

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 стану повітря у впускній системі ДВЗ при роботі на
різних режимах

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

Освітня програма (спеціалізація)

Двигуни внутрішнього згорання

Рогов Я.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., професор Г.І. Слинко

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2020

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))

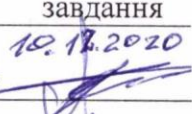
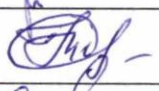
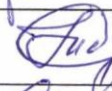
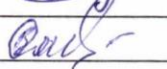
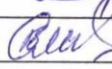
ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДВЗ
Слинько Г.І.
“10” 12 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Рогов Ярослав Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження стану повітря у впускній системі ДВЗ при роботі на різних режимах
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 30.11.2020 року № 362
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 05.12.2020 року
3. Вихідні дані до проекту (роботи) 4-тактний 4-циліндровий бензиновий двигун з зовнішнім сумішоутворенням та іскровим запалюванням ВАЗ-2101 потужністю 47 кВт при 5700 хв⁻¹
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналітичний огляд літератури; тепловий розрахунок двигуна ВАЗ-2101; визначення закономірностей зміни тиску та температури у системі впуску двигуна ВАЗ-2101 на перехідних режимах роботи; 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) Двигун ВАЗ-2101; впускний колектор; вимірювальний ланцюг; індикаторна діаграма двигуна ВАЗ-2101 на номінальному режимі; графіки сил і моментів в ЦПГ та КШМ; графіки зміни температури та тиску в системі впуску двигуна ВАЗ-2101 при відкритті та закритті дросельної заслінки; рівняння регресії та графік функції $T = f(t)$

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

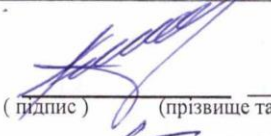
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	Слинько Г.І., д.т.н., професор, завідувач каф. ДВЗ	 04.12.2020	 10.12.2020
6	Лазуткін М.І., к.т.н., доцент.каф. ОПІНС		
7	Левченко Н.М., д.н.держ.упр., проф. каф. ПТБД		
н/контроль	Слинько В.В., ст. викладач каф. ДВЗ		

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

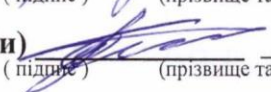
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ 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	Динамічний розрахунок двигуна ВАЗ-2101 на номінальному режимі	05.10.20	
6	Проведення експериментів	15.10.20	
7	Обробка експериментів	20.10.20	
8	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.10.20	
9	Економічне обґрунтування наукової роботи	07.11.20	
10	Формування висновків з магістерської роботи	15.11.20	
11	Оформлення магістерської роботи, нормоконтроль	25.11.20	
12	Розробка презентації та доповіді до захисту	04.12.20	
13	Подання роботи до захисту	05.12.20	

Студент(ка)


(підпис) (прізвище та ініціали) Рогов Я.В.

Керівник проекту (роботи)


(підпис) (прізвище та ініціали) Слинько Г.І.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 96 с., 14 табл., 24 рис., 1 дод., 50 джерел.

БЕНЗИН, ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, ПОВІТРЯ,
ПОТУЖНІСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА, ТИСК

Актуальність теми дослідження полягає у підвищенні ефективності роботи 4-тактних бензинових ДВЗ за рахунок модернізації системи впуску та живлення на перехідних режимах, з чого випливає необхідність визначення величини та характеру зміни температури та тиску у впускній системі на перехідних режимах.

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

Предмет дослідження – тиск та температура робочого тіла у впускній системі 4-тактного бензинового двигуна і закономірності їх зміни у перехідних процесах (на прикладі двигуна ВАЗ-2101).

Метою даної роботи є визначити стан робочого тіла (тиск та температуру) у впускній системі ДВЗ при роботі на різних режимах.

Отримані статистичні дані і знайдене рівняння $T = f(t)$ можуть бути використані в подальших науково-дослідних роботах, присвячених питанню підвищення ефективності роботи ДВЗ за рахунок модернізації системи впуску та живлення на перехідних режимах, у математичних моделях.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАК І СИМВОЛІВ

ВСТУП

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1.1 Дослідження стану вивченості питання
- 1.2 Основні положення математичної моделі розрахунку тиску у впускному колекторі багатociліндрового ДВЗ
- 1.3 Висновки

2 ОПИС ДВИГУНА ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

- 2.1 Конструкція та технічна характеристика двигуна ВАЗ-2101
- 2.2 Конструкція системи впуску двигуна ВАЗ-2101
- 2.3 Особливості теплового розрахунку циклу ДВЗ за допомогою фізико-математичної моделі другого рівня
- 2.4 Особливості модернізації та роботи модернізованого випробувального стенду з двигуном ВАЗ-2101
- 2.5 Особливості використання регресійного аналізу
- 2.6 Висновки

3 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ДВИГУНА ВАЗ-2101 НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ

- 3.1 Вихідні дані до розрахунку
- 3.2 Контроль і аналіз результатів розрахунку

4 ДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДВИГУНА ВАЗ-2101 НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ

5 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПОВІТРЯ У ВПУСКНІЙ СИСТЕМІ ДВЗ ПРИ РОБОТІ НА ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ

- 5.1 Визначення температури та тиску в системі впуску
 - 5.1.1 Визначення температури та тиску при відкритті дросельної заслінки

5.1.2 Визначення температури та тиску при закритті дросельної заслінки

5.2 Апроксимація поліноміальної функції $T = f(t)$

5.3 Висновки за результатами проведених експериментів

6 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек

6.2 Заходи по забезпеченню технічної безпеки

6.3 Заходи до забезпеченню виробничої санітарної та гігієни праці

6.4 Заходи по забезпеченню пожежної безпеки

6.5 Небезпеки, які пов'язані з умовами праці в надзвичайних ситуаціях

7 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

7.1 Визначення витрат на проведення магістерської роботи

7.2 Визначення витрат на матеріали

7.3 Розрахунок вартості палива й енергії

7.4 Розрахунок амортизації універсального устаткування

7.5 Розрахунок заробітної плати

7.6 Внески на соціальні заходи

7.7 Накладні витрати

7.8 Розрахунок економічної ефективності науково-дослідної роботи

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

ДОДАТОК А

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАК І СИМВОЛІВ

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;

ДЗ – дросельна заслінка;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ПУ ДЗ – педаль управління дросельною заслінкою;

ФММ – фізико-математична модель;

α – коефіцієнт надлишку повітря;

γ_{Γ} – 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

Температура та тиск повітря або паливоповітряної суміші у впускній системі ДВЗ – це параметри, які необхідно знати як для експлуатації двигуна, так і для діагностики його технічного стану. В багатьох роботах, присвячених вивченню цього питання, передусім, автори приділяють увагу визначенню усереднених значень температури та тиску для робочого тіла всередині впускного колектора, та визначенню їх впливу на ефективні показники ДВЗ, або на якісь інші параметри. Дані дослідження проводились на окремих швидкісних режимах.

Комплексне визначення стану повітря чи паливоповітряної суміші у впускній системі при роботі двигуна на перехідних режимах вивчені недостатньо, тому залишаються актуальним питанням.

Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи є дослідження стану повітря у впускній системі 4-тактного бензинового ДВЗ та його зміна при роботі на перехідних режимах.

Для досягнення мети, вирішувався ряд завдань:

- аналіз літературних джерел щодо вивчення питання дослідження, визначення перспективних напрямків дослідження;
- розгляд математичної моделі розрахунку тиску у впускному колекторі багатоциліндрового ДВЗ;
- тепловий розрахунок двигуна ВАЗ-2101 на номінальному режимі;
- динамічний розрахунок двигуна ВАЗ-2101 на номінальному режимі;
- експериментальне визначення температури та тиску у системі впуску на перехідних режимах роботи двигуна ВАЗ-2101;
- математичний аналіз отриманих результатів;
- аналіз отриманих результатів.

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

Предмет дослідження – тиск та температура робочого тіла у впускній системі 4-тактного бензинового двигуна і закономірності їх зміни у перехідних процесах (на прикладі двигуна ВАЗ-2101).

Наукова та практична цінність роботи полягає в наступному:

– отримані статистичні дані і вперше знайдене рівняння зміни температури бензино-повітряної суміші у впускному колекторі від часу $T = f(t)$ можуть бути використані в подальших науково-дослідних роботах, присвячених питанню підвищення ефективності роботи ДВЗ за рахунок модернізації системи впуску та живлення на перехідних режимах, у математичних моделях.

За результатами дослідження опубліковано тези доповідей на конференції:

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 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Дослідження стану вивченості питання

Питанням дослідження стану повітря у впускній системі двигунів внутрішнього згорання займалися багато вчених. У своїх працях [1–8] велику увагу щодо дослідження стану повітря та визначення тиску приділяли В.Г. Дьяченко, В.А. Беляєв, В.И. Беляєв, В.Н. Кузнєцов, Ф.П. Мельников, А.В. Яркін, М.А. Хайлов, М.Г. Круглов, А.А. Меднов, Dinesh Prabhu B.

Більшу увагу визначенню температури у впускній системі приділяли В.Н. Карнаухов, И.В. Карнаухова, Б.У. Акунов, К.Дж. Касимбеков [9–14].

Визначенням сумісного впливу температури та тиску повітря/паливоповітряної суміші на ефективність роботи ДВЗ займалися А.Н. Соболенко, Р.Р. Симашов, Д.К. Глазюк, В.В. Маніцин, М.В. Абросимова, Л.А. Жолобов, И.Н. Шелякін [15, 16].

У більшості з наведених вище наукових робіт система впуску приймається «безрозмірною», точковою. Тобто, температура і тиск всередині впускного тракту та впускного колектора усереднені. У більшості випадків це пояснюється тим, що досліджувався вплив на показники роботи двигуна, тому усереднених даних було достатньо. Також варто відмітити, що більшість робіт мають теоретичний характер.

З наведеного вище можна зробити висновок, що дослідження стану повітря у впускній системі ДВЗ є актуальним, а також можна виділити найбільш перспективні напрямки для дослідження:

- визначення стану повітря при роботі двигуна на різних швидкісних та/чи навантажувальних режимах;
- визначення стану повітря за довжиною впускної системи.

1.2 Основні положення математичної моделі розрахунку тиску у впускному колекторі багатocyліндрового ДВЗ

Серед вищенаведених робіт особливу увагу слід приділити математичній моделі [5], яка дозволяє визначити тиск у впускному колекторі.

При складанні математичної моделі були прийняті допущення:

- швидкість обертання колінчастого валу постійна;
- газодинамічними процесами можна знехтувати;
- відносний тиск в початковий момент дорівнює 0;
- термодинамічними властивостями газу можна знехтувати.

Для розрахунку зміни тиску у впускному патрубку кожного циліндра може бути використано наступне рівняння:

$$\Delta P_i = \frac{a_0 \cdot \gamma_0}{g} \cdot \omega \cdot r \cdot \frac{F_n}{F_{тр}} \sin \varphi, \quad (1.1)$$

де a_0 – швидкість звуку;

γ_0 – питома вага повітря;

g – прискорення вільного падіння;

ω – кутова частота обертання колінчастого вала;

r – радіус кривошипа;

F_n – площа поперечного перерізу циліндра;

$F_{тр}$ – площа поперечного перерізу трубопроводу;

$F_{тр}$ – кут повороту колінчастого вала.

При складанні рівняння (1.1) були прийняті деякі припущення:

1) швидкість поршня визначається виразом $V_n(\varphi) = \omega \cdot r \cdot \sin(\varphi)$;

2) клапан відкривається миттєво до максимальної величини, а потім миттєво закривається;

- 3) площа поперечного перерізу трубопроводу постійна; $F_{\text{тр}} = \text{const}$;
- 4) швидкість течії газу у впускному колекторі пропорційна швидкості поршня і обчислюється з рівняння нерозривності $V_k = \frac{F_{\text{п}} \cdot v_{\text{п}}(\varphi)}{i \cdot F_{\text{тр}}}$.

Рух повітря у впускному трубопроводі супроводжується коливаннями його швидкості і тиску, що викликаються нерівномірним рухом поршня. Також необхідно враховувати зміну площі прохідного перетину впускного трубопроводу, тому рівняння (1.1) потребує деяких уточнень:

1. Швидкість поршня обчислюється з виразу [5]:

$$V_{\text{п}}(\varphi) = r \cdot \omega \cdot [\sin(\varphi) + \left(\frac{r}{2L}\right) \cdot \sin(2\varphi)], \quad (1.2)$$

де φ – кут повороту колінчастого валу;

L – довжина шатуна;

ω – кутова частота обертання колінчастого вала;

R – радіус кривошипа.

2. Закон підйому клапана визначається профілем кулачка і змінюється від кута повороту колінчастого валу.

3. Площа поперечного перерізу клапанної щілини змінюється в залежності від висоти підйому клапана [5]:

$$\begin{cases} \pi \cdot h \cos \theta \left[d + \left(\frac{h}{2} \right) \cdot \sin(2 \cdot \theta) \right], h < b \cdot \sin \theta \\ \pi \cdot \frac{D+d}{2} \sqrt{\left(\frac{D-d}{2} \right)^2 + \left(h - \frac{D-d}{2} \cdot \text{tg} \theta \right)^2}, h > b \cdot \sin \theta, \\ \frac{\pi}{4} (d^2 - d_{\text{шт}}^2), h \approx h_{\text{max}} \end{cases} \quad (1.3)$$

де d – діаметр горловини впускного колектору ;

$d_{\text{шт}}$ – діаметр штока клапана;

D – діаметр циліндра;

h – висота підйому клапана;

b – ширина фаски клапана;

θ – кут нахилу фаски.

4. З рівняння нерозривності потоку слідує, що швидкість змінюється від нескінченності (при висоті підйому клапана $h \rightarrow 0$) до мінімального значення, яке відповідає максимальному відкриттю клапана. В реальних же двигунах швидкості витікання не перевищують 80...200 м/с [17].

Після закриття впускного клапана хвиля розрідження рухається по колектору, відбивається від дросельної заслінки і повертається до місця свого виникнення (до клапану). Якщо процес зміни тиску у закритого кінця трубопроводу під дією основної хвилі почався з положення колінчатого валу, який відповідає моменту 0-0 (див. рис. 1.1), то до моменту 1-1, що визначає повернення відбитої хвилі від дросельної заслінки до клапану, він буде визначатися законом основної хвилі. Після цього додається вплив відбитої від дросельної заслінки хвилі разом з впливом її відображення від клапана. Починаючи з моменту 1-1, у клапана будуть діяти: основна хвиля, хвиля, відбита від дросельної заслінки, і відбиття останньої від клапана [5].

Схема підсумовування хвиль показана на рисунку 1.1.

Хвиля, яка повернулася після відбиття від дросельної заслінки до клапану і зазнала відбиття, знову пересувається до дросельної заслінки, де вона знову відбивається і до моменту 2-2 знову повертається до клапану [5]. При переміщеннях хвилі уздовж трубопроводу і відображеннях у обох його кінців відбувається послідовне зменшення її амплітуди, пов'язане з витратою енергії на подолання сил зовнішнього (об стінки трубопроводу) і внутрішнього тертя і з розсіюванням при відбиттях. Таким чином, у впускному колекторі діє основна хвиля розрідження і безліч її відображень.

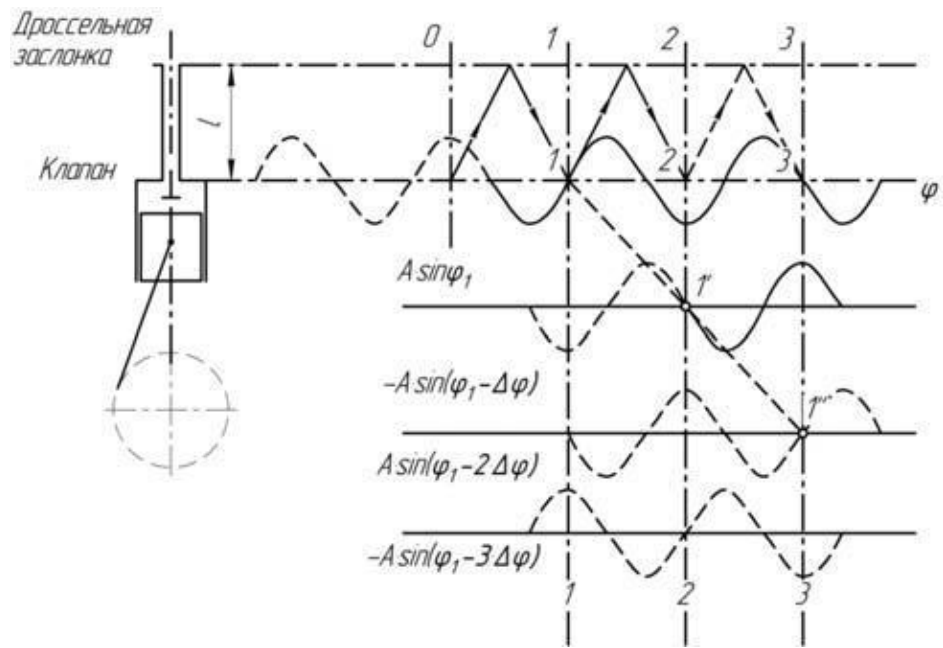


Рисунок 1.1 – Схема підсумовування хвиль біля клапану [5]

Розкладаючи в ряд Фур'є хвилю розрідження, що діє в період відкритого стану клапана, отримуємо залежність змін тиску у впускному колекторі двигуна з урахуванням коливань [5]:

– основна хвиля розрядження m -ї гармоніки:

$$\Delta P_{m0} = \frac{a_0 \cdot \gamma_0}{g} \cdot A_m \cdot \sin(\varphi_m + \delta_m), \quad (1.5)$$

– для j відображення основної хвилі розрідження m -ї гармоніки:

$$\Delta P_{m1} = e^{-jk\Delta t} \cdot \frac{a_0 \cdot \gamma_0}{g} \cdot A_m \cdot \sin(\varphi_m + \delta_m - j \cdot \Delta \varphi_m), \quad (1.6)$$

де k – коефіцієнт загасання;

Δt - час дворазового переміщення хвилі по трубопроводу;

$\Delta \varphi_m$ - зрушення фаз, пов'язані з переміщенням хвилі по трубопроводу;

J - номер відображення основної хвилі.

Зміну тиску у впускному патрубку кожного циліндра з урахуванням коливань можна розрахувати за формулою:

$$\Delta P_i = \Delta P_{m0} + \Delta P_{m1} + \Delta P_{m2} + \dots + \Delta P_{mj}. \quad (1.7)$$

Зміна тиску у впускному колекторі багатocyліндрового двигуна розраховується за формулою [5]:

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \quad (1.8)$$

В роботі [5] вказано що описана математична модель адекватно відображає процес зміни тиску у впускному колекторі (похибка не перевищує 5 %).

В роботі [42] виконано 3-D моделювання впускного колектора двигуна ВАЗ-2101. З використанням програмного комплексу FlowVision, який заснований на чисельному вирішенні тривимірних як стаціонарних, так і нестаціонарних рівнянь термогазодинаміки, отримано розподіл тисків (див. рис. 1.2) та розподіл розпиленого бензину по об'єму впускної системи у різні моменти часу (циклу роботи) двигуна. В результаті дослідження визначено, що має місце різниця тисків у системі впуску між крайніми та центральними патрубками (з врахуванням порядку роботи циліндрів). Це пояснюється різною довжиною патрубків – ті, що прямують до 1-го і 4-го циліндрів, довші. Отже, це сприяє нерівномірності наповнення циліндрів двигуна ВАЗ-2101. 2-й та 3-й циліндри отримують більш багату паливоповітряну суміш.

Для покращення техніко-економічних характеристик двигуна ВАЗ-2101 запропоновано змінити систему впуску на альтернативну, з прямими патрубками однакової довжини, що дозволить реалізувати систему інерційно-резонансного наддуву.

В роботі [42] виконано значні теоретичні дослідження, проте немає дослідницької апробації. Результати наведено лише для номінального режиму роботи двигуна ВАЗ-2101.

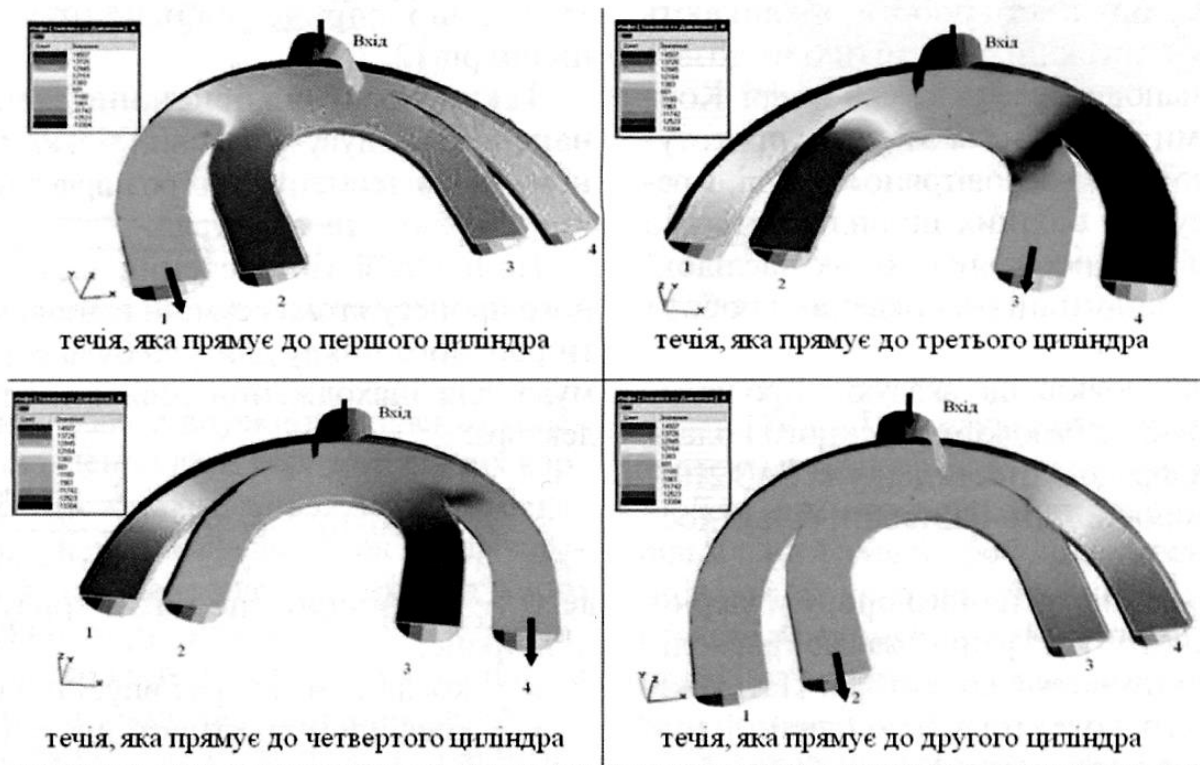


Рисунок 1.2 – Розподіл тиску по об'єму впускного колектора двигуна ВАЗ-2101: 1, 2, 3, 4 – номери циліндрів [42]

1.3 Висновки

Проведений аналіз літературних джерел показав, що дослідження стану повітря у впускній системі ДВЗ є актуальним питанням при проектуванні та експлуатації ДВЗ. Цьому питанню приділили увагу багато дослідників, проте результати досліджень мають дуже різний характер: це як дуже прості розрахунки, коли вся система впуску «зводиться» до кількох значень стану повітря (чи паливоповітряної суміші) в ній, чи дуже складні методики та математичні моделі, які вирішуються чисельними методами із застосуванням обчислювальної техніки.

Переважна кількість досліджень проведена на усталених режимах роботи двигуна. Таким чином, питання дослідження стану робочого тіла у системі впуску на перехідних режимах, особливо на малих та середніх обертах, є актуальним.

2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА УСТАТКУВАННЯ

2.1 Конструкція та технічна характеристика двигуна ВАЗ-2101

Технічна характеристика двигуна ВАЗ-2101:

- Число циліндрів - 4;
- Діаметр циліндра - 76 мм;
- Хід поршня - 66 мм;
- Об'єм циліндра - 299,4 см³;
- Робочий об'єм двигуна - 1197,6 см³;
- Об'єм камери згорання - 38,38 см³;
- Ступінь стиснення - 8,5;
- Номінальна потужність при 5600 хв⁻¹ колінчастого вала - 47,2 кВт;
- Максимальний крутний момент при 3400 хв⁻¹ колінчастого вала - 87,3 Нм;
- Діаметр клапанів впускних - 37 мм, випускних - 31,5 мм;
- Висота підйому клапанів (без урахування зазору), мм: випускних 9,728, а впускних 9,728;
- Фази газорозподілу (при контрольному зазорі між кулачком і важелем приводу клапана, 0,3 мм): впуск - відкриття 12 ° до ВМТ, закриття 40 ° після НМТ, випуск - відкриття 42 ° до НМТ, закриття 10 ° після ВМТ;
- Зазор між кулачком і важелем приводу клапана на холодному двигуні (при температурі 18...20 °С) для впускних і випускних клапанів - 0,15 мм;
- Карбюратор двокамерний - Вебер - 32ДСІ;
- Розподільник запалювання типу - Р-125;
- Початкова установка випередження запалювання (до ВМТ) 5...7 °;
- Свічки запалювання DENSO з калільним числом 220-250 од., розмір різьби - М14 Х 1,25 довжина різьбової частини - 19 мм;
- Потужність стартера - 1,3 кВт;
- Максимальна потужність генератора змінного струму - 770 Вт;
- Нормальний тиск масла в системі змащення двигуна при температурі

охолоджуючої рідини 85 °С - 3,5...4,5 кгс/см²;

- Застосовується паливо - бензин, А-95-Євро5, ДСТУ 7687:2015, з октановим числом 95...96 од.;

- Застосовується масло: 10W-40;

- Охолоджуюча рідина - ТОСОЛ (50 % водний розчин рідини ТОСОЛ-А); влітку допускається застосовувати воду [18].

Конструкція двигуна ВАЗ-2101 наведена на рисунках 2.1, 2.2.

Двигун ВАЗ-2101 – чотиритактний, чотирициліндровий карбюраторний двигун з верхнім розташуванням розподільного вала. Циліндри двигуна розташовані вертикально в ряд, об'єднані разом з верхньою частиною картера і являють собою єдиний виливок - блок циліндрів (рис. 2.1). 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. 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. Передній і задній кінці колінчастого вала ущільнюються самопіджимними гумовими сальниками.

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

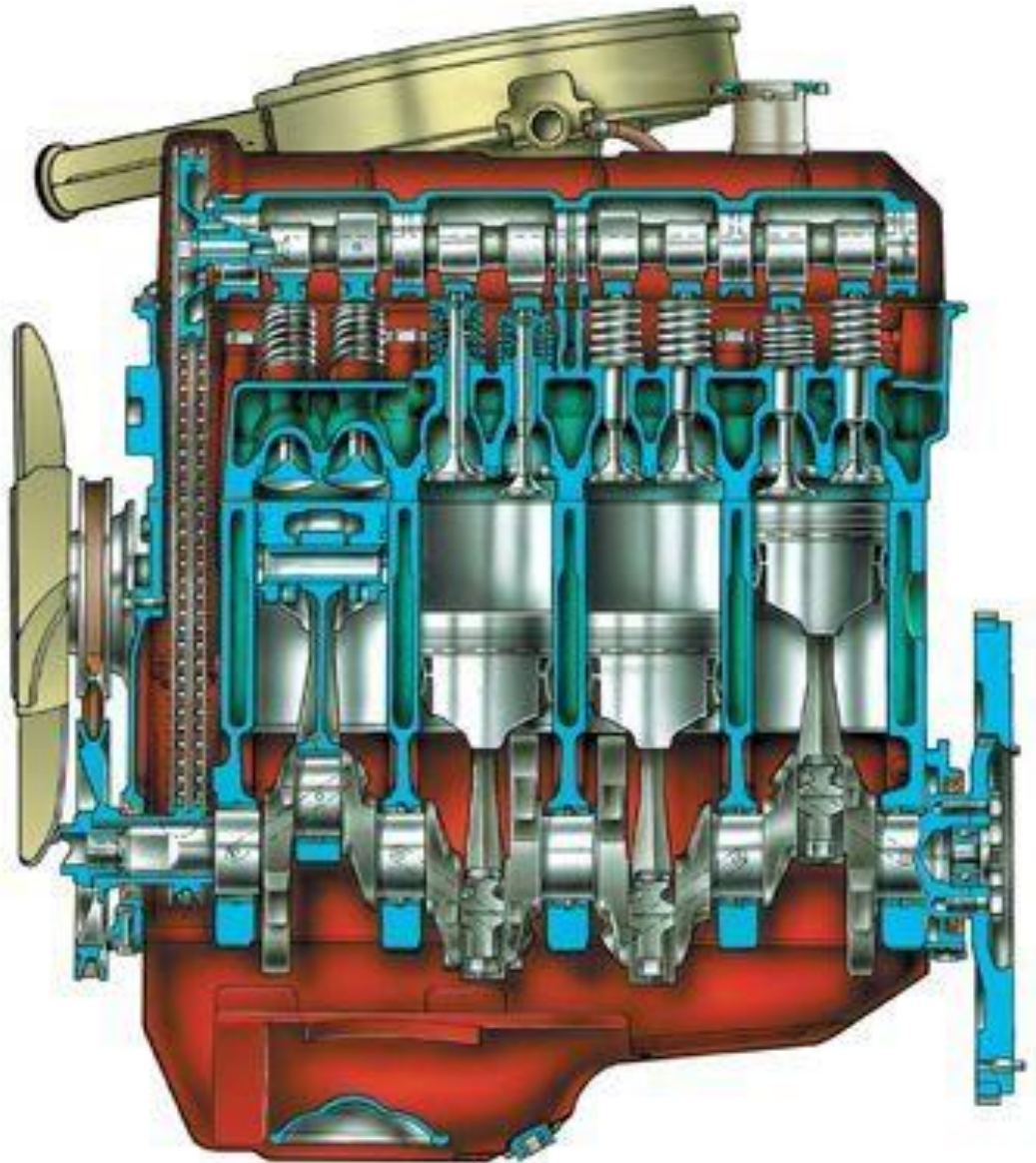


Рисунок 2.1 – Поздовжній розріз двигуна ВАЗ-2101 [19]

Поршні відливають з алюмінієвого сплаву і мають два компресійних і одне маслоз'ємне кільця. У бобишках поршня при його відливання 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.

Головка циліндрів – загальна для всіх циліндрів. У неї запресовані чавунні напрямні втулки і сидла клапанів. Між головою і блоком циліндрів встановлюється металоазбестова прокладка. На голівці циліндрів в

спеціальному корпусі встановлений розподільний вал, який приводиться в обертання від колінчастого вала дворядним роликів ланцюгом з натяжним пристроєм напівавтоматичного типу. Привід від розподільного вала до клапанів здійснюється через короткі важелі (рис. 2.2) без штовхачів, штанг і коромисел. Такий привід забезпечує чітку роботу клапанів при високій частоті обертання колінчастого вала.

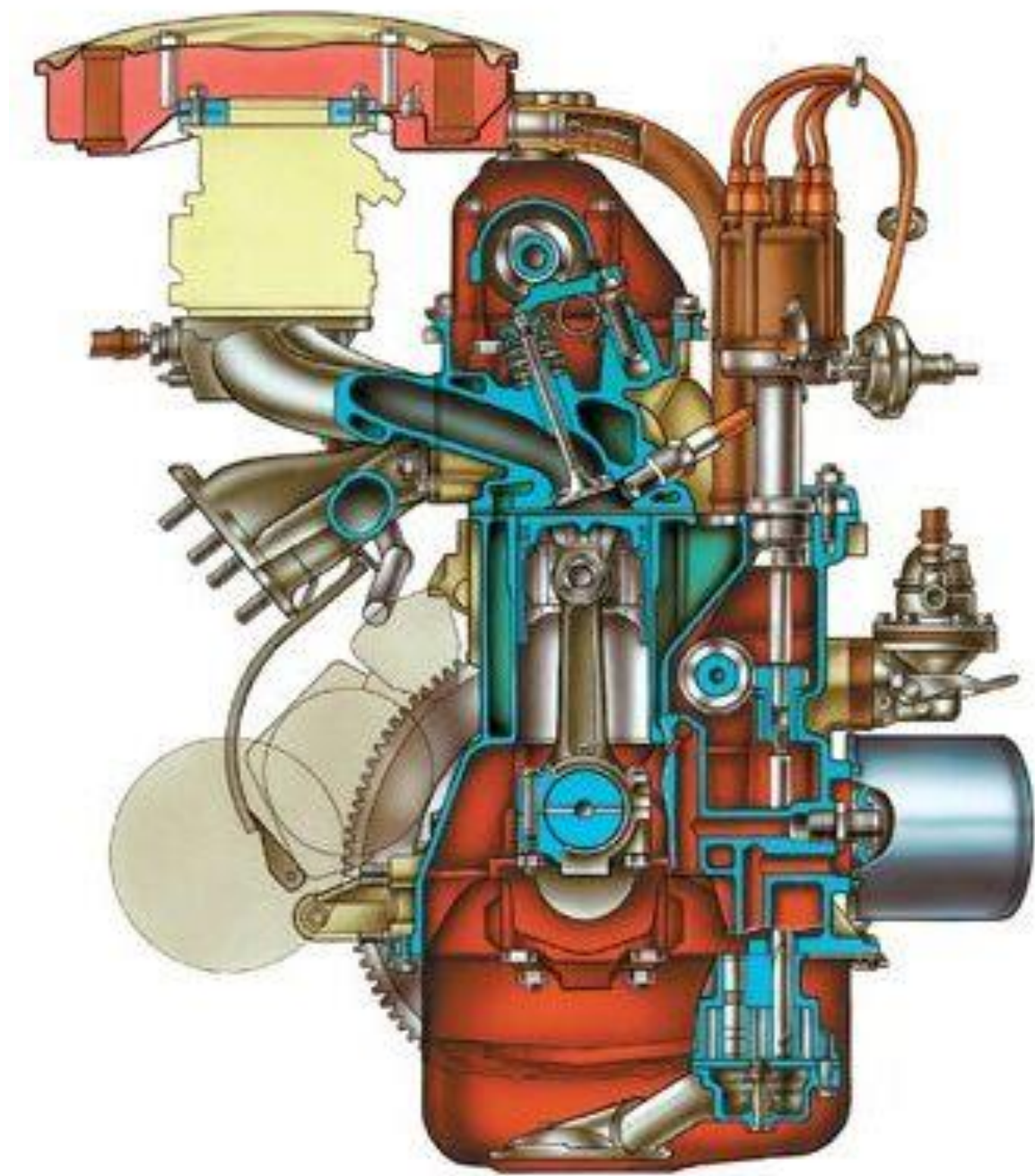


Рисунок 2.2 – Поперечний розріз двигуна ВАЗ-2101 [19]

Система мащення двигуна – комбінована (під тиском і розбризкуванням); включає в себе повно потоковий масляний фільтр з паперовим фільтруючим елементом, через який проходить все масло. Масляний насос шестерінчастий.

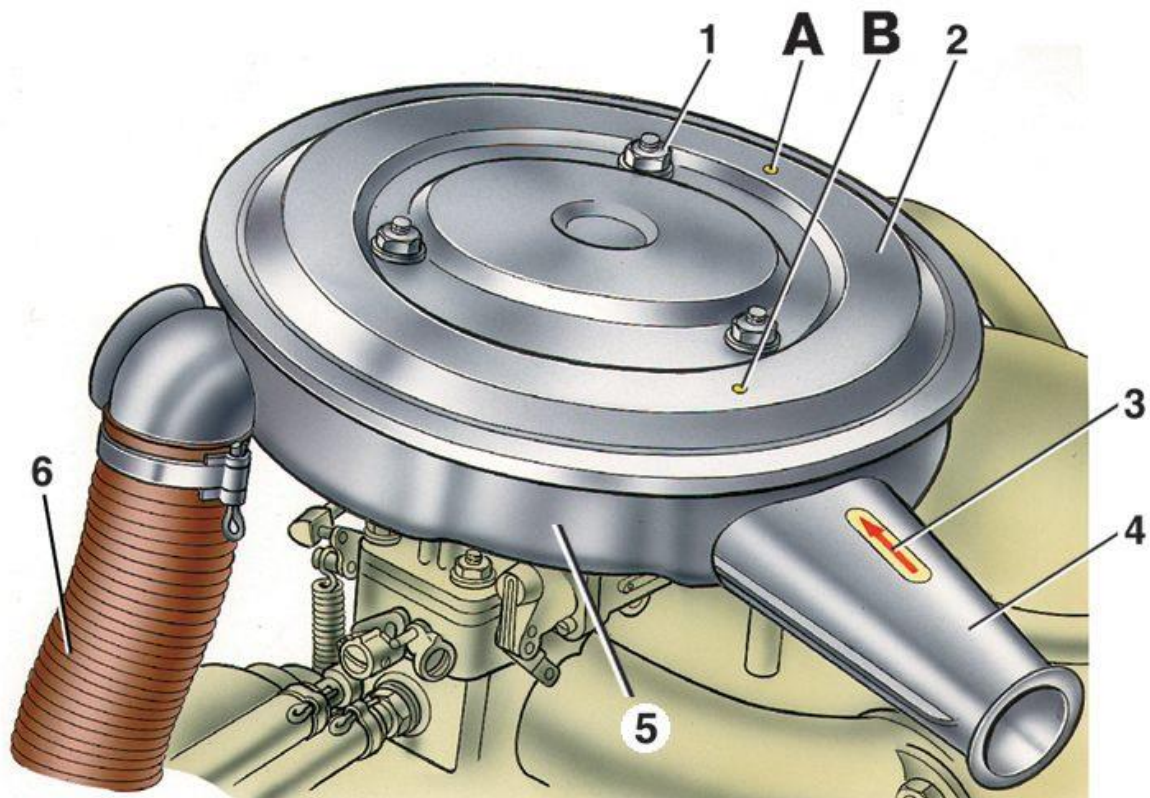
Система охолодження двигуна – рідинна, закритого типу, з примусовою циркуляцією рідини і розширювальним бачком. Система заповнюється спеціальної охолоджувальною рідиною, що замерзає при низьких температурах.

Система живлення включає в себе: паливний бак, бензонасос, повітряний фільтр, вхідну трубу, карбюратор з економайзером і діафрагмовим прискорювальним насосом.

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 [20].

2.2 Конструкція системи впуску двигуна ВАЗ-2101

Повітря надходить в карбюратор двигуна через повітряний фільтр. Його штампований корпус має два патрубкі (див. рис. 2.3). Один служить для підведення повітря з передньої частини підкапотного простору, інший - для підведення теплого повітря від заборника, розташованого поблизу впускного колектора. Сезонне регулювання виконується перестановкою кришки фільтра, яка перемикає подачу повітря від відповідного патрубка. Взимку кришку треба поставити так, щоб проти стрілки на передньому патрубку фільтру припадала червона мітка на кришці. Влітку проти стрілки повинна бути синя мітка [21].



1 - гайка; 2 - кришка фільтра; 3 - установча стрілка; 4 - повітрязабірний патрубок для літнього періоду; 5 - корпус фільтра; 6 - підвідний шланг теплого повітря для зимового періоду;

A - блакитна мітка «ЛІТО»; B - червона мітка «ЗИМА»

Рисунок 2.3 – Корпус повітряного фільтра двигуна ВАЗ-2101 [22]

Фільтруючий елемент виготовлений зі спеціального картону з очищувачем з нейлонової вати. Він забезпечує малий опір впуску та ефективну очистку надходить у двигун повітря. Замінювати елемент треба через 10 тисяч кілометрів пробігу. Однак при їзді по дуже пильних дорогах цю операцію доведеться робити частіше.

У виняткових випадках допускається повторне застосування фільтруючого елемента після ретельної продувки його зсередини стисненим повітрям. Перед продуванням треба видалити очищувач, який відновленню не піддається [21].

У нижній частині корпусу фільтра поміщений колектор витяжної вентиляції картера двигуна. Повітря, що поступає в систему вентиляції двигуна,

очищається за допомогою самостійного паперового фільтруючого елемента, який замінюють одночасно з основним фільтруючим елементом.

Впускний колектор (див. рис. 2.4), до якого приєднаний карбюратор, відлитий з алюмінієвого сплаву і забезпечений водяною сорочкою. Підігрів колектора покращує сумішоутворення і підвищує паливну економічність.

Коли двигун не працює, в колекторі може сконденсуватися невелика кількість бензину. Щоб не ускладнювався пуск двигуна через перезбагачення суміші конденсатом, передбачено дренажний отвір для його відводу.



Рисунок 2.4 – Впускний колектор двигуна ВАЗ-2101 [23]

Для проведення експериментів на двигун було встановлено модернізований впускний колектор, у якому було просвердлено отвори та встановлено штуцери, до яких можна підключати датчики температури та тиску (див. рис. 2.5).

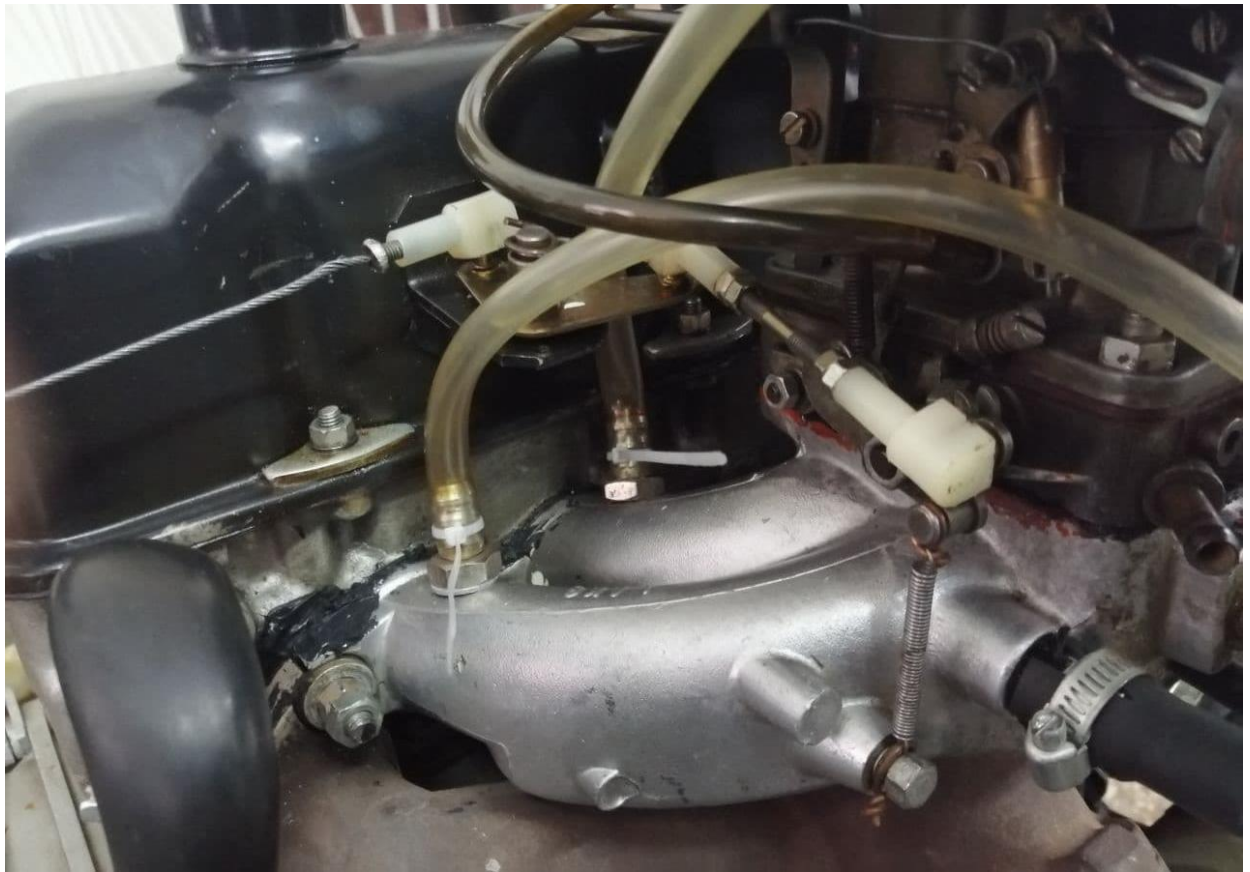


Рисунок 2.5 – Модернізований впускний колектор двигуна ВАЗ-2101

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

Тепловий розрахунок робочого циклу двигуна виконується за методикою [24], яка реалізована на базі фізико-математичної моделі (ФММ) [25] 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 $V(\varphi)$; $m(\varphi)$; $T(\varphi)$; $p(\varphi)$.

2.4 Особливості модернізації та роботи модернізованого випробувального стенду з двигуном ВАЗ-2101 та методики визначення температури та тиску на впуску

На кафедрі «Двигуни внутрішнього згорання» Національного університету «Запорізька політехніка» в аудиторії 141 знаходиться навантажувальний стенд, який складається з наступних елементів [44]:

- фундамент;
- двигун ВАЗ-2101 у комплектації для визначення потужності брутто ГОСТ 14846–81 [43];
- коробка переключення передач;
- гальмо індукційного типу ІТ-22;
- панель керування.

Колективом студентів проведено модернізацію стенду, яка включала наступне:

- встановлено впускний колектор з штуцерами для підключення датчиків безпосередньо до патрубків системи впуску;
- розроблено вимірювальний ланцюг на базі Arduino, який дозволяє отримувати значення тиску та температури в системі впуску.

У вимірювальному ланцюгу (див. рис. 2.6) використовувались датчики тиску BOSCH BMP280 та термістор NTC-3950. Згідно до аналізу літературних джерел, діапазони роботи обох датчиків дозволяють вимірювати температуру та тиск на будь-яких режимах роботи двигуна: від 30 кПа до 110 кПа, від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Заявлена виробником точність вимірювання $\pm 1\%$.



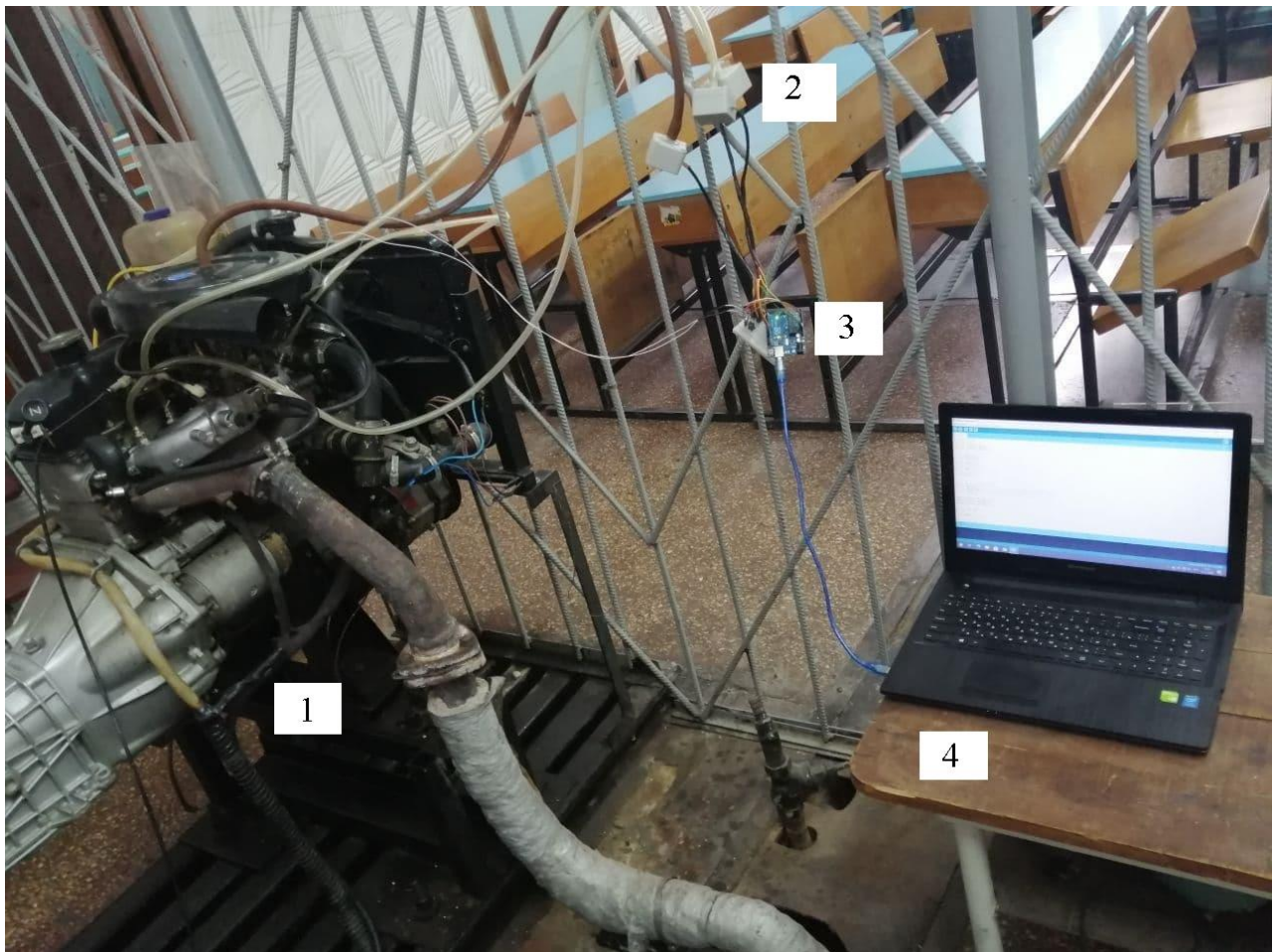
Рисунок 2.6 – Схема вимірювального ланцюга [35]

Датчики тиску 2 (див. рис. 2.7) під'єднані трубками до патрубків впускного колектора двигуна 1. Термістор герметично встановлений безпосередньо у штуцер, вкручений у патрубок 1-го циліндра. Сигнали від датчиків тиску та термістора йдуть на Arduino (позиція 3), звідки прямують на комп'ютер (позиція 4), де фіксуються в комп'ютерній програмі.

Розроблена методика дозволяє отримувати значення з датчиків тиску через кожні 0,0375 секунди, або 26,7 вимірювань за секунду.

Сигнал з термістора реєструється в середньому 1,9 раз в секунду.

Далі протокол з результатами обробляється в програмі MS Excel.



1 – двигун; 2 – датчики тиску; 3 – Arduino; 4 – комп'ютер для запису сигналів
Рисунок 2.7 – Вимірювальний ланцюг для визначення температури та тиску в системі впуску двигуна ВАЗ-2101

2.5 Особливості використання регресійного аналізу

Регресійний аналіз – метод моделювання вимірюваних даних і дослідження їх властивостей [45]. Дані складаються з пар значень залежної змінної y_i і незалежної змінної x_i . Регресійна модель є функцією незалежної змінної і параметрів з доданою випадковою змінною. Параметри моделі налаштовуються таким чином, що модель найкращим чином наближає дані. Критерієм якості наближення (цільовою функцією) зазвичай є

середньоквадратична похибка: сума квадратів різниці значень моделі і залежною змінною для всіх значень незалежної змінної як аргумент.

Передбачається, що залежна змінна є сумою значень деякої моделі і випадкової величини. Щодо характеру розподілу цієї величини робляться припущення, звані гіпотезою породження даних. Для підтвердження або спростування цієї гіпотези виконуються статистичні тести, звані аналізом залишків. При цьому передбачається, що незалежна змінна не містить помилок. Регресійний аналіз використовується для прогнозу, аналізу часових рядів, тестування гіпотез і виявлення прихованих взаємозв'язків в даних. В даній роботі регресійний аналіз використовується для апроксимації експериментально отриманих даних. Апроксимація найчастіше використовується тоді, коли мова йде про задану функцію, як про функцію дискретного аргументу. Тут потрібно відшукати таку функцію f , яка проходить найближче до всіх точок заданої функції.

2.6 Висновки

Методи досліджень, використані в роботі, є загальноприйнятими при дослідженні робочих процесів в двигунах внутрішнього згорання [26], а обрання ВА3-2101 в якості двигуна-прототипа цілком відповідає меті роботи. Вимірювальний ланцюг, реалізований на стендовому двигуні ВА3-2101 дозволяє отримати необхідні експериментальні дані.

3 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ДВИГУНА ВАЗ-2101 НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ

3.1 Вихідні дані до розрахунку

В розділі наведено тепловий розрахунок робочого циклу двигуна ВАЗ-2101, виконаний за методикою, наведеній в розділі 2.3. Приймаємо вихідні дані для розрахунку:

– потужність	$N_e = 47 \text{ кВт};$
– частота обертання валу	$n = 5700 \text{ хв}^{-1};$
– число циліндрів	$i = 4;$
– розташування циліндрів:	рядне;
– тиск наддуву	$p_k = 0,101 \text{ МПа};$
– температура повітря	$T_o = 293 \text{ К};$
– ступінь стиснення	$\varepsilon = 8,5;$
– коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha = 0,85;$
– відношення ходу поршня до діаметра циліндра	$\frac{S}{D} = 0,868;$
– тактність	4
– вид палива:	бензин.

Початкові дані для розрахунку готуються в два етапи. На першому етапі виконують попередні розрахунки, щоб оцінити основні розміри циліндра, необхідні при використанні прийнятої ФММ.

За допомогою графіку на рис. 3.1, побудованого на підставі статистичних даних, виконано оцінку очікуваної величини середнього ефективного тиску p_e залежно від тиску наддуву p_k , температури наддувочного повітря T_k і типу двигуна. Приймаємо $p_k = 0,101 \text{ МПа}$, $T_k = 293 \text{ К}$.

Далі на основі формули ефективної потужності

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

розраховують робочий об'єм даного циліндра

$$V_h = \frac{N_e}{i \cdot p_e} \cdot \frac{\tau}{n} \quad (3.2)$$

$$V_h = \frac{60 \cdot 47 \cdot 1000}{4 \cdot 0,8 \cdot 10^6} \cdot \frac{2}{5700} = 0,0003092 \text{ м}^3.$$

Діаметр циліндра (оціночний):

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_h}{\pi \cdot \frac{S}{D}}} \quad (3.3)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,0003092}{3,14 \cdot 0,868}} = 0,0768 \text{ м.}$$

Уточнюємо $D = 0,077 \text{ м.}$

Хід поршня

$$S = D \cdot \frac{S}{D} \quad (3.4)$$

$$S = 0,0768 \cdot 0,868 = 0,0668 \text{ м,}$$

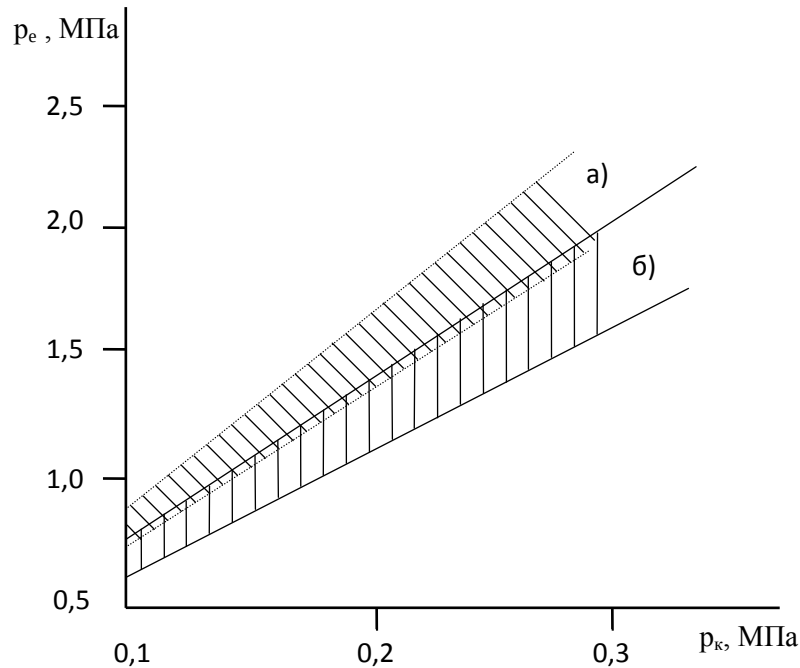
Уточнюємо $S = 0,067 \text{ м.}$

Радіус кривошипа

$$r_k = \frac{S}{2} \quad (3.5)$$

$$r_k = \frac{0,067}{2} = 0,0335 \text{ м}$$

Далі розраховуємо величини, які являються початковими при використанні ФММ.



а) поле з похилою штрихувкою – для бензинових ДВЗ;

б) поле з вертикальною штрихувкою – для дизельних ДВЗ.

Рисунок 3.1 – Статистична залежність середнього ефективного тиску p_e від тиску наддуву p_k [24]

Код двигуна в програмі впливає на вибір теплємностей робочого тіла, які залежать від складу і температури робочого тіла. Встановлені коди: для бензинових $Y = 0$.

Вид розрахунку: номінальний або дослідницький

Тип двигуна (бензиновий або дизельний) впливає на вид палива і характер процесу згорання, який залежить від способу сумішоутворення.

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

2. Показник процесу згорання вибирають на основі рекомендацій за емпіричними даними:

– для бензинових ДВЗ $m_1 = 3,2...4,0$;

Обираємо 3,5.

3. Кількість циліндрів: 4.

4. Розташування циліндрів – рядне.

5. Діаметр циліндра $D = 0.077$ м.

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

$$F_{\pi} = \frac{\pi}{4} D^2, \quad (3.6)$$

$$F_{\pi} = \frac{3.14}{4} 0.077^2 = 0,0046543 \text{ м}^2$$

і може відрізнятись від площі поверхні теплообміну поршня (див. п. 9 цього розділу).

7. Радіус кривошипа $r_k = 0,0335$ м.

8. Відношення радіусу кривошипа до довжини шатуна $\frac{r_k}{L_{ш}}$ є конструктивним параметром, що характеризує геометрію кривошипно-шатунного механізму.

Обираємо 0,243.

Тоді

$$L_{ш} = 0,0335 / 0,243 = 0,138 \text{ м.}$$

9. Площа теплообміну поршня F_{π}' залежить від конфігурації днища.

– для бензинових ДВЗ $F_{\pi}' = (1,0 \dots 1,1) \cdot F_{\pi}$;

$$F_{\pi}' = 1,05 \cdot F_{\pi} = 1,05 \cdot 0,0046543 = 0,004887 \text{ м}^2.$$

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 $F_k = (1,1 \dots 1,3) \cdot F_{\Pi}$.

$$F_k = 1,2 \cdot F_{\Pi} = 1,2 \cdot 0,004887 = 0,00585 \text{ м}^2.$$

11. Об'єм камери стиснення розраховують за співвідношенням

$$V_c = \frac{\pi}{2} D^2 \cdot r_k \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1}. \quad (3.7)$$

$$V_c = \frac{3,14}{2} 0,077^2 \cdot 0,0335 \cdot \frac{1}{8,5 - 1} = 0,0000416 \text{ м}^3.$$

12. Тиск наддуву p_k встановлюють за індивідуальним завданням:
 $p_k = 0,101 \text{ МПа}$

13. Температура повітря на вході в двигун $T_0 = 293 \text{ К}$.

14. Кут початку згорання φ_c залежить від кута випередження запалення $\Delta\varphi_{оп}$ у бензинових ДВЗ або від кута випередження впорскування палива в дизельному ДВЗ.

Для бензинових ДВЗ

$$\varphi_c = 360 - \Delta\varphi_{оп}, \quad (3.8)$$

$$\varphi_c = 360 - 32 = 328^\circ,$$

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

$$\varphi_z = \varphi_c + \Delta\varphi_{сг}, \quad (3.9)$$

$$\varphi_z = 328 + 55 = 383^\circ,$$

де для бензинових ДВЗ $\Delta\varphi_{сг} = 40 \dots 60^\circ$;

Крім типу двигуна, основними чинниками, що впливають на тривалість згорання, є: частота обертання валу, розміри циліндра, турбулентність в заряді.

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

$$\omega = 2\pi n/60. \quad (3.10)$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 5700/60 = 596,6 \text{ с}^{-1}.$$

17. Коефіцієнт надлишку повітря α на номінальному режимі відомий за індивідуальним варіантом: $\alpha = 0,85$.

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

Цикловий масовий заряд повітря в циліндрі

$$\Delta m_{\text{вц}} = V_h \cdot \rho_k \cdot \eta_v, \quad (3.11)$$

$$\Delta m_{\text{вц}} = 0.0003118 \cdot 1.201 \cdot 0.578 = 0.00021651 \text{ кг/цикл},$$

де щільність заряду на вході в циліндр визначається за формулою

$$\rho_k = \frac{p_k}{RT_k}; \quad (3.12)$$

$$\rho_o = \frac{101000}{287 \cdot 293} = 1.201 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

коефіцієнт наповнення дорівнює

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_k - \Delta p_{\text{вп}}}{p_k} \cdot \frac{T_k}{T_k + \Delta T + \gamma T_r} \quad (3.13)$$

$$\eta_v = \frac{8,5}{8,5-1} \cdot \frac{101000-10100}{101000} \cdot \frac{293}{293+10+0,2 \cdot 1070} = 0,578$$

У останній формулі

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

$\Delta T = 0 \dots 30 \text{ K}$ – підігрів заряду на впуску, причому для бензинових ДВЗ $\Delta T = 0 \dots 20 \text{ K}$.

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

Значення коефіцієнта залишкових газів γ ближче до верхньої межі у бензинових ДВЗ і ближче до нижньої межі у дизельних.

$T_r = 700 \dots 1100 \text{ K}$ – температура залишкових газів. Для різних типів двигунів складає:

– у бензинових ДВЗ $T_r = 900 \dots 1100 \text{ K}$;

Циклова масова подача палива

$$\Delta m_{\text{тц}} = \frac{\Delta m_{\text{вц}}}{\alpha \cdot \ell_o} \quad (3.14)$$

$$\Delta m_{\text{тц}} = \frac{0,00021651}{0,85 \cdot 14,96} = 0,00001703 \text{ кг/цикл.}$$

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

– для деталей із сталі та чавуну $T_w = 550 \dots 650 \text{ K}$,

– для деталей з алюмінієвих сплавів $T_w = 420 \dots 470 \text{ K}$.

Більші значення відносяться до форсованих ДВЗ з наддувом при малих величинах коефіцієнта надлишку повітря. Обираємо $T_w = 500 \text{ K}$.

До початкових умов відносяться усі параметри робочого тіла на початку розрахунку. У цій ФММ початок розрахунку відповідає точці «а» на індикаторній діаграмі, при положенні поршня в НМТ і куті повороту

кривошипа $\varphi = 180^\circ$. Початок відліку кута φ відповідає положенню поршня у ВМТ.

20. Початковий тиск дорівнює

$$p_a = p_k - \Delta p_{\text{вп}}, \quad (3.15)$$

$$p_a = 101000 - 10100 = 90900 \text{ Па},$$

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

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

$$T_a = \frac{1}{1 + \gamma} (T_k + \Delta T_{\text{вп}} + \gamma T_r). \quad (3.16)$$

$$T_a = \frac{1}{1 + 0,2} (293 + 10 + 0,2 \cdot 1070) = 430,8 \text{ К}.$$

Рекомендації по вибору величин, що входять у формулу, дані раніше в п. 18.

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

$$m_a = (1 + \gamma) \cdot \Delta m_{\text{вц}}. \quad (3.17)$$

$$m_a = (1 + 0,2) \cdot 0,00021651 = 0,0002598 \text{ кг/цикл}.$$

23. Початковий об'єм циліндра

$$V_a = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot V_h. \quad (3.18)$$

$$V_a = \frac{8,5}{8,5 - 1} \cdot 0,0003118 = 0,0003534 \text{ м}^3.$$

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

$$P_a V_a = R m_a T_a. \quad (3.19)$$

$$90900 \cdot 0,0003534 = 287 \cdot 0,0002598 \cdot 430,8$$

$$32,12406 = 32,12156$$

Похибка цього рівняння складає 0,078 %.

Для виконання динамічного розрахунку необхідно знати маси частин, що поступально рухаються і обертаються.

Приведена маса частин, що поступально рухаються, включає масу поршневого комплекту (поршня, пальця, кілець) і частину маси шатуна, віднесеної до осі поршневого пальця:

$$m_A = [m'_p + (0,2 \dots 0,3) \cdot m'_{ш}] \cdot F_p, \quad (3.20)$$

$$m_A = [110 + 0,25 \cdot 170] \cdot 0,0046543 = 0,710 \text{ кг},$$

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

Величини m'_p і $m'_{ш}$ в правій частині формули визначають на основі статистичних даних існуючих конструкцій ДВЗ (у таблиці 3.1 вказані питомі маси, віднесені до одиниці площі поршня).

Таблиця 3.1 – Питомі маси деталей КШМ [24]

Двигуни	Питома маса поршневого комплекту m'_p , кг/м ²	Питома маса комплекту шатуна $m'_{ш}$, кг/м ²
Бензинові	40 – 150	50 – 250
Дизельні	100 – 400	100 – 350

Х. Розрахунковий крок рівний $\Delta\varphi = 10^\circ$.

Інформацію за пунктами І-Х заносимо до таблиці 3.2 та проводимо розрахунок у комп'ютерній програмі Engine Calculation.

3.2 Контроль і аналіз результатів розрахунку

Результати розрахунку на ПК отримують у вигляді двох протоколів, в одному з них дані теплового розрахунку, в іншому – дані динамічного розрахунку.

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

У кінці протоколу наведені основні циклові і питомі показники.

– індикаторна робота $L_i = 275,5$ Дж/цикл;

– середній індикаторний тиск $p_i = 0,883$ МПа;

– індикаторний ККД $\eta_i = 0,466$;

– питома індикаторна витрата палива $g_i = 0,223 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$.

За даними протоколу теплового розрахунку побудовано згорнуту індикаторну діаграму для номінального режиму в системі координат $p(V)$ у (див. рис. 3.2).

Таблиця 3.2 – Початкові дані для розрахунку робочого циклу двигуна ВАЗ-2101 до програми Engine Calculation

№	Найменування величини	Значення величин	Позначення і одиниці виміру
I.	Код двигуна	0	У
II.	Вид розрахунку	1	—
III.	Тип двигуна 1. Теплота згорання палива 2. Показник процесу згорання	44000000 3,5	$H_{\text{ит}}, \text{Дж/кг}$ 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 0.077 0.0046543 0.0335 0.243 0.004887 0.005585 0.0000416	i — $D, \text{м}$ $F_{\text{п}}, \text{м}^2$ $r_k, \text{м}$ λ_k $F_{\text{п}}', \text{м}^2$ $F_k, \text{м}^2$ $V_c, \text{м}^3$
V.	Наддув 12. Тиск наддуву 13. Температура повітря	101000 293	$p_k, \text{Па}$ $T_k, \text{К}$
VI.	Регульовальні дані 14. Кут початку згорання 15. Кут кінця згорання	328 380	$\varphi_c, \text{град.}$ $\varphi_z, \text{град.}$
VII.	Режимні дані 16. Кутова швидкість валу 17. Коефіцієнт надлишку повітря 18. Циклова подача палива 19. Середня температура стінок	596,6 0,85 0,01703 500	$\omega, \text{рад/с}$ α $\Delta m_{\text{тл}}, \text{г/цикл}$ $T_w, \text{К}$
VIII.	Початкові умови 20. Тиск 21. Температура 22. Маса робочого тіла 23. Об'єм робочої порожнини	90900 430,8 0,0002598 0,0003534	$p_a, \text{Па}$ $T_a, \text{К}$ $m_a, \text{кг/цикл}$ $V_a, \text{м}^3$
IX.	Дані до динамічного розрахунку 24. Маса поступально рухомих частин (приведена)	0,71	$m_A, \text{кг}$
X.	Розрахунковий крок	1	$\Delta\varphi, \text{град.}$

Студент гр. ТЗ-419м

Керівник д.т.н., професор

Я.В. Рогов

Г.І.Слинько

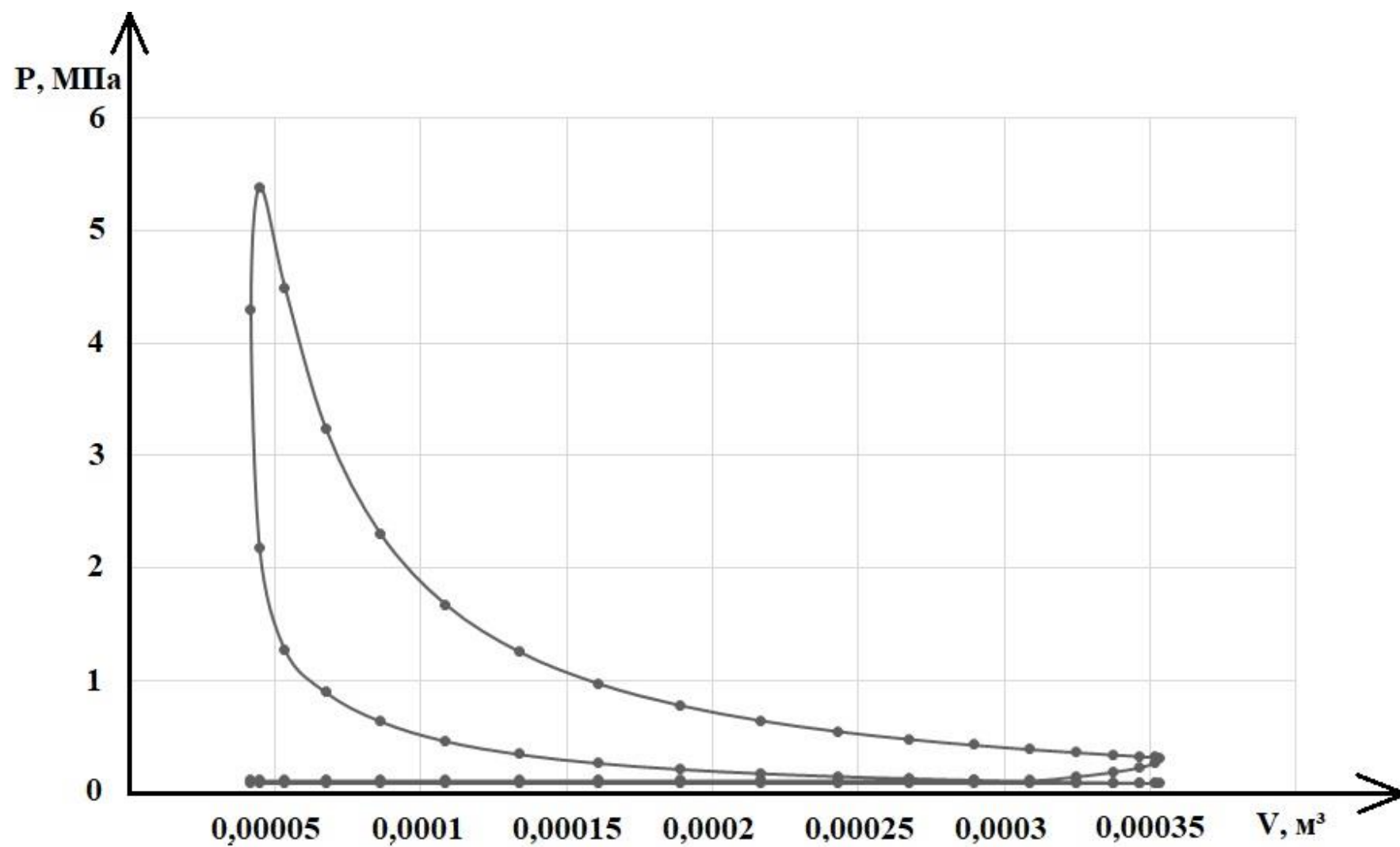


Рисунок 3.2 – Індикаторна діаграма двигуна ВА3-2101 на номінальному режимі

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

$$N_e = i \cdot L_i \cdot \frac{n}{\tau} \cdot \eta_m, \quad (3.21)$$

$$N_e = 4 \cdot 275,5 \cdot \frac{5700}{2 \cdot 60} \cdot 0,8 = 41,9 \text{ кВт},$$

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

Значення механічного ККД ДВЗ може знаходитися в межах:

– для бензинових $\eta_m = 0,70 \dots 0,80$;

Похибка складає

$$\frac{47 - 41,9}{47} = 10,8 \, \%.$$

Основними параметрами, які характеризують механічну і термічну напруженість деталей двигуна є тиск і температура робочого тіла. У протоколі теплового розрахунку знаходимо величини максимального тиску $p_{\max} = 5,379 \text{ МПа}$ і максимальної температури $T_{\max} = 3133 \text{ К}$. Вони не перевищують максимально допустимі $p_{\text{доп}} = 8 \dots 10 \text{ МПа}$ і $T_{\text{доп}} = 3000 \dots 3200 \text{ К}$, згідно таблиці 2.6 [24], тобто забезпечується надійна тривала робота двигуна.

Отримані індикаторні показники відповідають відповідним показникам ДВЗ аналогічних конструкцій.

4 ДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДВИГУНА ВАЗ-2101 НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ

Динамічний розрахунок виконують з метою визначення сил і моментів, що діють на деталі кривошипно-шатунного механізму, а також моменту на вихідному валу двигуна. Діючі сили і момент в одному циліндрі зображені векторами на схемі (рис. 4.1):

- сила P_n , що діє на поршень уздовж осі циліндра;
- бокова сила N , що діє на поршень
- сила S , що діє на шатун
- тангенціальна сила T , що діє на кривошип
- нормальна сила K , що діє на кривошип уздовж його осі
- крутний момент на кривошипі M

Динамічний розрахунок виконано для номінального режиму роботи двигуна ВАЗ-2101.

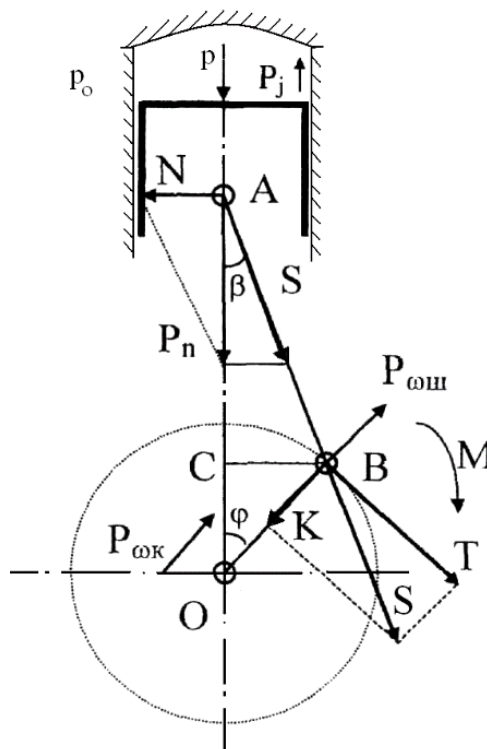


Рисунок 4.1 – Сили і моменти, що діють в КШМ

Результати динамічного розрахунку проілюстровано графіками (див. рис. 4.2, 4.3, 4.4).

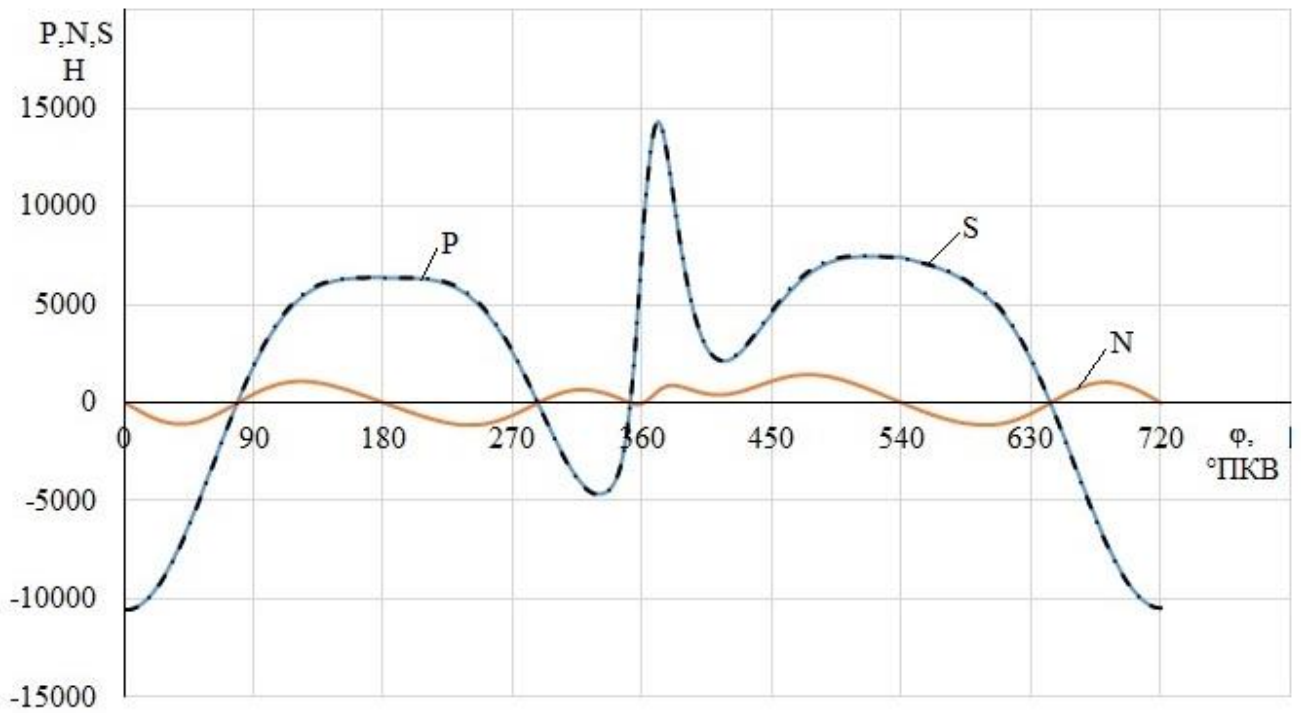


Рисунок 4.2 – Сили, що діють на поршень і шатун

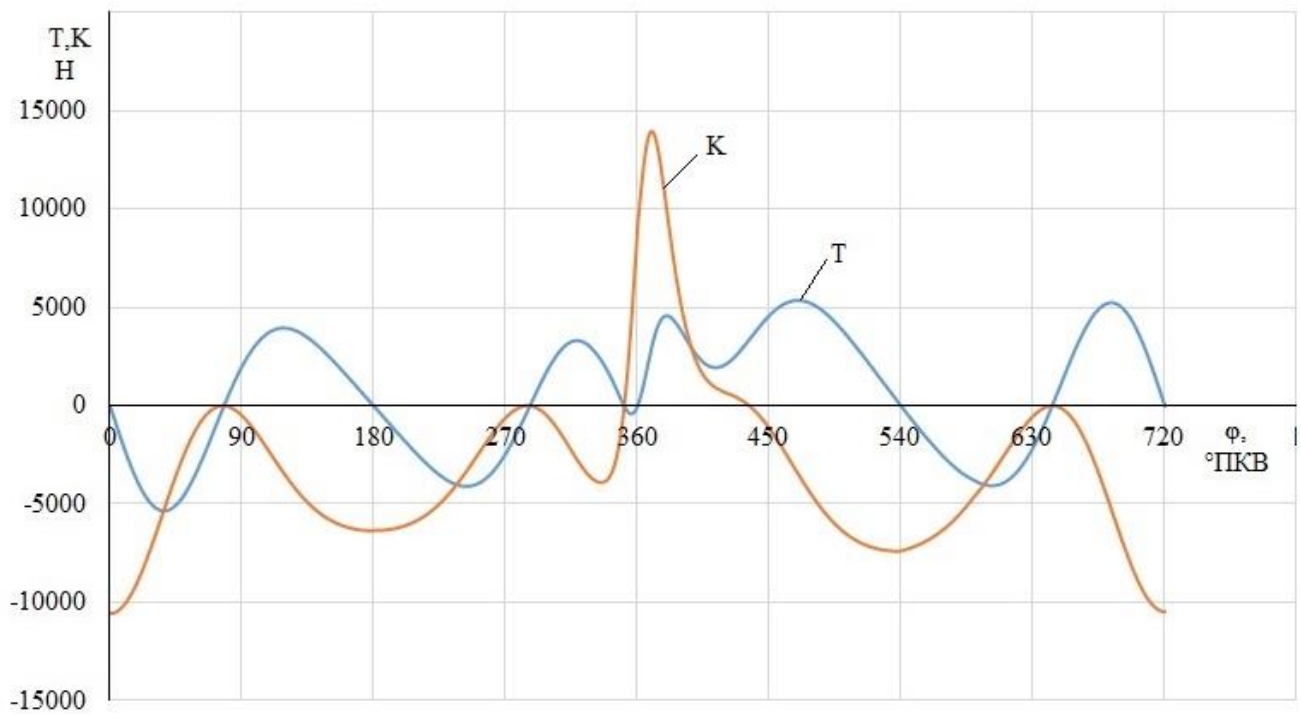


Рисунок 4.3 – Сили, що діють на кривошип

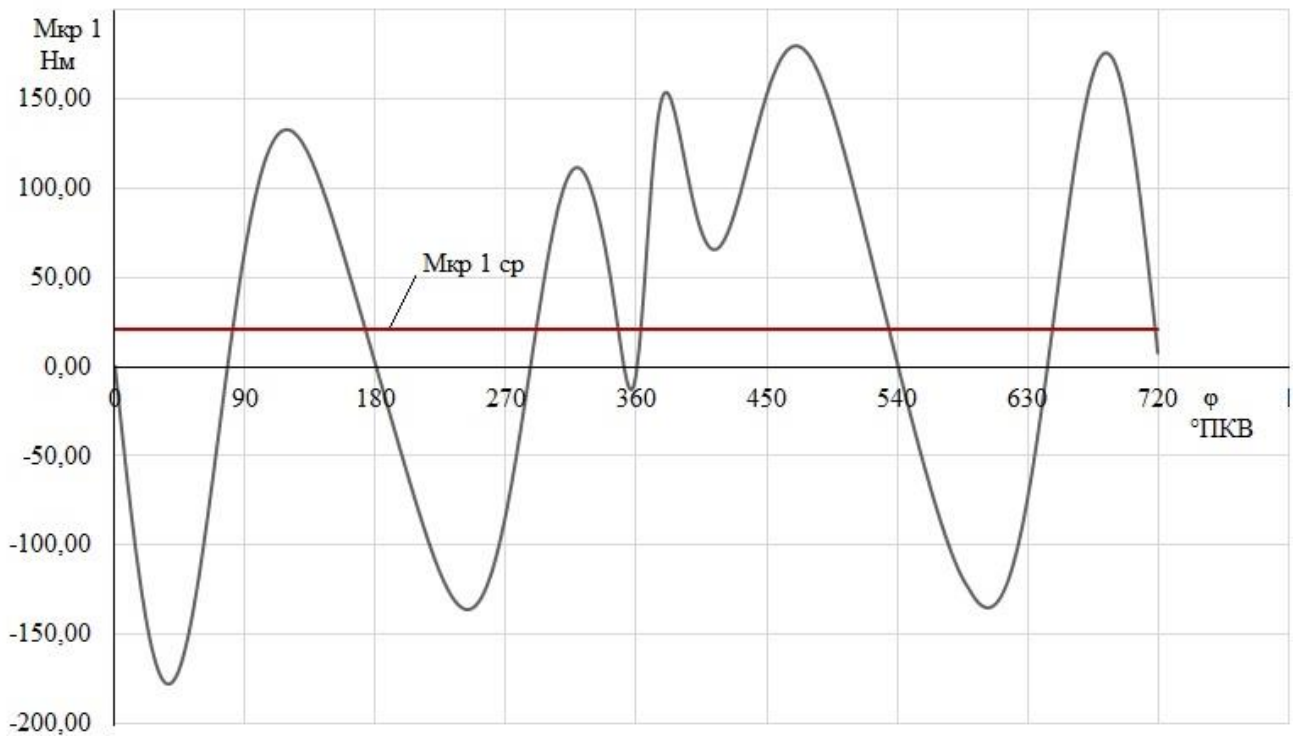


Рисунок 4.4 – Крутний момент від одного циліндра

Крутний момент на кривошипі від одного циліндра підсумовується і визначається середній крутний момент $M_{i ср}$.

Складовою частиною динамічного розрахунку є таблиця набігаючих крутних моментів і графік, що зображує вихідний крутний момент на валу двигуна. Останні (таблиця і графік) складаються з врахуванням числа циліндрів, розташуванням циліндрів та порядку їх роботи, числа і розташування кривошипів на колінчатому валу двигуна.

Важливими параметрами в цьому випадку є кут розвороту кривошипів колінчастого валу $\Delta\varphi_{кр}$, та кут розвалу блоків циліндрів γ в двигунах V-подібної конструкції.

У 4-х циліндровому рядному двигуні:

- порядок роботи циліндрів 1-3-4-2.
- шатунні шийки розташовані під кутом 180° .

Таблиця 4.1 – Таблиця набігаючих крутних моментів, для рядного 4-циліндрового ДВЗ, Н·м

φ, °ПКВ	1-й циліндр M ₁	2-й циліндр M ₂	3-й циліндр M ₂	4-й циліндр M ₂	Сумарний момент M _Σ
0	0	2,8	3,3	-5,7	0,4
20	-129,8	-53,2	-58,7	153,2	-88,5
40	-177,2	-104,7	-108,9	91,2	-299,6
60	-111,5	-135,1	-134,6	69,3	-311,9
80	8,4	-117,7	-111,8	121,6	-99,5
100	102,8	-39	-23,4	171,9	212,3
120	132,6	63,1	97,4	173,6	466,7
140	108,3	111,4	172,7	131,2	523,6
160	58,7	61,9	138,3	68,9	327,8
180	2,8	-5,7	7,6	3,3	8
200	-53,2	153,2	-129,8	-58,7	-88,5
220	-104,7	91,2	-177,2	-108,9	-299,6
240	-135,1	69,3	-111,5	-134,6	-311,9
260	-117,7	121,6	8,4	-111,8	-99,5
280	-39	171,9	102,8	-23,4	212,3
300	63,1	173,6	132,6	97,4	466,7
320	111,4	131,2	108,3	172,7	523,6
340	61,9	68,9	58,7	138,3	327,8
360	-5,7	3,3	2,8	7,6	8
380	153,2	-58,7	-53,2	-129,8	-88,5
400	91,2	-108,9	-104,7	-177,2	-299,6
420	69,3	-134,6	-135,1	-111,5	-311,9
440	121,6	-111,8	-117,7	8,4	-99,5
460	171,9	-23,4	-39	102,8	212,3
480	173,6	97,4	63,1	132,6	466,7
500	131,2	172,7	111,4	108,3	523,6
520	68,9	138,3	61,9	58,7	327,8
540	3,3	7,6	-5,7	2,8	8
560	-58,7	-129,8	153,2	-53,2	-88,5
580	-108,9	-177,2	91,2	-104,7	-299,6
600	-134,6	-111,5	69,3	-135,1	-311,9
620	-111,8	8,4	121,6	-117,7	-99,5
640	-23,4	102,8	171,9	-39	212,3
660	97,4	132,6	173,6	63,1	466,7
680	172,7	108,3	131,2	111,4	523,6
700	138,3	58,7	68,9	61,9	327,8
720	7,6	2,8	3,3	-5,7	8

M_i _{ср} = 20 Н·м

M_Σ _{ср} = 79,9 Н·м

За даними таблиці 4.1 будуюмо діаграму сумарного індикаторного крутного моменту на вихідному валу двигуна (рисунок 4.5).

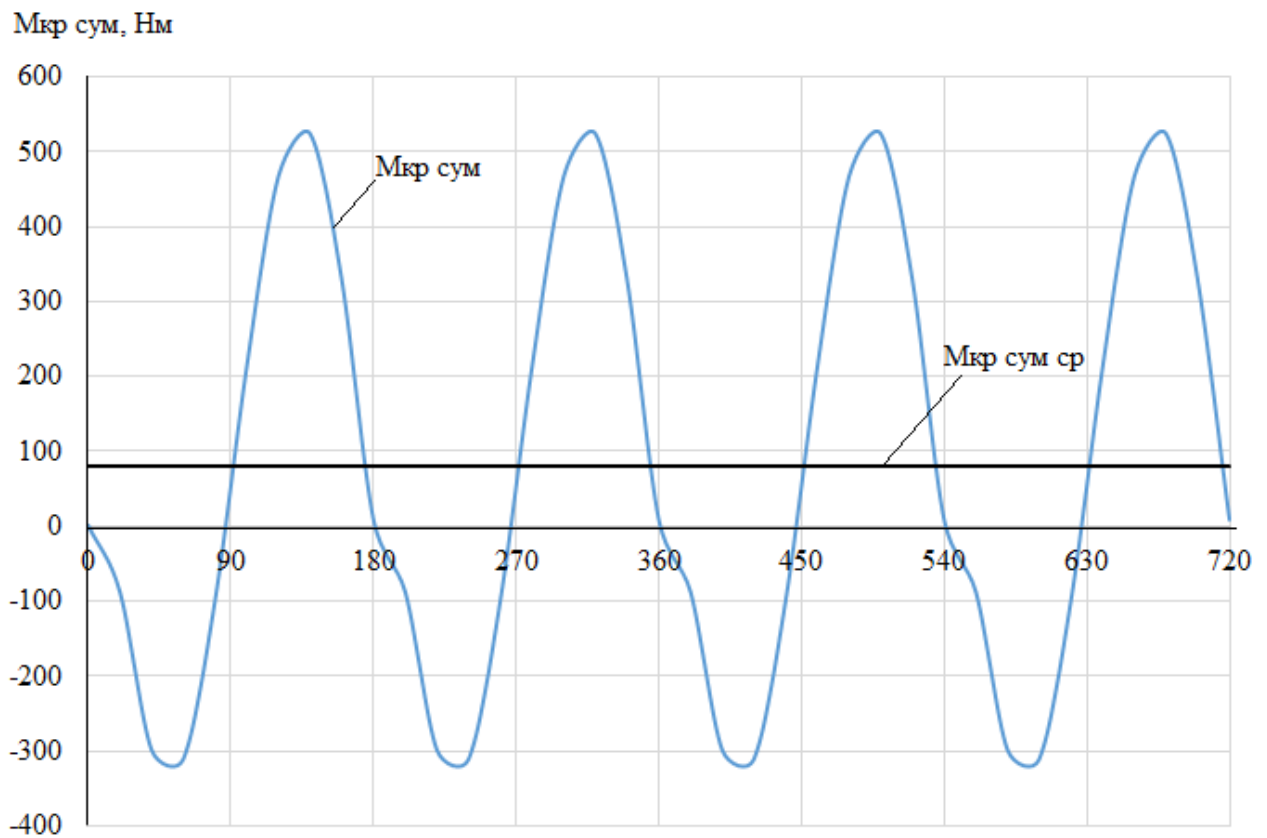


Рисунок 4.5 – Діаграма сумарного індикаторного обертового моменту на валу двигуна ВА3-2101

Величину середнього індикаторного моменту використовують для контролю правильності теплового і динамічного розрахунку.

Знаючи ефективну потужність двигуна, можна знайти середній момент на валу

$$M_e = \frac{N_e}{\omega} \quad (4.1)$$

$$M_e = \frac{41,9 \cdot 10^3}{596,6} = 70,2 \text{ Нм.}$$

З іншого боку середній момент на валу визначається з динамічного розрахунку з урахуванням механічних втрат

$$M_e = (M_i)_{cp} \cdot \eta_m. \quad (4.2)$$

$$M_e = 79,9 \cdot 0,8 = 63,9 \text{ Нм.}$$

Величини M_e , знайдені за формулами 4.1 і 4.2, мають бути однакові (допустима похибка не більше 10 %). Похибка складає 9 %, тобто розрахунок виконано вірно.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПОВІТРЯ У ВПУСКНІЙ СИСТЕМІ ДВЗ ПРИ РОБОТІ НА ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ

5.1 Визначення температури та тиску в системі впуску

В розділі 2.4 магістерської роботи описана методика вимірювання температури та тиску у впускному колекторі карбюраторного 4-тактного двигуна ВАЗ-2101. Всього було проведено 18 експериментів, метою яких було визначення закономірностей зміни стану тіла в системі впуску на перехідних режимах, та їх аналіз. Всі значення температури виміряно в градусах за Цельсієм, тиску – в Паскалях, за абсолютною шкалою. Вимірювання проводились на прогрітому двигуні, температура охолоджуючої рідини $\sim 85^{\circ}\text{C}$.

У додатку А наведено частину протоколу одного з випробувань. Всі протоколи займають значний об'ємі інформації, тому оброблялися в електронному вигляді за допомогою програми MS Excel 2007, тому були переведені з текстового вигляду до табличного.

Значення тиску, що далі наведено на графіках, отримано в патрубку перед 4-м циліндром. На графіках, наведених у даному розділі, значення тисків та температур для різних експериментів суміщені таким чином, щоб початок будь-яких активних дій з двигуном (відкриття дросельної заслінки чи її закриття) було показано одночасно.

Для визначення точності вимірювання температури та тиску проведено виміри при непрацюючому двигуні. Середнє значення тиску (з максимальними відхиленнями) склало $100533,3^{+15,6}_{-33,54}$ Па. Похибка вимірювання тиску складає 0,05 %.

Середнє значення температури (з максимальними відхиленнями) склало $58,53^{+0,47}_{-2,03}$ $^{\circ}\text{C}$. Похибка вимірювання температури складає 4,2 %.

5.1.1 Визначення температури та тиску при відкритті дросельної заслінки

Визначено тиск у впускному колекторі двигуна ВАЗ-2101, що працює на режимі $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$ без навантаження. Педаль управління ДЗ (ПУ ДЗ) знаходиться в положенні «натиснута 10 %».

Проведено 4 експерименти, під час яких ПУ ДЗ натискалась до положення «натиснута 50 %» з різною швидкістю (рис. 5.1):

- протягом 0,1 с (експеримент № 1);
- протягом ~ 2 с (експеримент № 2);
- протягом ~ 4 с (експеримент № 3);
- протягом ~ 6 с (експеримент № 4).

При натисканні ПУ ДЗ до положення «натиснута 50 %» повністю відкривається первинна камера карбюратора, а вторинна камера ще закрита.

Для двигуна, що працює при 1400 хв^{-1} без навантаження, від початку відліку на графіку (0,0 секунд) до початку натискання на ПУ ДЗ (3,0 с) визначаємо середній тиск $p = 50,1 \text{ кПа}$, з великими стрибками. З графіку зміни тиску в патрубку впускного колектора на рис. 5.1 видно, що при відкритті дросельної заслінки в початковій фазі тиск стрімко зростає до точки 2. При швидкому відкритті дросельної заслінки (менше 2 секунд) спостерігається стрибок тиску до $p = 96,4 \text{ кПа}$. Частота обертів двигуна підвищується до $n = 4950 \dots 5000 \text{ хв}^{-1}$. Більш повільне відкриття ДЗ дає менш виражене підвищення тиску (умовна точка 2 на рисунку 5.1).

Далі при швидкому відкритті дросельної заслінки (експерименти № 1, 2) (менше 4 секунд) величина тиску дещо зменшується (умовна точка 3).

Потім значення тиску в впускному патрубку двигуна вирівнюється (умовна точка 4) та складають близько $p = 90,9 \text{ кПа}$. В цей час оберти двигуна встановлюються $n = 4600 \text{ хв}^{-1}$.

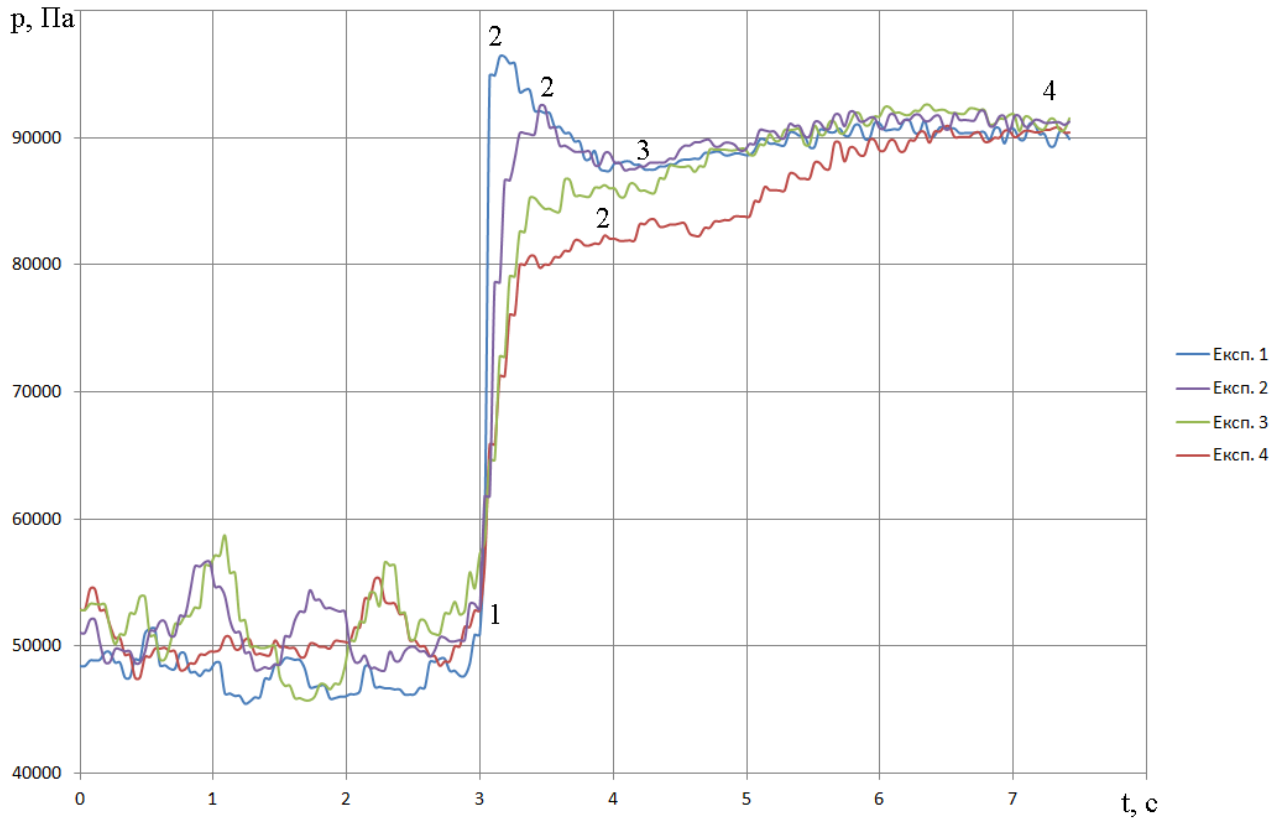


Рисунок 5.1 – Зростання тиску в системі впуску двигуна ВАЗ-2101 при відкритті дросельної заслінки (двигун працює без навантаження)

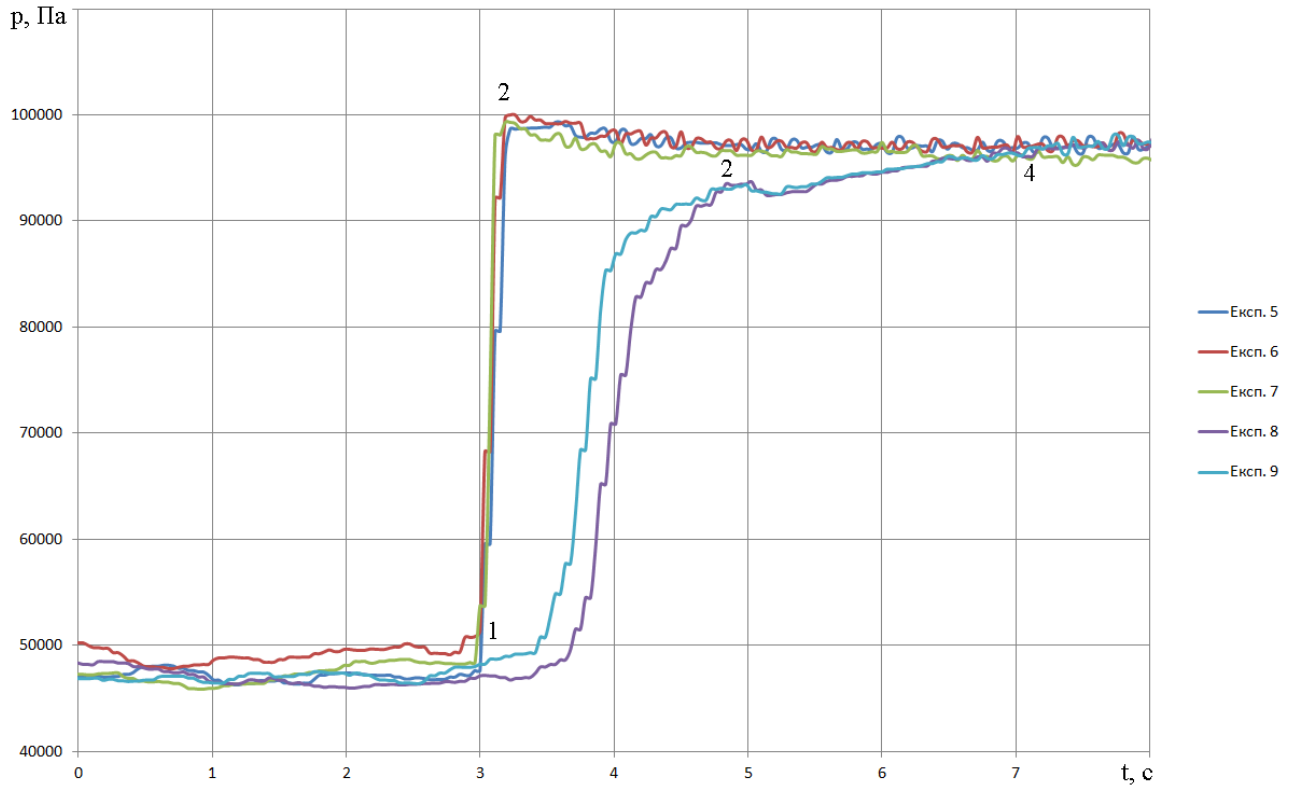


Рисунок 5.2 – Зростання тиску в системі впуску двигуна ВАЗ-2101 при відкритті дросельної заслінки та збільшенні навантаження на двигун

Варто зазначити, що під час експериментів № 2, 3, 4 тиск в колекторі вирівнюється (умовна точка 4) ще до завершення переміщення дросельної заслінки. Це пояснюється конструктивними особливостями карбюратора типу «Вебер», який має механічний привід всіх виконавчих механізмів.

Визначені тиск та температура у впускному колекторі при роботі двигуна на режимі $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ з мінімальним навантаженням (вільне обертання вихідного валу КПП, муфти, ротора індукційного гальма) з подальшим відкриттям ПУ ДЗ з «натиснута 10 %» до «натиснута 50 %» (див. рис. 5.2, 5.3) та збільшенням навантаження на двигун $M_{кр} = 15,3 \dots 35,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ за допомогою гальмівного пристрою. Оберти двигуна підвищились до $n = 2700 \dots 3500 \text{ хв}^{-1}$ (див. табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Показники стану бензино-повітряної суміші у системі впуску та показники роботи двигуна після відкриття дросельної заслінки та збільшенні навантаження на двигун (усталений режим)

Експеримент	$n, \text{хв}^{-1}$	$M_{кр}, \text{Н} \cdot \text{м}$	Середній тиск після точки 4 на рис. 5.2 $p_{ср}, \text{кПа}$	Середній тиск перед точкою 5 на рис. 5.5 $p_{ср}, \text{кПа}$
№ 6/15	2700	33,0	97,30	97,82
№ 5/14	2900	35,3	97,10	97,41
№ 9/18	3100	25,9	97,56	96,93
№ 8/17	3350	15,3	97,02	96,16
№ 7/16	3500	15,3	95,95	95,77

В експериментах № 5, 6, 7 при дуже швидкому натисканні ($t = 0,1 \dots 0,2 \text{ с}$) на ПУ ДЗ (умовна точка 3 на рисунку 5.2) значення тиску стрімко зростало від $p = 47,5 \text{ кПа}$ до $p = 99,3 \dots 100,0 \text{ кПа}$ (умовна точка 2), з подальшим вирівнюванням до $p = 97,1 \text{ кПа}$ на усталеному режимі (умовна точка 4).

При повільному відкритті (протягом $\sim 4 \text{ с}$) дросельної заслінки (експерименти № 8, 9) має місце інерційність у зростанні тиску у впускному

колекторі протягом $t = 0,4 \dots 0,6$ с. Далі тиск зростає до $p = 97,1$ кПа на усталеному режимі (умовна точка 4), з проміжними локальними «піком» – умовна точка 2.

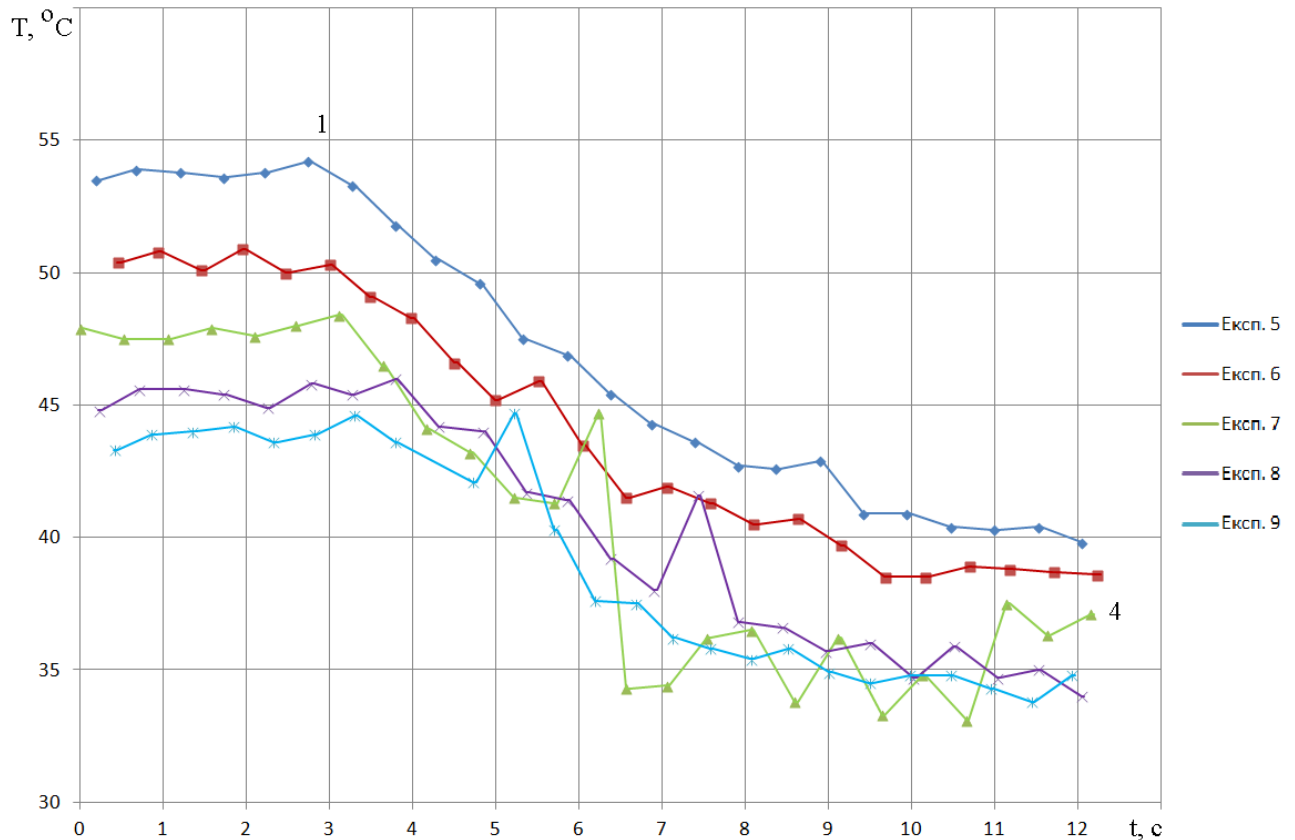


Рисунок 5.3 – Зниження температури в системі впуску двигуна ВАЗ-2101 при відкритті дросельної заслінки та збільшенні навантаження на двигун

На рисунку 5.3 показано зниження температури в системі впуску двигуна ВАЗ-2101 при відкритті дросельної заслінки. Звертаємо увагу на схожий характер зміни температури, незалежно від часу відкриття ДЗ та навантаження, що створюється на двигун гальмівним пристроєм. Різні абсолютні значення температури бензино-повітряної суміші в колекторі пояснюються тим, що на досліджуваних режимах ($n = 1500$ хв⁻¹, невелике навантаження) впускний колектор охолоджувався навколишнім повітрям після того, як перед цим був сильно нагрітий.

З рисунку 5.3 видно, що з моменту початку відкриття ДЗ (3,0 секунда, умовна точка 1 на графіку), до досягнення усталеної температури (умовна точка 4) проходить ~ 9 с.

5.1.2 Визначення температури та тиску при закритті дросельної заслінки

Визначено тиск у впускному колекторі двигуна ВАЗ-2101, що працює на режимі $n = 4600 \text{ хв}^{-1}$ без навантаження. Педаль управління ДЗ (ПУ ДЗ) знаходиться в положенні «натиснута 50 %», середній тиск $p = 91,0 \text{ кПа}$.

Проведено 4 експерименти, під час яких ПУ ДЗ відпускалась до положення «натиснута 10 %» з різною швидкістю (рис. 5.4):

- протягом 0,1 с (експеримент № 10);
- протягом ~ 2 с (експеримент № 11);
- протягом ~ 4 с (експеримент № 12);
- протягом ~ 6 с (експеримент № 13).

Розглядаємо процеси при закритті дросельної заслінки як продовження процесів, що відбуваються при відкритті ДЗ. Усталені умови робочого тіла у системі впуску після відкриття ДЗ (умовна точка 4) співпадають з початковими умовами робочого тіла перед закриттям ДЗ (умовна точка 5 на рис. 5.4–5.6). Тому продовжуємо нумерацію процесів умовними точками 5–7.

З графіків на рис. 5.4 видно, що при початку закриття ДЗ (умовна точка 5) тиск швидко спадає (умовна точка 6) до величини $p = 25 \dots 30 \text{ кПа}$, залежно від швидкості закриття ДЗ. Далі тиск поступово зростає та досягає $\sim 53,6 \text{ кПа}$ (умовна точка 7), частота обертання двигуна вирівнюється $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$.

В експериментах № 14–18 двигун працює з навантаженням, на обертах $n = 2700 \dots 3500 \text{ хв}^{-1}$ (див. табл. 5.1) з середнім тиском $96,8 \text{ кПа}$ (значення для різних експериментів показані в табл. 5.1). Педаль управління ДЗ (ПУ ДЗ) знаходиться в положенні «натиснута 50 %».

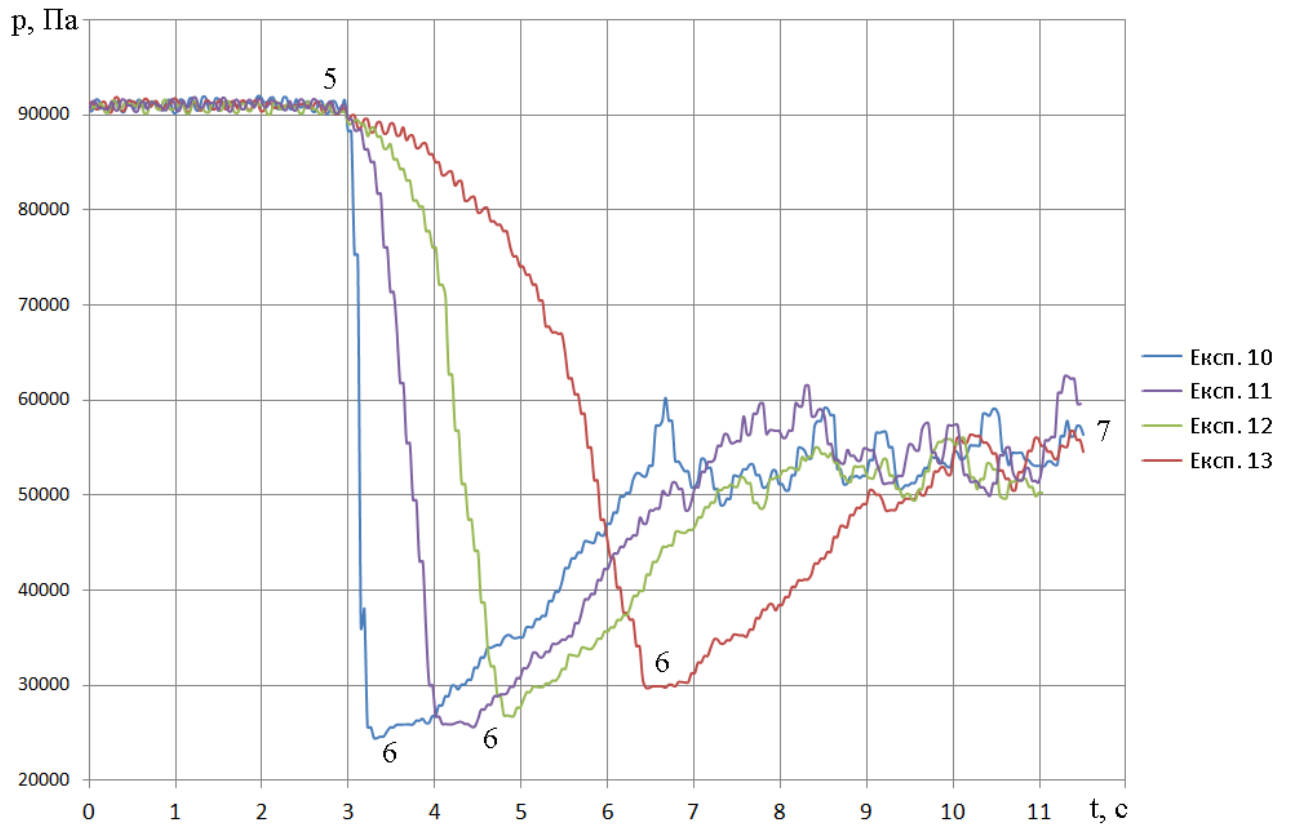


Рисунок 5.4 – Зменшення тиску в системі впуску двигуна ВАЗ-2101 при закритті дросельної заслінки (двигун працює без навантаження)

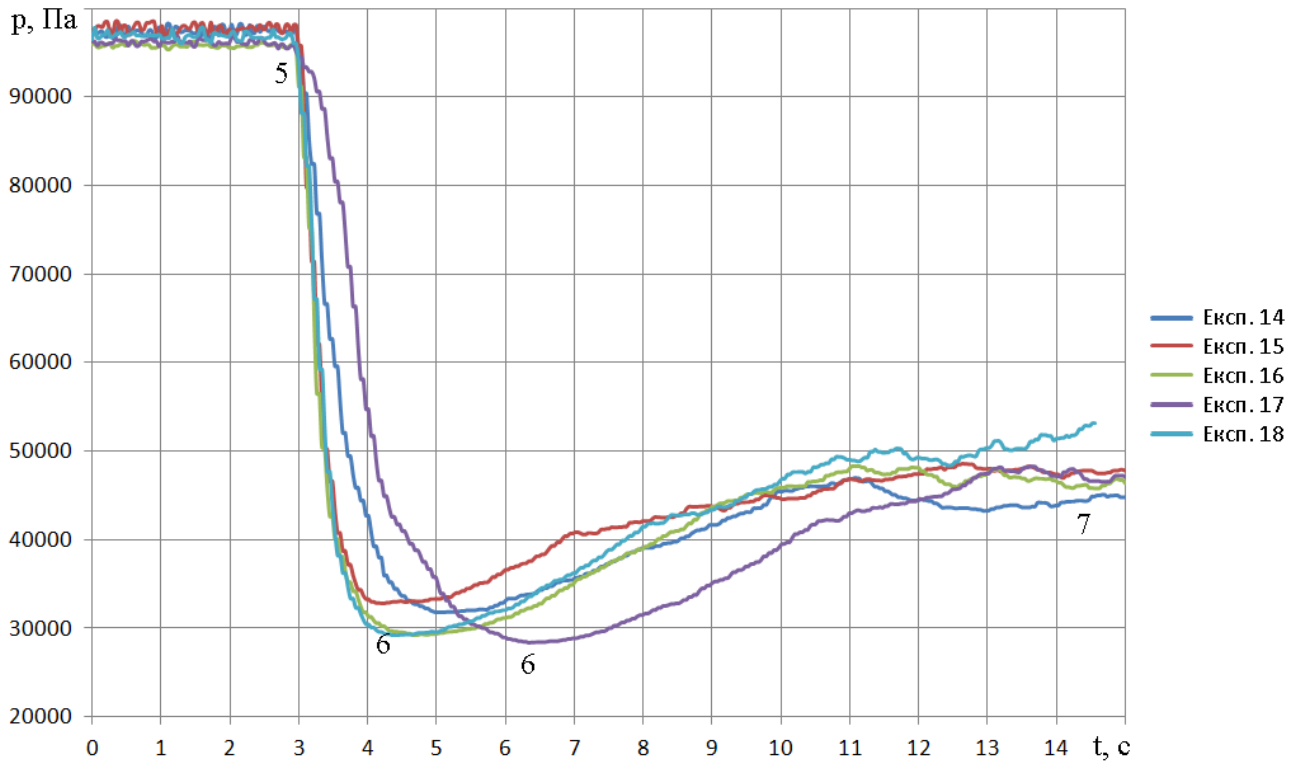


Рисунок 5.5 – Зменшення тиску в системі впуску двигуна ВАЗ-2101 при закритті дросельної заслінки та зменшенні навантаження на двигун

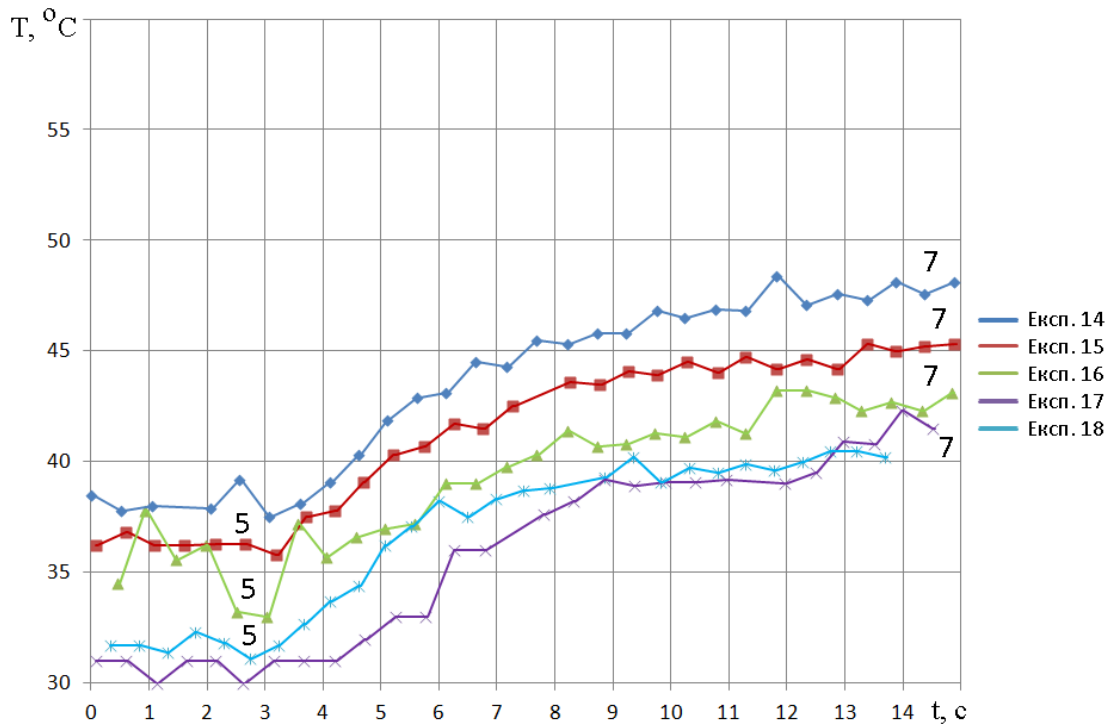


Рисунок 5.6 – Зростання температури в системі впуску двигуна ВАЗ-2101 при закритті дросельної заслінки та зменшенні навантаження на двигун

На 3,0-й секунді (умовна точка 5 на рисунку 5.5) відбувається відтискання ПУ ДЗ до положення «натиснута 10 %» з різною швидкістю та швидко зменшення навантаження на двигун. В даному випадку графіки тиску мають інший характер, ніж коли двигун працює без навантаження (експерименти № 10–13).

Також має місце швидке зменшення тиску з послідовним його зростанням до величини $p = 47,3$ кПа (умовна точка 7 на рис. 5.5). Оберти двигуна в цей час зменшились до $n = 1200 \dots 1550$ хв⁻¹, причому менший обертам відповідає більший тиск, і навпаки.

На рисунку 5.6 показано зміну температури у впускному колекторі при закритті дросельної заслінки та зменшенні навантаження на двигун.

При роботі двигуна ВАЗ-2101 під навантаженням (див. пояснення до рисунку 5.5) визначено температуру при закритті ДЗ (див. рис. 5.6). З рисунку 5.6 видно, що після початку закриття ДЗ (умовна точка 5) температура поступово підвищується і потім (умовна точка 7) вирівнюється.

5.2 Апроксимація поліноміальної функції $T = f(t)$

Оскільки на перехідних режимах роботи двигуна характер зміни температури є достатньо повторюваним, але велику корекцію вносить температура стінок впускного колектора, прийнято рішення знайти функцію, за допомогою якої можна було б описати даний процес.

За новий початок відліку беремо початок зміни положення ДЗ.

Користуючись методиками [45, 46, 47] визначаємо, що для експериментів 14–18 функція $T = f(t)$ – поліноміальна 3-го ступеня, де T – температура, °C, t – час, с.

З числових значень експерименту № 14 складаємо таблицю початкових даних (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Таблиця початкових даних

i	x_i	y_i	i	x_i	y_i
1	0,075	37,5	13	6,225	45,8
2	0,6	38,1	14	6,75	46,8
3	1,125	39,1	15	7,2375	46,5
4	1,6125	40,3	16	7,7625	46,9
5	2,1	41,9	17	8,2875	46,8
6	2,625	42,9	18	8,8125	48,4
7	3,1125	43,1	19	9,3375	47,1
8	3,6375	44,5	20	9,8625	47,6
9	4,1625	44,3	21	10,3875	47,3
10	4,6875	45,5	22	10,875	48,1
11	5,2125	45,3	23	11,3625	47,6
12	5,7375	45,8	24	11,8875	48,1

Складаємо таблицю допоміжних величин (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Таблиця допоміжних величин для знаходження поліноміальної кубічної функції $T = f(t)$

i	x_i	y_i	x_i^2	x_i^3	x_i^4	x_i^5	x_i^6	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2 \cdot y_i$	$x_i^3 \cdot y_i$
1	0.075	37.5	0.0056	0.0004	0	0	0	2.8125	0.2109	0.0158
2	0.6	38.1	0.36	0.216	0.1296	0.0778	0.0467	22.86	13.716	8.2296
3	1.125	39.1	1.2656	1.4238	1.6018	1.802	2.0273	43.9875	49.4859	55.6717
4	1.6125	40.3	2.6002	4.1928	6.7608	10.9018	17.5792	64.9838	104.7863	168.9679
5	2.1	41.9	4.41	9.261	19.4481	40.841	85.7661	87.99	184.779	388.0359
6	2.625	42.9	6.8906	18.0879	47.4807	124.6369	327.1718	112.6125	295.6078	775.9705
7	3.1125	43.1	9.6877	30.1528	93.8507	292.1103	909.1932	134.1488	417.538	1299.587
8	3.6375	44.5	13.2314	48.1292	175.0701	636.8175	2316.4238	161.8688	588.7976	2141.7512
9	4.1625	44.3	17.3264	72.1212	300.2044	1249.6006	5201.4626	184.3987	767.5598	3194.9677
10	4.6875	45.5	21.9727	102.9968	482.7976	2263.1139	10608.3462	213.2813	999.7559	4686.3556
11	5.2125	45.3	27.1702	141.6244	738.2174	3847.9581	20057.4819	236.1263	1230.8081	6415.5871
12	5.7375	45.8	32.9189	188.8722	1083.6544	6217.4671	35672.7172	262.7775	1507.6859	8650.3479
13	6.225	45.8	38.7506	241.2226	1501.6109	9347.5281	58188.3624	285.105	1774.7786	11047.9969
14	6.75	46.8	45.5625	307.5469	2075.9414	14012.6045	94585.0803	315.9	2132.325	14393.1938
15	7.2375	46.5	52.3814	379.1104	2743.8117	19858.3373	143724.7164	336.5438	2435.7354	17628.6349
16	7.7625	46.9	60.2564	467.7404	3630.8345	28184.3528	218781.0383	364.0612	2826.0255	21937.0226
17	8.2875	46.8	68.6827	569.2075	4717.3073	39094.684	323997.1936	387.855	3214.3483	26638.9116
18	8.8125	48.4	77.6602	684.3801	6031.0999	53149.0676	468376.1582	426.525	3758.7516	33123.9981
19	9.3375	47.1	87.1889	814.1264	7601.9054	70982.7914	662801.8149	439.7963	4106.5975	38345.354
20	9.8625	47.6	97.2689	959.3146	9461.2401	93311.4807	920284.4785	469.455	4629.9999	45663.3744
21	10.3875	47.3	107.9002	1120.8129	11642.4437	120935.8841	1256221.4964	491.3288	5103.6774	53014.4489
22	10.875	48.1	118.2656	1286.1387	13986.7581	152105.9939	1654152.6833	523.0875	5688.5766	61863.2701
23	11.3625	47.6	129.1064	1466.9715	16668.4641	189395.4237	2152005.5021	540.855	6145.4649	69827.8454
24	11.8875	48.1	141.3127	1679.8542	19969.2668	237384.6593	2821910.1372	571.7887	6797.1388	80800.9871
Σ	143.475	1075.3	1162.1756	10593.5048	102979.8995	1042448.1344	10850226.8775	6680.1487	54774.1506	502070.5256

Знаходимо коефіцієнти a , b , c рівняння квадратичної регресії $\hat{y} = ax^3 + bx^2 + cx + d$ з системи рівнянь:

$$\begin{cases} a \sum x_i^3 + b \sum x_i^2 + c \sum x_i + nd = \sum y_i, \\ a \sum x_i^4 + b \sum x_i^3 + c \sum x_i^2 + d \sum x_i = \sum x_i y_i, \\ a \sum x_i^5 + b \sum x_i^4 + c \sum x_i^3 + d \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i, \\ a \sum x_i^6 + b \sum x_i^5 + c \sum x_i^4 + d \sum x_i^3 = \sum x_i^3 y_i; \end{cases} \quad (5.1)$$

Після підстановки отримуємо:

$$\begin{cases} 10593.5048a + 1162.1756b + 143.475c + 24d = 1075.3, \\ 102979.8995a + 10593.5048b + 1162.1756c + 143.475d = 6680.1487, \\ 1042448.1344a + 102979.8995b + 10593.5048c + 1162.1756d = 54774.1506, \\ 10850226.8775a + 1042448.1344b + 102979.8995c + 10593.5048d = 502070.5256. \end{cases}$$

Вирішуємо цю систему лінійних рівнянь методом Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 10593.5048 & 1162.1756 & 143.475 & 24 \\ 102979.8995 & 10593.5048 & 1162.1756 & 143.475 \\ 1042448.1344 & 102979.8995 & 10593.5048 & 1162.1756 \\ 10850226.8775 & 1042448.1344 & 102979.8995 & 10593.5048 \end{vmatrix} =$$

$$= 646509782158.7252$$

$$\Delta_a = \begin{vmatrix} 1075.3 & 1162.1756 & 143.475 & 24 \\ 6680.1487 & 10593.5048 & 1162.1756 & 143.475 \\ 54774.1506 & 102979.8995 & 10593.5048 & 1162.1756 \\ 502070.5256 & 1042448.1344 & 102979.8995 & 10593.5048 \end{vmatrix} =$$

$$= 5394574812.0453 \Rightarrow a = \frac{\Delta_a}{\Delta} = \frac{5394574812.0453}{646509782158.7252} \approx 0.0083;$$

$$\Delta_b = \begin{vmatrix} 10593.5048 & 1075.3 & 143.475 & 24 \\ 102979.8995 & 6680.1487 & 1162.1756 & 143.475 \\ 1042448.1344 & 54774.1506 & 10593.5048 & 1162.1756 \\ 10850226.8775 & 502070.5256 & 102979.8995 & 10593.5048 \end{vmatrix} =$$

$$= -163170192925.8188 \Rightarrow b = \frac{\Delta b}{\Delta} = \frac{-163170192925.8188}{646509782158.7252} \approx -0.2524;$$

$$\Delta c = \begin{vmatrix} 10593.5048 & 1162.1756 & 1075.3 & 24 \\ 102979.8995 & 10593.5048 & 6680.1487 & 143.475 \\ 1042448.1344 & 102979.8995 & 54774.1506 & 1162.1756 \\ 10850226.8775 & 1042448.1344 & 502070.5256 & 10593.5048 \end{vmatrix} =$$

$$= 1786209667059.6316 \Rightarrow c = \frac{\Delta c}{\Delta} = \frac{1786209667059.6316}{646509782158.7252} \approx 2.7629;$$

$$\Delta d = \begin{vmatrix} 10593.5048 & 1162.1756 & 143.475 & 1075.3 \\ 102979.8995 & 10593.5048 & 1162.1756 & 6680.1487 \\ 1042448.1344 & 102979.8995 & 10593.5048 & 54774.1506 \\ 10850226.8775 & 1042448.1344 & 102979.8995 & 502070.5256 \end{vmatrix} =$$

$$= 23808354304895.9 \Rightarrow d = \frac{\Delta d}{\Delta} = \frac{23808354304895.9}{646509782158.7252} \approx 36.826.$$

Тоді шукане рівняння кубічної регресії отримає вигляд

$$\hat{y} = 0,0083x^3 - 0,2524x^2 + 2,7629x + 36,826.$$

Виконуємо побудову графіка рівняння регресії (рис. 5.7).

Для оцінки значимості параметрів регресії і кореляції:

– знаходимо середнє значення у:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i, \quad (5.2)$$

$$\bar{y} = \frac{1075.3}{24} = 44.8042;$$

– складаємо таблицю допоміжних величин (табл. 5.4).

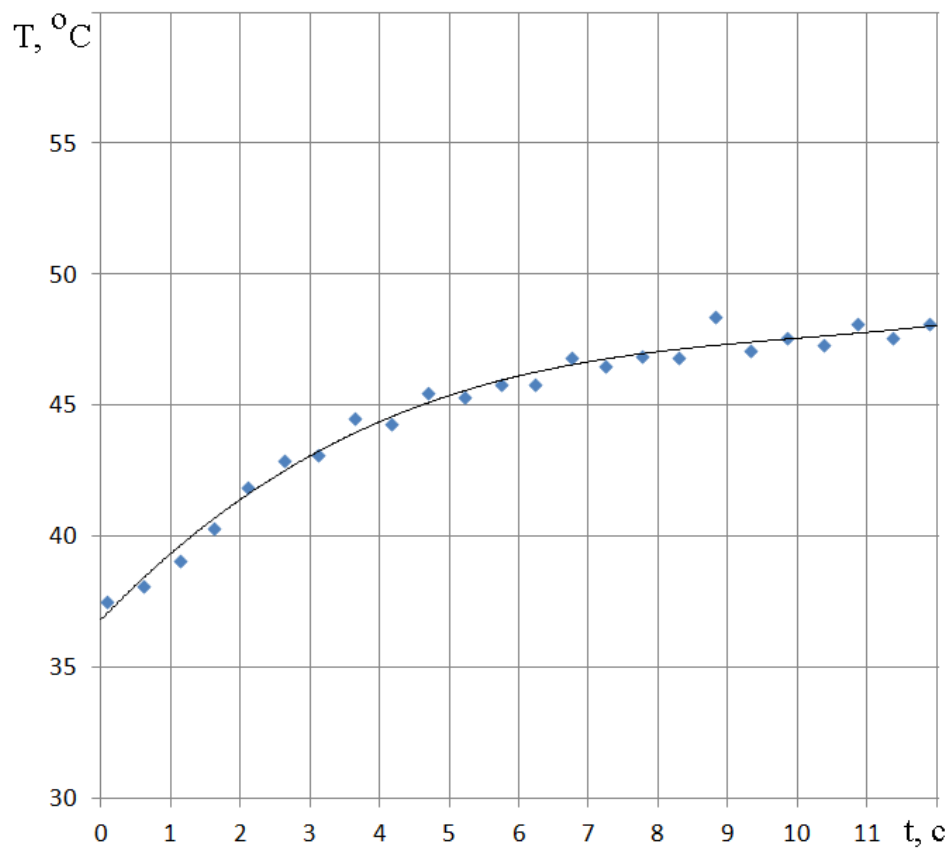


Рисунок 5.7 – Значення температури для експерименту № 14 та графік функції

$$\hat{y} = 0,0083x^3 - 0,2524x^2 + 2,7629x + 36,826$$

Знаходимо індекс кореляції:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (5.3)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{3.7585}{246.1696}} = 0,9923.$$

Знаходимо індекс детермінації:

$$R^2 = 0,9923^2 = 0,9847.$$

Таблиця 5.4 – 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	0.075	37.5	37.0318	-7.3042	53.3509	0.4682	0.2192	0.0125	—	—
2	0.6	38.1	38.3946	-6.7042	44.9459	-0.2946	0.0868	0.0077	-0.7629	0.5819
3	1.125	39.1	39.6266	-5.7042	32.5375	-0.5266	0.2773	0.0135	-0.232	0.0538
4	1.6125	40.3	40.6598	-4.5042	20.2875	-0.3598	0.1295	0.0089	0.1668	0.0278
5	2.1	41.9	41.5922	-2.9042	8.4342	0.3078	0.0947	0.0073	0.6676	0.4457
6	2.625	42.9	42.4903	-1.9042	3.6259	0.4097	0.1679	0.0096	0.1019	0.0104
7	3.1125	43.1	43.2319	-1.7042	2.9042	-0.1319	0.0174	0.0031	-0.5416	0.2934
8	3.6375	44.5	43.938	-0.3042	0.0925	0.562	0.3158	0.0126	0.6939	0.4815
9	4.1625	44.3	44.5552	-0.5042	0.2542	-0.2552	0.0651	0.0058	-0.8172	0.6678
10	4.6875	45.5	45.0907	0.6958	0.4842	0.4093	0.1676	0.009	0.6645	0.4416
11	5.2125	45.3	45.5517	0.4958	0.2459	-0.2517	0.0634	0.0056	-0.661	0.437
12	5.7375	45.8	45.9455	0.9958	0.9917	-0.1455	0.0212	0.0032	0.1062	0.0113
13	6.225	45.8	46.2574	0.9958	0.9917	-0.4574	0.2092	0.01	-0.3119	0.0973
14	6.75	46.8	46.5421	1.9958	3.9834	0.2579	0.0665	0.0055	0.7153	0.5117
15	7.2375	46.5	46.7651	1.6958	2.8759	-0.2651	0.0703	0.0057	-0.523	0.2736
16	7.7625	46.9	46.9676	2.0958	4.3925	-0.0676	0.0046	0.0014	0.1975	0.039
17	8.2875	46.8	47.1381	1.9958	3.9834	-0.3381	0.1143	0.0072	-0.2705	0.0732
18	8.8125	48.4	47.2838	3.5958	12.93	1.1162	1.2459	0.0231	1.4543	2.1149
19	9.3375	47.1	47.412	2.2958	5.2709	-0.312	0.0973	0.0066	-1.4282	2.0397
20	9.8625	47.6	47.5299	2.7958	7.8167	0.0701	0.0049	0.0015	0.3821	0.146
21	10.3875	47.3	47.6448	2.4958	6.2292	-0.3448	0.1189	0.0073	-0.4149	0.1721
22	10.875	48.1	47.7551	3.2958	10.8625	0.3449	0.119	0.0072	0.6897	0.4757
23	11.3625	47.6	47.8748	2.7958	7.8167	-0.2748	0.0755	0.0058	-0.6197	0.3841
24	11.8875	48.1	48.0209	3.2958	10.8625	0.0791	0.0063	0.0016	0.3539	0.1252
Σ	—	—	—	—	246.1696	—	3.7585	0.1816	—	9.9046

Знаходимо середню похибку апроксимації за формулою (5.7):

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%, \quad (5.4)$$

$$\bar{A} = \frac{0,1816}{24} \cdot 100\% = 0,7566 \, \%.$$

Визначаємо F-критерій Фішера:

– критичний (табличний)

$$F_{\text{табл}} = F(\alpha, k_1, k_2), \quad (5.5)$$

$$F_{\text{табл}} = F(0.05, 3, 20) = 3.0984;$$

– фактичний

$$F_{\text{факт}} = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{k_2}{k_1}, \quad (5.6)$$

$$F_{\text{факт}} = \frac{0.9847}{1 - 0.9847} \cdot \frac{20}{3} = 429.9744,$$

де $k_1 = m = 3$;

$k_2 = n - m - 1 = 24 - 3 - 1 = 20$;

$\alpha = 0.05$;

m – число параметрів при перемінних рівняння регресії.

Таким чином, можна стверджувати, що отримана функція

$$T = 0.0083 \cdot t^3 - 0.2524 \cdot t^2 + 2.7629 \cdot t + 36.826$$

є справедливою.

Останній член полінома «36,826» представляє собою значення температури газу в патрубку впускного колектора в момент початку процесу закриття дросельної заслінки. Змінюючи цей член, можна знайти значення інших функцій $T = f(t)$ (при інших початкових температурах), які будуть достатньо справедливі. Тоді рівняння набуває вигляду

$$T = 0.0083 \cdot t^3 - 0.2524 \cdot t^2 + 2.7629 \cdot t + T_0.$$

5.3 Висновки за результатами проведених експериментів

Встановлено характер зміни тиску та температури при роботі на перехідних режимах – під час процесу відкриття та закриття дросельної заслінки карбюраторного двигуна ВАЗ-2101.

Визначено абсолютні значення та закономірності зміни тиску (з врахуванням конструктивних особливостей карбюратора) з похибкою 0,05 %.

Встановлені закономірності зміни температури потребують подальшого уточнення, оскільки у двигуна ВАЗ-2101 впускний колектор знаходиться безпосередньо над випускним колектором, тому під час тривалої роботи розігрівається, що вносить статистично важливу помилку у отримані результати. На рисунку 5.8 на однотипних ділянках видно, як поступово змінюються значення температури тіла у впускному колекторі при проведенні експериментів (за 6,5 хв температура зменшилась на 10°C). Під час роботи двигуна під навантаженням температура поступово зростає, під час роботи на режимах $n = 1400 \dots 1500 \text{ хв}^{-1}$ – навпаки, поступово знижується, оскільки колектори двигуна охолоджуються. Розташування органів впуску і випуску з одного боку блоку циліндрів можна визначити це як конструктивний недолік двигуна ВАЗ-2101.

Незважаючи на це, власне характер зміни температури на перехідних режимах можна вважати дослідженим.

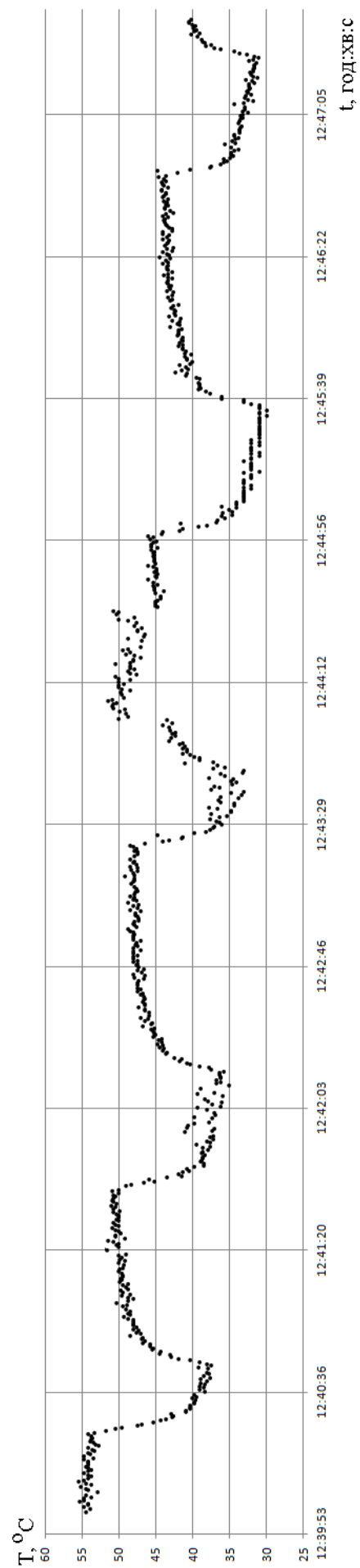


Рисунок 5.8 – Зміна температури в системі впуску двигуна ВА3-2101 при відкритті та при закритті дросельної

заслінки

Розроблено рівняння зміни температури бензино-повітряної суміші в патрубку впускного колектора з моменту початку процесу закриття дросельної заслінки до закінчення перехідного процесу

$$T = 0,0083 \cdot t^3 - 0,2524 \cdot t^2 + 2,7629 \cdot t + T_0.$$

Отримані дані можуть бути використані в подальших науково-дослідних роботах, присвячених питанню підвищення ефективності роботи ДВЗ за рахунок модернізації системи впуску та живлення на перехідних режимах, у математичних моделях.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У розділі подано аналіз потенційних небезпек та основні заходи з охорони праці при дослідженні стану повітря у впускній системі бензинового 4-тактного ДВЗ при роботі на різних режимах [28, 29].

6.1 Аналіз потенційних небезпек

Проведено аналіз потенційних небезпек під час виконання експериментальних та теоретичних досліджень:

- можливість ураження електричним струмом, де основними причинами можуть бути: випадкове доторкання і наближення до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою, 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:

- а) незадовільне освітлення робочого місця може призвести до втоми та травмування дослідника;

- б) тривале статичне напруження м'язів спини, шиї, рук і ніг, що призводить до втоми і специфічних скарг;

- в) важкість, напруженість, монотонність роботи за ПК призводять до захворювань загально-невротичного характеру у вигляді підвищеної загальної втоми, головного болю, відчуття важкості голови, поганого сну;

- в) незадовільні параметри повітряного середовища мікроклімату в приміщенні лабораторії обладнаної ПК, внаслідок неефективної роботи систем опалення та кондиціонування (повітрообміну);

- незадовільна організація робочого місця сприяє підвищеній втомлюваності;
- незадовільні параметри мікроклімату в приміщенні дослідницької лабораторії внаслідок нагріву повітряного середовища від роботи двигуна внутрішнього згорання;
- незадовільний рівень освітлення приміщення дослідницької лабораторії призводить до перевтомлення органів зору дослідника, зниження загальної продуктивності та уваги, що призводить до помилок у виконанні науково-дослідних процедур;
- незадовільний стан повітряного середовища через шкідливі речовини, які містяться у відпрацьованих газах, що викидаються двигунами, призводить до отруєння організму;
- підвищення рівня шуму та вібрації від працюючого двигуна на робочому місці призводить до погіршення самопочуття, зниження працездатності та уваги дослідника, що може привести до травмування;
- під час проведення експерименту можливе попадання паливо-мастильних матеріалів на розігріті частини двигуна, що може призвести до пожежі, внаслідок чого можливе травмування, отруєння або летальний наслідок;
- при неефективному управлінні персоналом невоєнізованих формувань можливе травмування та навіть загибель людей.

6.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Особи, що працюють з обладнанням під напругою, пройшли навчання і перевірку знань з електробезпеки та згідно ДНАОП 1.1.10-1.01-2000 «Правила безпечної експлуатації електроустановок – споживачів» і отримали певну групу з електробезпеки. Для запобігання ураження електричним струмом необхідно

зробити захисне заземлення. 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».

6.3 Заходи по забезпеченню гігієнічної санітарії та гігієни праці

Для ефективної роботи слід забезпечити належні метеоумови на робочому місці. Параметри мікроклімату приміщення встановлюють згідно ДСН 3.3.6.042-99 [34] в залежності від категорії робіт за важкістю. Для забезпечення цих параметрів передбачають системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря.

Оскільки висота дослідницького приміщення становить 4,90 м, встановлюємо люмінесцентні лампи типів ЛБ чи ЛД потужністю 60 Вт, що буде відповідати В класу зорової роботи відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [30].

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

Для захисту від шуму передбачають наступні заходи:

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

При роботі на ПК проводимо заміри шкідливих факторів на робочому місці та вносимо наявні фактори умов праці та виробничого середовища що впливають на працівника в процесі трудової діяльності їх фактичне значення та час дії вносимо до стовпчиків 1–3 таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати оцінювання за бальною шкалою

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

2. Відповідно до додатка А [28], за витратами енергії, визначаємо категорію робіт для інженера-дослідника центральній заводській лабораторії обладнаної ПК. Умови праці, за витратами енергії, не перевищують 139 Вт (90-120 ккал/год) та повинні відповідати легким фізичним роботам – категорії І-а.

3. З додатків [28], відповідно до категорії робіт І-а, розряду зорових робіт Б-1 та виявлених показників умов та напруженості праці, визначаємо ГДК (ГДР) виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 4 таблиці 6.1.

4. Для окремих факторів і показників за методикою, визначеною «Гігієнічною класифікацією праці», визначаємо розрахункові коефіцієнти $X_{\text{визн}}$ та вносять їх значення до стовпчика 5 таблиці 6.1:

– для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС- індекс, додаток Б [28]. Розрахунковий коефіцієнт $X_{\text{визн}}$ при оцінка мікроклімату визначаємо в балах, за формулою:

$$X_{\text{визн}} = \frac{3 \cdot t_3}{T} = \frac{3 \cdot 9}{10} = 2,7; \quad (6.1)$$

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

$$X_{\text{визн}} = \frac{\Pi_{\text{вим}} \cdot T \cdot K_{\text{знач}}}{8 \cdot P_{\text{доп}}}; \quad (6.2)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

5. Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 6, таблиці 6.1:

– для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта $X_{\text{визн}} = 2,7$, з таблиці 7.2 [28] – 3 клас, 3 ступінь (3.3);

– при оцінці освітленості робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до $P_{\text{вим}} = 200$ лк, за додатками Г та табл. Г.1 [28] – 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 $P_{\text{вим}} = 95$ дБА, за додатками Д та табл. Д.1 [28] – 3 клас, 2 ступінь (3.2);

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

$$X_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n X_i = 0,57 + 1,38 + 0,95 + 0,23 = 3,13. \quad (6.3)$$

З таблиці 7.3 [28] за значенням суми розрахованих балів показників

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

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

7. Оскільки при гігієнічній оцінці виявлена наявність шкідливих та особливо шкідливих, важких та особливо важких умов праці, проводимо дослідження фактичного стану умов праці, з метою визначення розмірів доплат за ступені шкідливості факторів виробничого середовища та показників важкості та напруженості праці за бальною шкалою, та вносимо їх значення до стовпчика 7, таблиці 6.1:

- для оцінки впливу мікроклімату виходимо з того, що він відповідає 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час його дії уже врахований, тому $X_{\text{ст}} = X_i = 3$;
- при оцінці впливу освітленості виходимо з того, що вона відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 10 годин, тому $X_{\text{ст}} = X_i = 1$;
- для оцінки впливу шуму виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 5 годин, тому значення X_i визначаємо по формулою

$$X_i = X_{\text{ст}} \cdot \frac{T}{8} = 2 \cdot 0.625 = 1,25; \quad (6.4)$$

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

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

$$X_{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n X_i = 3 + 1 + 1,25 + 3 = 8,25. \quad (6.5)$$

8. Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану – $X_{\text{факт}} = 8,25$, на підставі Типового положення «Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт,

на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці», з таблиці 7.4 [28]. Розмір доплати до тарифної ставки (окладу) – 20 %.

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

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

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

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища - ТНС-індексом – 21,0...23,4 ° С;
- освітленість кабінетів та робочих кімнат відповідає розряду зорових робіт Б-1, нормована загальна освітленість якого – $E = 300$ лк;
- рівень шуму в робочий зоні інженера-дослідника ЦЗЛ – 80 дБА;
- загальні енергозатрати організму – до 139 Вт;
- стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук) – до 40000;
- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни) – до 75 %;
- тривалість робочого дня – 6 або 7 год.

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

- для приведення мікрокліматичних умов до відповідності, необхідно забезпечити припливно-витяжну механічну вентиляцію та кондиціювання приміщення;
- освітленість приміщення відповідає нормам тому корегувати немає необхідності;
- для зниження рівня шуму в робочій зоні дослідника лабораторії необхідно замість матричних принтерів застосувати лазерні; з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом;
- для зменшення загальних енергозатрат організму, необхідно скоротити тривалість робочого дня до 6 або 7 год.
- для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин, кожні 1...2 години;
- для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви.

4. Якщо, з об'єктивних причин, вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці, відповідно до таблиці 7.4 [28], у розмірі 20 %.

6.4 Заходи по забезпеченню пожежної безпеки

Для запобігання виникненню пожежі в дослідницькій лабораторії необхідно розрахувати кількість вогнегасників та місце їх установки. В лабораторії застосовується паливо(бензин), масло, дизпаливо, розчинники. Ці речовини можна віднести до класу пожежі А. Приміщення по вибухонебезпечності та пожежонебезпечності можна віднести до категорії В. Площа приміщення складає 110 м². Тому кількість вогнегасників вибираємо 4

вогнегасника ПВП-5 відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016, НАПБ А.01.001-14 [32, 33].

6.5 Заходи з цивільного захисту

Невоєнізовані формування (НФ) – це група робітників та службовців об'єкта, які об'єднані в окремий підрозділ, оснащений спеціальною технікою і майном, без звільнення їх основної роботи і призначені для ведення РІНР при виникненні надзвичайної ситуації.

Формування можуть бути загального призначення і забезпечення (служб ЦО), за підпорядкованістю – територіальні й об'єктові.

Невоєнізовані формування загального призначення є основними підрозділами НФ ЦО. Вони створюються на територіях відповідно до адміністративно-територіального поділу України, на об'єктах господарювання і призначені для пошуку і порятунку потерпілих у районах лиха, надання їм долікарняної допомоги, проведення невідкладних робіт, які сприяють порятунку людей, захисту їх життя та здоров'я. Організаційно вони можуть бути зведені в загони, команди, групи.

Невоєнізовані формування забезпечення створюються в адміністративно-територіальних одиницях, на об'єктах господарювання і призначені для вирішення спеціальних завдань та всебічного забезпечення РІНР у районах стихійного лиха й вогнищах ураження.

Організаційно це можуть бути загони, команди, колони, бригади, дружини, групи, відділення, пости. Вони можуть виконувати такі завдання:

- ведення розвідки;
- забезпечення зв'язком;
- ведення медичної розвідки, надання медичної допомоги;
- проведення протиепідемічних і санітарно-гігієнічних заходів;

- локалізація і гасіння пожеж;
- ведення інженерної розвідки, РІНР, відновлення і ремонт доріг та дорожніх споруд;
- ведення аварійно-технічних робіт на мережах і спорудах комунально-енергетичного господарства;
- проведення санітарної і спеціальної обробки людей, техніки, майна, а також територій;
- перевезення людей і матеріальних цінностей;
- підтримка суспільного порядку, несення комендантської служби;
- забезпечення гарячим харчуванням, водою, продовольством, одягом, взуттям тощо.

Територіальні невоєнізовані формування загального призначення створюються на базі підприємств та організацій обласного, районного, міського підпорядкування, підкоряються начальникам Цивільної оборони відповідних територій і використовуються за їхніми розпорядженнями.

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:

$$B_M = (1 + K_{Т.З.}) \cdot \sum_{i=1}^n (\Pi_i \cdot N_i - \Pi_{iB} \cdot N_{iB}), \quad (7.1)$$

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

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

N_i – необхідна потреба в матеріалі і-го найменування;

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

Π_{iB} – 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	120,00	240,00
2	Канц. товари набір	грн.	1	350,00	350,00
	Підсумок за винятком зворотних витрат	—	—	—	590,00
	Транспортно- заготівельні витрати	%	10	10,00	59,00
	Разом із транспортно- заготівельн. витратами	—	—	—	649,00

7.3 Розрахунок вартості палива й енергії

Витрати на силову енергію E_c визначають по формулі:

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

де Π_y – установлена потужність енергетичних струмоприймачів устаткування, кВт;

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи даного виду устаткування, годин, визначено із розрахунку 89 робочих днів магістранта, який працював за комп'ютером 7 годин щодня;

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

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

$\text{ККД} = 0,8 \dots 0,9$.

$$E_c = \frac{0,6 \cdot 623 \cdot 0,8 \cdot 1,95}{0,9} = 647,92 \text{ грн.}$$

Виконані розрахунки заносимо 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	623	1,95 за 1 кВт·год	647,92
Двигун ВАЗ-2101	бензин А-92	3	2	22,10 за 1 л	132,6
Разом					780,52

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. Розраховуємо суму амортизації комп'ютерного обладнання та двигуна:

$$CA_{\text{комп}} = 12000 \cdot \frac{780}{1920} \cdot \frac{50}{100} = 2437,50 \text{ грн.},$$

$$CA_{\text{двигун}} = 35000 \cdot \frac{2}{100} \cdot \frac{50}{100} = 87,5 \text{ грн.}$$

Результати розрахунку зводимо у таблицю 7.3.

Таблиця 7.3 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Устаткування, прилади	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Зайнятість устаткування, год	Річний ефективний фонд часу, год	Сума амортизації, грн.
Комп'ютерне обладнання	12000,00	50	780	1920	2437,50
Двигун ВАЗ-2101	35000,00	50	2	100	87,5
Разом					2525,00

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.

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

$$ЗП_{\text{премія}} = 50715 \cdot 0,1 = 5071,50 \text{ грн.}$$

Заробітна плата основна і додаткова

$$ЗП = 50715 + 5071,5 = 55786,50 \text{ грн.}$$

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	9300,00	465,00	64	29760,00
Магістрант	1	2400,00	120,00	89	10680,00
Економіст	1	9300,00	465,00	10	4650,00
Спеціаліст з охорони праці	1	7500,00	375,00	15	5625,00
Підсумок	4	—	1800,00	178	50715,00

7.6 Внески на соціальні заходи

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

$$B_{cz} = \frac{(3\Pi_o + 3\Pi_d) \cdot Y_{cz}}{100\%} \quad (7.3)$$

$$B_{cz} = \frac{(50715,00 + 5071,50) \cdot 22}{100} = 12273,03 \text{ грн.}$$

де $Y_{cz} = 22\%$ – питома вага внесків на соціальні заходи, визначається згідно діючого законодавства.

7.7 Накладні витрати

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

$$B_n = 3\Pi_o \cdot 0,5, \quad (7.4)$$

$$B_n = 50715,00 \cdot 0,5 = 25357,50 \text{ грн.}$$

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	649,00	0,67
Паливо й енергія зі сторони	780,52	0,8
Амортизація універсального устаткування	2525,00	2,59
Заробітна плата основна і додаткова	55786,50	57,29
Відрахування на соціальні заходи	12273,03	12,60
Накладні витрати	25357,50	26,04
Усього	97371,55	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:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (7.5)$$

$$K_{\text{НДР}} = \frac{3^2 \cdot 3 \cdot 2}{97,37155 \cdot 0,25} = 2,22,$$

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 $J = 2 \dots 5$; $R = 2 \dots 5$; $T = 1 \dots 3$ (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. Впровадження отриманих результатів роботи в технологічний процес обслуговування ДВЗ дозволить підтвердити високу якість виконаної науково-дослідної магістерської роботи.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз літературних джерел показав, що дослідження стану повітря у впускній системі ДВЗ є актуальним питанням при проектуванні та експлуатації ДВЗ. Однак, попередніми дослідниками це питання вирішено частково, більшість досліджень розглядали тиск та температуру як стаціонарні величини.

В даній роботі обґрунтовано необхідність дослідження стану робочого тіла у системі впуску на перехідних режимах, особливо на малих та середніх обертах. Виконано тепловий розрахунок робочого циклу двигуна ВАЗ-2101 на номінальному режимі роботи, побудовано індикаторну діаграму. Встановлено, що отримані індикаторні показники двигуна відповідають показникам ДВЗ аналогічних конструкцій.

Проведено динамічний розрахунок двигуна ВАЗ-2101 на номінальному режимі роботи, визначено основні сили та моменти, що діють на деталі кривошипно-шатунного механізму та циліндропоршневої групи.

Проведено експериментальні дослідження щодо визначення стану тиску і температури та їх зміни протягом перехідних процесів, зокрема, збільшення та зменшення обертів за рахунок відкриття/закриття дросельної заслінки карбюратора. Вперше отримано графічні залежності вказаних процесів, а також математичними методами отримана кубічна функція

$$T = 0,0083 \cdot t^3 - 0,2524 \cdot t^2 + 2,7629 \cdot t + T_0,$$

за допомогою якої можна знайти значення температури при різних початкових температурах під час процесу дроселювання.

Проведено аналіз потенційних небезпек, які можуть підстерігати дослідника при проведенні дослідження бензинового чотиритактного двигуна, розроблено заходи по їх усуненню, розглянуто питання цивільного захисту.

Визначено витрати на виконання магістерської роботи за умов мінімізації витрат трудових, матеріальних й грошових ресурсів. Кошторис витрат на виконання роботи склав 97371,55 грн. Розрахований коефіцієнт техніко-економічної ефективності робіт $K_{\text{ндр}} > 1$, тому дослідницька робота вважається ефективною.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Дьяченко, В.Г. Газообмен в двигателях внутреннего сгорания: учеб. пособие [Текст] / В.Г. Дьяченко. – К.: УМК ВО, 1989. – 204 с.
2. Беляев, В.А. Повышение качества диагностирования газораспределительного механизма ДВС [Текст] / В.А. Беляев, В.Н. Кузнецов, Ф.П. Мельников, А.В. Яркин // Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: матер. 6-й Всерос. науч.-практ. конф. (6-7 июля 2012 г.) / под ред. д.т.н., проф. А.Г. Овчаренко. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2012. – С. 250-253.
3. Мельников, Ф.П. Математическая модель для расчета давления во впускном коллекторе одноцилиндрового двигателя [Текст] / Ф.П. Мельников, В.Н. Кузнецов // Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники: матер. Междунар. науч.-практ. конф. (19-20 декабря 2013 г.). – Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. – С. 247-253.
4. Хайлов, М.А. Расчетное уравнение колебания давления во всасывающем трубопроводе двигателя внутреннего сгорания [Текст] / М.А. Хайлов // Труды Мин. авиационной промышленности СССР. – М.: Изд-во бюро новой техники, 1948. – № 152. – 16 с.
5. Круглов, М.Г. Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания [Текст] / М.Г. Круглов, А.А. Меднов. – М.: Машиностроение, 1988. – 360 с.
6. Dinesh, Prabhu B. Theory and Design of Automotive Engines [Текст] / Dinesh Prabhu B. – Mandya: KARNATAKA, 2007. – 288 p.
7. Кузнецов, В.Н. Определение потерь давления в клапанной щели двигателя внутреннего сгорания [Текст] / В.Н. Кузнецов, Ф.П. Мельников // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: матер. II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Новокузнецк, 29 ноября – 1 декабря

2012 г.). – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2012. – 326 с.

8. Кузнецов, В.Н. Расчет давления во впускном коллекторе многоцилиндрового двигателя [Текст] / В.Н. Кузнецов, В.И. Беляев, Ф.П. Мельников // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3 (125). – С. 122–126.

9. 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.

10. Карнаухова, И.В. Определение оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя [Текст] / И.В. Карнаухова // Вестник СибАДИ. – 2014. – Вып. 3 (37). – С.7–12.

11. 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>.

12. Карнаухов В.Н. Определение эффективного удельного расхода топлива для разных типов двигателей с учетом плотности, давления и температуры воздуха [Текст] / В.Н. Карнаухов, О.В. Карнаухов // Вестник Курганской ГСХА. – 2016. – №4 (20). – С.73–75.

13. Карнаухов В.Н. Сбережение топливно-энергетических ресурсов при эксплуатации автомобильного транспорта в низкотемпературных условиях: дис. доктора технических наук: 05.22.10 [Текст] / В. Н. Карнаухов; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2000. – 275 с.

14. Карнаухова, И.В. Определение массового расхода воздуха на автомобилях при низких температурах воздуха и давлении / И.В. Карнаухова // Нефть и газ Западной Сибири, материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 17-18 октября 2013г. – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2013. – С.160–163

15. Соболенко А.Н. Определение расхода топлива и моторного масла судовыми дизелями с учетом изменения внешних условий эксплуатации [Текст] / А.Н. Соболенко, Р.Р. Симашов, Д.К. Глазюк, В.В. Маницын // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – №3. – С.62–73.

16. Абросимова М.В. Оценка наполнения цилиндра ДВС свежим зарядом по результатам численного моделирования [Текст] / М.В. Абросимова, Л.А. Жолобов, И.Н. Шелякин // Вестник НГИЭИ. 2016. №10 (65). – С. 47–53.

17. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов [Текст] / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – 4-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008 – 496 с.

18. Двигатель ВАЗ-2101 [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://www.vaz2101inf.ru/dvigatel/vaz-2101/>

19. Двигатель ВАЗ-2101. Устройство. Схема [Электронный ресурс]. – Сайт «Ремонт автомобилей». – 2018. – Режим доступа: <https://remauto.info/dvigatel-vaz-2101-ustrojstvo-shema/>

20. 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.

21. Шувалов, Л.П. Автомобиль "Жигули". ВАЗ-2101, 2102, 2103 [Текст]/ Л.П. Шувалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ДОСААФ, 1974. – 366 с.

22. Ремонт, обслуживание, эксплуатация автомобилей ВАЗ 2101, 2102 (Жигули) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autoprospect.ru/vaz/2101-zhiguli/>

23. Замена прокладки впускного коллектора Ваз 2107 [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://semerkavaz.ru/sistema-pitaniya/zamena-prokladki-vpusknogo-kollektora-vaz-2107/>

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

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

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

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

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

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

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

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

35. 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.

36. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-1.71-13. – Чинний від 2014-03-28. – К. : Міненерговугілля України, 2013. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0327-14>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці)

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

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

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

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

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

42. Слинько, Г. І. Дослідження впливу конструкції впускної системи двигуна ВАЗ 2101 на поліпшення експлуатаційних характеристик [Текст] / Г. І. Слинько, В. В. Невретов // Вісник двигунобудування. – 2012. – № 1. – С. 78–82.

43. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний [Текст] : ГОСТ 14846-81. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 53 с.

44. 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 [Текст] / Укл.: Г.І. Слинько, Р.Ф. Сухонос – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 58 с.

45. Регрессионный анализ [Електронний ресурс] // Сайт «Распознавание». – 2016. – Режим доступу: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Регрессионный_анализ

46. 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>

47. Демидович, Б.П. Численные методы анализа. Приближение функций, Дифференциальные и интегральные [Текст] / Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.З. Шувалова. / Под ред. Б.П. Демидовича. – М.: Наука, 1967. – 368 с.

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

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

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

ДОДАТОК А

Витяг з протоколу вимірювання температури та тисків в системі впуску
двигуна ВАЗ-2101

Час (Години: хвилини: секунди)	Тиск у патрубку до 4-го циліндра, Па	Тиск у патрубку до 3-го циліндра, Па	Тиск за повітря- ним фільтром, Па	Температура у патрубку до 1-го циліндра, °C
---	--	--	---	--

14:08:00,927 -> 56942,61 56672,86 100397,96	
14:08:00,974 -> 56942,61 57443,37 100397,96	
14:08:00,974 -> 57972,73 57443,37 100411,85	
14:08:01,021 -> 57972,73 55754,03 100411,85	
14:08:01,068 -> 55445,44 55754,03 100390,64	
14:08:01,115 -> 55445,44 56577,24 100390,64	38,2
14:08:01,115 -> 57877,19 56577,24 100408,71	
14:08:01,162 -> 57877,19 57550,42 100408,71	
14:08:01,208 -> 57134,73 55743,79 100390,97	
14:08:01,255 -> 57134,73 55743,79 100410,71	
14:08:01,255 -> 54547,69 53048,45 100410,71	
14:08:01,302 -> 54547,69 53048,45 100406,30	
14:08:01,349 -> 53228,51 52821,17 100406,30	
14:08:01,396 -> 53228,51 52821,17 100391,34	
14:08:01,396 -> 52819,92 53755,73 100391,34	
14:08:01,443 -> 54924,57 53755,73 100414,63	
14:08:01,490 -> 54924,57 53765,19 100414,63	
14:08:01,537 -> 53666,04 53765,19 100406,03	
14:08:01,583 -> 52320,74 53269,92 100395,98	
14:08:01,630 -> 52320,74 52647,03 100395,98	38,6
14:08:01,677 -> 52936,82 52647,03 100413,68	
14:08:01,724 -> 52936,82 52533,07 100413,68	
14:08:01,724 -> 53855,50 52533,07 100403,89	
14:08:01,771 -> 53855,50 54736,56 100403,89	
14:08:01,818 -> 56033,82 54736,56 100400,71	
14:08:01,865 -> 56033,82 56075,35 100400,71	
14:08:01,865 -> 57239,72 56075,35 100398,75	
14:08:01,911 -> 57239,72 58345,49 100398,75	
14:08:01,958 -> 60441,35 58345,49 100413,78	
14:08:02,005 -> 60441,35 60427,91 100413,78	
14:08:02,005 -> 60319,66 59501,05 100403,72	
14:08:02,052 -> 60319,66 59501,05 100399,25	
14:08:02,099 -> 59171,22 58459,82 100399,25	
14:08:02,146 -> 59171,22 58459,82 100416,24	
14:08:02,146 -> 58255,89 56749,17 100416,24	37,9
14:08:02,193 -> 54809,41 56749,17 100387,82	
14:08:02,240 -> 54809,41 55424,66 100387,82	
14:08:02,286 -> 57064,70 55424,66 100420,22	
14:08:02,333 -> 54683,16 54918,19 100390,66	
14:08:02,380 -> 54683,16 54918,19 100411,89	

14:08:02,427 -> 54104,75 53496,25 100411,89
 14:08:02,474 -> 54104,75 53496,25 100412,28
 14:08:02,474 -> 54619,20 52735,17 100412,28
 14:08:02,521 -> 54619,20 52735,17 100398,72
 14:08:02,568 -> 51919,32 51970,07 100398,72
 14:08:02,615 -> 50658,73 51970,07 100396,77
 14:08:02,615 -> 50658,73 51249,17 100396,77
 14:08:02,661 -> 51949,06 51249,17 100412,61
 14:08:02,708 -> 51949,06 51814,95 100412,61 37,9
 14:08:02,755 -> 54147,17 54252,20 100402,88
 14:08:02,755 -> 54147,17 54252,20 100405,49
 14:08:02,802 -> 54899,01 55619,49 100405,49
 14:08:02,849 -> 54899,01 55619,49 100403,46
 14:08:02,896 -> 57782,38 57994,50 100403,46
 14:08:02,943 -> 59577,02 59237,14 100413,60
 14:08:02,990 -> 58322,94 59237,14 100403,76
 14:08:03,036 -> 58322,94 57752,10 100403,76
 14:08:03,036 -> 58629,16 58514,74 100405,33
 14:08:03,083 -> 58629,16 58514,74 100411,21
 14:08:03,130 -> 60302,25 60335,17 100411,21
 14:08:03,177 -> 60302,25 60335,17 100407,19
 14:08:03,224 -> 62083,42 62403,38 100412,42 38,6
 14:08:03,271 -> 63452,08 63055,00 100412,42
 14:08:03,318 -> 61071,72 63055,00 100404,25
 14:08:03,365 -> 61071,72 59528,14 100404,25
 14:08:03,365 -> 58933,32 58732,25 100416,27
 14:08:03,411 -> 58933,32 58732,25 100403,04
 14:08:03,458 -> 58961,06 59239,21 100403,04
 14:08:03,505 -> 58961,06 59239,21 100404,74
 14:08:03,505 -> 60717,77 60839,45 100404,74
 14:08:03,552 -> 60717,77 60839,45 100413,17
 14:08:03,599 -> 61845,08 60453,20 100413,17
 14:08:03,646 -> 58679,25 60453,20 100410,62
 14:08:03,646 -> 58679,25 58089,83 100410,62
 14:08:03,693 -> 56262,87 58089,83 100398,30
 14:08:03,740 -> 56262,87 55653,16 100398,30
 14:08:03,787 -> 55137,82 55155,43 100407,52 38,1
 14:08:03,833 -> 55137,82 55155,43 100408,17
 14:08:03,833 -> 57105,97 56995,27 100408,17
 14:08:03,880 -> 57105,97 56995,27 100414,77
 14:08:03,927 -> 57945,47 58773,32 100414,77
 14:08:03,974 -> 57945,47 58773,32 100402,78
 14:08:03,974 -> 60592,60 60889,14 100402,78
 14:08:04,021 -> 63005,93 60889,14 100410,03
 14:08:04,068 -> 63005,93 62867,58 100410,03
 14:08:04,115 -> 62858,94 60855,20 100408,57
 14:08:04,115 -> 62858,94 60855,20 100412,91
 14:08:04,162 -> 59986,80 60410,86 100412,91
 14:08:04,208 -> 59986,80 60410,86 100409,15
 14:08:04,255 -> 61419,85 61136,06 100409,15
 14:08:04,255 -> 61419,85 61136,06 100406,05
 14:08:04,302 -> 61501,30 60295,24 100406,05 38,2