438	8.0872
7	4500	14.15	13.8177	-2.2214	4.9347	0.3323	0.1104	0.0235	2.0145	4.0583
Σ	—	—	—	—	72.2385	—	6.6845	0.3478	—	16.2986

Знаходимо індекс кореляції за:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (5.6)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{6.6845}{72.2385}} = 0,9526.$$

Знаходимо індекс детермінації:

$$R^2 = 0,9526^2 = 0,9075.$$

Знаходимо середню похибку апроксимації

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%, \quad (5.7)$$

$$\bar{A} = \frac{0,3478}{7} \cdot 100\% = 4,9681\%.$$

Визначаємо F-критерій Фішера:

– критичний (табличний) (за формулою 5.8)

$$F_{\text{табл}} = F(\alpha, k_1, k_2), \quad (5.8)$$

$$F_{\text{табл}} = F(0,05, 2, 4) = 6,9443;$$

– фактичний

$$F_{\text{факт}} = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{k_2}{k_1}, \quad (5.9)$$

$$F_{\text{факт}} = \frac{0,9075}{1 - 0,9075} \cdot \frac{4}{2} = 19,6138,$$

де $k_1 = m = 2$;

$$k_2 = n - m - 1 = 7 - 2 - 1 = 5;$$

$$\alpha = 0,05;$$

m – число параметрів при перемінних рівняння регресії.

Так як $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$, можна стверджувати, що отриману залежність можна використовувати для знаходження потужності двигуна ВАЗ-2101.

Аналогічно знаходимо рівняння ефективної потужності для інших експериментів. Тоді знайдемо рівняння залежності ефективної потужності двигуна ВАЗ-2101 від обертів двигуна при температурі впускного повітря:

– експеримент № 1 – атмосферне повітря $t_{\text{атм}} = 15,6 \text{ }^\circ\text{C}$

$$N_e = -3 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0,0196 \cdot n - 11,9231;$$

– експеримент № 2 – повітря на впуску $t_{\text{вп}} = 45,4 \text{ }^\circ\text{C}$

$$N_e = -4 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0,0229 \cdot n - 15,589;$$

– експеримент № 3 – повітря на впуску $t_{\text{вп}} = 69,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$N_e = -4 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0,0251 \cdot n - 21,573.$$

5.4 Висновки за розділом

Приймаємо до уваги температуру, за якої проводились експерименти:

- експеримент № 1 – атмосферне повітря $t_{\text{атм}} = 15,6 \text{ }^\circ\text{C}$;
- експеримент № 2 – повітря на впуску $t_{\text{вп}} = 45,4 \text{ }^\circ\text{C}$;
- експеримент № 3 – повітря на впуску $t_{\text{вп}} = 69,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таким чином, визначаємо, що в експерименті № 2 має місце підігрів повітря $29,8 \text{ }^\circ\text{C}$, в експерименті № 3 має місце підігрів повітря $53,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Тобто, можна стверджувати, що зростання температури повітря на впуску на кожні 20 K призводить до наступних змін ефективних показників двигуна ВАЗ-2101:

- ефективна потужність N_e зменшується (в середньому) на $6,32 \%$;
- крутний момент зменшується (в середньому) на $5,95 \%$;
- ефективна витрата палива g_e зростає (в середньому) на $6,69 \%$.

Отримані результати порівнювані з результатами теплового розрахунку (див. розділ 4.3).

Проведено апроксимацію отриманих в ході експерименту числових даних. Отримано квадратичні рівняння регресії для потужності двигуна.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В магістерській дипломній роботі Дослідження впливу температури повітря на ефективні показники 4-тактного двигуна внутрішнього згорання, розглядаються потенційні небезпеки та заходи захисту від них при виконанні дослідницьких робіт, модернізації технологічного обладнання, механізмів й засобів та втілення новітніх технологій.

6.1 Аналіз потенційних небезпек

- При зніманні та установці випускного колектора (який важить 10-12 кг) поза для його встановлення напівзігнута ,що призводить для навантаження опорно-рухомого апарату і як наслідки захворювання дослідника.
- Можливість ураження електричним струмом за не заземлення обладнання де основними причинами можуть бути: порушення правил з електробезпеки, що може призвести к травмам або до летального наслідку.
- Небезпеки, які пов'язані з використанням ПК при обробці отриманих результатів, зокрема: важкість праці, напруженість праці.
- На дослідника під час проведення іспитів впливає психоемоційне перенавантаження.
- Незадовільні параметри мікроклімату в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок нагріву двигуном оточуюче повітря.
- Незадовільний рівень освітлення приміщення дослідницької лабораторії,що може призвести до неефективних дій дослідника і травмування. Освітлення є важливим фактором, що впливає на продуктивність праці дослідника. Добре освітлення дає змогу виконувати роботу, не напружуючи зір, створює відчуття бадьорості, посилює зорове сприймання. І навпаки, при поганому освітленні розвивається стан пригніченості, з'являється

роздратованість і знижується увага, що призводить до помилок у виконанні науково-дослідних процедур.

- Незадовільний стан повітряного середовища шкідливі речовини, які входять в відпрацьовані гази, викидаються двигунами автомобілів і призводить до отруєння організму.
- Підвищення рівень шуму на робочому місці , що може призвести до більшої втомленості та травмування.
- Небезпечними факторами пожежі , які можуть призвести до травм, отруєння, загибелі або матеріальних збитків є токсичні продукти горіння,паливо,олія,розчинники, дим, низький вміст кисню.
- При неефективному управлінні персоналом при надзвичайних ситуаціях та при інфекційній хворобі можливе загибель людей.

6.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Для запобігання та навантаження на хребет дослідника необхідно встановлювати випускний колектор двом особам , що дозволить його закріпити відповідно виконанню НПАОП0.00-.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями»,згідно ДНАОП 1.1.10-1.01-2000 "Правила безпечної експлуатації електроустановок - споживачів" отримали певну групу з електробезпеки для запобігання ураження електричним струмом необхідно зробити захисне заземлення або занулення - це навмисне електричне з'єднання металевих частин обладнання, що не проводять струм, але можуть опинитися під напругою, з землею або з захисним нульовим дротом. Електрообладнання необхідно заземлювати або занулювати у відповідності з ПУЕ - 2013 «Правила улаштування електроустановок».

Раціональний режим праці й відпочинку (ритмічна праця, що рівномірно виконується протягом зміни, місяця, року). Для розгрузки нервової напруженості дослідника необхідно робити перерву для відпочинку через 1,5-2 години, відповідно КЗ про ПУ.

6.3 Заходи по забезпеченню гігієнічної санітарії та гігієни праці

Параметри мікроклімату приміщення встановлюють згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» в залежності від категорії робіт за важкістю. Для забезпечення цих параметрів передбачають системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря.

Оскільки висота дослідницького приміщення становить 4,90 м, встановлюємо люмінесцентні лампи типів ЛБ чи ЛД міцність 60Ват, що буде відповідати В класу зорової роботи відповідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення».

Для забезпечення прийнятного рівня шуму на обладнанні передбачена шумоізоляція, в виробничих приміщеннях передбачені шумопоглиначі. Робочі використовують індивідуальні засоби захисту слуху - беруші. При роботі обладнання також виникає вібрація. Для запобігання та зниження норм вібрації до прийнятного рівня шкідливого впливу вібрації передбачені наступні заходи ДСН 3.3.6.037-99.«Санітарні норми виробничого шуму ,ультразвуку та інфразвуку». Загальні вимоги": - виброгасителі і вібродемпфери в опорах обладнання і фундаментах їх установки; - працівники, які працюють безпосередньо з вібруючими установками і інструментами, забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно ДСН 3.3.6.039-99. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» [21]

Для видалення випаровувань газоповітряної суміші передбачено: місцеву штучну вентиляцію, що забезпечує видалення шкідливих речовин від місця їх виділення. Крім того, практично у всіх приміщеннях, де використовуються шкідливі речовини, повинна бути передбачена і загально обмінна вентиляція. Якщо повну герметизацію процесу, пов'язаного з використанням небезпечних хімічних речовин, неможливо реалізувати практично, необхідно використовувати обслуговуваного двигуна внутрішнього згорання.Засіб індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) - засіб, призначений для захисту дихальних шляхів користувача від вдихання повітря,

яке спричиняє шкідливий вплив на здоров'я. (ДСТУ EN 132:2004 «Засоби індивідуального захисту органів дихання.

Оцінку рівня умов, важкості та напруженості праці за бальною шкалою розглянемо на прикладі оцінки факторів виробничого середовища для дослідника лабораторії обладнаної ПК.

Проводимо заміри і вносимо наявні фактори умов праці та виробничого середовища що впливають на працівника в процесі трудової діяльності їх фактичне значення та час дії, до стовпчиків 1, 2, 3, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Відповідно до додатків методичних вказівок [27], за витратами енергії, визначаємо категорію робіт для дослідника лабораторії обладнаної ПК. Умови праці, за витратами енергії, не перевищують 175 Вт (121-150 ккал/год.) та повинні відповідати легким фізичним роботам – категорії Іб.

З додатків [34 відповідно до категорії робіт Іб, розряду зорових робіт А-2 та виявлених показників умов та напруженості праці, визначаємо ГДК (ГДР) виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 4, таблиці 6.1 «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Таблиця 6.1 – Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Виміряні показники $P_{вим}$	Час дії $год.(хв.)$	ГДК, ГДР, показники, $P_{дон}$	$X_{визн},$ бали	Клас умов праці	$X_i,$ бали
1	2	3	4	5	6	7
Мікроклімат за ГНС-індексом, $t, ^\circ C$	27	8	22,9-25,8	3	3.3	3
Освітленість приміщення $E, лк$	320	8	400	—	3.1	1
Розряд і підрозряд зорових робіт, Z_{op}	А-2	—	—	—	—	—

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6	7
Рівень шуму L , дБА	85	5	50	—	3.1	0,63
Загальні енергозатрати організму, B_m	300	7	290	0,91	3.2	2
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	38000	6	40000	0,71		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	76	7	75	0,89		
Тривалість робочого дня, год.	8	8	8	0,15		

Для окремих факторів і показників згідно вимог «Гігієнічної класифікації праці», визначаємо розрахункові коефіцієнти $X_{визн}$ та вносять їх значення до стовпчика 5, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»: - для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС- індекс, додаток Б [27]. Розрахунковий коефіцієнт $X_{визн}$ при оцінка мікроклімату визначаємо в балах, за формулою 6.1:

$$X_{визн} = \frac{1 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + 3 \cdot t_3 + 4 \cdot t_4}{T} \quad (6.1)$$

$$X_{визн} = \frac{3 \cdot 8}{8} = 3$$

- для показників важкості та напруженості праці розрахункові коефіцієнти визначаються за основними та допоміжними показниками, що є характерними для конкретного робочого місця, за формулою 6.2:

а.) Загальні енергозатрати організму, $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{П_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} \quad (6.2)$$

$$X_{визн} = \frac{300 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 290} = 0,91$$

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

$$X_{визн} = \frac{38000 \cdot 6 \cdot 1,0}{8 \cdot 40000} = 0,71$$

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

$$X_{визн} = \frac{76 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 75} = 0,89$$

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

$$X_{визн} = \frac{8 \cdot 8 \cdot 0,15}{8 \cdot 8} = 0,15$$

Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 6, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта $X_{визн} = 3$, з таблиці 7.2 [34] – 3 клас, 3 ступінь (3.3);

- при оцінці освітленості робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до $P_{вим} = 320$ лк, за додатком Г та табл. Г.1 [34] – 3 клас, 1 ступінь (3.1);

- для гігієнічної оцінки рівня шуму, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до виміряного значення рівня шуму $P_{вим} = 85$ дБА, за додатком Д та табл. Д.1 [34] – 3 клас, 1 ступінь (3.1);

- клас і ступінь важкості та напруженості праці визначаємо як суму розрахованих балів усіх показників $X_{визн}$ за формулою 6.3 [28]:

$$X_{сум} = \sum_{i=1}^n X_i \quad (6.3)$$

$$X_{сум} = 0,91 + 0,71 + 0,89 + 0,15 = 2,66$$

З таблиці 7.3 [34] за значенням суми розрахованих балів показників $X_{сум} = 2,66$ – 3 клас, 2 ступінь (3.2);

Оскільки загальна гігієнічна оцінка умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, з урахуванням комбінованої та сумісної дії виробничих факторів, встановлюється за найбільш високим класом та ступенем шкідливості окремих факторів і показників, тому в результаті досліджень, відповідно до розрахунків, встановлено, що умови праці на робочому місці дослідника лабораторії обладнаної ПК належать до 3 класу, 2 ступеню.

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

- для оцінки впливу мікроклімату, виходимо з того що він відповідає 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час його дії уже врахований, тому – $X_{cm} = X_i = 3$; - при оцінці впливу освітленості, виходимо з того що вона відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 8 годин, тому коректування не потрібно – $X_{cm} = X_i = 1$;

- для оцінки впливу шуму, виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 5 годин, тому значення X_i визначаємо за формулою 6.4 [34]:

$$X_i = X_{cm} \cdot \frac{T}{8} \quad (6.4)$$

$$X_i = 1 \cdot \frac{5}{8} = 0,63$$

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

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень X_i , за формулою 6.5 [30]:

$$X_{факт} = \sum_{i=1}^n X_i \quad (6.5)$$

$$X_{факт} = 3 + 1 + 0,63 = 6,63$$

Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану – $X_{факт} = 6,63$, на підставі Типового положення «Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть

установлюватися доплати робітникам за умови праці», з таблиці 7.4 [26]. Розмір доплати до тарифної ставки (окладу) – 16 %.

На підставі результатів загальної гігієнічної оцінки умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, а також дослідження фактичного стану умов праці робимо висновки та пропозиції: 1. Умови, важкості та напруженості праці на робочому місці інженера-дослідника центральній заводській лабораторії, згідно результатів досліджень, належать до 3 класу, 3 ступеню (особливо важкі та особливо шкідливі умови праці), що не відповідає вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» до даного робочого місця; 2. Відповідно до класифікації умови, важкість та напруженість праці на робочому місці інженера-дослідника ЦЗЛ належать до категорії Іб, тому необхідно привести ці умови у відповідність до нормативних значень, які відповідають оптимальним параметрам для категорії Іб, а саме:

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища - ТНС-індексом - $20,2-22,8^{\circ}\text{C}$; - освітленість приміщення для роботи з дисплеями й відеотерміналами відповідає розряду зорових робіт А-2, нормована загальна освітленість якого, на робочих столах – $E = 400 \text{ лк}$; - рівень шуму в робочій зоні інженера-дослідника ЦЗЛ – 50 дБА ; - загальні енергозатрати організму, до 174 Вт ; - стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), до 20000; - тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни), до 50%; - тривалість робочого дня, 6 або 7 год.

3. Для приведення умов, важкості та напруженості праці до вищезазначених показників необхідно передбачити комплекс заходів які забезпечать нормалізацію умов праці, на приклад: - для приведення мікрокліматичних умов до відповідності, необхідно забезпечити припливно-витяжну механічну вентиляцію та кондиціонування приміщення; - для забезпечення нормованої освітленості приміщення яка відповідає розряду зорових робіт необхідно провести додаткові розрахунки та визначитися з потужністю

ламп, типом ламп та світильників та їх раціональним розміщенням; - для зниження рівня шуму в робочій зоні дослідника необхідно замість матричних принтерів застосувати лазерні; з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом; - для зменшення загальних енергозатрат організму, необхідно скоротити тривалість робочого дня до 6 або 7 год - для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин, кожні 1-2 години; - для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви. 4. Якщо, з об'єктивних причин, вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці, відповідно до таблиці 7.4 [24], у розмірі 16 %.

6.4 Заходи по забезпеченню пожежної безпеки

Причинами пожеж та вибухів є порушення правил і норм пожежної безпеки, невиконання Закону України «Про пожежну безпеку». Проведений аналіз пожеж засвідчує, що близько 85% пожеж відбувається внаслідок недбалості, халатності і недостатньої інформованості людей у тих чи інших у питаннях пожежної безпеки. Для запобігання виникненню пожежі в дослідницькій лабораторії необхідно розрахувати кількість вогнегасників та місце їх установки. В лабораторії застосовується паливо(бензин), олія, дизпаливо, розчинники. Ці речовини можна віднести до класу пожежі А. Приміщення по вибухонебезпечності та пожежонебезпечності можна віднести до категорії В. Площа приміщення складає 80м². Тому кількість вогнегасників вибираємо 3 вогнегасника ПВП-5 відповідно документу ДСТУ Б В.1.1-36:2016» Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж»

6.5 Заходи з цивільного захисту

Інфекційні хвороби – це такі хвороби, які передаються від одної людини до іншої. Поширюються вони не тільки серед людей, а й уражають тварин і рослин. Шляхи і способи передачі інфекції різні:

- через органи дихання;
- при вживанні заражених продуктів, фуражу, води;
- після контакту із зараженими предметами;
- при контакті з хворими людьми і тваринами;
- при укусах комах і кліщів.

Інфекційні хвороби можуть набувати великого поширення і масового характеру, при цьому виникають епідемії, епізоотії, епіфітотії, а також масове поширення різних шкідників. Епідемією називається швидке і широке розповсюдження інфекційних хвороб серед людей. До них відносяться: азіатська холера, натуральна віспа, черевний тиф, висипний тиф, СНІД, грип та ін. Епізоотія – поширення хвороб серед тварин. Серед них: сибірська виразка, сап, ящур, пситакоз, чума великої рогатої худоби, африканська чума свиней та ін. Деякі хвороби тварин небезпечні і для людей.

Коронавірусна хвороба 2019 COVID-19 затверджена як офіційна скорочена назва — інфекційна хвороба, яка вперше виявлена у людини в грудні 2019 року в місті Ухань, Центральний Китай. Хвороба почалася як спалах, що розвинувся у пандемію. Причиною хвороби став коронавірус SARS-CoV-2 (стара назва 2019-nCoV), циркуляція якого в людській популяції була до грудня 2019 року невідомою.

Пандемію цієї хвороби Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) визнала надзвичайною ситуацією в галузі міжнародної охорони здоров'я та внесла заходи з боротьби проти неї до тимчасових рекомендацій згідно з Міжнародними медико-санітарними правилами 2005 року. Щоб уникнути стигматизації, пов'язаної з географічним регіоном, де виникли перші

випадки захворювання, а також з расовою приналежністю чи певною етнічною групою.

6.6 Висновок охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

В даному розділі розглянуто аналіз потенційних небезпек, які можуть впливати на дослідника. Розроблені заходи по їх усуненню. Розроблені заходи з пожежної безпеки та цивільного захисту.

7 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Магістерська робота наукового спрямування не передбачає безпосередньо розробки нових конструкцій двигунів, тому визначаємо витрати на її проведення за умов мінімізації витрат трудових, матеріальних й грошових ресурсів. Користуємось методиками [48, 49].

7.1 Визначення витрат на проведення магістерської роботи

Для визначення грошових витрат на проведення науково-дослідної роботи складають кошторис витрат по статтях:

- матеріали за винятком зворотних відходів,
- покупні комплектуючі деталі і вироби;
- паливо й енергія з боку;
- спеціальне устаткування і технологічне оснащення;
- амортизація універсального устаткування;
- заробітна плата основна і додаткова;
- внески на соціальні заходи;
- витрати на відрядження;
- контрагенті роботи;
- накладні витрати.

7.2 Визначення витрат на матеріали

Витрати на основні матеріали M_0 розраховуються за формулою:

$$B_M = (1 + K_{т.з.}) \cdot \sum_{i=1}^n (C_i \cdot N_i - C_{iv} \cdot N_{iv}), \quad (7.1)$$

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

C_i – ціна і-го найменування матеріалу, грн.;

N_i – необхідна потреба в матеріалі і-го найменування;

N_{iv} – норма зворотних відходів матеріалі і-го найменування;

C_{iv} – ціна зворотних відходів і-го найменування матеріалу;

n – кількість найменувань матеріалів.

Результати розрахунків зводимо у табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Розрахунок витрат на матеріали

№ п/п	Матеріал	Одиниця виміру	Витрати матеріалу на тему	Ціна за одиницю виміру	Сума витрат, грн.
1	Папір А-4	пачка	2	120	240
2	Канц. товари	грн.	1	350	350
3	Впускний колектор	грн.	1	400	400
4	Штуцери	грн.	4	30	120
5	Прокладки впускного і випускного колектора	грн.	2	100	200
6	Набір прокладок на карбюратор ДААЗ	грн.	1	200	200
7	Свічки	грн.	4	50	200
8	Набір високовольтних проводів	грн.	1	200	200
9	Герметик	грн.	2	100	200
10	Охолоджуюча рідина	грн.	4	50	200
Підсумок за винятком зворотних витрат		–	–	–	2310
Транспортно-заготівельні витрати		%	10	10	231
Разом із транспортно-заготівельн. витратами		–	–	–	2541

7.3 Розрахунок вартості палива й енергії

Витрати на силову енергію E_c визначають по формулі:

$$E_c = \frac{P_y \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_B \cdot C_e}{\text{ККД}}, \quad (7.2)$$

де P_y – установлена потужність енергетичних струмоприймачів устаткування, кВт;

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи даного виду устаткування, годин;
89 робочих днів магістранта по 4,5 годин роботи в день:

тому $\Phi_{\text{еф}} = 89 \cdot 4,5 = 400,5$ приймаємо 400 год;

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 заносять у таблицю 7.2.

Таблиця 7.2 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Устаткування	Вид енерго-ресурсів	Норма витрати	$\Phi_{\text{еф}}$	Ціна чи вартість, грн.	Вартість енерго-ресурсів, грн.
Комп'ютерне обладнання	електрична енергія	0,6	400	1,95	780
Двигун ВАЗ-2101	бензин А-92	7	1	23,50	164,50
Разом					944,5

7.4 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.

Результати розрахунку зводять у таблицю 7.3.

Таблиця 7.3 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Устатку-вання, прилади	Балансо-ва вар- тість, грн.	Норма аморти- зації, %	Сума амортиза- ції, грн.
Комп'ютер-не обладнан-ня	15000	50	625
Двигун Ваз2101	20000	50	833
Разом			1458

$$H_A = B_B \cdot \frac{A_H}{100} \cdot \frac{n_{p.m.}}{12} \quad (7.3)$$

де B_B - балансова вартість , $B_B = 15000$ грн

A_H - норма амортизації, $A_H = 50\%$;

$n_{p.m.}$ - кількість робочих місяців, $n_{p.m.} = 1$ міс.

7.5 Розрахунок заробітної плати

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

Розрахунок основної заробітної плати роблять у таблицю 7.4.

Таблиця 7.4 – Розрахунок основної і заробітної плати

Посада виконавця	К-ть, людей	Місячний оклад, грн.	Середньоденна зарплата, грн.	Зайнятість НДР, днів	Підсумкова сума основної зарплати, грн.
Керівник	1	9500,00	475,00	64	30400
Магістрант	1	2400,00	120,00	89	10680
Економіст	1	9100,00	455,00	10	4550
Спеціаліст з охорони праці	1	8500,00	425,00	15	6375
Норма контроль	1	7500,00	375,00	10	3750
Підсумок	5	–	1850	188	55755

Зайнятість днів визначається за календарним планом (ст.3 пояснювальної записки)

До підсумкової суми основної зарплати робітників додається премія в розмірі 10 %:

$$ЗП = 55755 \cdot 0,1 = 5575,5 \text{ грн.}$$

7.6 Внески на соціальні заходи

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

$$B_{cz} = \frac{(3\Pi_o + 3\Pi_d) \cdot Y_{cz}}{100\%} \quad (7.4)$$

$$B_{cz} = \frac{(55755 + 5575) \cdot 22\%}{100\%} = 13492,6 \text{ грн,}$$

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

7.7 Накладні витрати

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

$$B_n = 3\Pi_o \cdot 0,5, \quad (7.5)$$

$$B_n = 55755 \cdot 0,5 = 27877,5 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 – Кошторис витрат на виконання НДР

Витрати	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
Матеріали за винятком зворотних відходів	2541	2,40
Паливо й енергія з боку	944,5	0,87
Амортизація універсального устаткування	1458	1,35
Заробітна плата основна і додаткова	61330,5	56,30
Відрахування на соціальні заходи	13492,6	12,50
Накладні витрати	27877,5	25,70
Усього	109014,1	100

7.8 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:

- 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:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}} \cdot n, \quad (7.6)$$

$$K_{\text{НДР}} = \frac{3^2 \cdot 3 \cdot 2}{109,0141 \cdot 0,25} = 1,98,$$

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

J^n – важливість роботи;

R – результативність роботи;

T – технічна складність виконання НДР;

$V_{\text{НДР}}$ – 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 $K_{\text{НДР}} \geq 1$ дослідницька робота вважається ефективною. Наприклад, для НДР, у яких $V_{\text{НДР}} < 130$ тис. грн. і $t_{\text{НДР}} \leq 2$ років, можна застосовувати значення $J = 2...5$; $R = 2...5$; $T = 1...3$ (табл. 7.6).

Таблиця 7.6 – Значення оцінних факторів

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

Розрахований показник оцінки техніко-економічної ефективності вище 1, що підтверджує економічну ефективність роботи. При впровадженні отриманих результатів роботи в технологічний процес обслуговування ДВЗ дозволить підтвердити якість робіт без використання трудомістких робіт.

ВИСНОВКИ

За результатами теплового розрахунку двигуна ВАЗ-2101 встановлено, що температура і тиск повітря на впуску мають сумарний вплив на ефективні показники бензинового 4-тактного двигуна. Найкращі показники ефективної потужності N_e , середнього ефективного тиску p_e , ефективного ККД η_e , ефективної витрати палива g_e мають місце при підвищеному тиску та низькій температурі повітря.

Зростання температури повітря на впуску на кожні 20 К призводить до наступних змін ефективних показників двигуна ВАЗ-2101 на номінальному режимі:

- ефективна потужність N_e зменшується (в середньому) на 4,8 %;
- середній ефективний тиск p_e зменшується (в середньому) на 4,8 %;
- ефективний ККД η_e зменшується (в середньому) на 0,6 %;
- ефективна витрата палива g_e зростає (в середньому) на 0,6 %.

Експериментально визначено, що зростання температури повітря на впуску на кожні 20 К призводить до наступних змін ефективних показників двигуна ВАЗ-2101:

- ефективна потужність N_e зменшується (в середньому) на 6,32 %;
- крутний момент зменшується (в середньому) на 5,95 %;
- ефективна витрата палива g_e зростає (в середньому) на 6,69 %.

Проведено апроксимацію отриманих в ході експерименту числових даних.

Отримано квадратичні рівняння регресії для потужності двигуна.

В розділі з охорони праці розглянуто аналіз потенційних небезпек, які можуть впливати на дослідника. Розроблені заходи по їх усуненню. Розроблені заходи з пожежної безпеки та цивільного захисту.

Розраховані економічні показники оцінки техніко-економічної підтверджують економічну ефективність роботи. При впровадженні

отриманих результатів роботи в технологічний процес обслуговування ДВЗ дозволить підтвердити якість робіт без використання трудомістких робіт.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Дикун, Т.В. Аналіз роботи автомобільних двигунів на газовому паливі в гірських умовах [Текст] / Т.В. Дикун, Л.І. Гаєва, В.М. Мельник, Б.В. Долішній, А.М. Януш // Нафтогазова енергетика. – 2014. – № 2(22). – С. 110–116.
2. Костин, А.К. и др. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания : Справочное пособие [Текст] / А.К. Костин, В.В. Ларионов, Л.И. Михайлов. Под общ. ред. А.К. Костина. – Л.: Машиностроение, 1979. – 222 с.
3. Дьяченко, Н.Х. Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей [Текст] / Н.Х. Дьяченко. – Л.: Машиностроение, 1969. – 248 с.
4. Карнаухова, И.В. Определение оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя [Текст] / И.В. Карнаухова // Вестник СибАДИ. – 2014. – Вып. 3 (37). – С.7–12.
5. Карнаухов, В.Н. Оптимизация мощности нагревательного элемента для поддержания оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе ДВС [Электронный ресурс] / В.Н. Карнаухов // Электронный научный журнал: Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13575>.
6. Акунов, Б.У. Влияние температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя на длительность импульса открытия форсунки при эксплуатации автомобиля в различных условиях [Текст] / Б.У. Акунов, К.Дж. Касымбеков // Вестник СибАДИ. – 2019. – Том 16, №1(65). – С.32–39.
7. Карнаухова И.В. Влияние коэффициента избытка воздуха на расход топлива дизельными двигателями внутреннего сгорания [Текст] / И.В. Карнаухова, В.Н. Карнаухов, Д.А. Захаров, О.В. Карнаухов, О.В. Рындина // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 5(53). – С. 38–42.

8. Двигатель ВАЗ-2101 [Електронний ресурс] // Сайт «Подвижная автомобильная ремонтная мастерская». – 2015. – Режим доступа: <http://parm.mybb.ru/viewtopic.php?id=284>

9. Автомобили "Жигули" моделей ВАЗ-2101, -2102, -21011, -21013; Устройство и ремонт [Текст] / В.А. Вершигора, А.П. Игнатов, К.В. Новокшенов, К.Б. Пятков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Транспорт, 1990. – 240 с.

10. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін «Теорія ДВЗ» та «Основи теорії і динаміки автомобільних двигунів» для студентів спеціальностей 7(8).05050304 «Двигуни внутрішнього згорання», 7(8).05050305 «Колісні та гусеничні транспортні засоби» всіх форм навчання / Укл.: Г.І. Слинько, Р.Ф. Сухонос – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 58 с.

11. Двигатель ВАЗ-2101 [Електронний ресурс] // Сайт «vaz2101inf.ru». – 2017. – Режим доступа: <http://www.vaz2101inf.ru/dvigatel/vaz-2101/>

12. 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.

13. 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.

14. 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.

Методичні вказівки до виконання комплексної курсової роботи для магістрантів спеціальності 8.05050304 «Двигуни внутрішнього згорання» всіх форм навчання / Укл.: Г.І. Слинько, Р.Ф. Сухонос – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 14 с.

15. Хвостов, Р. Лада 2101 › Бортжурнал › Запись, 13 марта 2011 [Електронний ресурс] / Р. Хвостов // Сайт «drive2.ru». – 2011. – Режим доступу: <https://www.drive2.ru/l/288230376152039441/>

16. Тонкая настройка зажигания: немного об УОЗ // [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу: <https://www.drive2.ru/l/2352842/>

17. Слинько, Г.І. Методика визначення тиску повітря у впускній системі ДВЗ [Електронний ресурс] / Г.І. Слинько, Д.П. Чишко, Р.Ф. Сухонос, В.С. Яровий, Я.В. Рогов // Тиждень науки-2020. Транспортний факультет : щоріч. наук.-практ. конф., 13-17 квітня 2020 р. : тези доп. / Редкол.: В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – НУ «Запорізька політехніка», 2020. – С. 46–47.

18. Слинько, Г.І. Розробка методики дослідження стану повітря у впускній системі двигуна [Текст] / Г.І. Слинько, Д.П. Чишко, Р.Ф. Сухонос // Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем : II Міжнарод. наук.-техн. інтернет-конф., 25-27 березня 2020 р. : Тези доповідей. – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування. – 2020. – С.34-35.

19. МНК и регрессионный анализ Онлайн + графики [Електронний ресурс] // Сайт «Математический форум Math Help Planet». – Режим доступу: <http://mathhelpplanet.com/static.php?p=onlayn-mnk-i-regressionniy-analiz>

20. Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-4.12-05 Держнаглядохоронпраці України, 2005. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>. – (Нормативно- правовий акт охорони праці)

21. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку, [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.037-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999.– URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99>. – (Державні санітарні норми)

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. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96>

23. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України [Електронний ресурс] : ОСПУ-2005. – Чинний від 2005-05-31. – К. : МОЗ України, 2005. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05>. – (Державні санітарні правила)

24. 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)

25. 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)

26. Системи протипожежного захисту [Текст] : ДБН В.2.5-56:2014. – На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 191 с. – (Державні будівельні норми)

27. Робочий день дослідника й організація його робочого місця. // [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу: <http://helpiks.org/1-15766.html> (переглянуто 15 листопада 2017).

28. Раціональний режим дослідника і організація робочого місця. // [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу: http://studopedia.com.ua/1_13261_ratsionalniy-trudoviy-rezhim-doslidnika-i-organizatsiya-robochogo-mistsya.html (переглянуто 15 листопада 2017).

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

30. Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок повітрообміну у виробничих приміщеннях при загально обмінній вентиляції» з дисципліни «Охорона праці в галузі» для студентів всіх форм навчання / Укл. А.С. Лавренко, О.Л. Скуйбіда, А.Є. Островська – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. - 14с.

31.Гриньова В.М. Організація виробництва: Підручник / В.М. Гриньова, М.М. Салун –К.: Знання, 2009. – 582с.

32.Бахтінова А. П. Організація виробництва: практикум: навчальний посібник для студ. вищих навч. закладів / А.П. Бахтінова, О.О. Гиль, Л.О. Гришина. – Львів: Новий Світ - 2008. – 216 с.

33.Петрович Й. М. Організація виробництва: підручник для студ. вищих закл. освіти: затв. МОНУ. / Й.М. Петрович, Г.М. Захарчин. – Львів: Магнолія. 2012. – 400 с.

34.Іванова В. В. Планування і контроль на підприємстві: навчальний посібник для студ. вищ. навч. закл. : рек. МОНУ. / В.В. Іванова. – Суми: Університетська книга, 2011. – 443 с.

35.Тарасюк Г. М. Планування діяльності підприємства: практикум : навчальний посібник для студ. вищ. навч. закладів : рек. МОНУ. / Г.М. Тарасюк. – К.: Кондор, 2009. -312 с.

36.Скибінська З. М. Економіка та організація виробництва: навчальний посібник: рек. МОНУ/ З.М. Скибінська, Т.Т. Гриньов. – К.: Знання, 2012. – 299 с

37.Електронний ресурс. Територіальні органи ДФС у Запорізькій області: Режим доступу: <http://zp.sfs.gov.ua/>

38.Електронний ресурс. Офіційний сайт ПАТ «ЗАЗ»: Режим доступу: <http://www.avtozaz.com/ua/>

39.Електронний ресурс. Офіційний сайт ВП «МеМЗ»: Режим доступу: <http://www.memz.com.ua/>

40.Електронний ресурс. Офіційний сайт ПАТ «Мотор Січ»: Режим доступу: <http://www.motorsich.com>

Додаток А – Протокол теплового розрахунку двигуна ВА3-2101 при
 $T_k = 293 \text{ K}$, $p_k = 101 \text{ кПа}$

φ , ° ПКВ	P, Па	T, K	m, кг	V, м ³
0	90900	400,4	0,000268	3,99E-05
10	90900	400,4	0,000268	4,27E-05
20	90900	400,4	0,000268	5,10E-05
30	90900	400,4	0,000268	6,45E-05
40	90900	400,4	0,000268	8,24E-05
50	90900	400,4	0,000268	1,04E-04
60	90900	400,4	0,000268	1,28E-04
70	90900	400,4	0,000268	1,54E-04
80	90900	400,4	0,000268	1,81E-04
90	90900	400,4	0,000268	2,08E-04
100	90900	400,4	0,000268	2,33E-04
110	90900	400,4	0,000268	2,57E-04
120	90900	400,4	0,000268	2,78E-04
130	90900	400,4	0,000268	2,96E-04
140	90900	400,4	0,000268	3,12E-04
150	90900	400,4	0,000268	3,24E-04
160	90900	400,4	0,000268	3,32E-04
170	90900	400,4	0,000268	3,37E-04
180	88053,5	400,4	0,000268	3,39E-04
190	88808,9	401,8	0,000268	3,37E-04
200	90876,2	404,9	0,000268	3,32E-04
210	94404,1	409,7	0,000268	3,24E-04
220	99658,5	416,5	0,000268	3,12E-04
230	107058,8	425,4	0,000268	2,96E-04
240	117239,7	437,0	0,000268	2,78E-04
250	131153,4	451,5	0,000268	2,57E-04
260	150240,1	469,6	0,000268	2,33E-04
270	176711,2	492,1	0,000268	2,08E-04
280	214026,5	519,9	0,000268	1,81E-04
290	267690,9	554,2	0,000268	1,54E-04
300	346536,7	596,3	0,000268	1,28E-04
310	464521,7	647,8	0,000268	1,04E-04
320	642092,3	709,5	0,000268	8,24E-05
330	902118,4	780,1	0,000268	6,45E-05
340	1273479	871,3	0,000268	5,10E-05
350	2243526	1274,3	0,000271	4,27E-05
360	4833130	2490,6	0,000279	3,99E-05
370	5965459	3200,7	0,000286	4,27E-05
380	4826643	3080,2	0,000288	5,10E-05

390	3476723	2802,8	0,000288	6,45E-05
400	2476378	2551,2	0,000288	8,24E-05
410	1797960	2337,7	0,000288	1,04E-04
420	1347098	2161,2	0,000288	1,28E-04
430	1044760	2016,4	0,000288	1,54E-04
440	837965,9	1897,8	0,000288	1,81E-04
450	693354,7	1800,2	0,000288	2,08E-04
460	590123,9	1719,8	0,000288	2,33E-04
470	515161,5	1653,5	0,000288	2,57E-04
480	460050,1	1598,6	0,000288	2,78E-04
490	419279,4	1553,4	0,000288	2,96E-04
500	389181,1	1516,3	0,000288	3,12E-04
510	367288,9	1486,1	0,000288	3,24E-04
520	351949,6	1461,9	0,000288	3,32E-04
530	342086,3	1443,1	0,000288	3,37E-04
540	332839,7	1430,3	0,000288	3,39E-04
550	287709,2	1430,3	0,000288	3,37E-04
560	242578,6	1430,3	0,000288	3,32E-04
570	197448,1	1430,3	0,000288	3,24E-04
580	152317,5	1430,3	0,000288	3,12E-04
590	111700	1430,3	0,000288	2,96E-04
600	111700	1430,3	0,000288	2,78E-04
610	111700	1430,3	0,000288	2,57E-04
620	111700	1430,3	0,000288	2,33E-04
630	111700	1430,3	0,000288	2,08E-04
640	111700	1430,3	0,000288	1,81E-04
650	111700	1430,3	0,000288	1,54E-04
660	111700	1430,3	0,000288	1,28E-04
670	111700	1430,3	0,000288	1,04E-04
680	111700	1430,3	0,000288	8,24E-05
690	111700	1430,3	0,000288	6,45E-05
700	111700	1430,3	0,000288	5,10E-05
710	111700	1430,3	0,000288	4,27E-05
720	111700	1430,3	0,000288	3,99E-05

BA3-2101

Дата:11.05.2020

$L_i = 291,732457$ Дж/цикл

$p_i = 974855,264190$ Па

$KKDi = 0,473441$

$g_i = 0,240508$ кг/(кВт*год)