



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА


**«Підвищення ефективності процесу згоряння палива бензинових ДВЗ
з додаванням водню»**

Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 27 Транспорт
Спеціальність 274 Автомобільний транспорт
Освітня програма Автомобільний транспорт

Шифр КвРАТ. 26 22005.000 ПЗ

Виконав студент 4 курсу група АТз-22-1  Максим ЛІРА
Підпис

Керівник к.т.н., доцент каф. ТАМ  Олег БАБАК
Підпис

Нормоконтролер к.т.н., доцент каф. ТАМ  Олег МАКОВКІН
Підпис

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ

10.06.2026
Дата

 Олександр ДИХА
Підпис

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Галузь знань 27 – Транспорт


Спеціальність – 274 Автомобільний транспорт

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

 проф., д.т.н. Духа О.В.
15 09 2026 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лірі Максиму Вячеславовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи «Підвищення ефективності процесу згоряння палива бензинових ДВЗ з додаванням водню»

керівник роботи Бабак Олег Петрович к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 8 січня 2026р. № 7 (Д26)

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла дослідження; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Визначення та оцінка наявності особливостей використання водню для підвищення ефективності згоряння бензинових ДВЗ на холостому ході; 2. Опис експериментального обладнання; 3. Огляд експериментальних досліджень, проведених з метою виявлення способів використання водню для підвищення ефективності бензинових ДВЗ на холостого ходу; 4. Виявлення можливості підвищення ефективності процесу згоряння в бензиновому ДВЗ із промотуючими добавками водню.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 75.04.26

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строки виконання	Примітка
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>20.05.2026</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.05. 2026</i>	
3	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>30.05. 2026</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>2.06. 2026</i>	
5	<i>Оформлення презентації кваліфікаційної роботи</i>	<i>5.06. 2026</i>	
6	<i>Нормоконтроль кваліфікаційної роботи</i>	<i>9.06. 2026</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>10.06. 2026</i>	

Студент

Керівник роботи


Підпис


Підпис

Максим ЛІРА
Ім'я, прізвище

Олег БАБАК
Ім'я, прізвище

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційну роботу виконано студентом гр. АТз 22-1 Ліра Максим Вячеславович на тему: «Підвищення ефективності процесу згоряння палива бензинових ДВЗ з додаванням водню».

Мета дослідження полягає в тому, щоб з'ясувати, як використання водню може підвищити ефективність згоряння бензинового ДВЗ на холостом ходу.

Рішення наступних завдань допоможе досягти поставленої мети: 1.Провести оцінку наявності особливості застосування водню для підвищення ефективності процесу згоряння бензинового ДВЗ на режимі холостого ходу 2.Визначте можливості використання прямоточних добавок водню для підвищення ефективності процесу згоряння в бензинових ДВЗ.

Об'єкт дослідження: дизельний двигун на основі бензину з промотуючими добавками водню.

Предмет дослідження: ефективність процесу згоряння бензинових двигунів внутрішнього згоряння з промотуючими добавками водню.

Методи вивчення метод дослідження, метод статистичної обробки результатів дослідження та моделювання робочого процесу

Достовірність результатів дослідження є результатом значного обсягу експериментів і статистичних методів обробки даних.

Наукові результати дослідження

Виявилось, що використання водню покращує ефективність згоряння бензинових ДВЗ на холостом ходу.

Практична значимість роботи: промотуючі добавки водню можуть підвищити продуктивність згоряння бензинових ДВЗ.

Захист включає наступне:

1. оцінку можливості застосування водню для підвищення ефективності згоряння бензинових ДВЗ на режимі холостого ходу;

2. перспективи використання промотуючих добавок водню для підвищення ефективності згоряння бензинових ДВЗ.

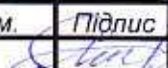



Зміст КвР та її структура

У КвР міститься вступ, чотири розділи, основні результати та висновки, а також список використаних джерел, який включає 57 назв. Робота містить 71 сторінки машинописного тексту з двома таблицями та 44 рисунками.

Ключові слова: ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЮ, ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗГОРЯННЯ, ПРОЦЕС ЗГОРЯННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 Визначення та оцінка наявності особливостей використання водню для підвищення ефективності згоряння бензинових ДВЗ на холостому ходу.....	7
1.1 Огляд літератури з проблем з роботою двигуна при додаванні водню.....	7
1.2 Методи подачі водню до ДВЗ.....	11
1.3 Ефективність роботи двигуна при додаванні водню.....	14
1.4 Токсичність роботи двигуна при додаванні водню.....	15
1.5 Двопаливний режим роботи двигуна при додаванні водню.....	16
1.6 Отримання водню при електролізі води.....	19
1.7 Невеликий патентний огляд існуючих запатентованих рішень щодо застосування добавок водню в автомобільних двигунах.....	22
РОЗДІЛ 2 Опис експериментального обладнання.....	31
2.1 Експериментальне устаткування.....	32
2.2 Датчики, які застосовуються при дослідженнях.....	33
РОЗДІЛ 3 Огляд експериментальних досліджень, проведених з метою виявлення способів використання водню для підвищення ефективності бензинових ДВЗ на холостого ходу.....	46
3.1 Результати експериментальних досліджень.....	46
РОЗДІЛ 4 Виявлення можливості підвищення ефективності процесу згоряння в бензиновому ДВЗ із промотуючими добавками водню.....	53
ВИСНОВОК.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
ДОДАТКИ.....	71

КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ									
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Підвищення ефективності процесу згоряння палива бензинових ДВЗ з додаванням водню	Лім.	Арк.	Акрюшів	
Розроб.		Ліра						4	71
Перевір.		Бабак							
Реценз.									
Н. Контр.		Маковкін							
Затверд.		Диха							
						ХНУ група АТз 22-1			

ВСТУП

Актуальність дослідження: зниження токсичності відпрацьованих газів бензинових двигунів з іскровим запаленням є ключовим завданням для розвитку автомобілебудування. Зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище, спричиненого масовим використанням транспортних засобів у містах, є причиною постійного зростання норм токсичності.

Багато дослідників виявили, що додавання води до вуглеводневого палива має низку властивостей, які дозволяють відновити роботу двигунів з іскровим запалюванням. Крім того, вони значно підвищили економічність і зменшили токсичність газів, які працювали. Крім того, добре відомо, що закон підведення теплоти визначає, наскільки добре працює процес згоряння в ДВЗ. Водень виявив себе надзвичайно вибухонебезпечним матеріалом для використання як паливо для двигунів внутрішнього згоряння, тому необхідно враховувати його безпеку. Попереднє запалювання є великою проблемою через низьку енергію запалення. Невелика відстань гасіння дозволяє полум'ю проходити через вузькі отвори, які будуть присутні у впускних і випускних клапанах, і потім потрапляти у впускний колектор. Детонація двигуна зі стехіометричними або багатими сумішами є ще одним фактором, який, мабуть, досить поширений для двигунів, що працюють на воді. Однак ця ж особливість дозволяє бензиновим двигунам, збагаченим воднем, працювати в надплинному стані без детонації, спалаху або перепусток запалювання [2].

Мета дослідження полягає в тому, щоб з'ясувати, як використання водню може підвищити ефективність згоряння бензинового ДВЗ на холостом ходу.

Рішення наступних завдань допоможе досягти поставленої мети:

- 1.Провести оцінку наявності особливості застосування водню для підвищення ефективності процесу згоряння бензинового ДВЗ на режимі холостого ходу
- 2.Визначте можливості використання прямоочних добавок водню для

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищення ефективності процесу згоряння в бензинових ДВЗ.

Об'єкт дослідження: дизельний двигун на основі бензину з промотуючими добавками водню.

Предмет дослідження: ефективність процесу згоряння бензинових двигунів внутрішнього згоряння з промотуючими добавками водню.

Методи вивчення метод дослідження, метод статистичної обробки результатів дослідження та моделювання робочого процесу

Достовірність результатів дослідження є результатом значного обсягу експериментів і статистичних методів обробки даних.

Наукові результати дослідження

Виявилось, що використання водню покращує ефективність згоряння бензинових ДВЗ на холостом ходу.

Практична значимість роботи: промотуючі добавки водню можуть підвищити продуктивність згоряння бензинових ДВЗ.

Захист включає наступне:

1. оцінку можливості застосування водню для підвищення ефективності згоряння бензинових ДВЗ на режимі холостого ходу;
2. перспективи використання промотуючих добавок водню для підвищення ефективності згоряння бензинових ДВЗ.

Зміст КвР та її структура

У КвР міститься вступ, чотири розділи, основні результати та висновки, а також список використаних джерел, який включає 57 назв. Робота містить 73 сторінки машинописного тексту з двома таблицями та 44 рисунками.

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1 Визначення та оцінка наявності особливостей використання водню для підвищення ефективності згоряння бензинових ДВЗ на холостому ході

1.1 Огляд літератури з проблем з роботою двигуна при додаванні водню

Водень є чудовим прикладом прийнятеного вуглецевмісного палива. Нешкідливі продукти, такі як двоокис вуглецю, органічні кислоти, оксиди сірки, монооксиди вуглецю або вуглеводні, не створюються шляхом спалювання водню. Додайте дощ, щоб зменшити виробництво SO₂ та парникові ефекти CO₂ цих двигунів. Через його високу плавучість і дифузію в повітрі добре відомо, що пролитий водень не надає шкоди навколишньому середовищу. Розливи водню поширюються в атмосферу швидко. Однак пролитий бензин часто є джерелом пожеж і іноді є забруднювачем підземних вод. З 20 березня 1992 року ЕРА та Конгрес [1] затвердили, що потенційні джерела підземних витоків будуть переоцінені та замінені, якщо це необхідно, через серйозність цієї проблеми. Розпилення та випаровування рідких палив, що використовуються в холодну погоду, не є проблемою для дня.

Натомість він легко змішується з повітрям, і суміш досить стабільна при кімнатній температурі. Однак у водню низька енергія займання та дуже низьке еквівалентне співвідношення. Вміст займистості водню в повітрі при кімнатній температурі та тиску коливається від 4 до 74 відсотка. Піднесення є одним із наслідків широкого діапазону швидкостей полум'я та температур горіння, які отримуються з водневоповітряних сумішей. Водень має найменший атом і найлегший із елементів з атомною вагою 1,0.

Водна має майже двічі обороти енергії на одиницю маси, ніж бензин.

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тим не менш, існує десять видів бензину в рідкій формі, які мають таку ж щільність, як і водень (щільність рідкого водню дорівнює 0,07 г/см³). Таким чином, енергія водню становить лише третину енергії бензину. Іншими словами, кількість водню припадає на обсяг майже в три з половиною рази за певну кількість енергії, що виділяється під час горіння. Водень виявив себе надзвичайно вибухонебезпечним матеріалом для використання як паливо для двигунів внутрішнього згорання, тому необхідно враховувати його безпеку. Попереднє запалювання є великою проблемою через низьку енергію запалення. Невелика відстань гасіння дозволяє полум'ю проходити через вузькі отвори, які будуть присутні у впускних і випускних клапанах, і потім потрапляти у впускний колектор. Детонація двигуна зі стехіометричними або багатими сумішами є ще одним фактором, який, мабуть, досить поширений для двигунів, що працюють на воді. Але ця ж особливість дозволяє бензиновим двигунам із збагаченим воднем працювати в надплинному стані без детонації, спалаху або перепусток запалювання [2]. Використання води як палива для двигунів з іскровим запалюванням було предметом значної кількості теоретичних і експериментальних досліджень. Двигуни SI можуть працювати на всіх шести окремо або з бензином. Сьогодні деякі з цих типів палива використовуються як переформульоване паливо з етанолу або метанолу в поєднанні з бензином.

У зв'язку зі збільшенням кількості кисню та водню, доступних для Алі та Базіту [3], вони мають значний інтерес. Це пояснюється тим, що вміст водню (відношення Н/С) у паливі відіграє важливу роль як у запалюванні, так і в спалюванні.

Газоподібне паливо з високим вмістом водню горить плавно, стабільно та легко.

Отже, найбільш перспективним методом отримання достатньої кількості водню за допомогою електролізерів на борту автомобіля зараз є найбільш актуальним. Ця схема використовує електроліз води для виходу

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

води, яка потім подається на впуск у певній кількості.

Але ідеальна додаткова кількість водню все ще не визначена, щоб забезпечити необхідні показники токсичності та економічності роботи двигуна.

У результаті аналізу методів подачі водню в циліндр двигуна було виявлено, що основні методи можна розділити на такі категорії:

Подача водню на впуску спільно з подачею повітря в циліндр двигуна.

1. Індивідуальне дозування водню в області впускних клапанів кожного циліндра двигуна.
2. Подача водню до циліндра двигуна під тиском 0.2-4 МПа.
3. Упорскування рідкого водню у впускний колектор або циліндр двигуна.

Згідно з першим методом, дослідження [7] показали, що вода додає до 6% маси палива до 11% енергії, що вводиться в паливо. Під час випробувань двигун запускався на бензині, а потім йому додавався вуглекислий газ. Це гарантувало безпечну експлуатацію та запобігло витоків водню до приміщення під час запуску двигуна. Водню також впливає на токсичні викиди та роботу двигуна, а також на межі стійкої роботи при збідненні суміші. Було виявлено, що на всіх складах суміші, починаючи з -0,91 і до межі ефективного збіднення суміші, збільшення кількості водню, що додається, підвищує крутний момент двигуна, потужність і ККД двигуна. Збіднення суміші збільшує вплив водню.

1. Межа ефективного збіднення суміші становить 1,3, коли двигун працює з 6% водню. Це підвищує крутний момент, потужність і питий витрата палива приблизно на 35%. Крім того, двигун працює безшумно та з точністю.

2. Межа збіднення суміші збільшується за допомогою водню до -1,47, тоді як за допомогою бензину вона становить 1,24.

3. Збіднення суміші до межі стійкого згоряння за допомогою добавки

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

водню допомагає знизити концентрацію CO та CH в ОГ 4. Необхідно досягти коефіцієнта надлишку більше, ніж 1,34, щоб зменшити викиди CH і NOx до 5 г/л.с.-год, або менше, при додаванні 6% водню.

4. Крім того, очевидно, що двигун, що працює на складах суміші $\lambda = 1.35$ забезпечує зниження викидів токсичних компонентів ОГ значно нижче, ніж норми щодо токсичності ЄВРО-4, і дозволяють виконувати ЄВРО-6.

Було показано, що роздільне впорскування палива може запобігти небажаним явищам згоряння, таким як зворотні спалахи та калільне запалення. Результати також показують, що при роботі з воднем не потрібно затримувати впорскування бензину, і впорскування можна починати в ВМТ. Дослідження показали, що стійка та ефективна робота на складах суміші 1.3–1.35 необхідна для значного скорочення викидів токсичних компонентів з ОГ. Зіставлення результатів показує, що поєднання бензину та водню дає кращі умови протікання згоряння, більшу продуктивність і більше меж стабільного згоряння.

Дослідження показали, що додавання невеликої кількості водню підвищує тепловий ефективність двигуна та знижує токсичні викиди ОГ при роботі на бідній суміші. При збідненні суміші з добавкою водню висока швидкість поширення полум'я зберігається, що відповідає згорянню на стехіометричних сумішах. Добавка 6% від маси палива водню дозволяє двигуну працювати стабільно та стійко при коефіцієнті надлишку повітря 1,35, значно розширюючи межі стійкого збіднення суміші в експерименті. Крім того, було показано, що невелика кількість водню, необхідна для підвищення ефективності процесу згоряння на 20-25%, може бути отримана за допомогою компактного бортового джерела водню та невеликої системи зберігання водню. Одним із варіантів є бортовий електролізер, який працює від генератора. Для цієї системи не потрібно збільшувати вагу та обсяг палива. Основні результати цього дослідження є привабливими для подальшої реалізації в серійних транспортних засобах. По-перше, використання бензину та води як двох паливних систем може

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволити круїз-контролеру працювати на бідній суміші при встановленні швидкісного режиму. Після цього система може бути включена, щоб полегшити роботу двигуна під час розгону. Другим прикладом може бути впровадження гібридної автомобільної системи. У цьому випадку двигун використовується для заряджання батареї. Крім того, він може працювати в економічному двопаливному режимі, використовуючи одну паливну батарею. Це призвело до значного зниження споживання палива на 15–20 відсотків, а також забезпечило зниження рівня викидів токсичних компонентів газу згоряння.

Елемам і Десокі [4] дослідили властивості воднево-повітряної суміші та виявили, що вона має вищу температуру самозаймання, ніж суміш бензину та повітря. Це підвищує її стійкість до ударів. Крім того, вони заявили, що оксиди азоту є єдиними токсичними продуктами згоряння водню. У роботі Shudo та ін. [5] було виявлено, що використання карбюрованого водню збільшує втрати тепла на стінці камери згоряння порівняно з використанням бензину. Зменшення часу запалення та підвищення коефіцієнта надлишкового повітря були необхідні для зменшення теплових втрат.

Таким чином, на основі теоретичного огляду можна зробити висновок, що у бензинових двигунах, що працюють з добавками водню, немає єдиної теорії займання, згоряння та детонаційної стійкості.

1.2 Методи подачі водню до ДВЗ

Раніше існувало чотири різновиди методів індукції палива [4, 6]. До них належать впорскування прямого циліндра низького тиску, упорскування з тимчасовим колектором, безперервне карбюрування та безперервне впорскування колектора. Небажані явища спалювання часто викликаються воднем, що подається або карбюруванням, або безперервним упорскуванням

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

колектора. У деяких робочих умовах з водневим заправленням за допомогою обох методів були обриви та швидкі темпи підвищення тиску. Свічка запалювання, випускний клапан або деякі відкладення, які працюють як гарячі точки в камері згоряння, можуть бути джерелами енергії займання, які викликають зворотний потік. Багато різновидів воднево-бензинових карбюраторів покращили паливні суміші, розроблені Білогогубом і Талдом [7]. У багатьох умовах роботи двигуна частки бензину, водню та повітря в паливно-повітряних сумішах залишаються проблемними.

Lee, et al. [8] припускають, що упорскування впускного отвору може запобігти зворотному вогню. Однак, як і раніше, це відбувається поблизу стехіометричного або в міру прискорення іскрового часу коефіцієнтом еквівалентності палива та повітря. Das, et al. [6] також дослідили систему упорскування соленоїдів, керовану електронним управлінням. Ця система дозволяє двигуну працювати безперебійно без зворотного вогню, стукоту або швидкого підвищення тиску. Рівень викидів NOx є проблемою, коли $1/\alpha$ перевищує 0,5. Аль-Гамі [9] сказав, що інжектор, який повинен працювати в умовах високого тиску та температури, створює технічні проблеми та є складнішою частиною. Номан і Mclean [10] провели широке дослідження з двигуна ASTM-CFR з використанням прямого подачі водню в циліндр для стандартної головки циліндрів при циклі Otto і Diesel. Інжекція газоподібного водню починається в останній частині такту стиснення. Рівень емісії NOX зменшується, коли відношення еквівалентності менше за людину 0,5. Тим не менш, рівень викидів NOX, отриманий з використанням водню, вищий за роботу бензину для коефіцієнтів $1/\alpha$ більше 0,3. Оскільки коефіцієнт $1/\alpha$ зменшується від 0,8 до 0,3, вказаний тепловий ККД збільшується з 31 до 43%, але зазначений середній ефективний тиск зменшується від 0,78 до 0,3 МПа. Green and Glasson [11] розробили інжектор під високим тиском з електронним керуванням для подачі водню без витоку під час пізнього стиснення, використовуючи електрометричне сідло клапана. З цим інжектором було

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

усунуто небажані проблеми з горінням. Крім того, метод упорскування під високим тиском покращував об'ємну ефективність. Пікова вихідна потужність цього водневого двигуна збільшилася на 20% порівняно з бензиновим двигуном. Оскільки водневий двигун працював нижче $X = 0,8$, викид NOX був дуже низьким. Вони також припустили, що розташування інжектора має бути близьким до свічки запалювання, що дозволить впорскувати пізніше в такті стиснення. Таким чином, використання впорскування негайно є найкращим способом подачі палива. Під час такту впуску як повітря, так і паливо надходять у камеру згоряння. Однак паливо впорскується в циліндр лише тоді, коли впускний клапан відкритий і він повністю втягується в циліндр перед закриттям клапана впуску. Вільямсон М. [13] розробив електронну керовану систему упорскування, яка необхідна для впровадження цієї технології упорскування палива.

Автор розповів про експерименти, проведені з цим підходом [14]. Він отримує вхідний сигнал від схеми оптичного датчика, обробляє його і передає сигнал у формі імпульсів соленоїд, що дозволяє плунжеру підніматися протягом необхідної тривалості. Цей блок управління забезпечує подачу палива після відкриття впускного клапана. Однак подача палива не відбувається до закінчення періоду закриття впускного клапана. Таким чином, цей блок управління запобігає небажаним явищам спалювання, таким як попереднє запалювання, у внутрішніх системах. Час упорскування та тиск подачі регулюють швидкість потоку палива. Дослідження випробували цю електронну систему з використанням сумішей етанолу, метанолу та пропану [12, 13].

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Ефективність роботи двигуна при додаванні водню

Івон і Лоренцоні провели експериментальне дослідження з використанням маленького двигуна внутрішнього згорання з воднем [14]. Гідрид металу несе водень. В основному вихлопні продукти містили водяні пари та невелику кількість NOx. Але при тій же частоті обертання двигуна вихідна потужність бензину була на двадцять відсотків нижчою.

Петерс і Кавадер [15] вивчали, як зміна часу упорскування бензину впливає на різні точки циклу двигуна як при постійній швидкості, так і в суворих умовах. Коли упорскування палива було приурочене до відкритого положення впускного клапана, гранична межа пропуску запалення була 0,55, при змішаному заряді 0,67 і при закритому впускному клапані 0,78. (Граничний показник пропуску запалювання, схоже, вплинув на тривалість часу, протягом якого паливо-повітря ретельно перемішувалося.

Використовуючи електронний пристрій управління, Леві та Кіттельсон [16] вивчили водневий двигун з тимчасовим упорскуванням. У цьому конкретному випадку швидка експлуатація призвела до значної економії палива та зменшення викидів NOx.

Матур і Дас [17] використовували систему упорскування з тимчасовим колектором, щоб провести комплексне дослідження водневого двигуна. Згідно зі звітами про роботу двигун може показати низьке значення $\phi = 0,218$. Крім того, ця система упорскування дозволила двигуну уникнути небажаних явищ спалювання та працювати в широкому діапазоні навантажень і швидкостей. Однак потужність була значно втрачена.

Дас та ін. [11] провели експерименти на одноциліндровому двигуні, використовуючи інжектування з тимчасовим колектором для подачі або водню, або стиснутого природного газу. Час упорскування водню був встановлений на 20 градусів ATDC, а швидкість згорання газу була

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлена на ВМТ. Результати показують, що подача водню зменшує питому витрату палива та покращує тепловий ККД гальма, підвищивши роботу ЗПГ до 28%, а подача водню зменшує питому витрату палива до 31%.

1.4 Токсичність роботи двигуна при додаванні водню

Дас [11] проаналізував водневий двигун і показав, що процес призвів до надзвичайно низьких викидів вуглеводних речовин і монооксиду вуглецю. Однак залежно від умов максимальної потужності та ефективності рівень NOX був значно вищим. Коефіцієнт еквівалентності $1/\alpha$ був параметром, який контролював рівень NOX. Двигун повинен працювати з коефіцієнтом еквівалентності $\phi = 0,6$, щоб усунути будь-які проблеми забруднення навколишнього середовища, особливо рівень NOX. Крім того, він стверджує, що використання гібридного водневого двигуна з бензином може значно зменшити викиди всіх регульованих забруднювачів.

Двигун, оснащений послідовною системою багатоточкового впорскування, був змінений Verhelst та Sierens [12]. Згідно з повідомленнями, ця паливна система має перевагу в управлінні паливом, що подається. Тим не менш, при роботі в режимі холостого ходу на повному дроселі в умовах збідненої суміші вогневий вуглець у вихлопних газах може становити до 3 відсотків.

У своєму експериментальному дослідженні Шиомото та Соєр [14] використовували п'єзоелектричний перетворювач тиску для вимірювання тиску в циліндрі та вимірювання зміни тиску циклу під час спалювання ДВЗ з іскровим запалюванням в умовах збідненої суміші природного газу як палива. Коефіцієнт еквівалентності коливався між $\phi - 1,1$ і найменшою операцією, яка становила $\phi = 0,3 \sim 0,6$. Нестабільна робота виникає все частіше, коли робочий стан двигуна опускається нижче 0,6. Збільшення

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значної концентрації НС у $\varphi = 0,6$ було пов'язане з неповним згорянням, тоді як концентрація СО залишалася незмінною. У разі збіднення температура горіння низька, що призводить до зниження концентрації NO_x .

1.5 Двопаливний режим роботи двигуна при додаванні водню

Гоу та ін. [15] провели експерименти на одноциліндровому двигуні, у якому використовувався бензин і природний газ. Починаючи з одного палива, експерименти продовжувалися, додаючи друге паливо, перше паливо було зменшено на таку ж кількість енергії. Змішання дев'яносто відсотків бензину та десяти відсотків природного газу гарантує максимальну ефективність і потужність.

Карім та ін. [16] повідомили, що додавання метану-водню (Le. Nythane) до одноциліндрового двигуна з більш компактними сумішами значно покращило характеристики двигуна.

Шреста та Карім [17] провели додаткові дослідження щодо підвищення характеристик двигуна СІ за допомогою додавання невеликої кількості водню з метаном. Це дослідження показало, що найкраща концентрація водню становить близько 20–25 об.%, якщо ви хочете значно покращити вихідну потужність двигуна та запобігти детонації. Це пов'язано з тим, що в сухому стані метан має низьку швидкість полум'я, а присутність водню збільшує загальну швидкість горіння сумішей. Додавання водню до метану не підвищує потужність, оскільки швидкість горіння обох видів палива значно зростає, коли відношення еквівалентності збільшується у бік стехіометричного стану.

Хоєн та ін. [8] провели дослідження повнорозмірного пасажирського транспортного засобу з використанням збагаченого воднем бензину в надплинних умовах. Дослідження, яке вони проводили, передбачало

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доставку водню або зі стисненого газоподібного водню, або з бортового генератора водню. Порівняно з базовим показником експлуатації на бензині вони повідомили про скорочення загального споживання енергії на 25%. В умовах ультра-збіднення двигун працює з невеликою кількістю водню, що зменшило викид NOx і покращило загальну ефективність.

Парки [9] провели детальне дослідження одноциліндрового двигуна, який використовує різні пропорції водневої та бензинової суміші при постійному ступені стиснення, швидкості, повітряному потоці та іскровому запаленні для досягнення максимального гальмівного моменту. Його дослідження свідчить про те, що при однаковому коефіцієнті еквівалентності щодо нестачі повітря $1/\alpha$ викиди NOX збільшуються разом із збільшенням вмісту водню. Тим не менш, двигун, збагачений воднем, працює на збідненій паливно-повітряній суміші, що знижує викиди NOX. У цьому випадку викиди ЗІ можуть бути незначними, оскільки ці суміші є сухими. Однак погане згоряння збільшується, коли воно починається нижче $\phi = 0,8$, що призводить до збільшення викидів СР. Коли кількість добавок водню збільшується, НС поступово збільшується з нижчими значеннями.

Макдональд [10] провів експериментальне дослідження з використанням добавки водню на багатоциліндровому карбюраторному бензиновому двигуні. Це було спрямоване на досягнення дуже високого збіднення та низьких рівнів NOX. Базова лінія бензину була виконана між $\phi = 1,08$ і $\phi = 0,64$. З фіксованим додаванням бензин знижувався для кожного потоку палива до появи перепусток запалювання, щоб допомогти визначити ідеальну точку ефективності двигуна. Добавка водню продовжує скорочувати експлуатаційну межу двигуна, і цей робочий стан демонструє покращення ефективного ККД, моменту, що крутиться та зниження NOx і CO, але без зміни рівнів викидів СП.

Використовуючи невелику кількість водню до бензину, Лукас і Річардс [11] провели експерименти на двигунах з іскровим запалюванням. У режимі

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

холостого ходу двигун працював лише на водній, коли він працював на повному дроселі при постійній кількості водню у всьому діапазоні навантажень. У міру збільшення навантаження використовувався більший обсяг бензину. Широко відкрита дросельна заслінка знижує втрати насоса. У економічному режимі роботи викиди CO та NOX знизилися, але HC, як правило, зріс.

Sfinteanu та Apostolescu [12] виявили, що обмежена межа роботи двигуна для легкових автомобілів, що працюють тільки на бензині, близько $\phi = 0,83$, тоді як двигуни на водню працюють у дуже збідненій суміші. Комбінація бензину та водню призвела до скорочення викидів CO на 25% і приблизно однакових концентрацій NOx.

Межа займистості карбурованої бензино-повітряної суміші може бути розширена за допомогою збагачення незначної кількості водню, як було виявлено Jingding та дослідниками [13]. Це збільшує швидкість розповсюдження полум'я та швидкість горіння суміші. Вони стверджують, що в цьому випадку викиди CO на 20% менші, ніж при експлуатації без водневої добавки при одному і тому ж навантаженні. Покращується термічна ефективність, що означає менше палива для системи та навіть менше забруднюючих речовин.

Аль-Багдаді [17] стверджує, що експлуатація двигуна на бензині з подвійним додаванням водню та етилового спирту покращує характеристики двигуна, а також знижує викид NOX. Таким чином, багато дослідників вивчали водень як паливо для двигунів внутрішнього згорання. Хоча його широкі межі займистості є корисними, його зовнішня займистість і швидкий темп горіння створюють багато проблем для експлуатації.

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6 Отримання водню при електролізі води

У великих промислових підприємствах використовуються електролізери води. Їх використовують для електролітичного розкладання води на водень і кисень.

Їхні дії дозволяють утворювати захищену атмосферу під час виробництва твердих сплавів, мікропроцесорів, скла, електроламп і чистих газів, а також охолодження генераторів на атомних і теплових електростанціях.

У промислових цехах завжди був дим. За свою історію було випробувано багато різних методів отримання його. Однак більшість із них не досягли успіху. І перш за все через надзвичайно дорогий технологічний процес отримання водню. Електролізери води зменшують витрати та роблять процес простим. [27]

Електролізери води є дуже прибутковими виробниками водню. Воно пропонує безліч переваг, які неможливо отримати від інших технологій виробництва водню. [46]

Насамперед це чистота водню, який отримується. Чистота вихідної продукції є ідеальною, оскільки за допомогою електролітичного методу вода розкладається на кисень і водень усередині корпусу електролізера без використання хімічних добавок, які можуть сприяти розкладанню (рисунк 1.1).

Дешеві джерела водню. Однією з основних переваг електролізерів є ця особливість. Вода справді дешева. Набагато менше, ніж у будь-якої іншої природної речовини, яка містить водень у своєму складі.

Виробництво водню за допомогою електролізерів води є безпечним для навколишнього середовища.

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Електролізер для отримання водню

Електроенергія використовується для розкладання. Крім того, вода є єдиним процесом отримання водню з води шляхом електрохімічного розкладання.

Шкідливі рідини та повітря не утворюються під час розкладання. Електролізери води дуже просто використовувати. Навіть хтось без достатнього досвіду роботи зрозуміє, як з ними поводитися. Крім того, інструкція, що додається до пристрою, допоможе вам повністю зрозуміти ситуацію.

Електролізери води також мають тривалий термін служби. Коли обладнання використовується належним чином, воно може прослужити без ремонту протягом як мінімум десяти років, а то й більше.

На сьогоднішній день електролізери застосовуються в хімічній, газопереробній, атомній, харчовій, радіотехнічній та нафтохімічній галузях.

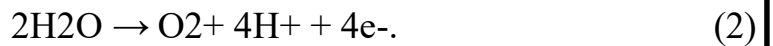
Як відомо, процес розпаду речовини під впливом електричного струму називається електролізом. Так, коли два електроди занурюються у воду та піддається електричній напругі, на катоді (–) виділятиметься водень, а на аноді (+) виділятиметься кисень. Таким чином, реакція буде такою:

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Таким чином, під час реакції (1) два електрони з катода реагують з двома молекулами води на поверхні електрода, утворюючи молекули водню та два іони гідроксилу. У цьому випадку бульбашки газоподібного водню утворюються молекулярним воднем, а іони гідроксилу залишаються в розчині.

Реакція буде надана на аноді.



Таким чином, під час реакції (2) чотири електрони переходять з двох молекул води в анод, що призводить до розпаду двох молекул води та утворення чотирьох іонів водню.

Слід зазначити, що електроліз чистої води відбувається дуже повільно через низьку концентрацію іонів H^+ і OH^- . Таким чином, вода розкладається електролітами, тобто розчинами лугів, кислот і солей.

У традиційних електролізерах з рідким електролітом, які широко використовуються в промисловості, такі як, Weuder Model, De Nora (Італія), Norsk (Норвегія), Stuart Imet (Бельгія), Teledyne (США), Loncza, Demag і Demag, електроліз води становить від 1200 A/m^2 до 2500 A/m^2 . Залежно від температури процесу, тиску, якості електродів, конструкції електролізера та інших факторів, енерговитрати промислових електролізерів коливаються від $4,3 \text{ кВт-год/м}^3$ до $5,2 \text{ кВт-год/м}^3 H_2$. [29]

Створення нової технології електрохімічної генерації водню та кисню за допомогою електрокаталітичної конверсії з використанням електродних матеріалів металів зі змінною валентністю є перспективним напрямком розвитку водневої енергетики. Аналіз даних електролізерів показав, що

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витрати електроенергії на виробництво 1 куб. м. H₂ і 0,5 куб. м. H₂ становили від 4,1 кВт-год до 3,8 кВт-год.

Також є портативні генератори водню.

1.7 Невеликий патентний огляд існуючих запатентованих рішень щодо застосування добавок водню в автомобільних двигунах

Компанія Ronn Motors з Техасу представила автомобіль, що споживає суміш бензину та води. У компанії пояснюють, що прямо на борту автомобіля виробляється водень за допомогою спеціального електролізера, який виробляє невелику кількість водню з води. Потім це паливо подається в ДВЗ разом із бензином. Частка водню може коливатися від тридцяти до п'ятдесяти відсотків у деяких режимах.

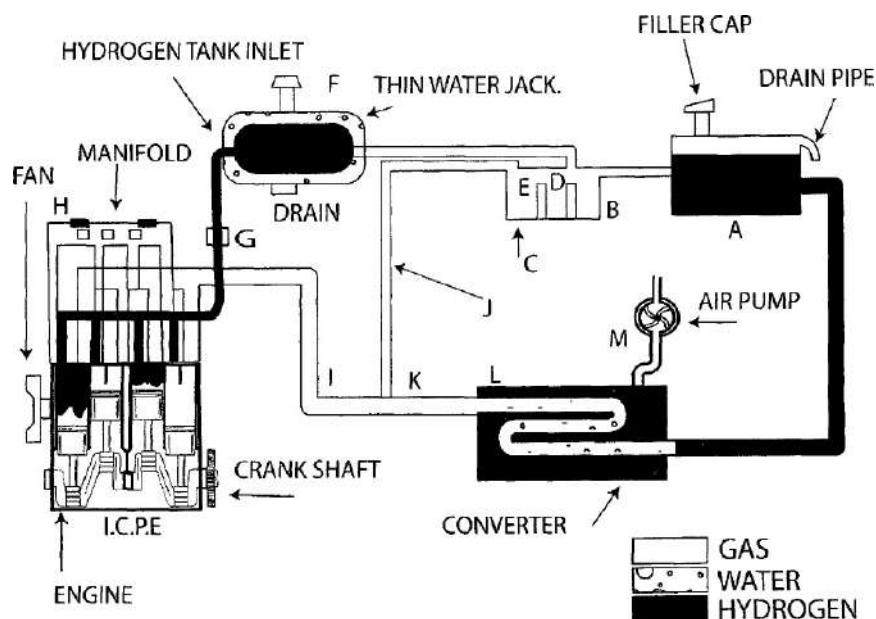


Рисунок 1.2 - Автомобіль, що працює на суміші бензину з воднем

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Як показано на рис. 1.2, винахідник Christian Osita запатентував систему живлення двигуна водневим паливом. Водень утворюється під час електролізу води, а молекули води утворюються після згоряння ДВЗ. Вода вловлюється та направляється назад до електролізера, що зменшує потребу в додатковій заправці.

Система живлення двигуна водневим паливом була запатентована компанією Ford Global Technologies, LLC (рисунок 1.3). Двигуни з іскровим запаленням мають пастки збідненого NOx. Ці пастки періодично очищаються системою рециркуляції відпрацьованих газів, що дозволяє двигуну працювати на збагаченому складі суміші з масою відпрацьованих газів від 40 до 80 відсотків від маси палива та повітря.

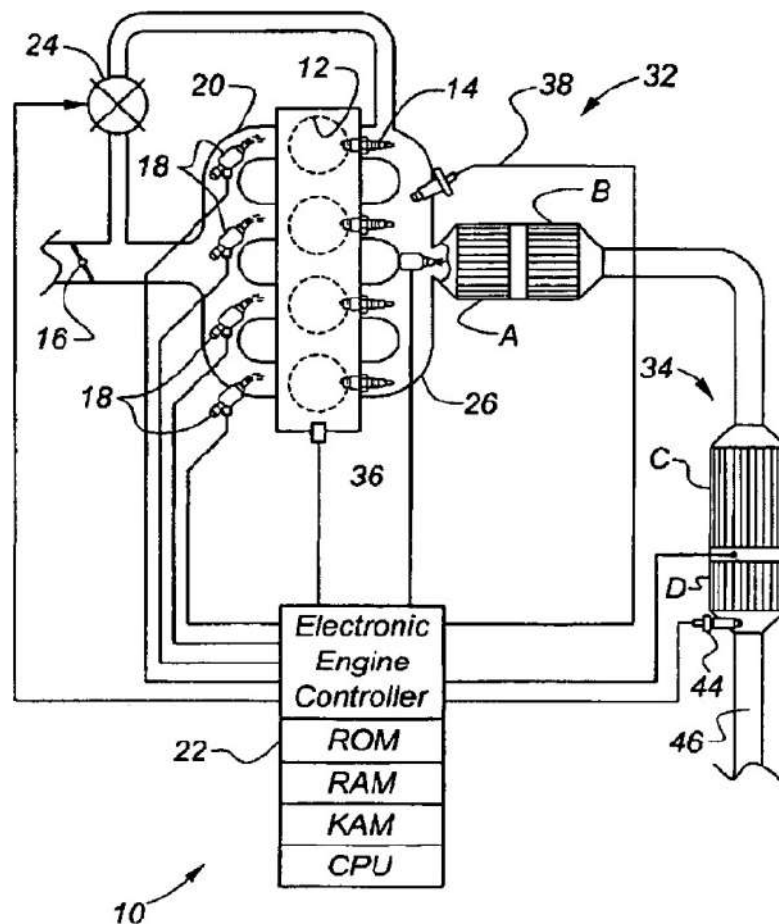


Рисунок 1.3 – Система живлення двигуна водневим паливом

На рисунках нижче наведено основні технічні рішення, пов'язані з предметом дослідження.

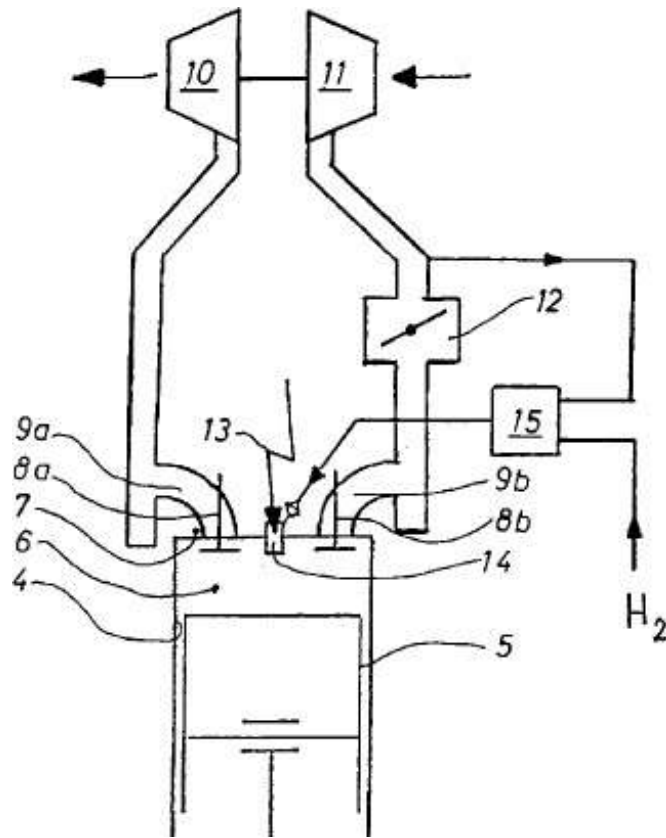


Рисунок 1.4 – Компанія Deutz запатентувала газовий двигун з передкамерою згорання, як паливо може використовуватися водень

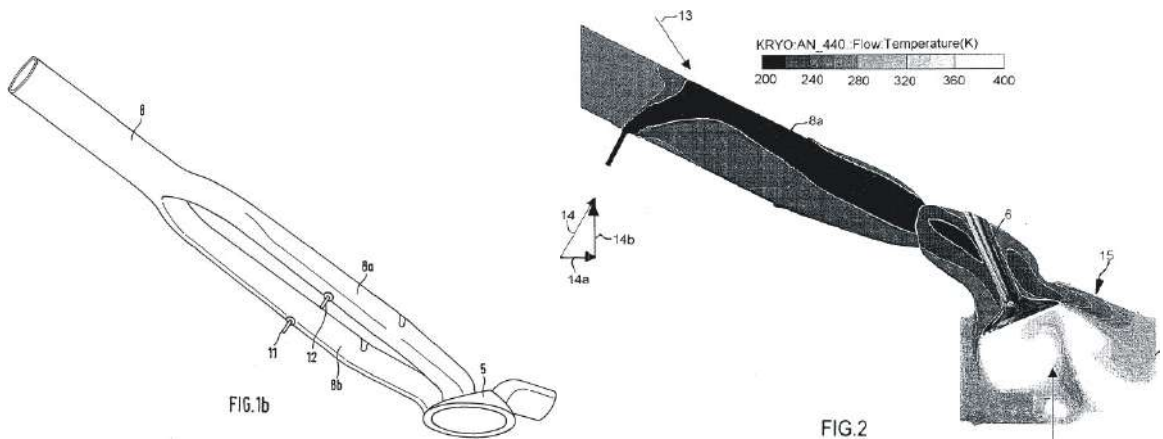


Рисунок 1.5 – Компанія BMW запатентувала систему подачі паливної суміші в циліндр ДВЗ подачею рідкого водню у впускний канал

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

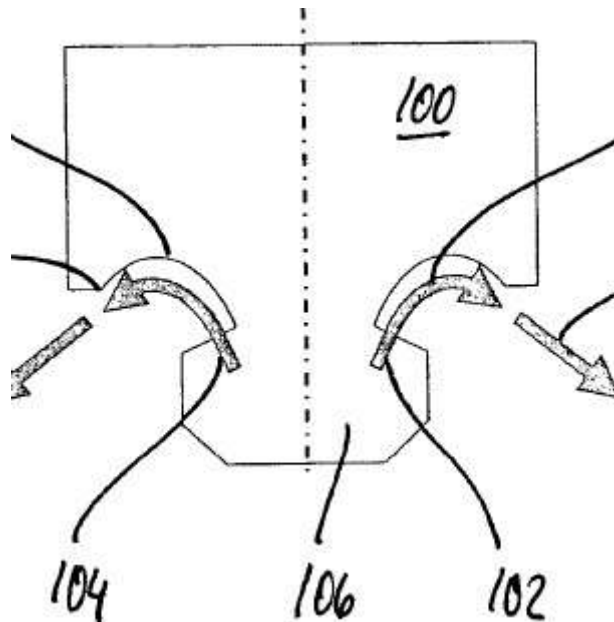


Рисунок 1.6 - Для ДВЗ, що працює на водневому паливі, BMW запатентувала форму камери згоряння між поршнем і верхньою кришкою камери згоряння.

При наповненні циліндра два вихори водень-повітря взаємодіють із відбивачами.

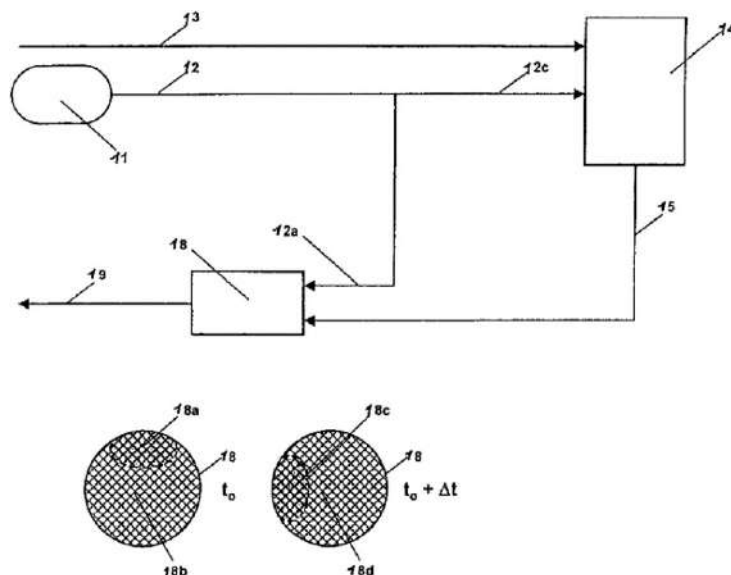


Рисунок 1.7 Показує патент компанії BMW на метод зменшення токсичних компонентів NOx шляхом додавання водню до потоку відпрацьованих газів ДВЗ.

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

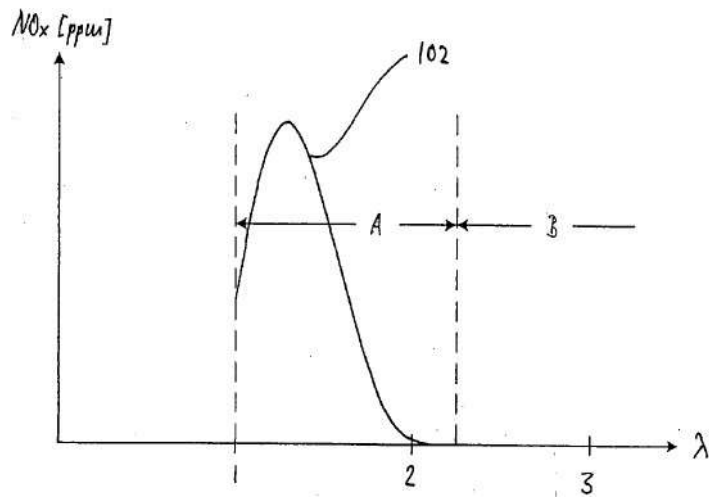


Рисунок 1.8 – Компанія BMW запатентувала ДВЗ, що працює на водневому паливі в галузі бідних сумішей для зниження викидів NOx

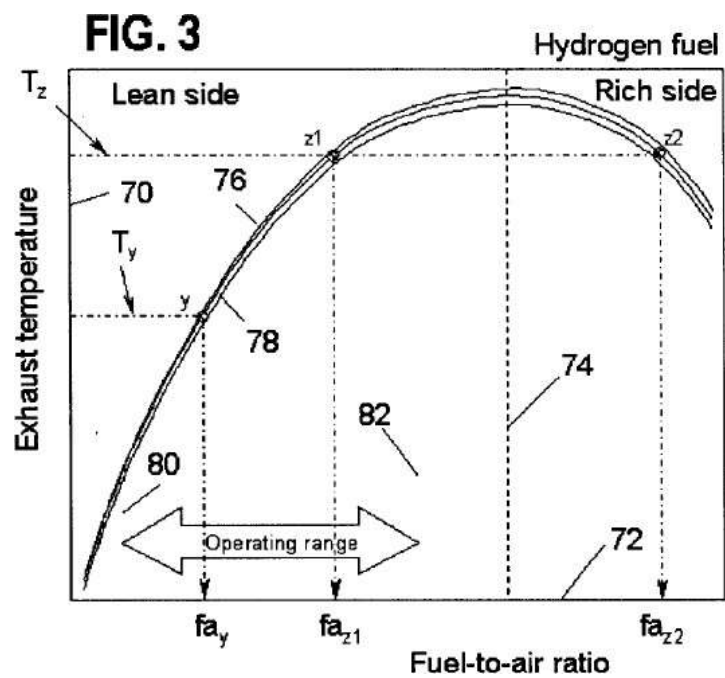


Рисунок 1.9 — Компанія Ford запатентувала ДВЗ на водневому паливі, який працює в області стехіометричного складу та бідних сумішей.

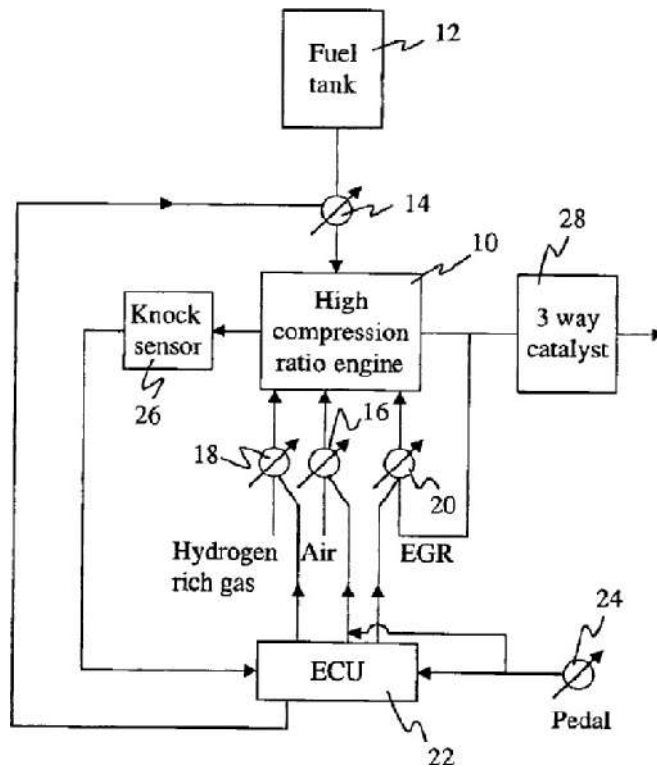


Рисунок 1.10 – Массачусетський університет (США) запатентував ДВЗ з добавкою водню для організації керованого займання від стиснення

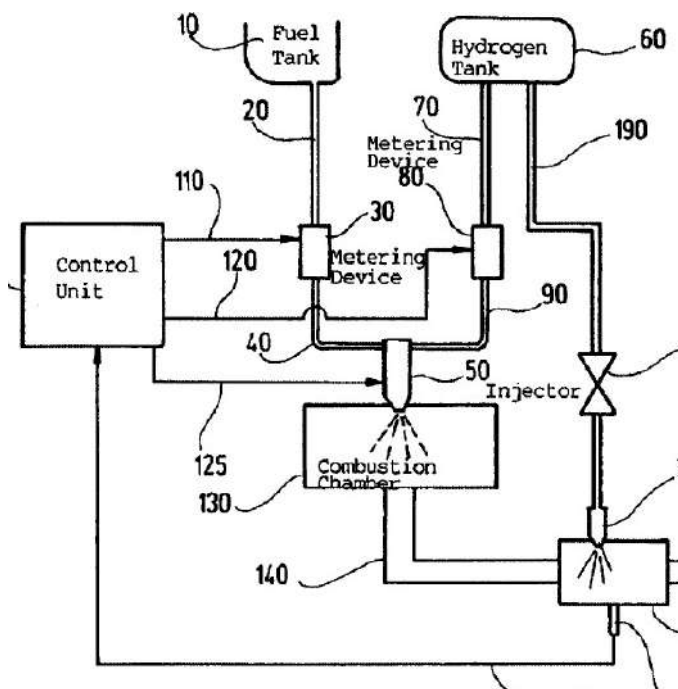


Рисунок 1.11 – Компанія Bosch запатентувала багатопаливний ДВЗ з водневим баком та систему управління роботою такого двигуна

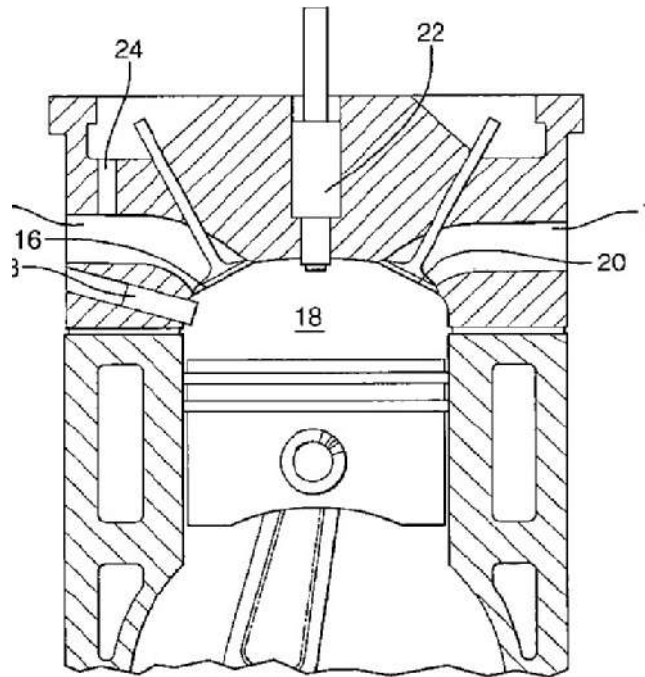


Рисунок 1.12 – Компанія Delphi запатентувала робочий процес ДВЗ із запаленням від стиснення зі збагаченням заряду добавкою водню

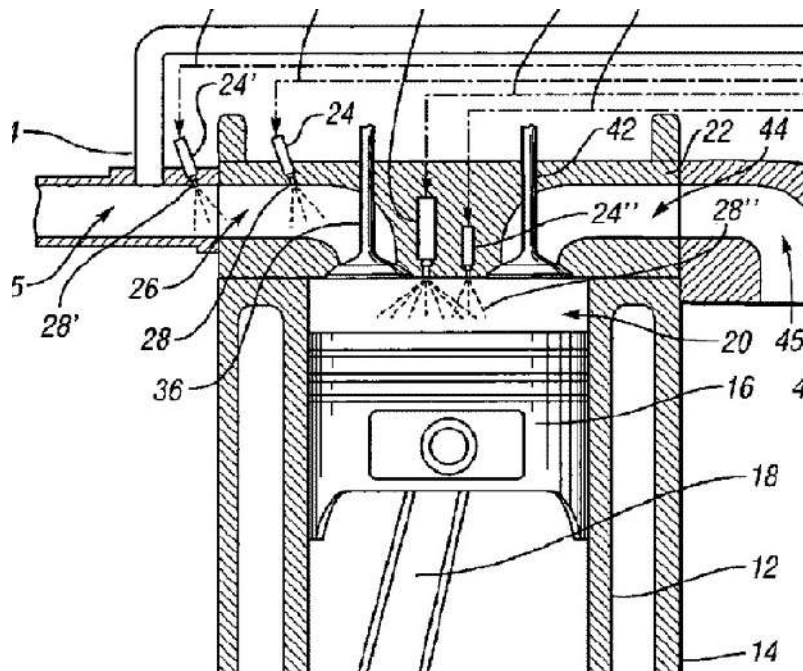


Рисунок 1.13 - General Motors запатентувала двопаливний ДВЗ з добавкою водню.

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

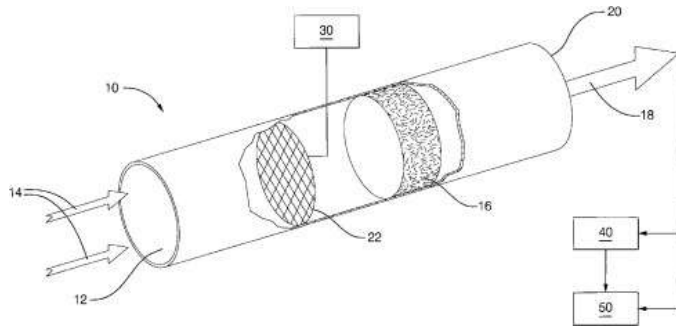


Рисунок 1.14 - Реформер «швидкого запуску» запатентований компаньйоном Delphi

Реформер «швидкого запуску» запатентований компаньйоном Delphi (Рисунок А14). З вуглеводневого палива можна отримати водневмісний газ за допомогою реакторів.

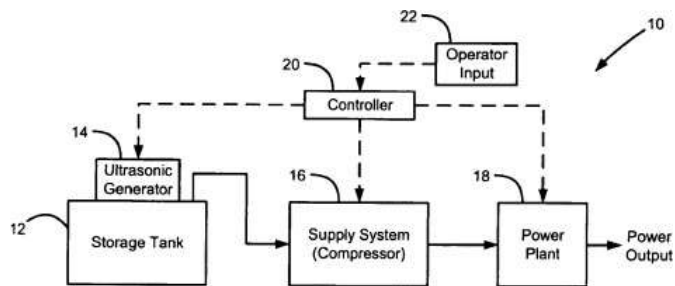


Рисунок 1.15 - Система SONO каталітичного та ультразвукового отримання водню на борту автомобіля запатентована General Motors

Система SONO каталітичного та ультразвукового отримання водню на борту автомобіля запатентована General Motors (рис. 1.15).

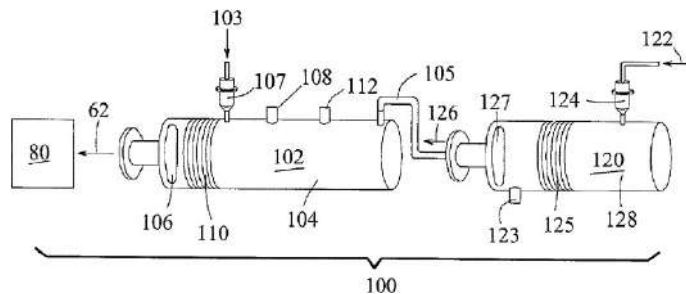


Рисунок 1.16 - Delphi запатентувала систему швидкого запуску основного блоку реформера, яка дозволяє отримувати водню з палива.

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Висновок аналізу патентів:

Пошук показав чіткі тенденції щодо вдосконалення конструкції електролізерів і компонентів систем управління для ефективного використання водню як основного палива для традиційних поршневих ДВЗ і як добавки до бензинового палива. Використання цих компонентів для транспортування водню спочатку як добавки до основного палива, а потім як основного палива або одного з видів палива в дво- і багатопаливних ДВЗ є світовою тенденцією до плавного переходу до повністю водневих силових установок. Крім того, спостерігається підвищення наукомісткості під час виконання та подальшого патентування досліджень. Наприклад, невелика кількість корпорацій і університетських установ проводять розробки щодо компонентів водневої паливної енергетики на транспорті та періодично патентують ці розробки. Крім того, застосовуються складні технологічні процеси та комп'ютерне моделювання для покращення показників продукції, пов'язаної з високими технологіями.

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 Опис експериментального обладнання

Процес згоряння є складним і найчастіше стохастичним, і він має свої нерівності. У цьому випадку отримання низькотоксичного процесу згоряння найчастіше можливе в обмеженому діапазоні складів суміші та при певних температурах процесу згоряння та охолодження продуктів горіння. Для досягнення мети потрібна чітка підтримка умов горіння. У цьому випадку безпосередній моніторинг процесу згоряння ускладнюється високими температурами (2500–3000 К) і тисками (5–20 МПа) разом із високою швидкістю процесу (10–200 м/с), що ускладнює використання великої кількості датчиків для безпосереднього моніторингу процесу. Характеристика поширення фронту полум'я є однією з найважливіших характеристик процесу згоряння. Фронт полум'я є швидкопротікаючим процесом окислення, який має багато спільних рис із плазмою [1, 2]. Плазма також може бути електропровідним середовищем. Таким чином, понад 80 років тому розпочалися активні дослідження явища електропровідності полум'я з метою отримати більше розуміння фізики процесу горіння та апарат для ідентифікації процесів горіння в енергетичних установках [3–6]. Пристрої контролю за згорянням, засновані на електропровідності полум'я, успішно застосовуються [7–13]. Вони використовуються в топках печей, щоб забезпечити низькотоксичну роботу. Крім того, вони регулюють тривалість процесу згоряння та забезпечують можливість форсування двигуна під час роботи на високих висотах у газотурбінних двигунах [14].

Електропровідність полум'я може бути корисною і в інших областях, де процес згоряння є стаціонарним або безперервним. Застосування електропровідності полум'я для керування автомобільними двигунами є старою справою. Але при ДВЗ переміщення поршня, постійна зміна швидкості тепловиділення за часом, висока турбулентність потоку та

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

короткий час процесу згоряння (від 10 мікросекунд при низьких частотах обертання до 1 мікросекунд при максимальних частотах обертання) ускладнюють протікання процесу згоряння. Це робить складним отримання якісного сигналу характеристики електропровідності полум'я, що дозволяє мати постійно точну картину процесу згоряння [15–20]. Отже, для контролю та діагностики процесу згоряння поршневих ДВЗ з іскровим запалюванням ми розглянемо деякі питання конструкції датчиків, їх живлення та інтерпретації сигналів.

2.1 Експериментальне встановлення

Одноциліндрова установка УІТ-85 (Рисунок 2.1) і двигун ВА3-2111 використовувалися для експериментальних досліджень.

Таблиця 2.1 містить основні геометричні параметри двигуна УІТ-85. Таблиця 2.2 містить основні геометричні параметри двигуна ВА3-2111.

Використання цих двигунів як експериментальних установок було обґрунтовано їх особливостями: одноциліндрова установка УІТ-85 може відтворювати результати з великою точністю, а двигун ВА3-2111 демонструє класичну картину згоряння з іскровим запаленням, але з датчиками іонізації на головці блоку, що не впливає на працездатність двигуна.

Для досягнення цілей і завдань дослідження було підготовлено стенди та необхідне дослідницьке обладнання, щоб провести експерименти, спрямовані на виявлення зв'язку між електропровідністю полум'я та хімічною активністю суміші. Крім того, на режимах глибокого дроселювання при високій збалансованості робочого тіла було визначено характеристики тепловиділення. Таким чином, було зроблено наступне:

- доопрацьовано конструкції іонізаційних датчиків, щоб провести експерименти з більшою точністю в одноциліндровій установці УІТ-85

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(рисунок 2.1);

- розроблено конструкції іонізаційних датчиків для встановлення їх у спеціальну дослідницьку пластину, що знизило ступінь стиснення до 7,5 двигуна ВАЗ-2111 (рисунок 2.2);

- розроблено конструкції іонізаційних датчиків для встановлення їх у головку блоку циліндра двигуна ВАЗ-11183, без порушення цілісності сорочки охолодження (рисунок 2.3);

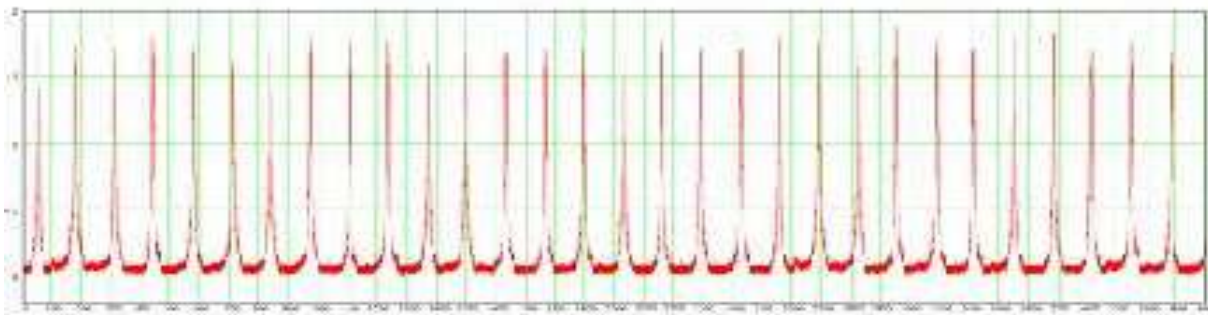
- проведено складання наступних дослідницьких стендів для проведення експериментальних робіт на тему проекту: в одноциліндровій установці УІТ-85, здійснено установку на впуск дросельного елемента, що дозволяє імітувати режими роботи двигуна на глибокому дроселюванні, та блоку газових форсунок для подачі природного газу та водню; у двигуні ВАЗ-11183 встановлені датчики іонізації по два в кожен циліндр, а на випуску на кожен циліндр встановлені широкосмугові лямбда-зонди та термопари; у двигуні ВАЗ-2111 встановлено спеціальну дослідницьку пластину з датчиками іонізації.

Тарування та перевірка працездатності стендів і дослідницького обладнання, а також оцінка похибки вимірювання та перевірка вимірювального обладнання були виконані. Дослідження проводилося з метою визначення впливу складу робочого тіла газового палива на характеристики тепловиділення в двигунах і УІТ-85 під час режимів глибокого дроселювання.

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а)



б)



в)



г)



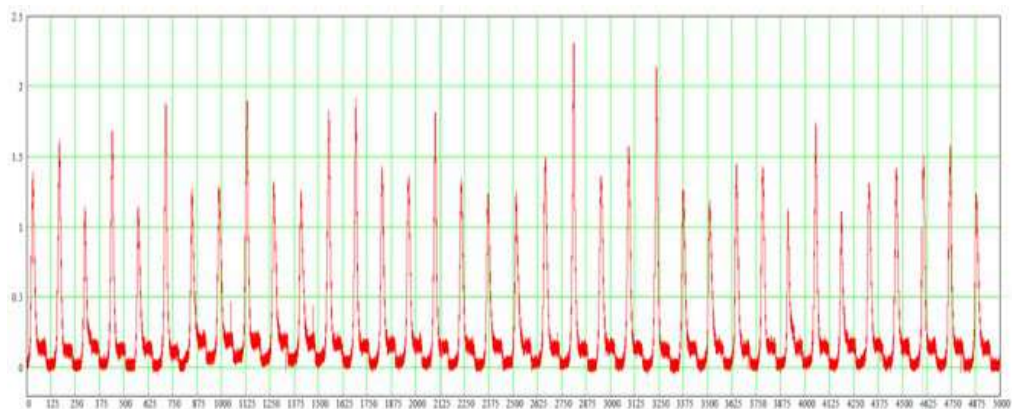
д)

Рисунок 2.1 Показує експериментальне обладнання, яке використовувалося: УІТ-85 для одного циліндра; осцилограма тиску; іонізаційні зонди, які використовувалися: триелектродний з поглибленим центральним електродом; два електродні з датчиком тиску; і електрод, розташований поруч зі свічками запалювання.

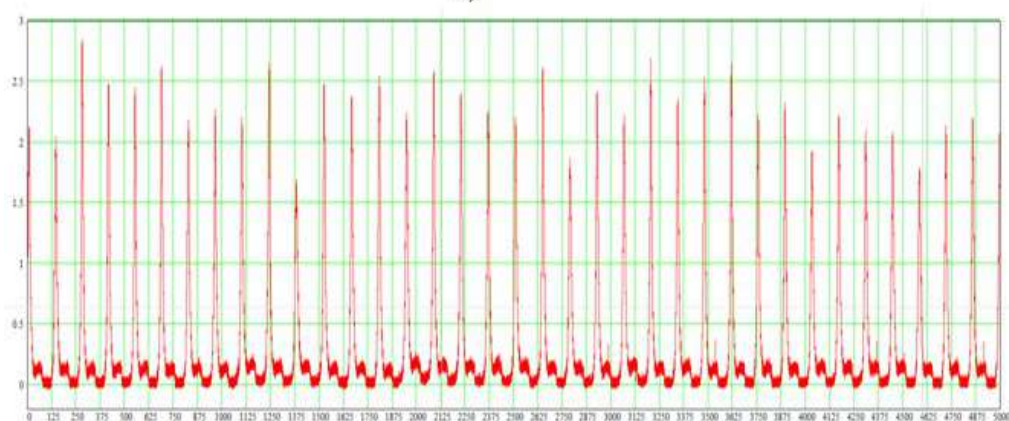
					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34



а)



б)



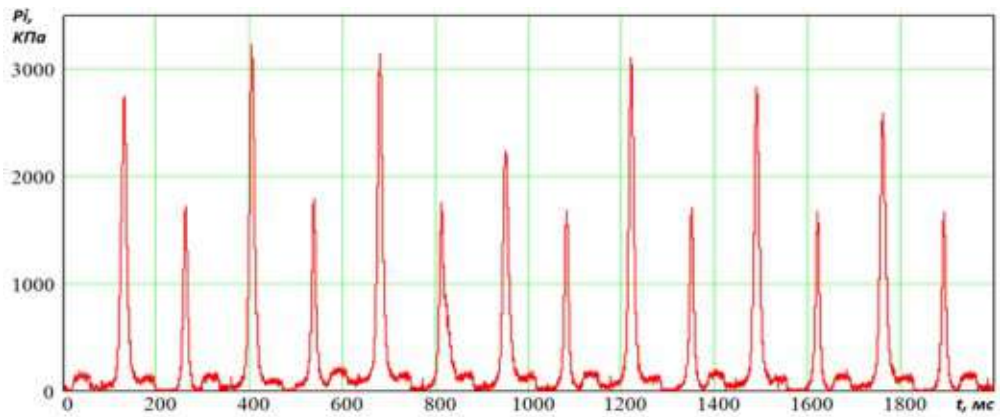
в)

Рисунок 2.2 – Експериментальне обладнання: (а) двигун ВАЗ-2111 с розподіленим упорскуванням палива та дослідницька пластина з датчиками іонізації; осцилограми тиску: (б) для бензину та (в) для бензину з 6% H₂

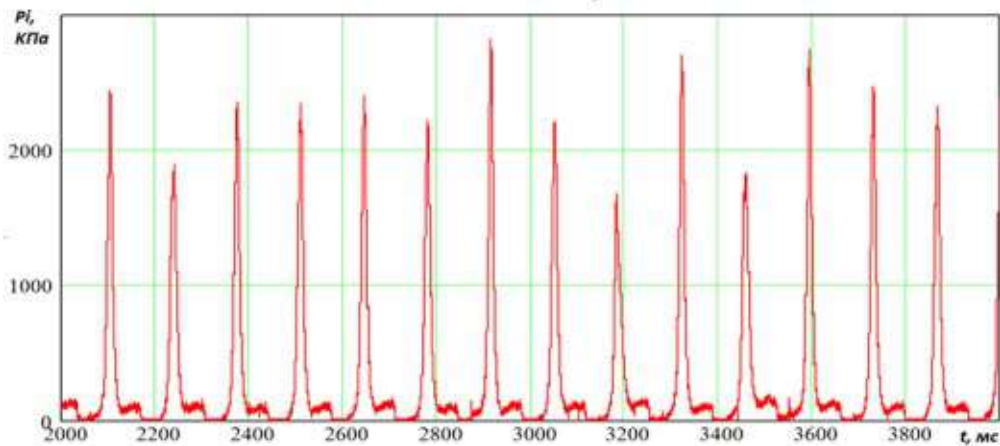
					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35



а)



б)



в)

Рисунок 2.1 показує експериментальне обладнання, яке використовувалося: УІТ-85 для одного циліндра; осцилограма тиску; іонізаційні зонди, які використовувалися: триелектродний з поглибленим центральним електродом; два електродні з датчиком тиску; і електрод, розташований поруч зі свічками запалювання.

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 2.1 містить основні геометричні параметри двигуна УІТ-85

Тип	УІТ-85
Число циліндрів	1
Робочий об'єм, л	0,652
Ступінь стиснення	4 – 10
Діаметр циліндра, мм	85
Хід поршня, мм	115
Довжина шатуна, мм	266
Частота обертання, мін-1	600 або 900
Подача палива	Бензин – карбюратор Природний газ – форсункою у впускний колектор
Запалювання	Свічка запалювання

Таблиця 2.2 - Основна інформація про геометричні параметри експериментальної установки (двигуна) ВАЗ-2111

Тип	ВАЗ-2111
Число циліндрів	4
Робочий об'єм, л	1,499
Ступінь стиснення	9,8
Діаметр циліндра, мм	82
Хід поршня, мм	71
Довжина шатуна, мм	121
Частота обертання, мін-1	800 – 6000
Подача палива	Бензин – форсункою на клапан Природний газ – форсункою у впускний колектор
Запалювання	Свічка запалювання

2.2 Датчики, які застосовуються при дослідженнях

Для дослідження електропровідності полум'я в УІТ-85 використовували сталеві або мідні стрижні товщиною 1 мм, які вставлялися в керамічний ізолятор, як показано на рис. 2.3. Схема розташування цих стрижнів наведена на рис.. У двигуні ВАЗ-2111 використовувалися 1,2-міліметрові алюмінієві стрижні з електроізолюючим шаром, щоб забезпечити мікродугове оксидування за допомогою мікродобавок SiO_2 [21]. Крім того, були використані сталеві стрижні завтовшки 1 мм, які вставлялися в керамічний ізолятор. На рис. 2.4 показано загальний вигляд датчиків для дослідження електропровідності полум'я, які застосовуються у УІТ-85, а на рис. 2.5, 2.6 і 2.7 показано відповідні моделі датчиків для двигуна ВАЗ. У УІТ-85 використовували стислий природний газ (CNG) і бензин, а також бензин з добавками водню та природний газ з добавками водню як паливо [22, 23]. Двигуни ВАЗ-2111 працюють лише на CNG та бензині [25].

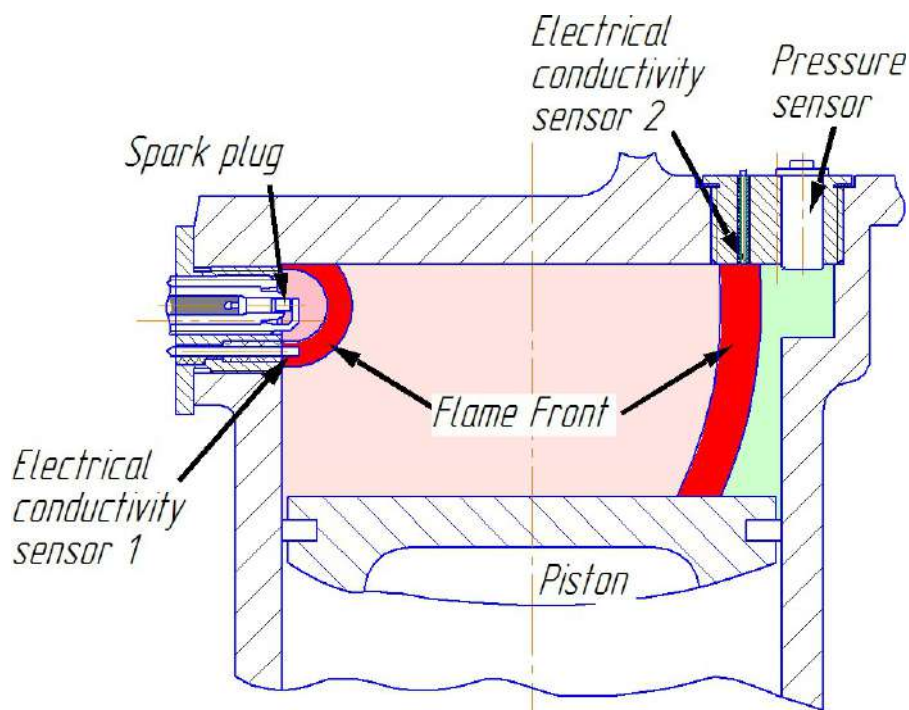


Рисунок 2.3 Показує схему розташування датчиків вимірювання електропровідності полум'я в УІТ-85.

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38



а)

б)

в)

Рисунок 2.4 Показує загальний вигляд датчиків для дослідження електропровідності полум'я УІТ-85: мідний електрод у свічки запалювання; сталевий електрод у перехіднику з датчиком тиску; і п'ять сталевих електродів у одному корпусі.

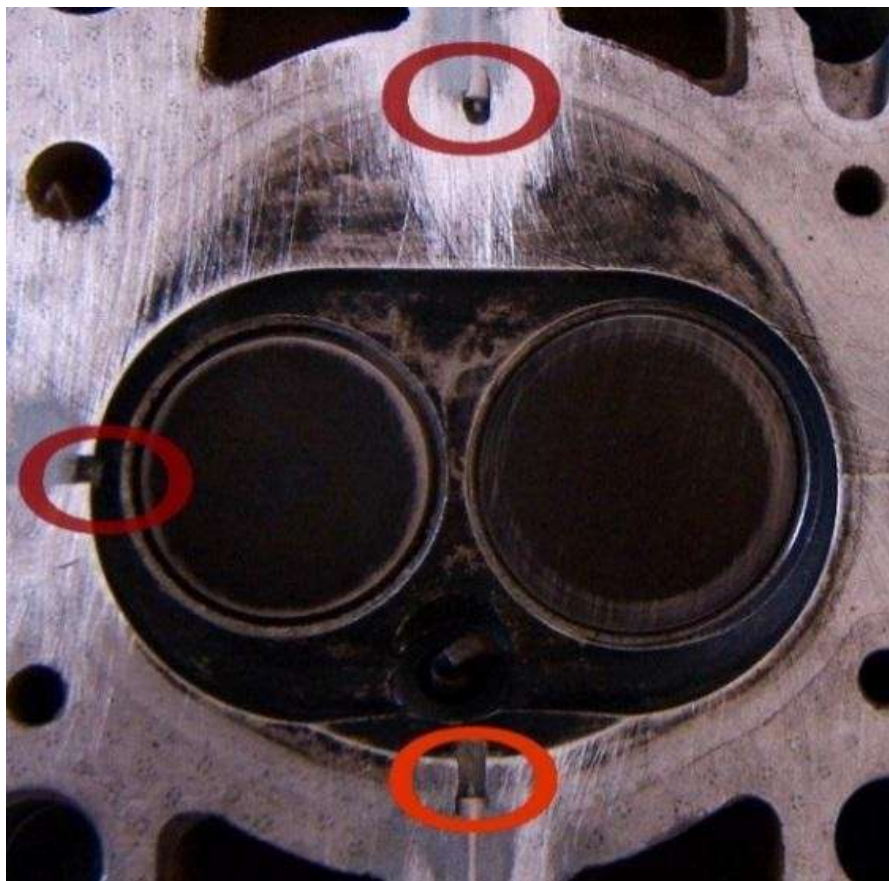


Рисунок 2.5 Показує загальний вигляд датчиків для дослідження електропровідності полум'я, які використовуються в двигуні ВАЗ-2111: а) сталеві датчики в керамічному корпусі

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Знову спроектовані моделі іонізаційних датчиків, що встановлюються в головку блоку двигуна автомобіля, забезпечують вимоги по токсичності на рівень вище, ніж у існуючих і проєктованих двигунів, щоб дослідити вплив малих добавок водню в ТВС на процес згоряння двигуна. На рис. 2.5, 2.6 і 2.7 показано експериментальні установки, визначені місця встановлення датчиків, щоб отримати максимальну кількість інформації про процес згоряння.



Рисунок 2.6 Показує загальний вигляд датчиків для дослідження електропровідності полум'я, які використовуються в двигуні ВАЗ-2111. Алюмінієві датчики розташовані в головці блоку циліндрів.

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд датчиків на дослідження електропровідності полум'я, в двигуні ВАЗ-2111: алюмінієві датчики у спеціальній пластини.

На рис. 2.8 показана електрична схема для вимірювання електропровідності полум'я для установки УІ-85 з п'ятьма електричними датчиками (Рисунок 2.4v) при роботі на бензині. У цьому випадку гальванічний елемент +9 V служив джерелом енергії. Електрична схема, використовувана при роботі УІТ-85 з датчиками (Рисунок 2.4a і Рисунок 2.4б), показана на рис. 2.9. У якості джерела живлення використовувалося джерело постійного струму з напругою 360 V то напруги після перетворення 2 змінного.

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

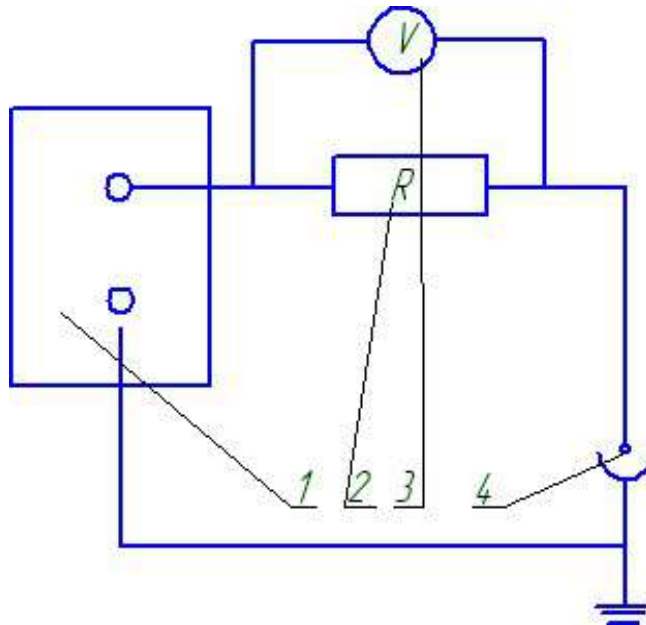


Рисунок 2.8 - Схема вимірювання електропровідності полум'я

Схема вимірювання електропровідності полум'я на рис 2.8 зображена таким чином: 1 — джерело постійного струму «Крона» 9V; 2 — вимірювальний резистор; 3 — осцилограф; 4 — датчик електропровідності.

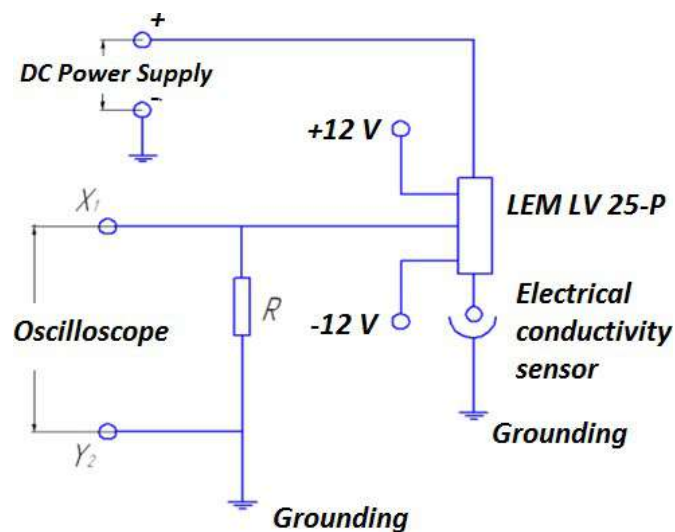


Рисунок 2.9 – Схема вимірювання електропровідності полум'я з гальванічною розв'язкою

Дослідження електропровідності полум'я двигуна ВАЗ проводилося за допомогою датчиків, показаних на Рисунку 2 багатоканальною схемою

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

вимірювання електропровідності полум'я з гальванічною розв'язкою (Рисунок 2.10). Джерело постійного струму з напругою 600 V використовувалося для цього дослідження.

Збільшення напруги на датчиках для вимірювання електропровідності полум'я з 360 до 600 V є результатом збільшення напруги у зазорі між електродом датчика та корпусом двигуна, що збільшує стабільність сигналу. Перехід із сталевих електродів у керамічному ізоляторі на алюмінієві з електроізоляційним оксидним шаром пов'язаний із потребою підвищити надійність конструкції та зменшити вплив датчиків на головку блоку циліндрів. Перехід на сталеві електроди призвів до зменшення навантаження від термічної напруги. У результаті окисдування діаметр отвору зменшився з 25 до 13 мм, що підвищило ефективність цієї системи вимірювання.

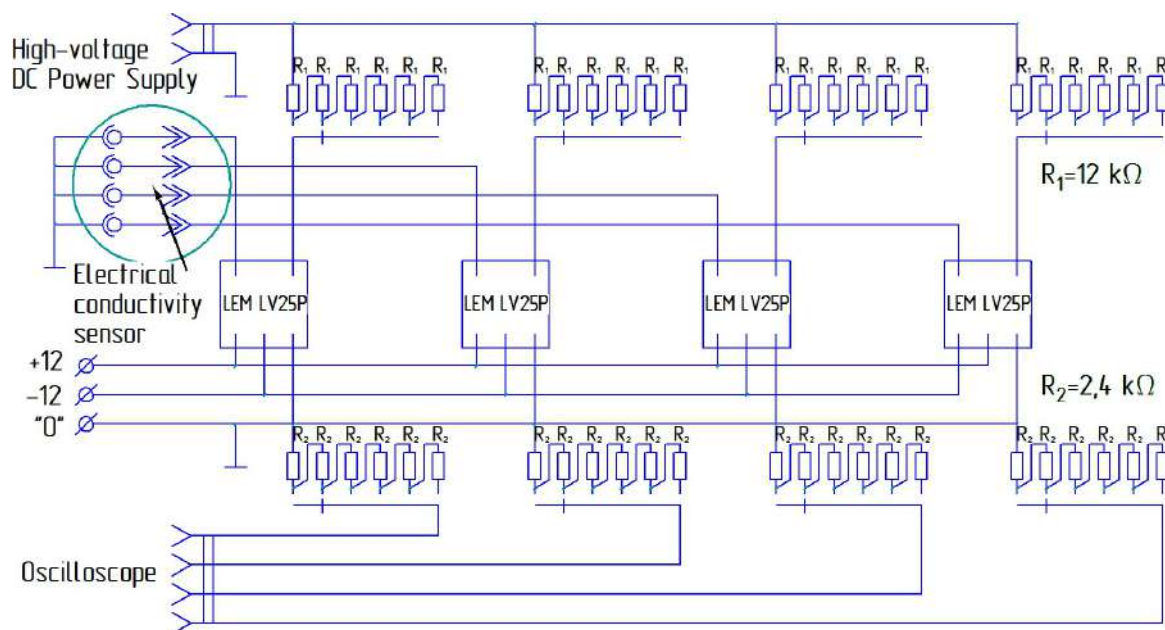


Рисунок 2.10 – Багатоканальна схема вимірювання електропровідності полум'я з гальванічною розв'язкою

На рис. 2.11 показано характеристику ланцюга іонізації, яка показує лінійність співвідношення сили струму та напруги в ланцюгу іонізації.

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

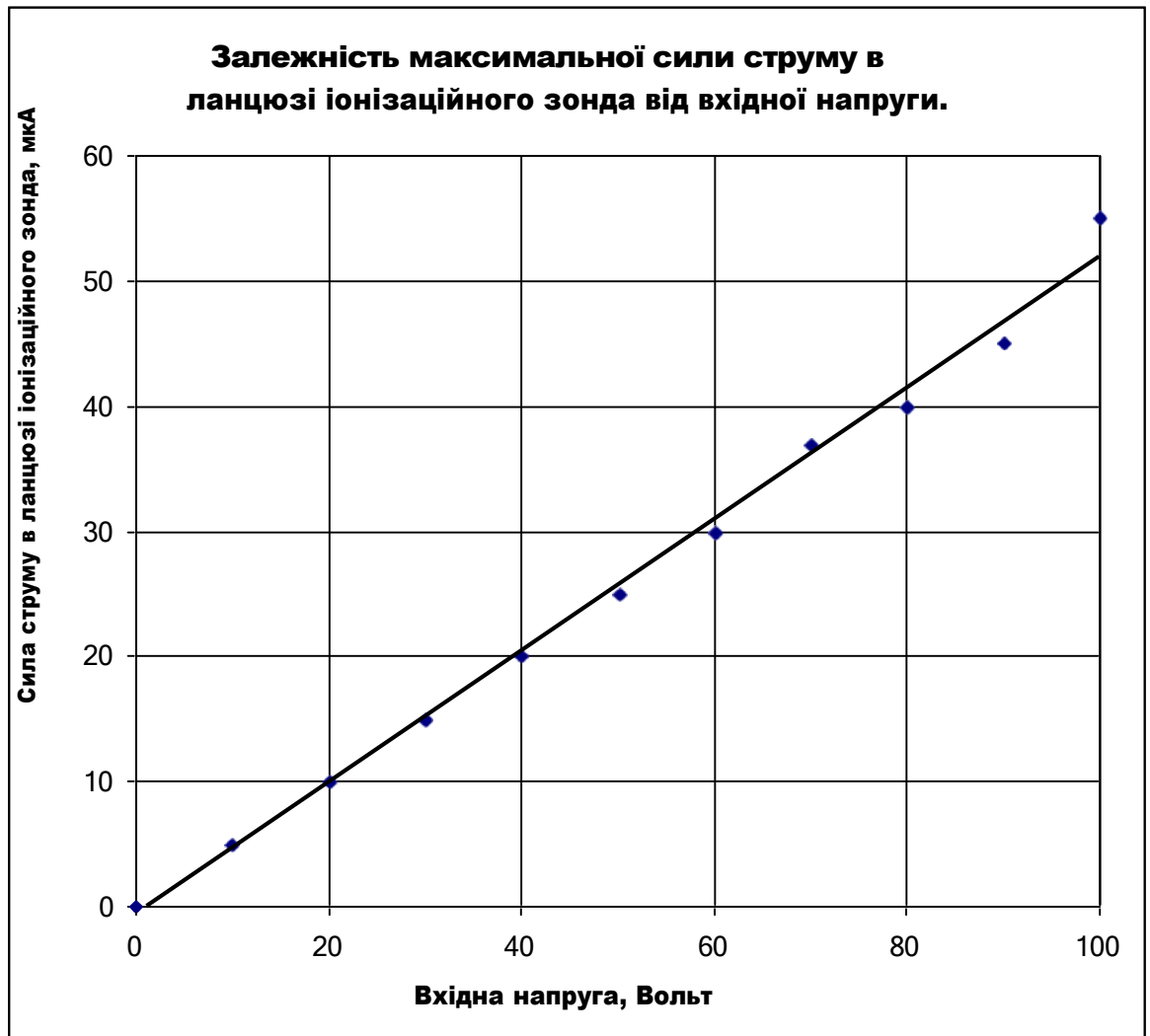


Рисунок 2.11 – Характеристика ланцюга іонізаційного зонда

На рис. 2.12 показаний приклад запису дослідницьких сигналів на двигуні ВАЗ-2111 на бензині в режимі холостого ходу при частоті обертання 880 хв-1, де один сигнал із датчика тиску, другий сигнал із датчика свічки запалювання, третій сигнал електропровідності 15 мм від свічки запалювання та четвертий сигнал електропровідності 45 мм від свічки запалювання.

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

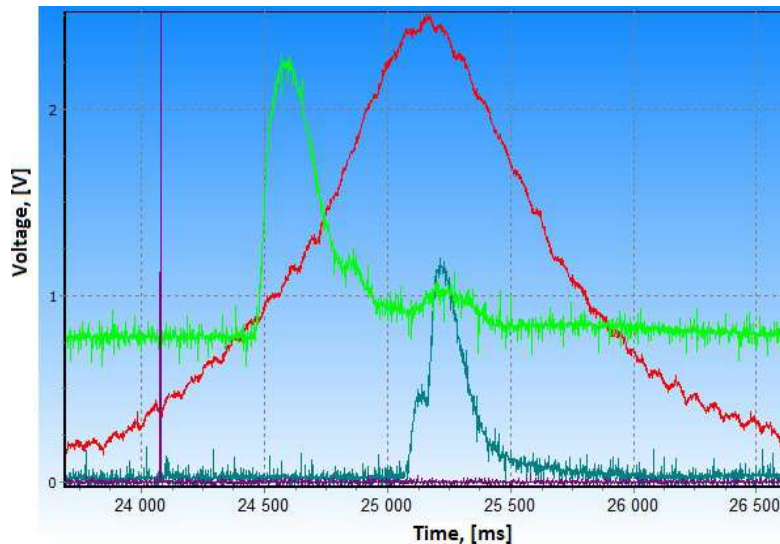


Рисунок 2.12 - Показаний приклад запису дослідницьких сигналів на двигуні ВАЗ-2111 на бензині в режимі холостого ходу при частоті обертання 880 хв-1

Приклад запису дослідницьких сигналів на двигуні ВАЗ-2111 зі ступенем стиснення 7,5 на бензині в режимі холостого ходу при частоті обертання 880 хв-1.

На рис. 2.13 показаний приклад запису експерименту на ВАЗ-2111, де 1 — сигнал від датчика положення колінчастого вала; 2 — сигнал від датчика тиску; і 3 — ділянка пропуску зубів, яка є мертвою точкою.

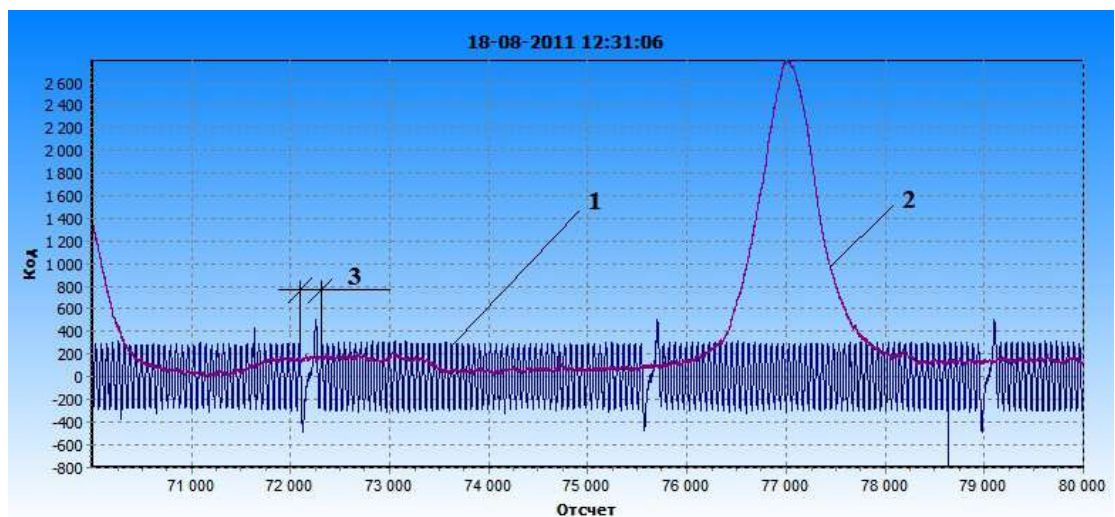


Рисунок 2.13 показує приклад запису дослідницьких сигналів на двигуні ВАЗ-2111 на бензині зі ступенем стиснення 9.8 при частоті обертання 880 хв-1.

РОЗДІЛ 3 — Огляд експериментальних досліджень, проведених з метою виявлення способів використання водню для підвищення ефективності бензинових ДВЗ на холостого ходу

3.1 Результати експериментальних досліджень

Ступінь розбавленості робочої суміші залишковими газами має значний вплив на роботу двигуна на режимі холостого ходу [16].

Кількість залишкових газів залежить від місця розрядження в впускному трубопроводі.

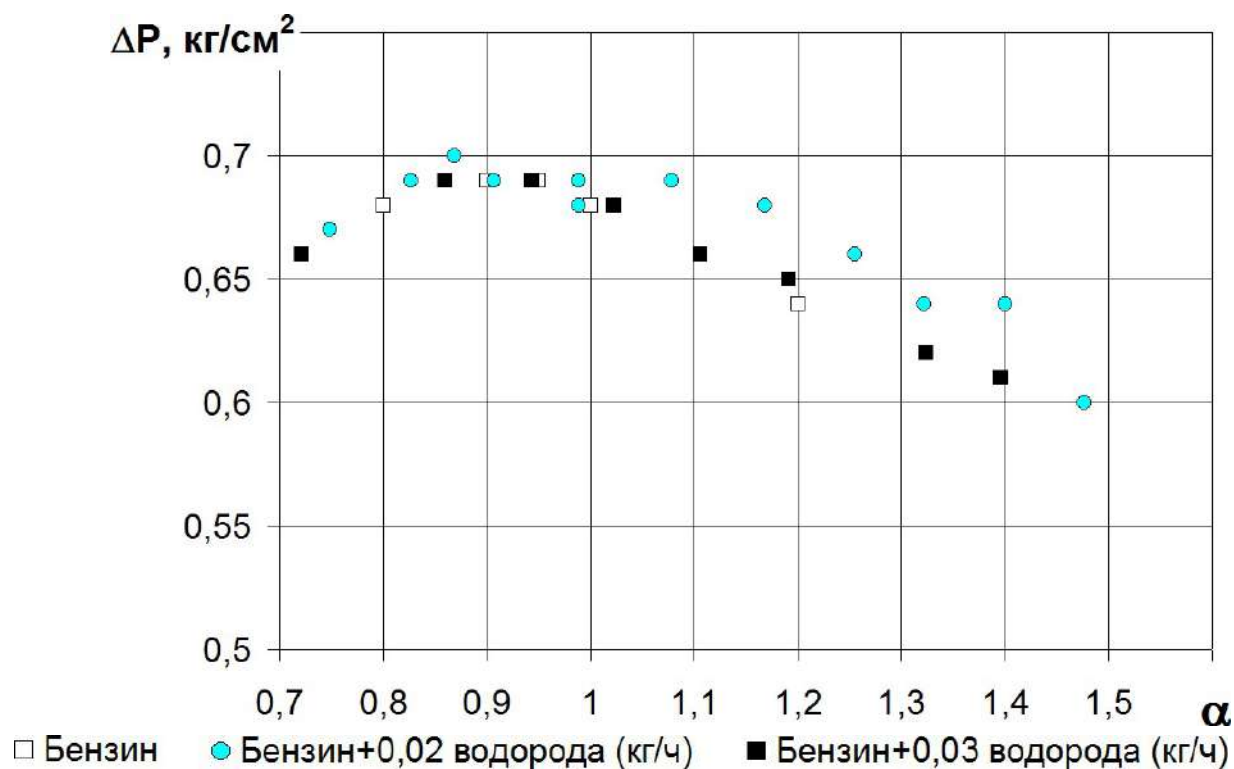


Рисунок 3.1 ілюструє процес заряджання впускного трубопроводу двигуна ВАЗ-2111 на режимі холостого ходу при роботі на бензині з водню при ступені стиснення 9,8

На рис. 3.1 показано розрядження у впускному трубопроводі двигуна ВАЗ-

2111 у режимі холостого ходу, коли він працює на бензині з водню зі ступенем стиснення 9,8, а на рис. 3.2 показано 7,5. На рис. 3.1 показано, що при роботі на бензині та бензині з воднем розрядження знаходить в області однієї кривої, яка зменшується, коли суміш збіднюється. Це відбувається через велике відкриття дросельної заслінки. Завдяки додаванню водню процес згоряння стає ефективнішим, а в багатих сумішах заслінка для бензину з воднем закривається повністю. Схожа ситуація спостерігається при роботі двигуна за ступенем стиснення 7,5. Розрядження бензину відбувається в області однієї кривої, тоді як робота на бензині вимагає більшого відкриття дросельної заслінки, щоб забезпечити стійку роботу двигуна. Це пов'язано з тим, що при роботі на бензині ефективність процесу згоряння знижується при зменшенні ступеня стиснення.

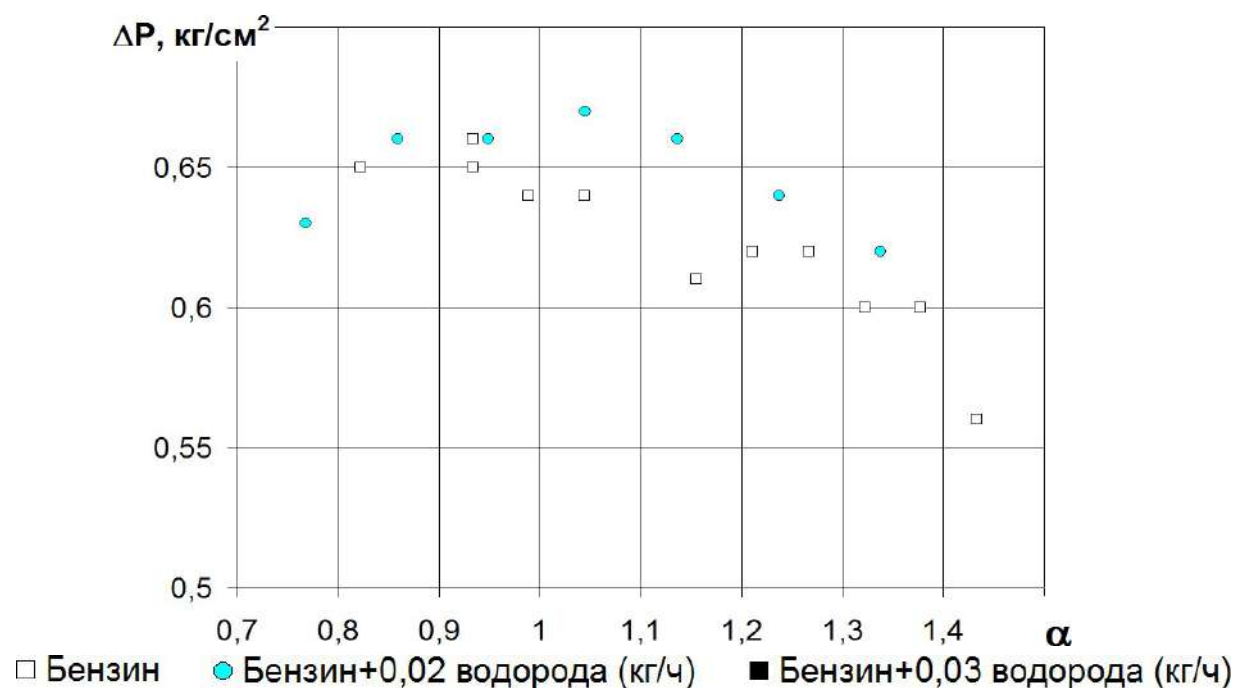


Рисунок 3.2 – Розрядження у впускному трубопроводі на режимі холостого ходу у двигуні ВАЗ-2111 під час роботи на бензині, при ступеню стиснення 7,5

Результати характеристики витрати повітря, представлені на рис. 3.3 і 3.4,

доповнюються характеристикою розрядження впускного трубопроводу. Наразі показники розрядження в впускному трубопроводі відповідають характеристиці витрати повітря. У циліндрі двигуна більша частка залишкових газів, що означає, що при більшому розрядженні збільшується опір і зменшується витрата повітря. Це робить процес згоряння більш складним. На рис. 3.3 показано, що характеристика витрат повітря для бензину знаходиться на одній кривій, але коли додається вода, частина повітря витісняється, що вказує на зниження витрат повітря. Схожа ситуація спостерігається для ступеня стиснення 7,5 (рисунок 3.4), але для забезпечення стійкої роботи двигуна і компенсації втрат від меншої ефективності процесу згоряння при зниженні ступеня стиснення потрібно використовувати дещо більше повітря.

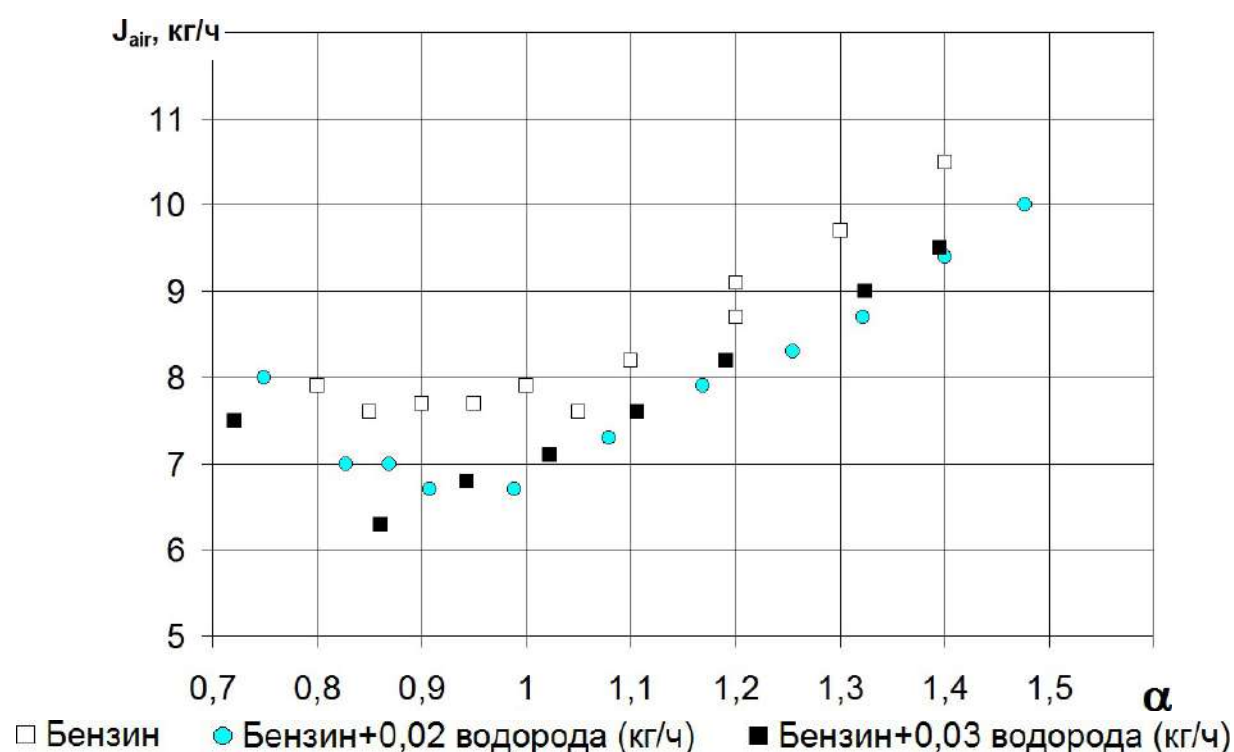


Рисунок 3.3 – Витрата повітря на режимі холостого ходу у двигуні ВАЗ-2111 при роботі на бензині, бензині з водню, при ступені стиснення 9,8

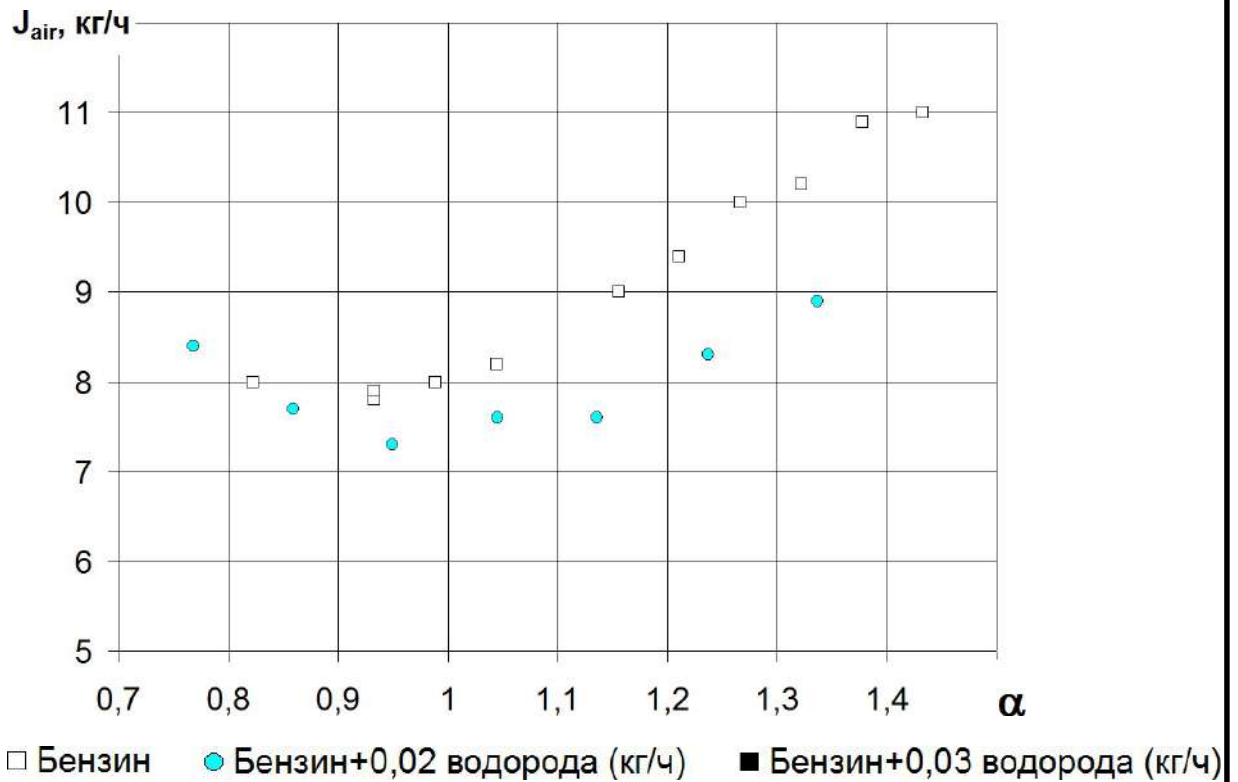


Рисунок 3.4 – Витрата повітря на режимі холостого ходу у двигуні ВАЗ-2111 при роботі на бензині, бензині з водню, при ступеню стиснення 7,5

Розглянемо вплив виду палива на токсичність пр двигуна за ступенем стиснення 9,8 та 7,5. На рис. 3.5 показано зміну концентрації СН у відпрацьованих газах залежно від коефіцієнта надлишку повітря. З малюнків 3.5а і 3.5б видно, що токсичність по СН під час роботи як на КПП, так і на бензині тримається на одній кривій і мало залежить від ступеня стискування. Додавання водню до бензину може допомогти зменшити токсичність [17]. Додавання водню в КПП значно знижує токсичність СН. що видно для обох ступенів стиснення, розглянутих вище. Це краще запускає процес згорання газу на початковій фазі. За рахунок своєї вищої дифузійної активності в основній фазі згорання КПП дозволяє швидке та повне згорання [18].

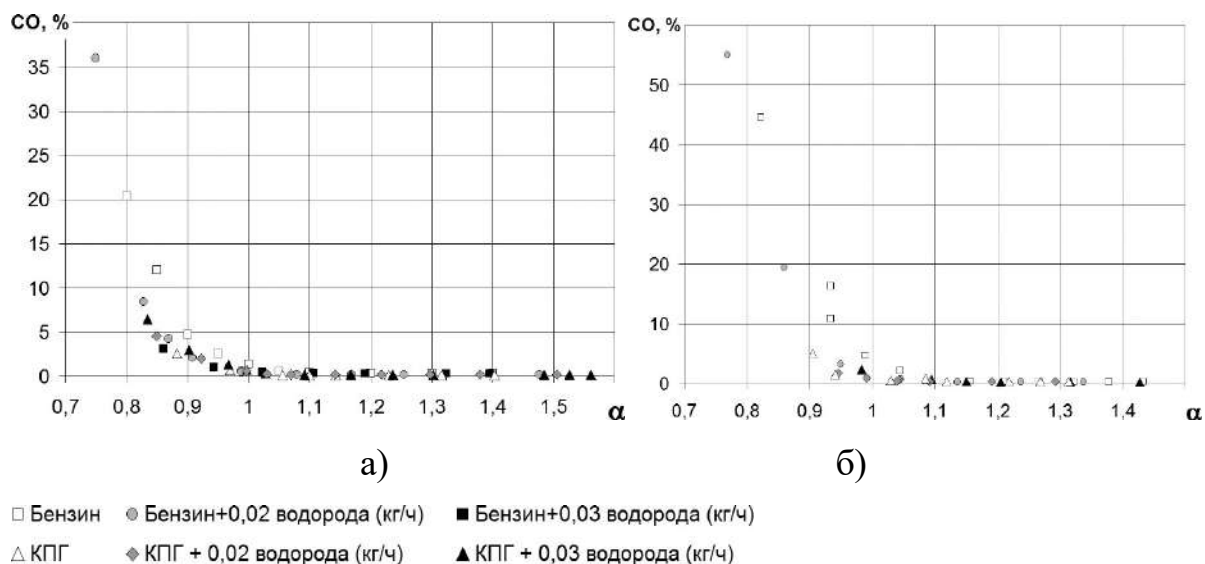
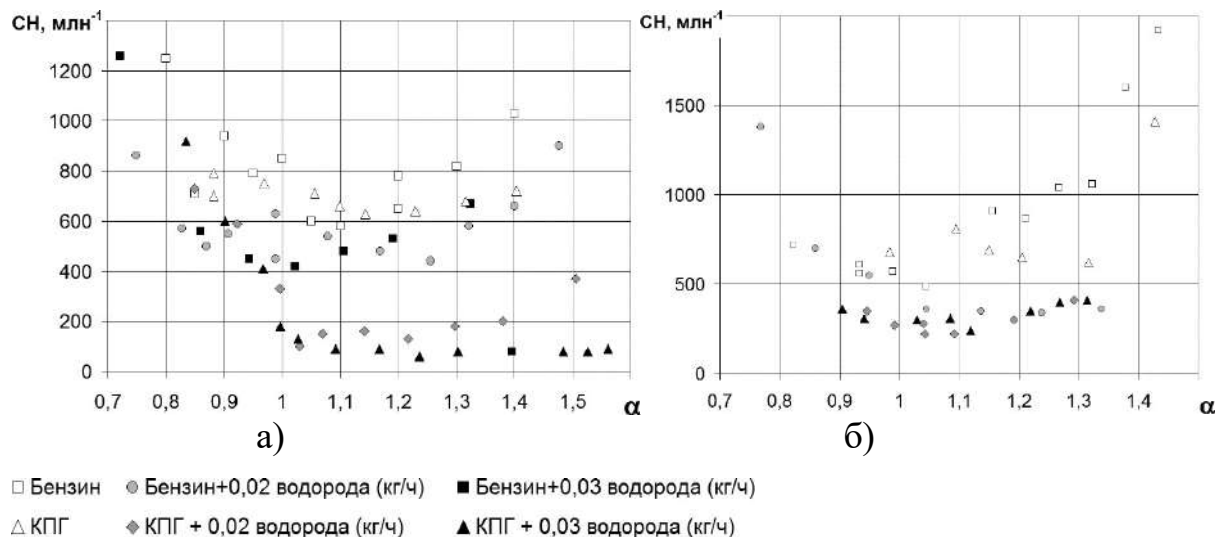


Рисунок 3.6 показує зменшення викидів CO у відпрацьованих газах у режимі холостого ходу двигуна ВАЗ-2111 при роботі на бензині, бензині з воднем, КПГ і КПГ з воднем. Ступінь стиснення становить 9,8; ступінь стиснення становить 7,5.

Коли двигун ВАЗ-2111 працює на бензині, бензині з водню, КПГ і КПГ із воднем, ступінь стиснення становить 9,8, а ступінь стиснення становить 7,5.

На рис. 3.6 показано концентрації CO для ступеня стиснення 9,8, а для ступеня стиснення 7,5. Для бідних сумішей (від 1 до 1,6) при ступені стиснення 9,8 концентрація CO коливається від 0,15 до 0,3%. Нижчі значення

вказують на роботу КПП і додавання водню як до CNG, так і до бензину. На бензині CO становить від 0,28 до 0,4 відсотка. Бензин також токсичний у зоні багатих сумішей. У середньому ситуація схожа при ступені стиснення 7,5; однак значення CO для всіх видів палива знаходяться в одному діапазоні від 0,24 до 0,42 в зоні бідної суміші. У багатій суміші ситуація схожа, але токсичність CO зростає при зниженні ступеня стиснення. Такі висновки показують, що повнота згоряння палива знижується при зниженні ступеня стиснення в баластованій робочій суміші залишковими газами. Цей ефект відображається у збільшенні концентрації CO у газах, що відпрацювали.

На рис. 3.7 показано концентрації NOx для ступеня стиснення 9,8, а для ступеня стиснення 7,5.

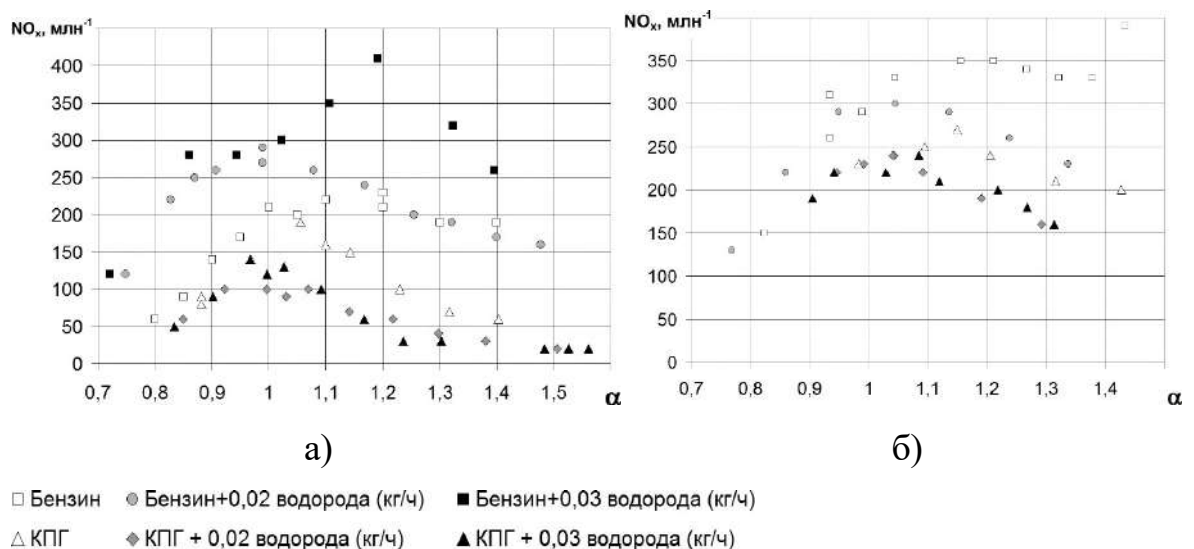


Рисунок 3.6 – Концентрація NOx у відпрацьованих газах на режимі холостого ходу двигуна ВАЗ-2111 під час роботи на бензині, бензині з водню, КПП та КПП з воднем: (а) ступінь стиснення 9,8; (б) ступінь стиску 7,5

Ступінь стиснення 9,8 показує, що при додаванні водню до бензину токсичність NOx значно збільшується для всіх коефіцієнтів надлишку повітря. Це демонструє, як швидкість тепловиділення збільшується при додаванні водню, коли дросельна заслінка встановлюється в однакове

положення. Тим не менш, додавання водню до КППГ призводить до зниження рівня NOx у зоні бідних сумішей (від 1 до 1,5). Це пов'язано з більшим закриттям дросельної заслінки та меншим наповненням циліндрів. Таким чином, хоча водень збільшує швидкість тепловиділення, паління зменшує кількість тепла, введеного в циліндр двигуна за допомогою палива, а концентрація залишкових газів збільшується, що призводить до зниження температури процесу згоряння. Зниження кількості NOx демонструє це. Рис. 8б добре показує ці висновки; на ньому показано, що додавання водню разом із більшим закриттям дросельної заслінки забезпечує зниження NOx як для бензину, так і для КППГ. У бідних сумішах цей ефект особливо помітний, оскільки концентрація NOx обмежена лише температурою процесу згоряння.

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						52
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Глава 4 Виявлення можливості підвищення ефективності процесу згоряння в бензиновому ДВЗ із промотуючими добавками водню

У двигунах ВАЗ-11183 і ВАЗ-2111 зі зниженим ступенем стиснення була помітна значна нерівномірність протікання процесу згоряння (рис. 2.2б, 2.3б). Крім того, інтенсивність тепловиділення значною мірою залежала від складу залишкових газів і їх циклів. Показники показують, що додавання водню до бензоповітряної суміші може призвести до збільшення реакційної активності суміші (рис. 2.2в, 2.3в). Це призводить до стабільності протікання процесу згоряння, включаючи більшу рівномірність складу залишкових газів і ідентичність складу робочого тіла в послідовних циклах згоряння.

Після аналізу та обробки експериментальних даних було виявлено, що показник політропи є однією з інтегральних характеристик перебігу термодинамічних процесів; зміна показника відображає зміни в напрямку та інтенсивності теплового потоку в процесах, які досліджувалися. На рис. 4.1 показано схематичну зміну показника політропи, а також ключові точки зміни поведінки термодинамічної системи. На етапі, коли процес стиснення починається і досягає характерної точки 1, коли показник політропи стиснення дорівнює показнику адіабати, стінки циліндра двигуна нагрівають робочу суміш. У процесі стиснення тепловий потік від стінок циліндра зменшується і дорівнює 0 у точці 1. У точці 2, де знову порівнюються показники політропи та адіабати, показано, що кількість теплоти, що виділяється в процесі згоряння, дорівнює теплоті, що проходить через стінки циліндрів. На ділянці від точки 2 до ВМТ, яка відповідає 360 град. ПКВ, відбувається згоряння на такті стискування, а показник політропи прагне до нескінченності, що означає, що процес ізохорного підведення теплоти відбувається в ВМТ. На проміжку від ВМТ до точки 3 показник політропи має негативні значення, пов'язані з активним тепловиділенням на такті розширення. У точці 3, де $n = 0$ відповідає максимальному тиску в циліндрі

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двигуна, показник політропи набуває негативних значень.

Від точки 3 до точки 5 показник політропи дорівнює показнику адиабати розширення, і в точці 4 показник політропи дорівнює 1, що свідчить про ізотермічний процес. Зона викладання, де завершуються процеси горіння, і ділянка, що збільшується прямолінійно, показують збільшення тепловідведення в процесі розширення через збільшення площі охолоджуваної поверхні. Ці два елементи складають ділянку між точками 5 і процесом випуску.

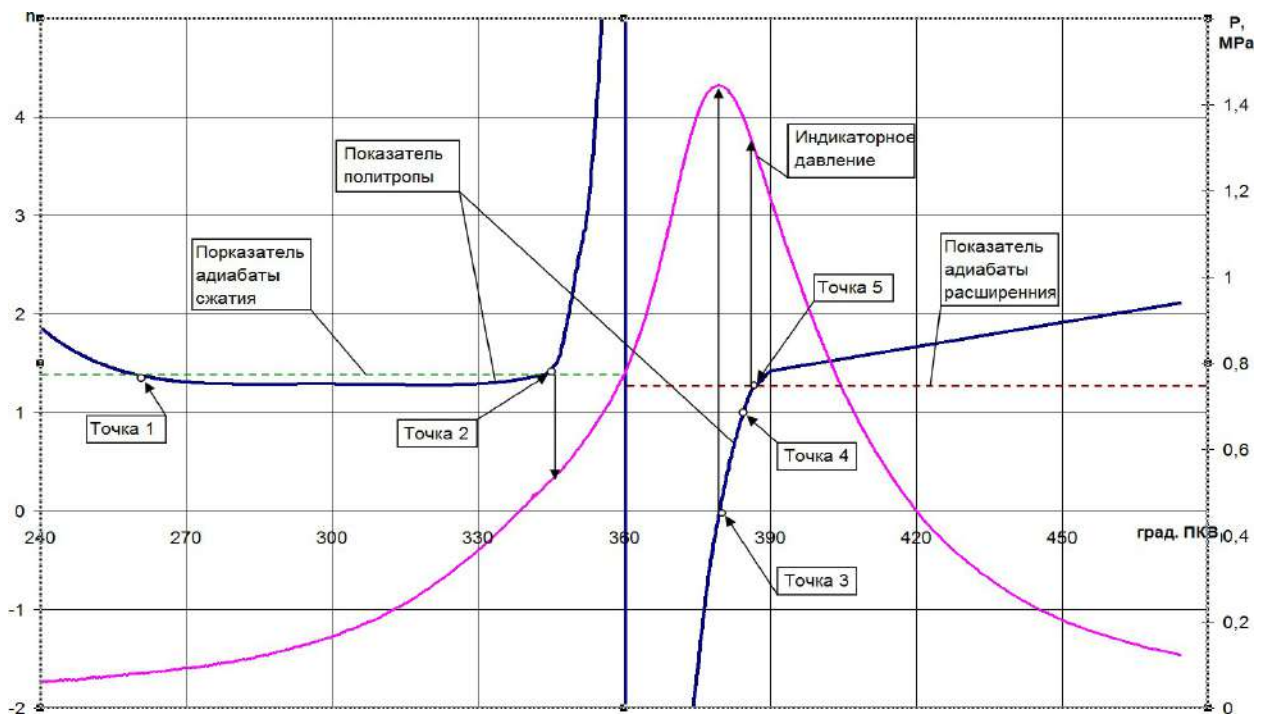


Рисунок 4.1 – Схема зміни показника політропи дійсного циклу ДВЗ з іскровим запалюванням

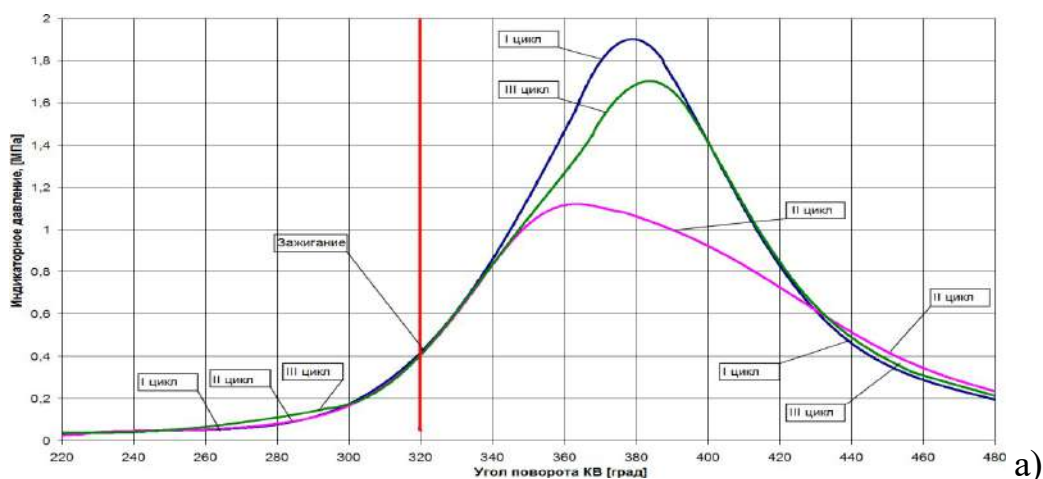
На кожному досліджуваному режимі роботи двигуна при глибокому дроселюванні та складі палива проаналізовано термодинамічні процеси та їх інтенсивність для трьох послідовних циклів (рис. 4.2). Це було зроблено за допомогою аналізу зміни показника політропи в процесах стиснення, згорання та розширення. Це показує, що значення політропи стиснення та розширення значно відрізняються від значень, які були прийняті під час розрахунків для режимів повного навантаження; зокрема, значення політропи стиснення

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

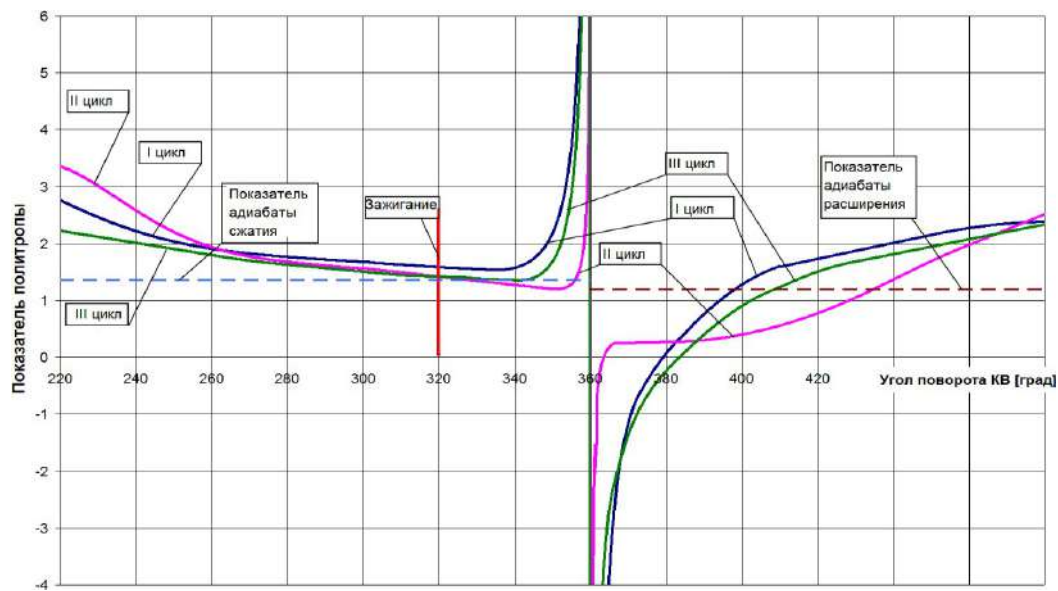
коливається від 1,8 до 2,3, а значення політропи розширення коливається від 1,5 до 1,8. у циклах з пропуском запалювання або частковим згорянням спостерігається значну ділянку показника політропи розширення зі значеннями нижче 1, що характеризує процес догорання або часткового згорання при значному розширенні робочого тіла.

Таким чином, прийняті значення політроп для процесів стиснення, згорання та розширення при роботі двигуна на режимах дроселювання, особливо на режимі холостого ходу, значно відрізняються від реальних значень, які потрібно враховувати при розрахунках ДВЗ. За умови, що температура робочого тіла та стінка циліндра двигуна рівні, оцінка зміни показника політропи стиснення дозволяє визначити ділянку з показником політропи, рівним показнику адіабати.

Це дозволяє визначити робочу суміші в циліндрі двигуна, яка складається з залишкових газів і свіжої суміші, яка вимірюється датчиками витрати повітря та палива на цій ділянці рівняння стану. Таким чином, надзвичайно важливо досліджувати зміни термодинамічних характеристик на режимах глибокого дроселювання поршневих двигунів і установок, щоб знайти способи підвищення ефективності процесу згорання.



					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

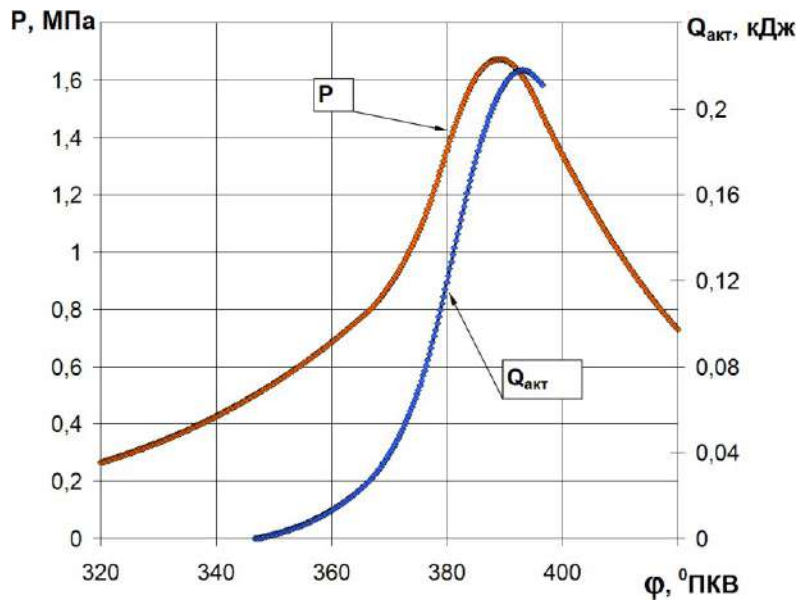


б)

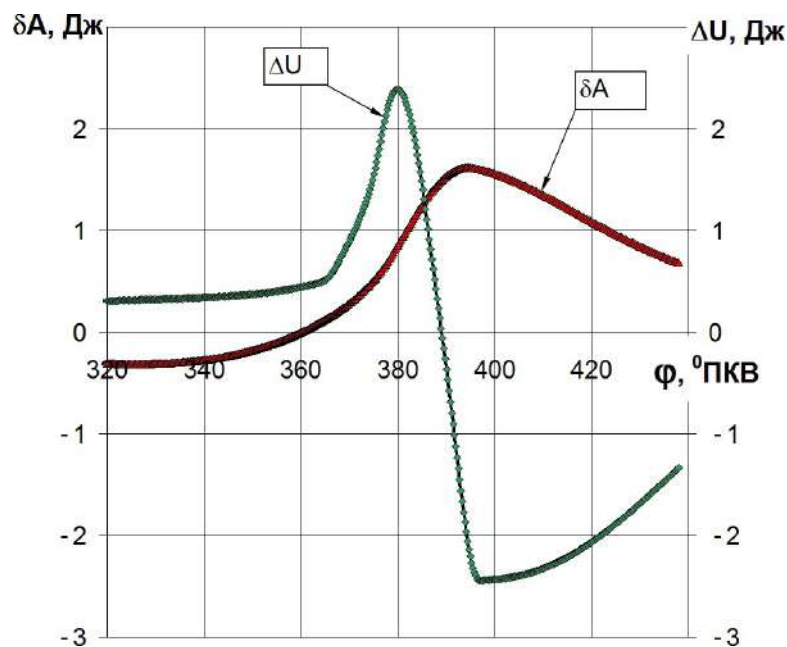
Рисунок 4.2 – Оцінка в процесі стиснення, згоряння та розширення трьох послідовних циклів на режимі холостого ходу: (а) зміни тиску; (б) показник політропи.

На рис. 4.3 показано результати обробки експериментальних даних UI-85 за запропонованою методикою. На рис. 4.3а показано діаграму індикації зміни тиску в циліндрі двигуна, а також характеристику зміни активного тепловиділення. Сума змін внутрішньої енергії та роботи з моменту початку згоряння є показником зміни активного тепловиділення. На рис. 4.3б показано діаграми зміни внутрішньої енергії та зміни роботи для кожної елементарної ділянки з кроком 0,2724 градуса кута повороту. На цьому режимі роботи за один цикл було введено 343,111 Дж теплоти з палива.

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



а)



б)

Рисунок 4.3 — Основні термодинамічні параметри процесу згоряння УІТ-85 при $\alpha = 1,0052$: (а) індикаторний тиск та характеристика активного тепловиділення; (б) робота газу та зміна внутрішньої енергії на елементарній ділянці

Під час аналізу зміни кількості теплоти, витраченої внутрішньої енергії та роботи слід звернути увагу на певне зменшення, яке відбувається після згоряння.

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це визначається наявністю теплопередачі в стінці. На цьому етапі процесу згоряння паливом виділяється більше енергії через теплопередачу в стіну. Порівняння максимального активного тепловиділення та енергії, підведеної з паливом, дає загальну кількість теплових втрат від теплопередачі в стінку.

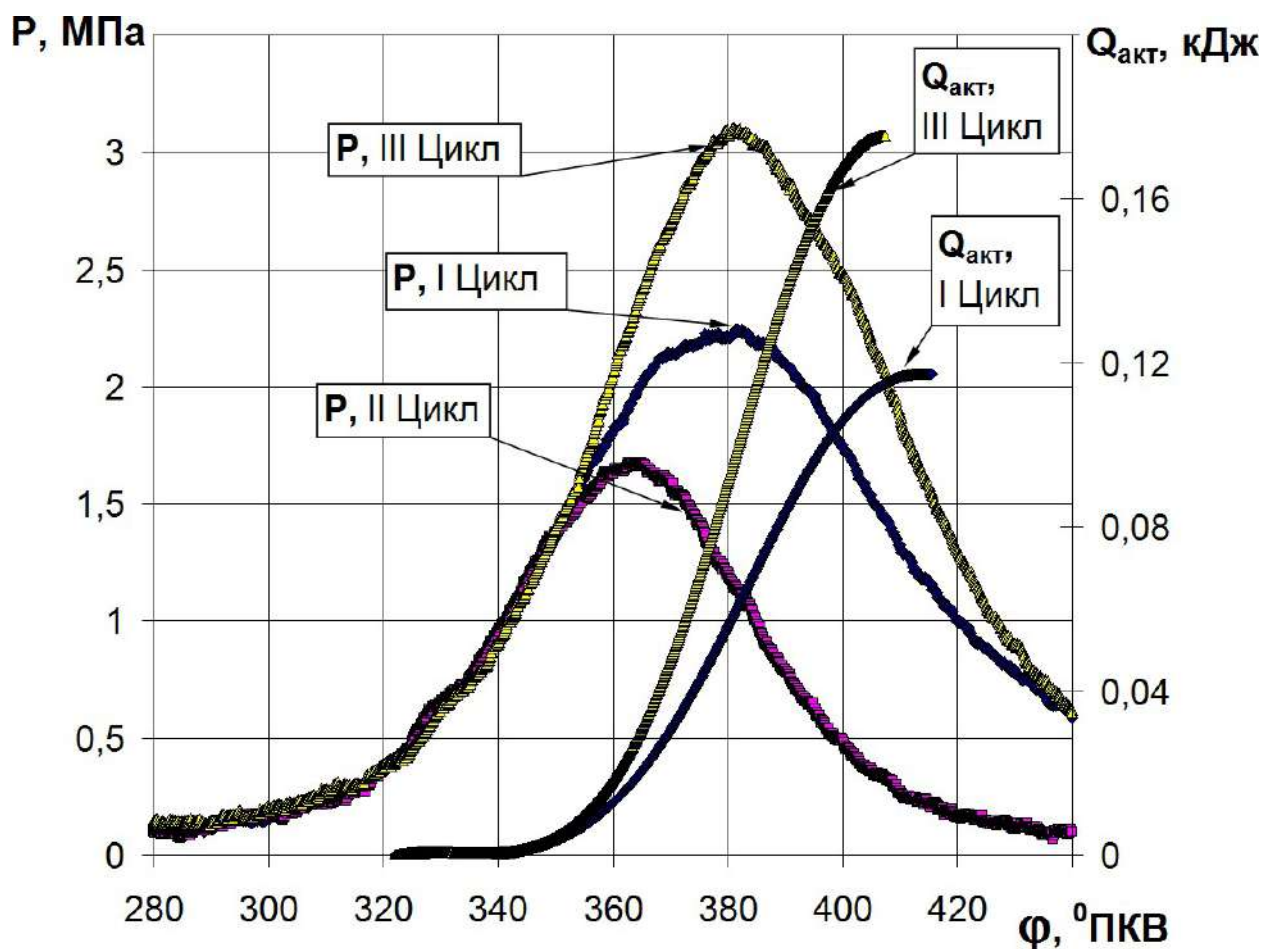


Рисунок 4.4 – Індикаторний тиск та характеристика активного тепловиділення у двигуні ВАЗ-2111 при $\alpha = 1,0168$

Основні характеристики тепловиділення для процесу згоряння двигуна ВАЗ-2111 у режимі холостого ходу за коефіцієнтом надлишку повітря 1,0168 показані на малюнках 4.4 та 4.5. На рис. 4.4 показано індикаторні діаграми трьох аналізованих циклів, а також характеристики активного тепловиділення для першого та третього циклів, оскільки у другому циклі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ

Арк.

58

спостерігається пропуск запалювання. Для кожної елементарної ділянки на рис. 4.5 представлені діаграми роботи газу та зміни внутрішньої енергії з кроком 0,1073 градуса кута повороту. У цьому випадку теплота, підведена з паливом, становить 233,358 Дж за цикл.

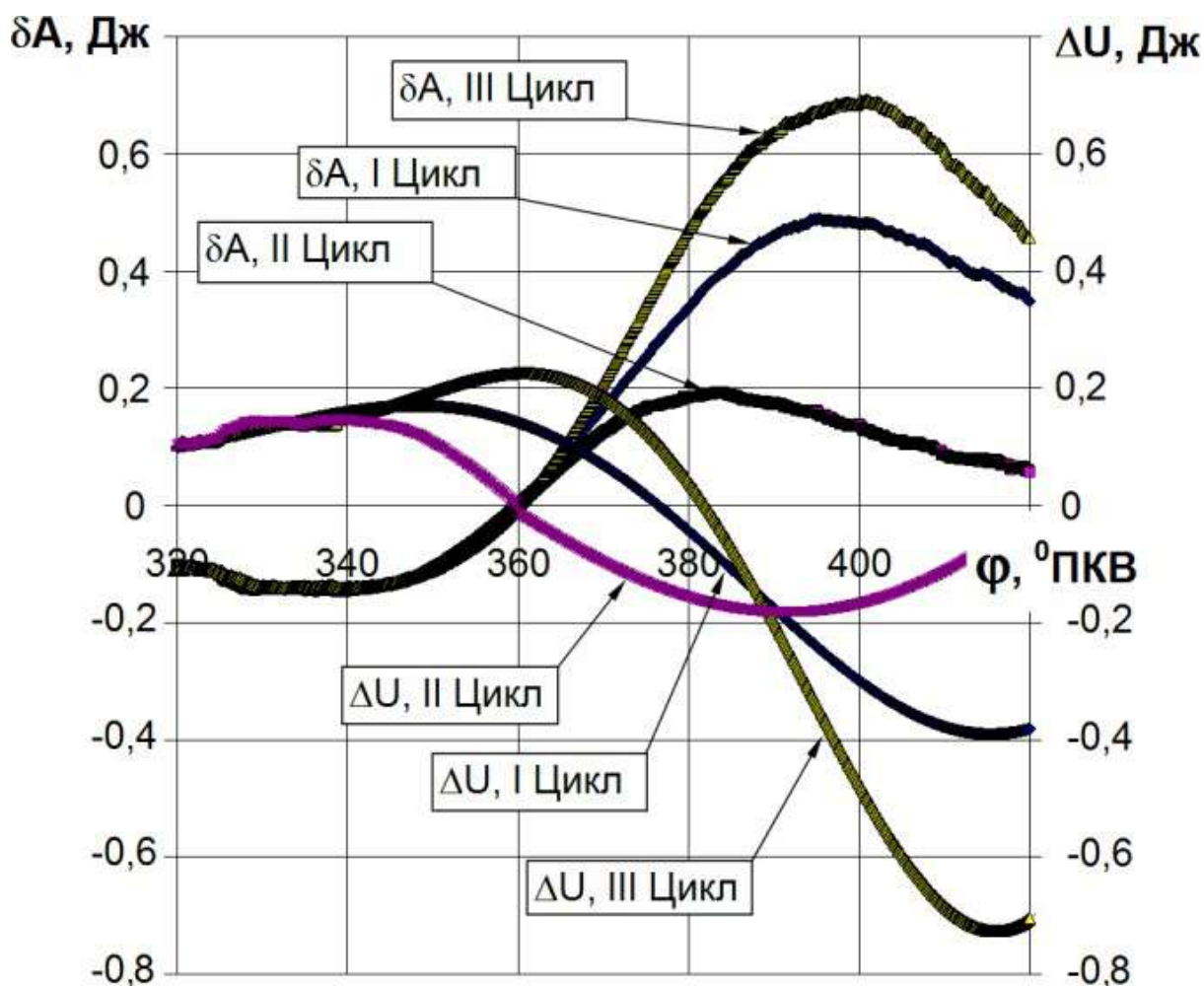


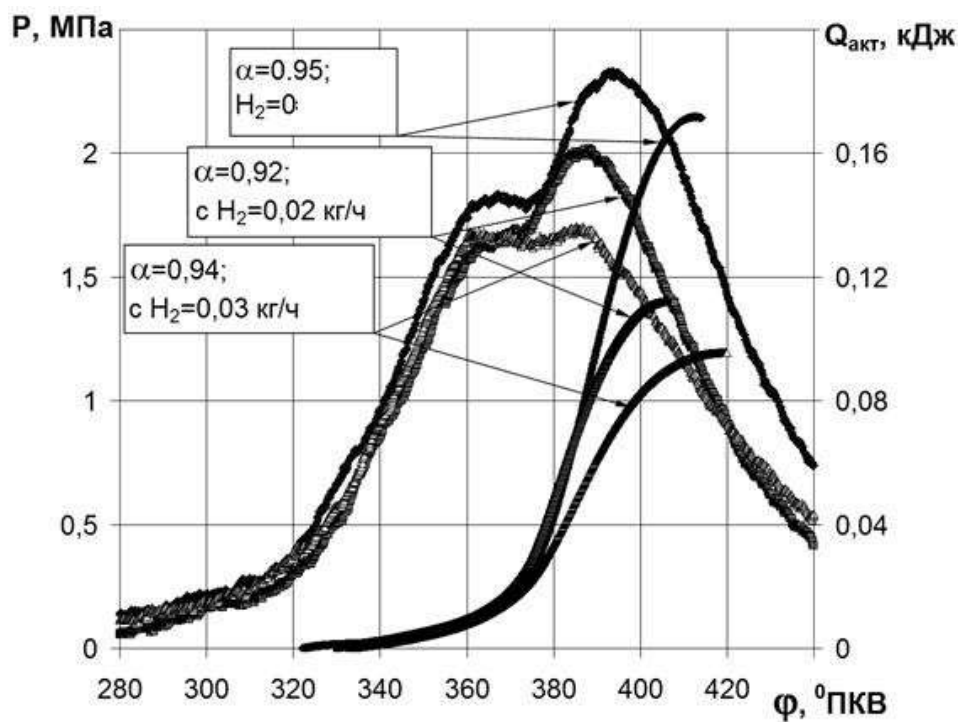
Рисунок 4.5 – Робота газу та зміна внутрішньої енергії на елементарному ділянці у двигуні ВАЗ-2111 при $\alpha = 1,0168$

На рисунку 4.4 і 4.5 показано аналіз отриманих параметрів тепловиділення на режимі холостого ходу для конвертованого природного газу двигуна ВАЗ-2111, який демонструє значну нерівномірність процесу згоряння. Після першого циклу, як правило, відбувається пропуск запалювання. У наступному третьому циклі горюча суміш і продукти неповного згоряння значною мірою насичені

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

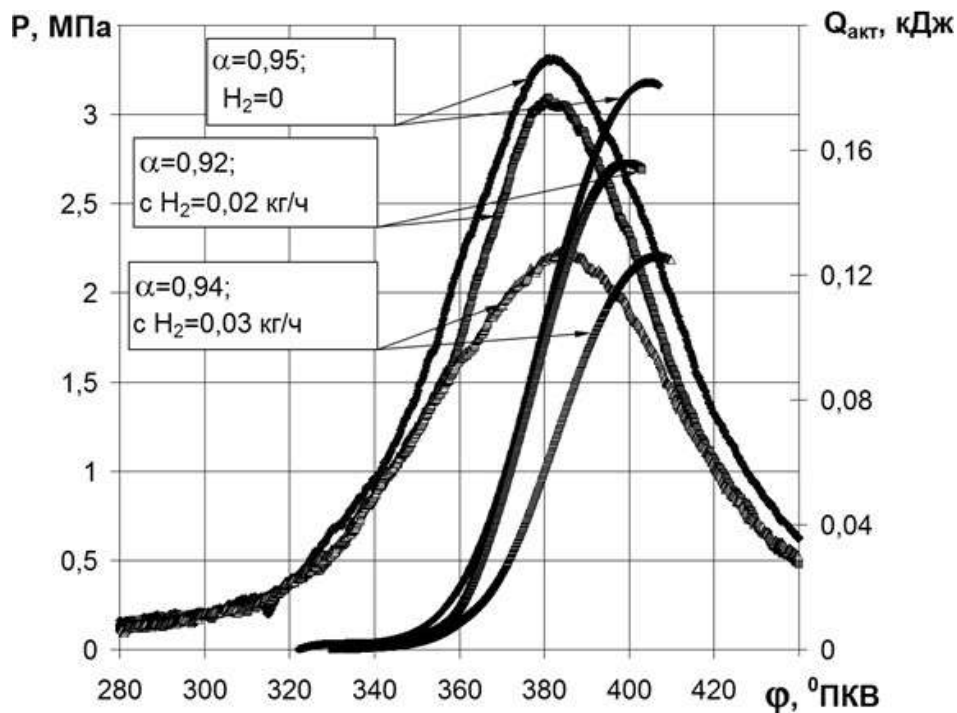
залишковим газом, що підвищує реакційну здатність суміші та її енергоємність. На рисунку 4.4 показано значні значення індикаторного тиску та кількості активно виділеної енергії, а також роботи газу та внутрішньої енергії на елементарній ділянці. Для другого циклу з пропуском запалювання спостерігаються практично рівні зміни внутрішньої енергії та роботи газу, що свідчить про відсутність сталого процесу горіння в цьому режимі (рис. 4.5).

Для коефіцієнтів надлишку повітря 0,95, 1 і 1,1 відповідно оцінка зміни індикаторного тиску і кількості енергії, що активно виділилася в першому і третій аналізованих циклах представлена на рисунку 4.6, 4.7 і 4.8. Як правило, перший цикл супроводжується повним згорянням попереднього циклу. Третій цикл завжди починається після пропуску запалювання для бензину з 0,02 кг/год водню або неповного згорання для бензину з 0,03 кг/год водню.



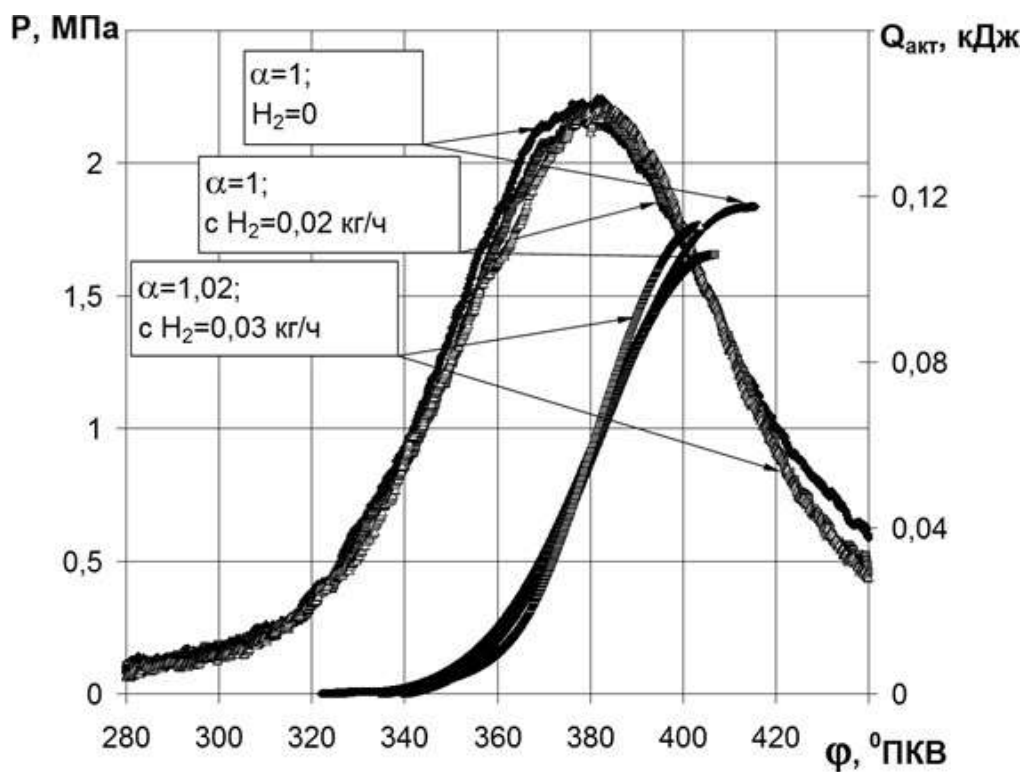
а)

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60



б)

Рисунок 4.6 – Індикаторний тиск та кількість активно енергії, що виділилася в аналізованих циклах при коефіцієнті надлишку повітря близьким до $\alpha = 0,95$: а) в першому циклі, б) у третьому циклі

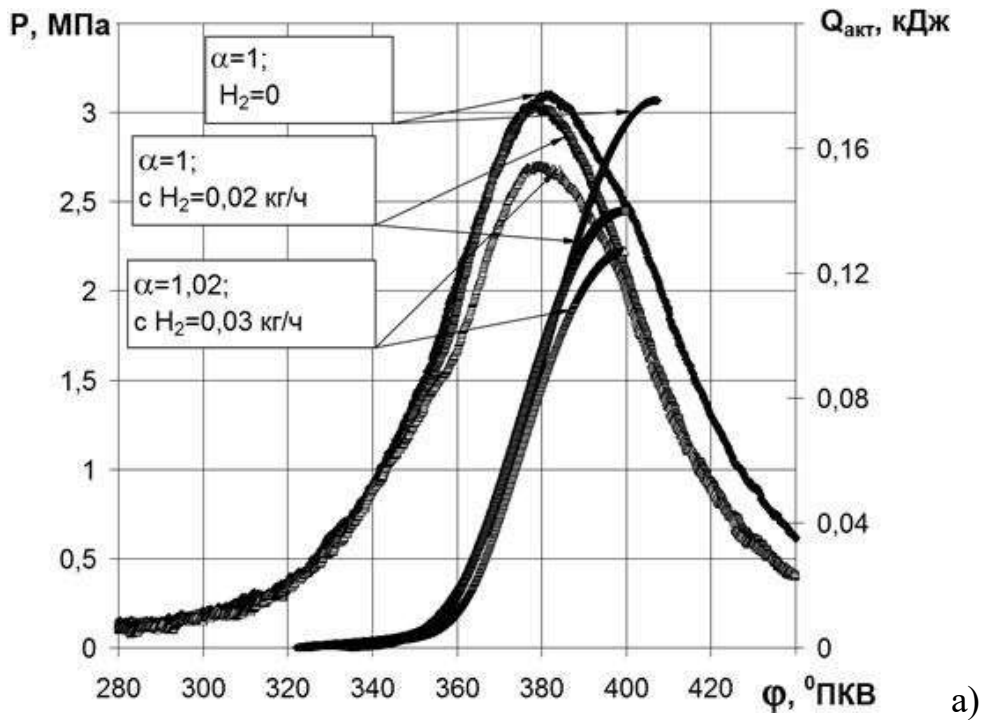


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ

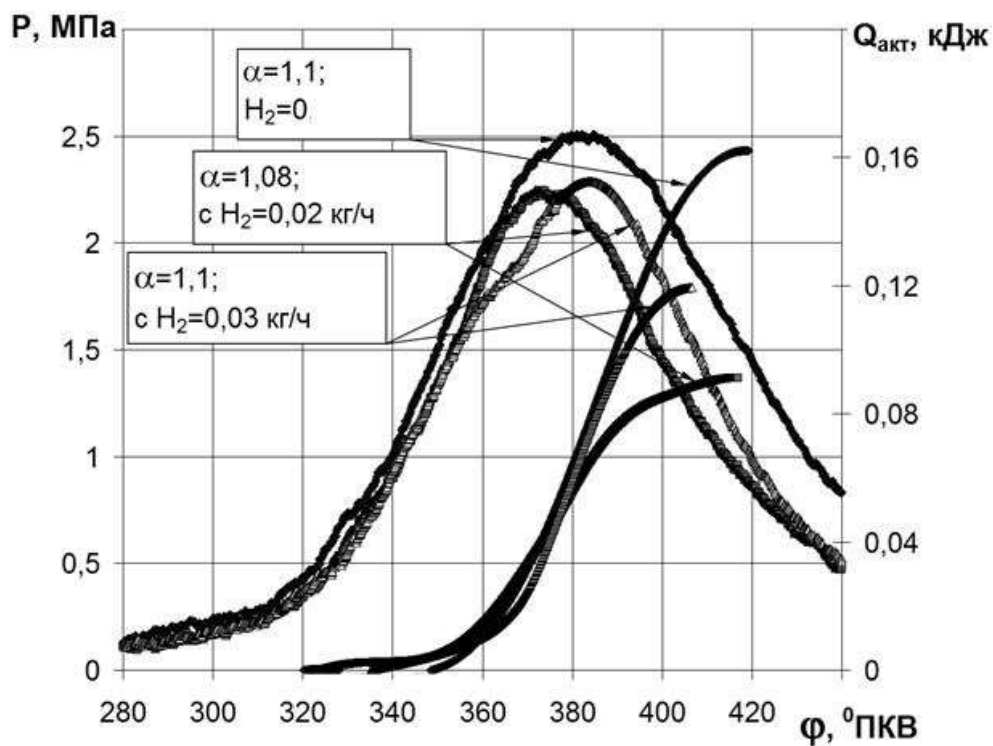
Арк.

61



б)

Рисунок 4.7 – Індикаторний тиск і кількість активно виділилася енергії в аналізованих циклах при коефіцієнті надлишку повітря близьким до $\alpha = 1$: а) у першому циклі; б) у третьому циклі.



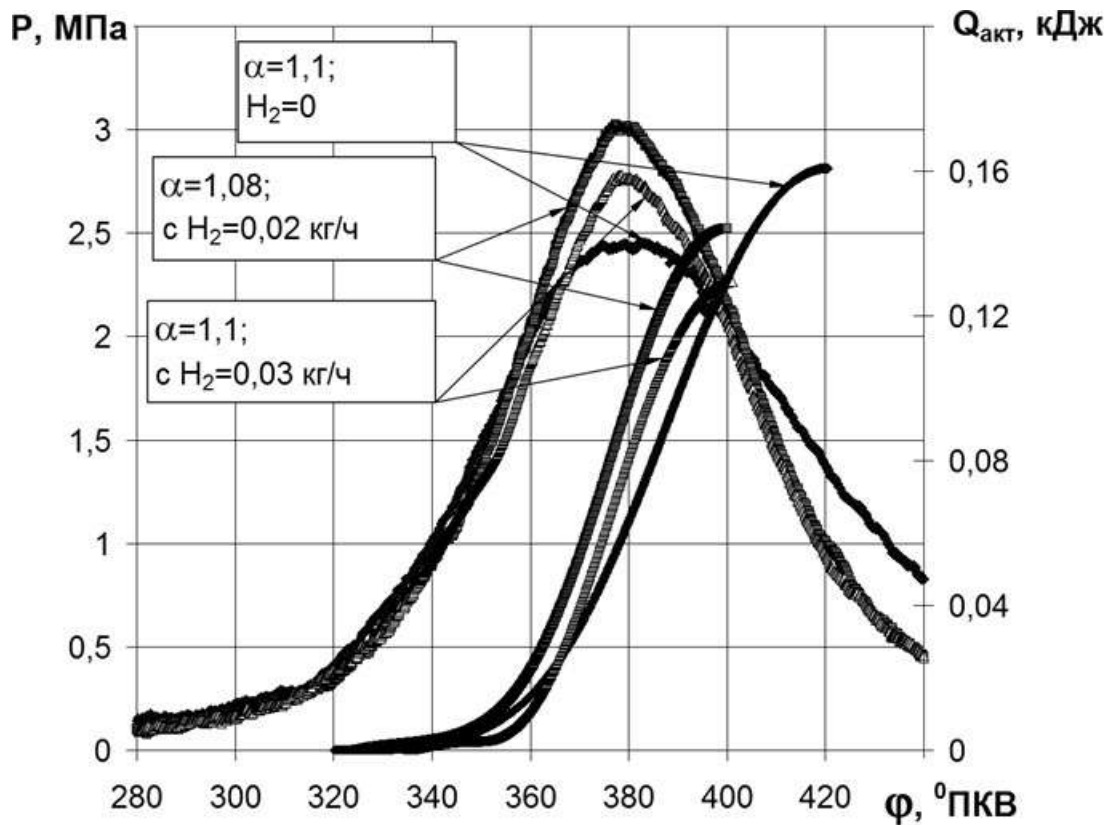
а)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ

Арк.

62



б)

Рисунок 4.8 – Індикаторний тиск і кількість активно виділеної енергії в аналізованих циклах при коефіцієнті надлишку повітря близьким до $\alpha = 1,1$: а) у першому циклі; б) у третьому циклі

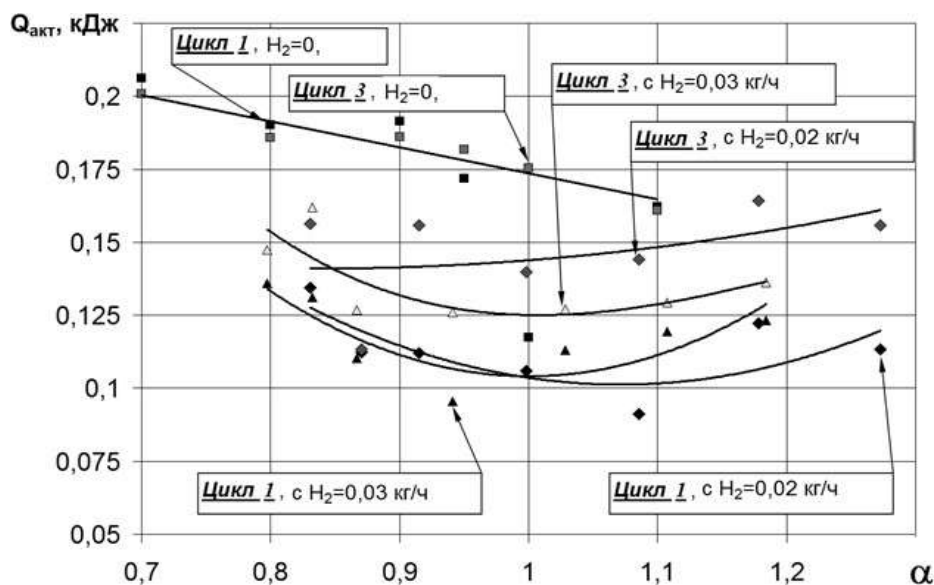


Рисунок 4.9 – Порівняння максимальних значень кількості теплоти, що активно виділилася в залежності від коефіцієнта надлишку повітря і кількості водню, що додається, в бензоповітряну суміш

Отже, наведено порівняння максимальних значень теплоти, що активно виділилася в бензоповітряній суміші в залежності від коефіцієнта надлишку повітря та кількості водню, що додається (рисунок 4.9).

На рис. 4.9 показано результати та дані, які були аналізовані. Чотири окремі області були визначені за якісним складом відпрацьованих газів і ефективністю процесу згоряння. Перва зона: цикли після повного згоряння містять менше 0,10 кДж активної енергії. Але завдяки додаванню водню в них виникла зона горіння, яка забезпечує частку активної енергії приблизно 0,45–0,55 від теплової енергії та забезпечує 7–85% повноти окиснення палива. Після цього цикл повторюється з неповним згорянням до тих пір, поки не відбудеться зрив або прорив запалювання..

Друга зона включає цикли з активною кількістю енергії від 0,10 до 0,12 кДж. Ці цикли створюють нормальний фронт полум'я, який гарантує повне згоряння. Третя зона включає цикли, які активно виділяють від 0,125 до 0,165 кДж енергії. Ці цикли обов'язково мають пропуск запалювання або неповне згоряння, і вони спостерігаються при роботі на бензині з добавками водню. Цикли, які мають активну кількість енергії від 0,16 до 0,21 кДж, відомі як четверта зона, коли вони працюють на бензині після повного пропуску запалювання.

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

До основних результатів слід віднести такі висновки щодо роботи:

1. Додаток водню до 6% від маси палива має значний вплив. тільки на роботу двигуна, токсичні ОГ і межі стійкої роботи при збідненні суміші. Було виявлено, що на всіх складах суміші, починаючи з -0,91 і до межі ефективного збіднення суміші, збільшення кількості водню, що додається, підвищує крутний момент двигуна, потужність і ККД двигуна. Збіднення суміші збільшує вплив водню.

2. Межа ефективного збіднення суміші становить 1,3, коли двигун працює з 6% водню. Це призводить до більшого крутного моменту та потужності при зниженні питомої витрати палива приблизно на 35%. Крім того, двигун працює безшумно та з точністю.

3. Межа збіднення суміші збільшується за допомогою водню до 1,47, тоді як за допомогою бензину вона дорівнює 1,24.

					КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Stocky, JF An Examination of Performance of Spark Ignition Engines За допомогою Hydrogen-Supplemented Fuels [Текст] / JF Stocky, M. W. Dowdy, TG Vanderbrug // California Institute of Technology. SAE paper No. 750027. 1975.
2. Sher, E. Measurement and Predictions of Performance and Emissions of SX Engine Ford Wkh Hydrogen-Enriched Gasoline [Текст]/E.
3. Elemam, SH Study on Combustion of Alternative Fuels in Spark-Ignition Engines [Текст] / SH Elemam, AA Desoky // International Journal of Hydrogen Energy, VoL 10, No. 7-8, pp. 497-504,1985
4. Shudo, T. Thermal Efficiency Analysis in Hydrogen Premixed Combustion Engine [Текст] / T. Shudo, Y. Nakajima, T. Futakuchi // JSAE Review, VoL 21, pp. 177-182, 2000.
5. Das, L. Exhaust Emission Characterization of Hydrogen-Operating Engine System: природа популятив і їх управління технологіями [Текст] / International Journal of Hydrogen Energy, VoL 16, No. 11, pp. 765-775, 1991.
6. Hansel, JG Safety Considerations in Design of Hydrogen-powered Vehicles [Текст] / JG Hansel, GW Mattem, RN Miller // International Journal of Hydrogen Energy, VoL 18, No. 9, pp. 783-790,1993.
7. Das, LM Fuel Induction Techniques For Hydrogen Operated Engine [Текст] / International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 15, No. 11, pp. 833-842,1990.
8. Das, LM Terfbrmance evaluation of hydrogen-rueled spark ignition, engine using electronicly controlled solenoid-actuated injected system [Текст] / LM Das, R. Gulad, PK Gupta, // International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 25, pp. 569-579, 2000.
9. Belogub, AV Fuel Supply System Construction of Gasoline/Hydrogen

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Automobiles [Текст] / AV Belogub, GB Talda // International Journal of Hydrogen Energy, VoL 16, No. 6, pp. 417-421, 1991.

10. Lee, SJ Combustion Характеристики Intake Port Injection Type Hydrogen Fueled Engine [Текст] / SJ Lee, HS Yi, ES Kim // International Journal of Hydrogen Energy, VoL 20, No. 4. pp. 317-322, 1995.

11. Al-Gami, M. A См. Складні і надійні пристосування для прямої ін'єкції гідрогенів в міжнародних композиційних техніках в низьких і медичних випробуваннях [Текст] / Міжнародний журнал гідрогенної енергії, VoL 20, No. 9, pp. 723-726,1995.

12. Homan, HS Діяльність впливу на небезпеку нафти та хімічних хімічних речовин і необов'язкової композиції для Hydrogen-fueled Piston Engines [Текст] / HS Homan, PCT De Boer, WJ Mclean // International Journal of Hydrogen Energy, VoL 8, No. 2, pp. 131-146, 1983.

13. Green, RK High-pressure Hydrogen Injection for Internal Combustion Engines [Текст] / RK Green, ND Glasson // International Journal of Hydrogen Energy, VoL 17, No. 11, pp.895-901,1992

14. Glasson, NDrand Green, RK: "Реформація з Spark-ігнітація Проведена з Hydrogen використовуючи High-pressure Injector [Текст] / ND Glasson, RK Green // International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 19, No. 11, pp. 917-923,1994."

15. Williamson, MH Wiring diagram of Injection Control Unit [Текст]/Private Communication, 2001.

16. Suwanchotchoung, N. Розробка тесту Facility foe Evaluation of a Dual Fueled, Single-Cylinder, Spark Ignition Engine [Текст] / Vanderbilt University Graduate School, M. Sc. Thesis, May 1995 року.

17. Gurtner, DM Performace and Emission Effects of Propane as Secondary Fuel of Single-Cylinder, Spark Ignition Engine [Текст] / Vanderbilt University Graduate School, M. Sc Thesis, May 1997.

18. Wallington, TJ Automotive fuels and internal combustion engines:

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хімічна perspective [Текст] / TJ Wallington, EW Kaiser, JT Farrell // The Royal Society of Chemistry – 2006. – Vol. 35. - P. 335-347. - DOI: 10.1039/B410469M

19. Дас, Л.Д. - 2000. - Vol. 25(8). - P. 783-93. – doi:10.1016/ S0360-3199(99)00103-2

20. Ranjan, R. Emission characteristic of hydrogen and gasoline blend in sparkignited engine / R. Ranjan, RK Tyagi [Текст] // International Journal of Ambient Energy. – 2015. – DOI: 10.1080/01430750.2015.1023840

21. Das, LM Hydrogen engine: дослідження та розвиток програм в Індіанському інституті технології [Текст] / LM Das // Delhi, International Journal of Hydrogen Energy. - 2002. - Vol. 27(9). - P.953-65. – doi:10.1016/ S0360-3199(01)00178-1

22. Unich, A. impact of natural gas – hydrogen blends on internal combustion engines performances and emissions [Текст] / A. Unich, B. Morrone, A. Mariani // SAE paper. - 2009. - Vol. 2009-24-0102. - DOI:[10.4271/2009-24-0102](https://doi.org/10.4271/2009-24-0102)

23. Sierens, R. Variable composition hydrogen/natural gas mixtures for increased engine efficiency and decreased emissions [Текст] / R. Sierens, E. Rosseel // Eng. Gas Turbines Power. – Vol. 122(1). – P. 135-40 – doi:10.1115/1.483191

24. Mohammed, SE Analysis of artistic characteristics and emises supported in in situ mixing of amount of hydrogen in CNG [Текст] / SE Mohammed, MB Baharom, AR Aziz // International Journal of Hydrogen Energy. - 2011. Vol. 36(6). - P. 4029-37. - DOI: 10.1016/ j.ijhydene.2010.12.065}

25. Ma, F. Experimental study on thermal efficiency and emission characteristics of lean burn hydrogen enriched natural gas [Текст] / F. Ma, Y. Wang, HQ

Liu, Y. Li // International Journal of Hydrogen Energy. - 2007. - Vol. 32 - P. 5067-75. -DOI: [10.1016/j.ijhydene.2007.07.048](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2007.07.048)}

26. Al-Janabi, H. A prediction study of effect of hydrogen blending on performance and pollutants emission of four stroke spark ignition engine [Текст] / H. Al-Janabi, S. Al-Baghdadi // International Journal of Hydrogen Energy. - 1999.

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Vol. 24. - P. 363-75.

27. Chatterjee, A. Combustion performance and emission characteristics of hydrogen as internal combustion engine fuel [Текст] / A. Chatterjee, S. Dutta, BK Mandal // Journal of Aeronautical and Automotive Engineering (JAAE). - 2014. - Volume 1, Number 1; September. - P. 1-6

28. Tinaut, FV Prediction of performance and emises of engine fuelled with natural gas/hydrogen blends [Текст] / FV Tinaut, A. Melgar, B. Gimenez, M. Reyes // International Journal of Hydrogen Energy. - 2011. - Vol. 36. - P. 947-56. -<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.10.025>

29. Andrea, TD Формування і додавання toxic emissions в hydrogen-gasoline mixture fuelled engine [Текст] / TD Andrea, PF Henshaw, DSK Ting // International Journal of Hydrogen Energy. - 1998. - Vol. 23. - P. 971-5. - [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(97\)00141-9](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(97)00141-9)

30. Ji, C. Діяльність hydrogen addition on combustion and emissions performance of spark ignition gasoline engine at lean conditions [Текст] / C. Ji, , S. Wang // International Journal of Hydrogen Energy. - 2009. - Vol. 34. - P. 7823-34. - DOI:[10.1016/j.ijhydene.2009.06.082](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.06.082)

31. Zervas, E. Influence of fuel and air/fuel equivalence ratio на emission of hydrocarbons від SI engine [Текст] / E. Zervas, X. Montagne, J. Lahaye // Fuel. - 2004. - Vol. 83 (17-18). - P. 2301-2311. -DOI: [10.1016/j.fuel.2004.06.029](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.06.029)

32. Smolenskaya, NM Research of polytropic exponent exchange for influence evaluation of actual mixture composition on hydrocarbons concentration decreasing on deep throttling operation [Текст] / NM Smolenskaya, VV Smolenskii, I.Bobrovskij // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 50 (2017) 012016 doi:[10.1088/1755-1315/50/1/012016](https://doi.org/10.1088/1755-1315/50/1/012016).

33. Smolenskaya, NM Increase в thermodynamic efficiency of working process of spark-ignited engines on natural gas with addition of hydrogen [Текст] / NM Smolenskaya, VV Smolenskii, NV Korneev // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 121 (2018) 052009 doi :[10.1088/1755-1315/121/5/052009](https://doi.org/10.1088/1755-1315/121/5/052009).

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

34. Li, H. Knock in spark ignition hydrogen engine [Текст] / H. Li, GA Karim // International Journal of Hydrogen Energy 2004; 29 (8): 859-65. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2003.09.013>

35. Sharma, SK Hydrogen-Fueled Internal Combustion Engine: A Review of Technical Feasibility [Текст] / SK Sharma, P. Goyal, RK Tyagi // International Journal of Performability Engineering, Vol. 11, No. 5, September 2015, pp. 491-501.

36. Xu, J. Experimental Study of Single Cylinder Engine Connected with Natural Gas - Hydrogen Mixtures [Текст] / J. Xu, X. Zhang, J. Liu, L. Fan // International Journal of Hydrogen Energy 35(7) (2010) 2909-2914. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2009.05.039}

37. Kahraman, E. An experimental study on performance and emission characteristics of hydrogen fuelled spark ignition engine [Текст] / E. Kahraman, SC Ozcanlı, B. Ozerdem // International Journal of Hydrogen Energy 32 (2007) 2066 – 207 10.1016/j.ijhydene.2012.09.037

38. Основи горіння вуглеводневих палив [Текст]/переведення з англ. за ред. Л.І. Хитріна та А.І. Попова // - Вид. іностр. Літератури. - 1960

39. Аравін, Г.С., Іонізація полум'яних газів в умовах бомби та двигуна [Текст]/Г.С. Аравін //, 1982.

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					<i>КвРАТ 26. 22005. 000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		71