

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення системи електронного керування примусовою  
подачею газу з дослідженням умов експлуатації

Виконав: студент 6 курсу, групи МАм-61  
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ Данилюк О.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Рогатинський Р.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ Левкович М.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ Цьонь О.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2023

Міністерство освіти і науки України  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«20» листопада 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Данилюку Олександр Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення системи електронного керування примусовою подачею газу з дослідженням умов експлуатації

Керівник роботи Рогатинський Роман Михайлович., д.т.н., проф.

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

Затверджені наказом ректора від « 20 » листопада 2023 року № 4/7-1071

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2023

3. Вихідні дані до роботи Характеристика системи електронного керування примусовою подачею газу

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

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

Показники газу та сумішей – 1А1. Класифікація систем подачі газу у

двигун – 1А1. Системи примусової подачі газу у двигун – 1А1. Вплив різних

факторів на склад паливо-повітряної суміші для систем примусової подачі газу

у двигун – 1А1. Розрахункова схема системи примусової подачі газу – 1А1.

Результати теоретичних досліджень – 2А1.

Результати експериментальних досліджень – 1А1.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 20.11.2023р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	23.11.2023	
2	Технологічний розділ	29.11.2023	
3	Конструкторський розділ	04.12.2023	
4	Науково-дослідний розділ	06.12.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	13.12.2023	
6	Оформлення графічної частини	20.12.2023	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	25.12.2023	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Данилюк О.О.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рогатинський Р.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Удосконалення системи електронного керування примусовою подачею газу з дослідженням умов експлуатації».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н., професор Рогатинський Роман Михайлович.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 64 сторінка формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини 4 сторінок додатків.

Ключові слова: газ, подача, двигун, система керування, вдосконалення.

## ЗМІСТ

<b>Вступ.....</b>	<b>6</b>
<b>1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>7</b>
1.1 Огляд паливоповітряної суміші.....	7
1.2 Критерії сучасних двигунів автомобілів.....	8
1.3 Методи очищення відпрацьованих газів від шкідливих речовин у двигунах.....	9
1.4 Дослідження сумісності двигунів із різними системами живлення при використанні газового палива.....	10
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>15</b>
2.1 Методи регулювання примусової подачі газу до двигуна.....	15
2.2 Концептуальна модель системи примусового подавання газу в двигун...	23
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>36</b>
3.1 Опис системи доставки бензину під час експлуатації газового механізму живлення.....	36
3.2 Електронна система регулювання неперервної подачі газу з автоматичним контролем.....	38
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>43</b>
4.1 Теоретичні дослідження.....	43
4.2 Результати експериментальних досліджень.....	50
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>54</b>
5.1 Охорона праці під час заправки автомобіля газовим паливом.....	54
5.2 Заходи безпеки під час діагностики, ТО, та ремонту газового обладнання автомобіля.....	55
5.3 Загальні підходи оцінки ризику виникнення НС.....	58
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>62</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ.....</b>	<b>63</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	

## ВСТУП

У сучасному світі важливість стабільної та ефективної системи електронного керування примусовою подачею газу стає все більш актуальною. Газ, як основне джерело енергії для різних секторів економіки, потребує високоефективних систем управління для забезпечення безпеки, надійності та економічної вигоди. Однак, в процесі експлуатації ці системи можуть зіткнутися з різноманітними викликами, що вимагає постійного вдосконалення та адаптації до змінюваних умов.

Дослідження реальних умов експлуатації таких систем дозволяє не лише ідентифікувати потенційні проблеми та ризики, але й розробляти ефективні рішення для їх подолання. Враховуючи стрімке розвиток технологій та збільшення складності інфраструктурних систем, інноваційні підходи до вдосконалення систем електронного керування стають ключовими для гарантії стабільності газопостачання та оптимальної роботи обладнання.

Ця робота спрямована на дослідження умов експлуатації системи електронного керування примусовою подачею газу та розробку пропозицій щодо її вдосконалення.

# 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Огляд паливоповітряної суміші

Правильний склад паливоповітряної суміші є ключовим для оптимальної роботи газових систем живлення, адже він впливає на ефективність згоряння, викиди забруднюючих речовин та надійність устаткування. Різні умови експлуатації можуть впливати на цей склад, призводячи до різних наслідків.

Температура навколишнього середовища:

При низьких температурах газ може конденсуватися, зменшуючи ефективність системи живлення.

При високих температурах можливе інтенсивніше випаровування, що змінює склад паливоповітряної суміші.

Вологість:

Підвищена вологість може призводити до обмеження потоку газу через конденсацію, впливаючи на відношення палива до повітря.

Атмосферний тиск:

Зміни тиску впливають на процеси адсорбції та десорбції газу в системі, що може вплинути на склад суміші.

Забрудненість газу:

Присутність домішок та інших забруднювачів може змінювати склад паливоповітряної суміші, викликаючи проблеми зі згорянням.

Старіння компонентів системи:

З часом ущільнювачі, фільтри та інші компоненти можуть зноситися або забруднюватися, що впливає на потік газу та, відповідно, на склад суміші.

Регулювання та обслуговування:

Неправильне регулювання або недостатнє обслуговування може призвести до неконтрольованих змін у складі паливоповітряної суміші.

Висновок: Для забезпечення стабільності складу паливоповітряної суміші важливо розуміти і враховувати різні умови експлуатації. Регулярний контроль, діагностика та обслуговування системи допомагають запобігти проблемам, пов'язаним із змінами в умовах експлуатації.

## 1.2 Критерії сучасних двигунів автомобілів

Сучасні автомобільні двигуни зазнають значних вимог, які визначаються рядом факторів, таких як технологічний прогрес, законодавчі норми, екологічні стандарти та вимоги споживачів до комфорту та ефективності. Ось деякі ключові вимоги до сучасних автомобільних двигунів:

Екологічність:

Зменшення викидів забруднюючих речовин (NO<sub>x</sub>, CO, вуглеводні тощо).

Зниження викидів вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) для боротьби з глобальним потеплінням.

Сумісність із альтернативними видами палива та/або гібридними технологіями.

Ефективність та економічність:

Підвищена термодинамічна ефективність.

Зменшення споживаного палива.

Продовження терміну служби двигуна.

Технологічність:

Використання сучасних технологій управління двигуном (ECU, CAN-шина тощо).

Впровадження систем старт-стоп для зниження споживання палива при короткочасних зупинках.

Використання турбонаддува для підвищення потужності при малому об'ємі двигуна.

Надійність та довговічність:

Здатність працювати при високих навантаженнях без збоїв.

Стійкість до високих температур та корозії.

Безшумність та комфорт:

Зниження рівня шуму та вібрацій.

Гладкий хід та м'яке перемикування передач.

Безпека:

Захист від можливих витоків палива або оливи.

Системи самодіагностики для виявлення та попередження збоїв.



Сумісність з новими технологіями:

Підтримка електрифікації, гібридних систем та електричних двигунів.

Вбудовані системи допомоги водію (наприклад, адаптивний круїз-контроль).

Сервісабельність:

Легкість в обслуговуванні та ремонті.

Доступність запасних частин.

Враховуючи постійний розвиток технологій, ці вимоги продовжують еволюціонувати, адаптуючись до змінних потреб суспільства та ринку.

### **1.3 Методи очищення відпрацьованих газів від шкідливих речовин у двигунах**

Для зниження токсичності відпрацьованих газів двигунів існує багато методів та технологій. Вони можуть бути розділені на прямі методики оптимізації роботи двигуна та післяочищення відпрацьованих газів. Ось декілька з них:

Оптимізація процесу згоряння:

Вдосконалення системи управління двигуном для кращого контролю за процесом згоряння.

Застосування стратегій згоряння з підвищеною внутрішньою рециркуляцією відпрацьованих газів (EGR).

Технології післяочищення:

Тривійні каталізатори: перетворюють вуглекислий газ, вуглеводні і оксиди азоту у менш шкідливі речовини.

Фільтри твердих частинок (для дизельних двигунів): затримують і знищують тверді частки, які виділяються при згорянні палива.

Системи селективної каталітичної редукції (SCR): використовують розчин аміаку або солевої кислоти для зниження NOx.

Застосування альтернативних палив:

Газові двигуни: використання природного газу може значно знизити викиди певних забруднюючих речовин.

Біопаливо: такі палива, як біодизель або етанол, можуть знижувати викиди вуглекислого газу.

Електрифікація:

Гібридні технології: комбінація традиційних двигунів з електричними дозволяє зменшити загальний викид забруднюючих речовин.

Повністю електричні двигуни: відсутність процесу згоряння палива повністю усуває проблему викидів відпрацьованих газів.

Технологічні інновації:

Розробка нових матеріалів та дизайну циліндрів, що покращують процес згоряння.

Вдосконалення системи впорскування палива для точного дозування та кращого розподілу палива у циліндрі.

Перегляд конструкції двигуна:

Використання технологій зменшення втрат тепла.

Зниження внутрішніх тертя у двигуні.

Застосування цих методик в різних комбінаціях дозволяє значно знизити токсичність відпрацьованих газів і відповідати сучасним екологічним стандартам.

#### **1.4 Дослідження сумісності двигунів із різними системами живлення при використанні газового палива**

Категорії двигунів з іскровим запалюванням залежно від системи живлення діляться на три типи.

1. Карбюраторна система використовується для змішування палива і повітря перед подачею цієї суміші в циліндри двигуна. Вона була основною системою живлення для бензинових двигунів протягом багатьох десятиліть до поширення систем впорскування.

Складові карбюраторної системи:

Карбюратор: Головний компонент системи, який регулює відношення повітря до палива.

Дросельна заслінка: Регулює кількість повітря, яке потрапляє в карбюратор.

Система попереднього підігріву: Забезпечує оптимальний режим роботи карбюратора при низьких температурах.

Робочий принцип:

При русі заслінки дроселя, паливо втягується у карбюратор завдяки різниці тиску.

Повітря проходить через жиклер (форсунка) карбюратора, забираючи з собою паливо і формуючи паливоповітряну суміш.

Переваги та недоліки:

Переваги: Простота конструкції, низька вартість, легкість обслуговування.

Недоліки: Нижча ефективність, вищі викиди забруднювачів порівняно з системами впорскування, менш стабільна робота при різних режимах і умовах роботи.

Застосування:

Хоча сучасні автомобілі в основному використовують системи впорскування палива, карбюратори все ще можуть бути знайдені в деяких старших моделях автомобілів, мотоциклах, скутерах, а також деяких двигунах для садової техніки.

З часом, з розвитком технологій та строгішими екологічними вимогами, карбюраторні системи поступилися місцем системам впорскування палива, які забезпечують кращий контроль над процесом згоряння та ефективніше використання палива.

2. Система центрального впорскування палива є перехідною між карбюраторною системою і системою послідовного впорскування. Вона представляє собою вид систем впорскування, де паливо впорскується в одній точці, зазвичай перед дросельною заслінкою.

Складові:

Впорскувач: Здійснює впорскування палива.

Дросельна заслінка: Регулює кількість повітря, яке потрапляє в систему.

Сенсори: Вимірюють різні параметри, такі як температура, тиск і оберти двигуна, для оптимізації впорскування.

Робочий принцип:

Паливо впорськується в спеціальну камеру перед дросельною заслінкою.

Вона розподіляє паливоповітряну суміш рівномірно між циліндрами.

Переваги та недоліки:

Переваги: Кращий контроль над впорскуванням порівняно з карбюраторною системою, покращена економічність палива і знижені викиди забруднюючих речовин.

Недоліки: Не така точна, як системи послідовного або безпосереднього впорскування. Є ризик нерівномірного розподілу палива між циліндрами.

Застосування:

В основному використовувалася в 80-х і 90-х роках минулого століття, перш ніж була замінена більш сучасними системами впорскування.

Хоча система центрального впорскування і принесла певні поліпшення порівняно з карбюраторами, сучасні системи впорскування, такі як послідовне або безпосереднє впорскування, забезпечують значно кращий контроль над процесом згоряння і ефективніше використання палива.

3. Система розподіленого (або послідовного) впорскування є однією з найбільш поширених систем впорскування палива в сучасних двигунах. У цій системі кожен циліндр має свій впорскувач, який впорськує паливо безпосередньо в інтейк-колектор або порт перед кожним циліндром.

Складові:

Впорскувачі: Кожен циліндр оснащений власним впорскувачем.

Сенсори: Вимірюють різні параметри (температура, тиск, оберти двигуна, кисневий сенсор тощо) для оптимізації впорскування.

Електронний блок управління (ECU): Обробляє дані від сенсорів і регулює роботу впорскувачів.

Робочий принцип:

Паливо впорськується безпосередньо в інтейк-колектор або порт перед впускним клапаном кожного циліндра.

Таке розташування впорскувача забезпечує краще і більш точне дозування палива для кожного циліндра.

Переваги та недоліки:

Переваги: Вища ефективність, кращий контроль над впорскуванням палива, покращена економічність палива, зменшені викиди забруднюючих речовин.

Недоліки: Вища вартість у порівнянні з карбюраторними або центральними системами впорскування, потреба в складнішій електроніці для управління.

Застосування:

Широко використовується в сучасних бензинових двигунах автомобілів, мотоциклів та інших транспортних засобів.

Система розподіленого впорскування дозволяє оптимально регулювати впорскування палива для кожного циліндра окремо, що сприяє більш ефективному процесу згоряння, забезпечуючи кращу динаміку, економічність палива та зменшення викидів.

Іжекційні системи живлення газовим паливом розроблені для автомобілів, що використовують газ (зокрема, скраплений нафтовий газ (СНГ) або природний газ (ПГ)) як паливо. Сучасні газові системи іжекційного впорскування забезпечують оптимальне дозування газу, максимальний крутний момент, економічність і низькі викиди забруднюючих речовин.

Складові:

Впорскувачі газу: Забезпечують точне впорскування газу в кожен циліндр.

Електронний блок управління (ECU): Отримує дані від сенсорів і регулює дозування газу.

Сенсори: Вимірюють різні параметри (температура, тиск, оберти двигуна тощо) для оптимізації впорскування.

Робочий принцип:

Газ подається з газового балона або резервуара до впорскувачів.

Впорскувачі введені безпосередньо в інтейк-колектори, забезпечуючи точне дозування газу до кожного циліндра.

Переваги та недоліки:

Переваги: Висока ефективність, зниження викидів забруднюючих речовин, стабільна робота двигуна, покращена економічність у порівнянні з бензином.

Недоліки: Вища вартість установки системи, потреба в періодичному обслуговуванні, обмежена доступність газових заправних станцій в деяких регіонах.

Застосування:

Використовуються в легкових автомобілях, вантажівках, автобусах і інших транспортних засобах для зниження вартості експлуатації та зменшення екологічного впливу.

Газові іжекційні системи стають все більш популярними в багатьох країнах через їх економічні та екологічні переваги. Однак для ефективної роботи таких систем необхідна відповідна інфраструктура та кваліфіковане обслуговування.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Методи регулювання примусової подачі газу до двигуна

Система примусової подачі газу в автомобільному двигуні спрямована на збільшення кількості газового палива та повітря, що надходять до циліндрів, для підвищення його продуктивності. Основні елементи такої системи:

Компресор або турбіна:

Засмоктує і стискає газ або повітря перед подачею їх в циліндри.

Може бути як механічний, так і турбокомпресор, що працює від відпрацьованих газів.

Міжкулер (інтеркулер):

Охолоджує стиснений газ або повітря перед їх введенням в двигун.

Зменшення температури сприяє збільшенню щільності газу, що покращує згоряння.

Впускний колектор:

Розподіляє стиснений газ або повітря до окремих циліндрів.

Регулювач тиску:

Відповідає за підтримку оптимального тиску газу при різних режимах роботи двигуна.

Фільтр:

Очищує газ від домішок та частинок перед його подачею в компресор.

Система управління:

Електронні сенсори та контролери для моніторингу та регулювання роботи системи примусової подачі газу відповідно до потреб двигуна.

Відсік (клапан) надлишкового тиску:

Забезпечує безпеку системи, вивільняючи надлишковий газ у випадку перевищення тиску.

Використання системи примусової подачі газу дозволяє значно покращити характеристики автомобільного двигуна, особливо на великих обертах, і забезпечує кращий коефіцієнт корисної дії.

Основні критерії для розрядження систем примусової подачі включають:

1. Способи керування системами примусової подачі відіграють вирішальну роль у ефективності та надійності роботи двигуна. Вони впливають на те, як система адаптується до різних умов експлуатації. Основні методи керування:

а) Механічне керування:

Використовує прямий механічний зв'язок для регулювання компонентів системи.

Часто використовується в старіших або простіших системах примусової подачі.

Приклад: використання механічного тросика для регулювання клапана заслонки.

б) Електронне керування:

Використовує датчики та електронні контролери для збору даних та управління компонентами системи.

Дозволяє більш точне і гнучке керування відповідно до потреб двигуна.

Приклад: система управління турбокомпресором, що використовує датчики тиску та температури для оптимальної регулюванки.

в) Гібридне керування:

Комбінація механічних та електронних елементів.

Дозволяє отримати переваги обох методів керування, забезпечуючи надійність механічного керування з точністю та гнучкістю електронного.

г) Адаптивне керування:

Система автоматично адаптується до змінних умов експлуатації, таких як навантаження, висота над рівнем моря, температура тощо.

Використовує розширений набір датчиків і алгоритми обробки даних для оптимального керування системою в реальному часі.

Розробка способів керування є ключовою для забезпечення високої продуктивності, ефективності споживання палива та низького рівня викидів двигунів з примусовою подачею.

2. Кількість газу, яка подається в двигун, безпосередньо впливає на його продуктивність, споживану потужність та емісію відпрацьованих газів. Різні



системи примусової подачі використовують різні методи регулювання для дозування газу.

Системи із циклічною подачею використовують послідовний чи періодичний спосіб подачі газу (або іншого палива) до кожного циліндра двигуна. Цей метод дозволяє досягти точного контролю над горінням, відповідного до кожного конкретного циклу роботи двигуна.

Основні особливості та переваги:

Точне дозування: Кожен циліндр отримує точну кількість палива, що забезпечує оптимальний процес горіння.

Ефективність: Циклічна подача може збільшити ефективність горіння, що веде до зменшення викидів та збільшення потужності.

Адаптивність: Дозволяє системі швидко реагувати на зміни в умовах експлуатації, таких як навантаження на двигун або зміни в складі палива.

Зменшення викидів: Завдяки точному контролю процесу горіння можна досягти зменшення викидів шкідливих речовин.

Системи безперервної подачі газу забезпечують стабільний і неперервний потік газу в двигун незалежно від робочих умов чи навантаження на двигун. Такий спосіб подачі є особливо важливим для деяких додатків, де потрібна стабільність процесу горіння.

Основні особливості та переваги:

Стабільність: Неперервний потік палива забезпечує рівномірне горіння, що може сприяти плавності роботи двигуна та зменшити викиди.

Простота управління: Системи безперервної подачі часто менш складні за своєю конструкцією в порівнянні з системами циклічної подачі.

Знижені вимоги до обслуговування: Завдяки своїй простоті, такі системи можуть вимагати менше технічного обслуговування.

3. Системи подачі газу за агрегатним станом:

Рідкий газ (LPG, LNG)

Рідкий газ зазвичай є або пропаном, або змішується з бутаном (LPG) або є природним газом (LNG). Для зберігання і транспортування він конденсується під високим тиском або при дуже низьких температурах.

Основні особливості: Щільність рідкого газу значно вища, ніж у газоподібного, що дозволяє зберігати більше палива в меншому об'ємі.

Основне застосування: В автомобільній промисловості LPG використовується як альтернативне паливо, особливо популярне в деяких європейських країнах. LNG часто використовується для великих транспортних засобів, таких як вантажівки або кораблі.

Переваги:

Густина палива: Рідкий газ має вищу густину, що дозволяє зберігати більше енергії в одиниці об'єму, порівняно з газоподібним станом. Це може збільшити дальність руху на одному баку палива.

Стабільність подачі: Рідкий газ може забезпечувати стабільніший тиск і стабільну подачу палива при різних умовах роботи.

Ефективність горіння: Рідка форма може сприяти кращому змішуванню палива з повітрям, що підвищує ефективність горіння.

Недоліки:

Вимоги до системи зберігання: Для зберігання газу в рідкому стані потрібні спеціальні баки, які можуть витримувати високий тиск.

Вища вартість обладнання: Обладнання для рідкого газу може бути дорожчим, через додаткові вимоги до матеріалів і конструкції.

Системи подачі газу у газоподібному стані (CNG — стиснений природний газ):

Основні властивості:

Склад: Зазвичай складається в основному з метану, хоча також може містити невеликі кількості інших газів.

Тиск: Для зберігання у транспортних засобах CNG стискається приблизно до 200-250 бар.

Густина: В газоподібному стані має меншу густину, ніж рідкий газ, тому потребує більших баків для зберігання аналогічної кількості енергії.

Переваги:

Простість системи: Системи для газоподібного газу зазвичай менш складні і легші.

Нижча вартість обладнання: Обладнання і компоненти можуть бути дешевшими за аналогічні для рідкого газу.

Безпека: У випадку витoku, газ швидко розсіюється, знижуючи ризик загорання.

Недоліки:

Менший об'єм енергії: Бак з газоподібним газом може містити менше енергії за однаковий об'єм порівняно з рідким газом.

Нестабільність тиску: Тиск газу може змінюватися зі зміною температури, що може впливати на роботу двигуна.

Вибір між рідким і газоподібним газом залежить від конкретних потреб, умов експлуатації та доступності технологій.

#### 4. Подача газу до дросельної заслінки:

В цьому варіанті системи газу подаються безпосередньо перед дросельною заслінкою в впускному колекторі.

Переваги:

Простіша конструкція і встановлення.

Менший ризик утворення льоду при розширенні газу через досить високу температуру впускного колектора.

Недоліки:

Можлива нерівномірність розподілу газу між циліндрами, особливо у багатоциліндрових двигунах.

Потенційно менший контроль над точною кількістю поданого газу, що може впливати на ефективність горіння.

Подача газу за дросельну заслінку:

Тут системи газу подаються після дросельної заслінки, ближче до впускних клапанів циліндрів.

Переваги:

Забезпечує більший контроль над точністю дозування газу, що може покращити ефективність горіння та загальну продуктивність.

Знижує ризик нерівномірного розподілу газу між циліндрами, навіть у багатоциліндрових двигунах.

Недоліки:

Конструкція та встановлення можуть бути більш складними.

Є можливість утворення льоду на дросельній заслінці або в навколишній області через адіабатичне охолодження при розширенні газу.

Вибір місця подачі газу в впускному колекторі залежить від специфікацій двигуна, призначення автомобіля та інших факторів.

5. Системи подачі газу згідно кількості та розташування дозаторів і змішувачів:

Однодозаторні системи з одним змішувачем:

В таких системах використовується один дозатор і один змішувач для всіх циліндрів двигуна.

Переваги:

Простота конструкції та установки.

Зменшені витрати на компоненти.

Недоліки:

Потенційна нерівномірність розподілу газової суміші між циліндрами.

Менший контроль над точністю дозування для кожного окремого циліндра.

Багатодозаторні системи з одним змішувачем:

Використовують декілька дозаторів, що працюють з одним центральним змішувачем.

Переваги:

Кращий контроль дозування для кожного циліндра.

Можливість оптимізації роботи кожного циліндра окремо.

Недоліки:

Більш складна конструкція.

Вища вартість компонентів та установки.

Багатодозаторні системи з багатьма змішувачами:

Кожен циліндр має свій дозатор і змішувач.

Переваги:

Максимальний контроль і оптимізація роботи кожного циліндра.

Найкращий розподіл газової суміші.

Недоліки:

Найбільш складна конструкція.

Значно вища вартість компонентів та установки.

Вибір системи подачі газу залежить від потреб двигуна, бажаної продуктивності та бюджетних обмежень.

На основі вищенаведених даних розглядаються дві концепції систем примусової подачі газу.

1. Система примусової подачі газу рис. (2.1.) включає в себе наступні особливості:

Структурна простота, завдяки комбінації редуктора і випарника.

Використання сучасних методів керування, як-то електронне чи комбіноване.

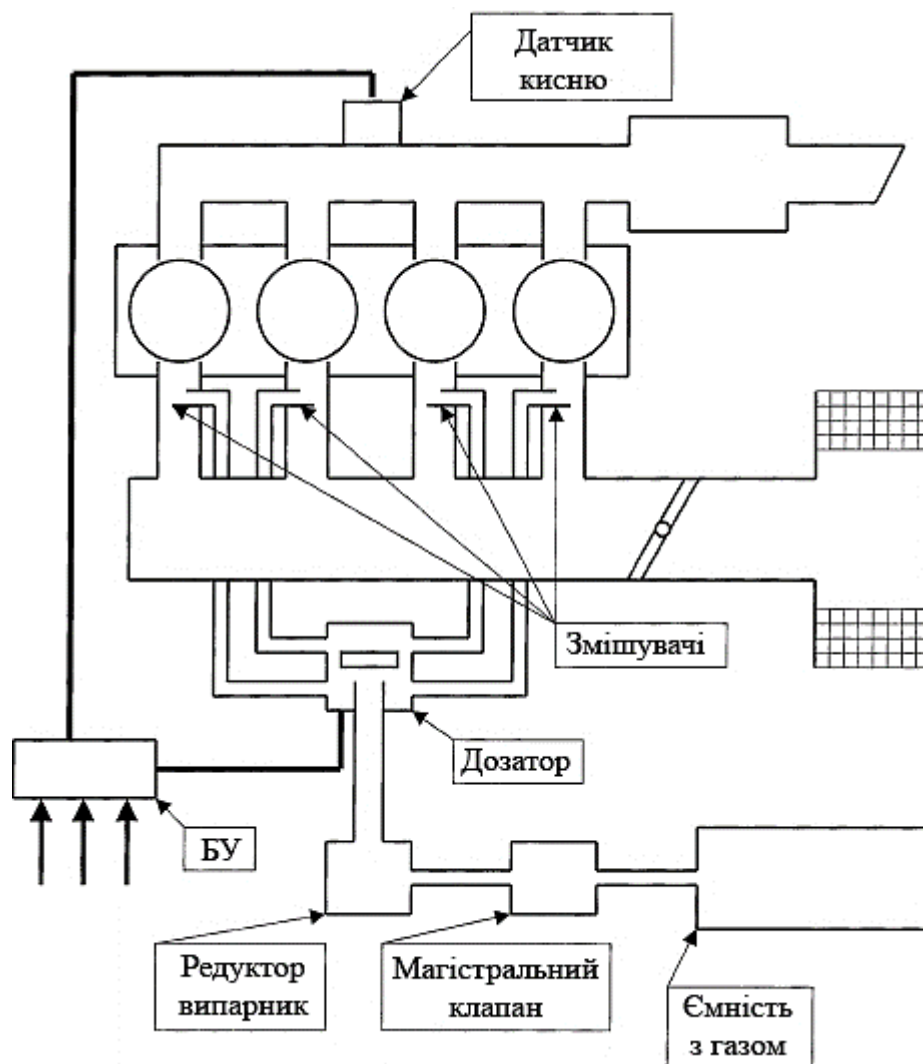


Рис. 2.1. Блок схема.

Адаптивне регулювання кількості ЗНГ, де контроль здійснюється або зміною прохідного перерізу дозатора, або на основі співвідношення між активними та пасивними фазами роботи дозатора.

Введення газу в газоподібному агрегатному стані, що сприяє стабільності роботи системи.

Простота конструкції завдяки застосуванню єдиного дозатора.

Оптимальне змішування газу з повітрям, завдяки використанню числа змішувачів, рівного числу циліндрів двигуна.

Ефективність подачі газу підвищується завдяки розташуванню дозатора поза дросельною заслінкою, близько до впускного клапана, що забезпечує оптимальний вступ газу в циліндр.

Цей варіант є відмінним вибором для тих, хто прагне поєднати простоту конструкції з високою продуктивністю та надійністю системи подачі газу.

2. Системи примусової подачі газу в двигун складніша (із зазначенням на рис 2.2):

Компоненти системи:

Редуктор та випарник об'єднані, що сприяє ефективності процесу перетворення ЗНГ в газоподібний стан.

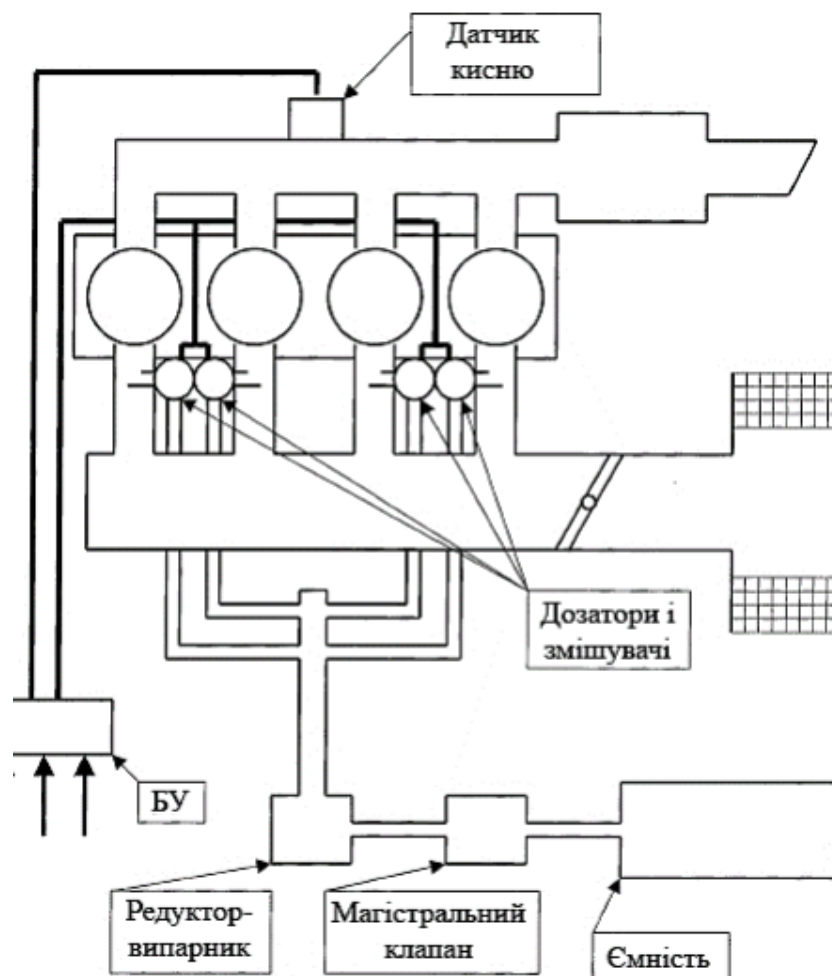


Рис. 2.1. Блок схема.

Тип керування:

Використання електронного або комбінованого методу керування, що надає гнучкість у процесі регулювання.

Регулювання:

Зміна прохідного перерізу дозатора або корекція співвідношення між часом відкритого та закритого станів дозатора для точного дозування ЗНГ.

Агрегатний стан палива:

Подача ЗНГ виконується у газоподібному стані, що сприяє кращому згорянню в камері згорання.

Дозатори:

Кількість дозаторів дорівнює числу циліндрів, що гарантує індивідуальне й точне дозування ЗНГ для кожного циліндра.

Змішувачі:

Число змішувачів також дорівнює числу циліндрів, забезпечуючи оптимальне змішування газу з повітрям перед подачею в циліндри.

Місце подачі ЗНГ:

Газ подається за дросельну заслінку безпосередньо біля впускного клапана, що сприяє оптимальному змішуванню і згорянню паливної суміші.

## **2.2 Концептуальна модель системи примусового подавання газу в двигун**

**Система введення газу** відзначається специфічними особливостями порівняно з ежекційною системою. Основні відмінності полягають у відсутності дифузору та другого ступеня редуктору, як це показано на рис. 2.1 та 2.2. На основі цих відмінностей, розподіл компонентів паливної суміші буде формуватися залежно від параметрів, представлених на рис. 2.3 та 2.4.

Під час використання системи примусової подачі газу, склад паливної суміші формується під впливом таких параметрів: характеристики газу, зовнішня температура, робочий стан двигуна, температура надходячого повітря, атмосферний тиск, а також можливі відхилення в роботі блока керування та датчиків.

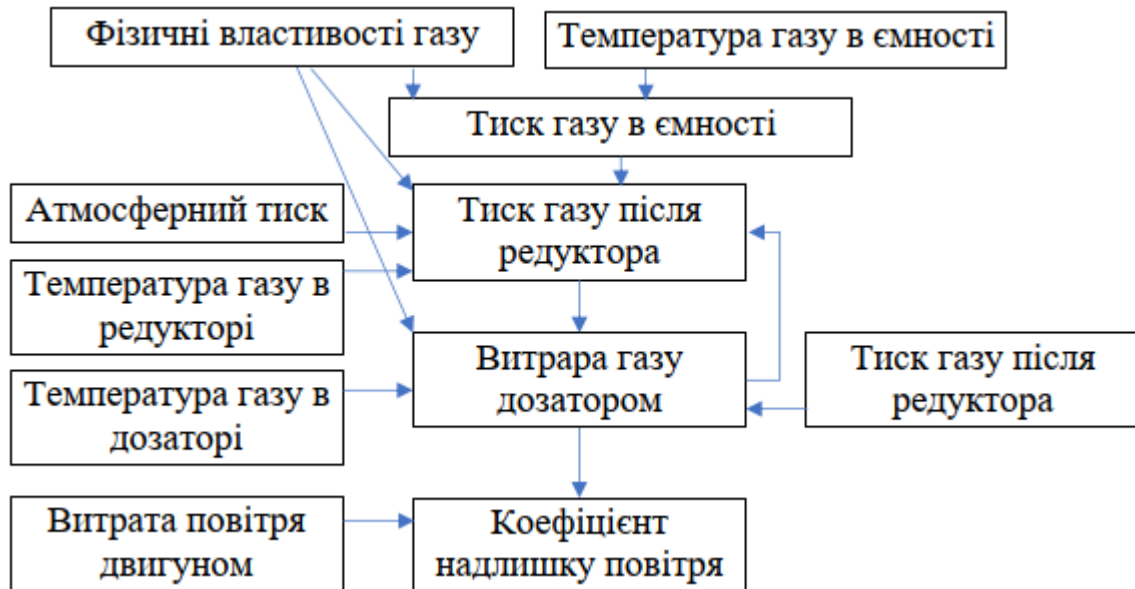


Рис. 2.3. Різні обставини модифікують характеристики ППС в системах форсованої подачі ЗНГ для двигунів.

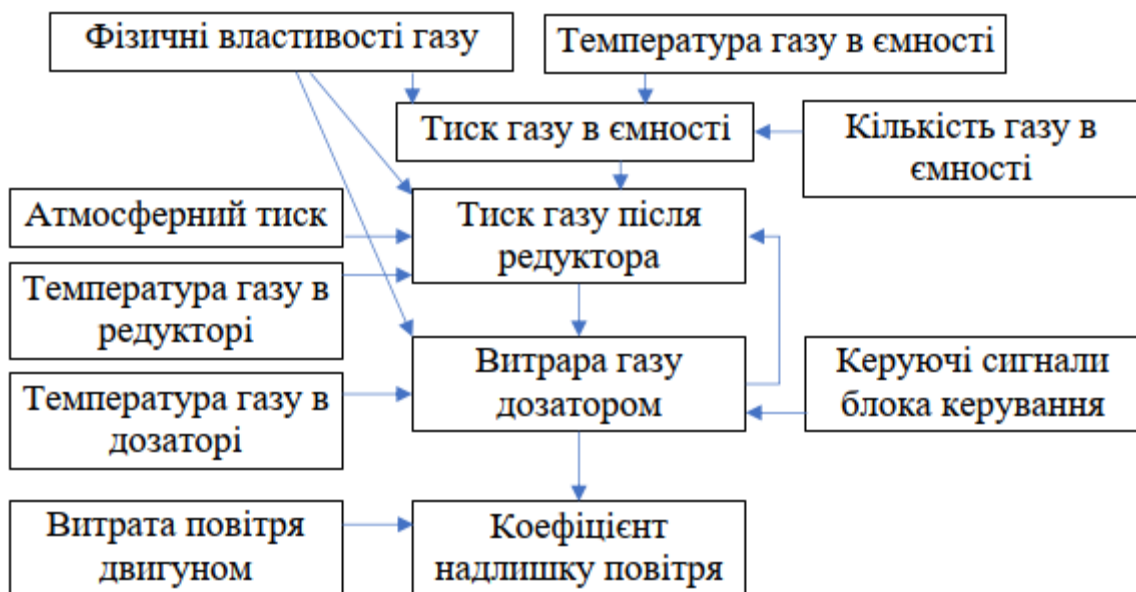


Рис. 2.4. Різні обставини модифікують характеристики ППС в системах форсованої подачі ЗНГ для двигунів.

Характеристики газу разом із зовнішньою температурою впливають на тиск у газовому контейнері, встановлюючи початковий тиск для редуктора та обумовлюючи його кінцевий тиск. Зміни тиску в редукторі безпосередньо корелюють з газовими витратами, формуючи таким чином склад повітряної суміші. Окрім того, особливості газу впливають на його протікання через клапан редуктора та дозатор, від чого залежить склад повітряної суміші.



Температурні умови навколишнього середовища впливають на характеристики повітря, що потрапляє в двигуни з системою впорскування палива. Конкретно, показники температури корелюють з щільністю входячого повітря, яке в свою чергу впливає на змішування палива та повітря. Сучасні системи впорскування використовують датчики для контролю щільності повітря, щоб оптимізувати роботу двигуна.

Робочі характеристики двигуна безпосередньо корелюють із споживаною кількістю газу. Ця кількість газу впливає на параметри редуктора, зокрема на тиск на виході. Цей тиск, в свою чергу, має вплив на дозування газу та змішування паливно-повітряної суміші в двигуні.

Зовнішній атмосферний тиск має вплив на параметри роботи редуктора, зокрема, на його вихідний тиск. Цей вихідний тиск корелює із кількістю газу, що споживається, а також впливає на якість паливно-повітряної суміші в двигуні.

Неточності у роботі блоку керування та датчиків можуть зміщувати параметри системи примусової подачі газу, відхиляючи склад паливної суміші від оптимального. Ці зміщення в основному є систематичними і залежать від якості використовуваної обладнання та її калібрування.

В результаті подальших досліджень буде з'ясовано взаємодію таких параметрів, як характеристики газу, зовнішня температура, режим роботи двигуна та атмосферний тиск на формування складу паливної суміші.

У схемі системи примусової подачі газу до двигуна, яка зображена на рисунку 2.5, використані такі позначення які винесені у додатки.

Схема для розрахунку газового балону має враховувати два ключових фактори:

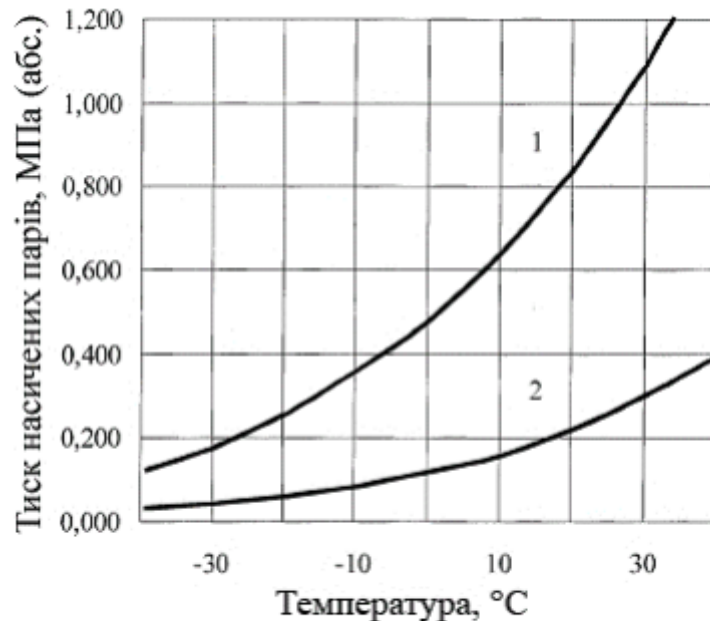
Температура газу: Оскільки температура впливає на фізичні властивості газу, вона визначає його об'єм та тиск в ємності. Тому важливо враховувати температурні умови для точних розрахунків.

Склад газу в ємності: Хімічний склад газу може варіюватися, і це впливає на його властивості. Наприклад, різні гази мають різну щільність та коефіцієнт стиснення. Таким чином, склад газу також має значення для правильних розрахунків об'єму та тиску в ємності.



Ці припущення були зроблені для спрощення розрахунків та моделювання системи зберігання газу, але можуть не враховувати всі реальні умови і фактори, що впливають на систему.

На рис. 2.6. наведено графічну ілюстрацію впливу температури на тиск насиченої пари сумішей бутану і пропану.



*1 - для 100% пропану; 2 - для 100% бутану*

Рис. 2.6. Графік впливу температури на тиск насиченої пари сумішей бутану і пропану

Можливо знайти апроксимацію кожної кривої залежності тиску від температури за допомогою полінома третього ступеня з достатньою точністю.

$$P = aT^3 + bT^2 + cT + d, \quad (2.1)$$

Коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  можуть бути визначені за допомогою методу квадратів найменших, використовуючи чотири значення тиску пари насиченої ( $P_{-30}$ ,  $P_{-10}$ ,  $P_{10}$ ,  $P_{30}$ ) при чотирьох різних температурах ( $-30^\circ\text{C}$ ,  $-10^\circ\text{C}$ ,  $10^\circ\text{C}$ ,  $30^\circ\text{C}$ ) для конкретного співвідношення пропану та бутану. Тиски  $P'_{30}$ ,  $P'_{10}$ ,  $P'_{10}$ ,  $P'_{30}$  визначаються в залежності від вмісту пропану та бутану за наступною формулою:

$$\begin{aligned}
 P^{-30} &= P_6^{-30} + (P_n^{-30} - P_6^{-30})D_n \\
 P^{-10} &= P_6^{-10} + (P_n^{-10} - P_6^{-10})D_n \\
 P^{10} &= P_6^{10} + (P_n^{10} - P_6^{10})D_n \\
 P^{30} &= P_6^{30} + (P_n^{30} - P_6^{30})D_n
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

Схема для розрахунку редуктора має відзначати такі важливі фактори для точних розрахунків та оптимізації роботи системи:

а) Склад газу: Хімічний склад газу впливає на його фізичні властивості, що, у свою чергу, впливає на тиск та об'єм газу.

б) Витрата газу: Кількість газу, яка проходить через редуктор, визначається величиною витрати газу і важлива для ефективної роботи системи.

в) Температура газу: Температура впливає на щільність газу, що також враховується при розрахунках.

г) Тиск на вході: Вихідний тиск редуктора залежить від тиску на вході, тому цей параметр важливий для правильних розрахунків.

д) Конструктивні особливості редуктора: Розглядаються параметри, такі як площа прохідного перерізу клапана, передаточне число важільної передачі редуктора, форма цього перерізу, параметри пружини мембрани та площа мембрани редуктора.

Усі ці фактори враховуються для точних розрахунків роботи редуктора і забезпечення ефективної та безпечної подачі газу.

При розробці розрахункової схеми були введені наступні припущення:

Маса рухомих деталей не враховується: Вага рухомих деталей, таких як клапани і мембрани, не враховується при розрахунках.

Постійна температура газу в редукторі: Припущено, що температура газу в редукторі залишається постійною і не змінюється під час його роботи.

Схема розрахункова враховує два основних типи редукторів: з важільною передачею та без неї.

На рис. 2.7. показано редуктор із важільною передачею, а рівняння рівноваги сил, що діють на клапан редуктора /60/, можуть бути виражені у відповідних математичних рівняннях.

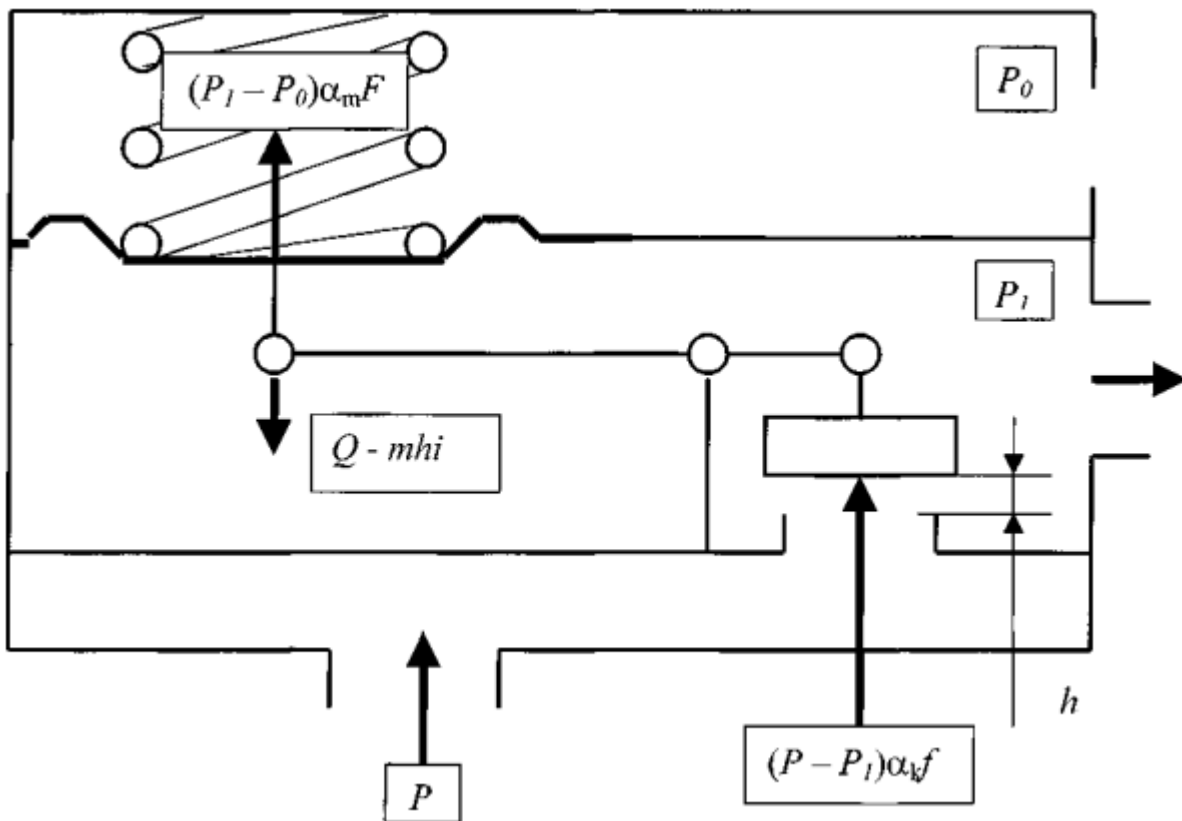


Рис. 2.7. Редуктор із важільною передачею

$$(P - P_1)\alpha_k f + (Q - mhi)i - (P_1 - P_0)\alpha_m F i = 0, \quad (2.3)$$

В процесі критичній швидкості витік газу крізь клапана, розхід газу редуктором в процесі розрахунку за допомогою відповідної термодинамічної формули для критичної швидкості витоку газу /100/

$$G = f_{\text{пр}} \psi P \sqrt{\frac{2 g k \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}}{RT (k+1)}}, \quad (2.4)$$

Площа прохідного перерізу клапана редуктора, коли клапан має плоску форму, визначається залежністю, що описує зв'язок між цією площею та ходом клапана.

$$f_{\text{пр}} = \pi dh, \quad (2.5)$$

Введення формули (2.5) у вираз (2.4) та подальші обчислення призведуть до встановлення зв'язку між ходом клапана, витратою газу та тиском у балоні

$$h = \frac{G}{\pi d \psi P \sqrt{\frac{2 g k \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}}{RT (k+1)}}} = \frac{AG}{P}; \text{ де } A = \frac{1}{\pi d \psi \sqrt{\frac{2 g k \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}}{RT (k+1)}}}, \quad (2.6)$$



випадку, важливо враховувати показники тиску і температури газу, оскільки вони можуть змінюватися впродовж робочого процесу.

Під час розробки розрахункової схеми були зроблені наступні припущення:

В розрахунках не враховується маса рухомих компонентів.

У розрахунках припускається, що температура газу залишається сталою.

Рис. 2.9. надає ілюстрацію розрахункової схеми для дозатора.

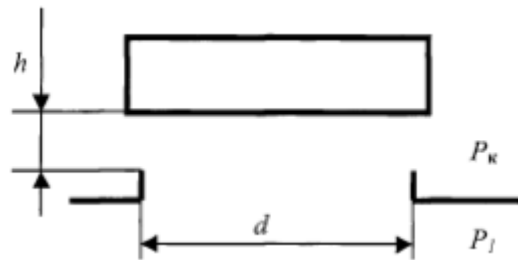


Рис. 2.9. Розрахункова схема для дозатора

Дозатор з циклічною подачею: У цьому випадку газ подається періодично, і витрата газу залежить від часу відкриття і закриття дозатора в кожному циклі. Розрахунки включають в себе залежність між часом відкриття і часом закриття дозатора, що визначає об'єм і витрату газу за цей період.

У обох випадках, для точних розрахунків, потрібно враховувати параметри газу, такі як його тиск і температура, а також конструктивні особливості дозаторів і редукторів. Детальні розрахунки витрати газу для кожного типу дозатора можуть бути проведені з використанням відповідних фізичних та математичних моделей системи.

Основні допущення, які були зроблені під час розробки розрахункової схеми, включають:

Переміщення клапана дозатора з відкритого стану в закрите вважається миттєвим.

Затримки в спрацьовуванні враховуються в блоці керування.

Температура газу розглядається як постійна величина.

Рис. 2.10. показує схематичне зображення дозатора.

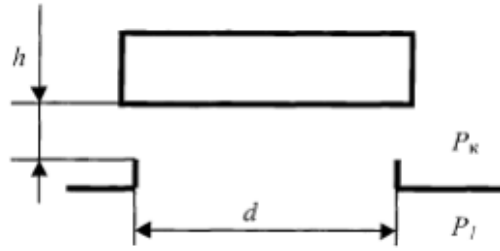


Рис. 2.10. Зображення дозатора.

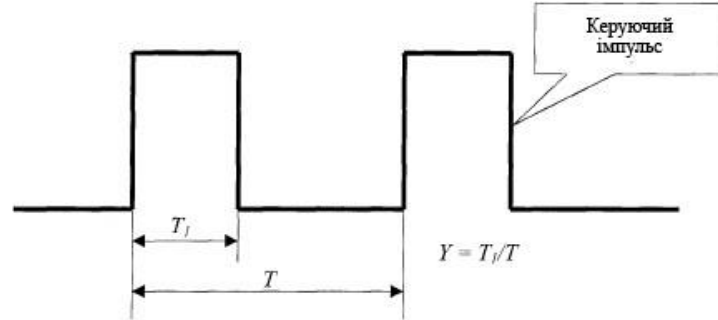


Рис. 2.11. Імпульс керування.

Графічні залежності датчиків зображено на рис. 2.12 – 2.14.

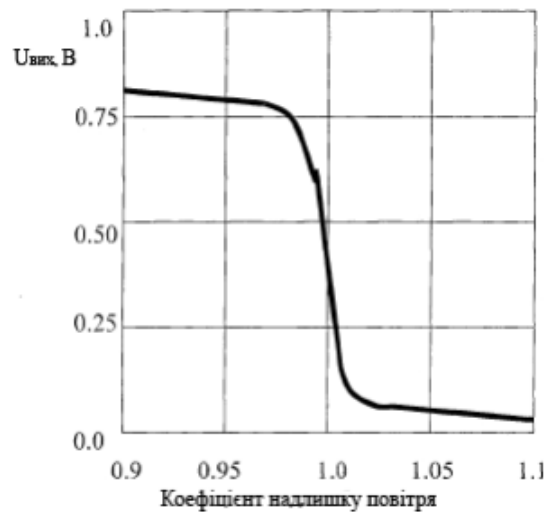


Рис. 2.12. Графік датчика кисневого.

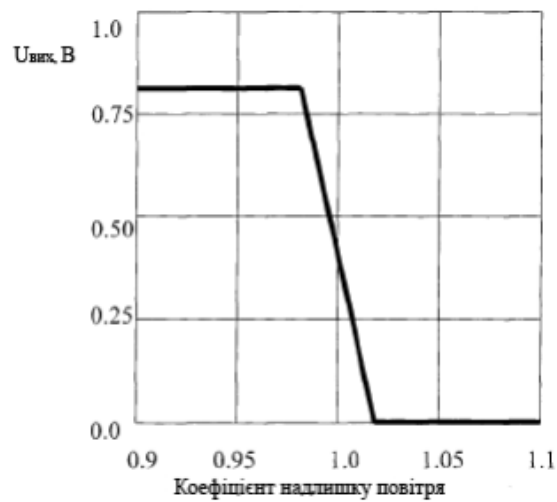


Рис. 2.13. Графік датчика кисневого.



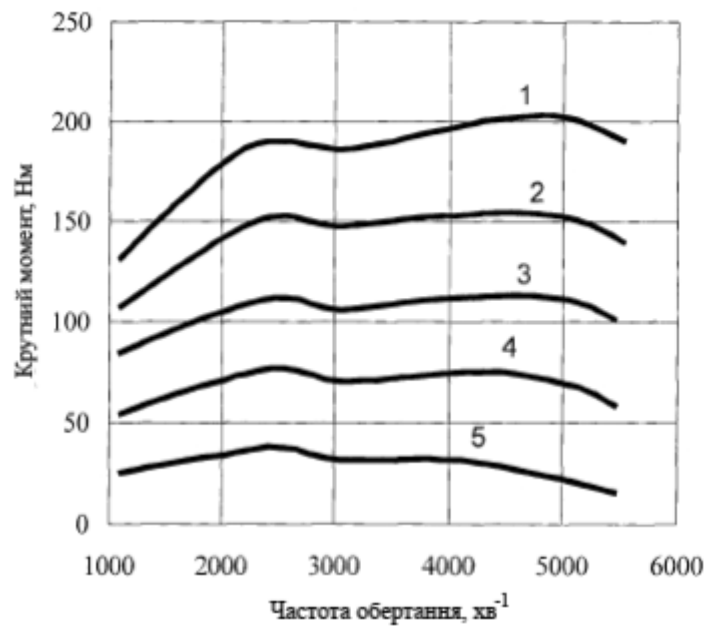


Рис. 2.14. Графік крутного моменту двигуна від частоти обертання та ступеня відкриття дросельної заслінки.

1 – 100%; 2 – 80%; 3 – 60%; 4 – 40%; 5 – 20%

Затримка часу спрацьовування кисневого датчика зазвичай визначається різницею між часом, коли змінюється концентрація кисню у вихідних газах двигуна, і часом, коли ця зміна відображається на виводі датчика. Давайте розглянемо більш докладний розрахунок цієї затримки.

Визначте момент, коли концентрація кисню у вихідних газах двигуна змінюється. Це може бути, наприклад, момент відкриття дросельної заслінки або зміна оборотів двигуна.

Знайдіть час, за який ця зміна концентрації кисню досягає датчика. Цей час може бути визначений як відстань між датчиком і місцем, де зміна виникає, поділена на швидкість розповсюдження газів у системі. Формула для цього може виглядати так:

Швидкість розповсюдження газів може залежати від тиску, температури та властивостей газів. Вам може знадобитися врахувати ці фактори для точних розрахунків.

Остаточний результат буде відображенням часу затримки між зміною концентрації кисню і спрацьовуванням датчика.

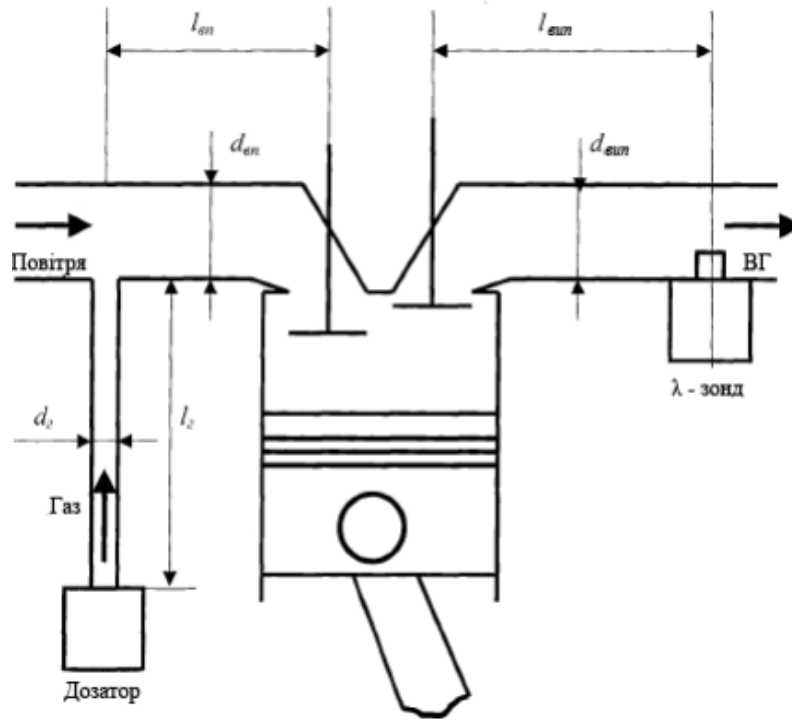


Рис. 2.15. Методика для визначення затримки часу відгуку кисневого датчика.

Затримка відгуку включає в себе чотири компоненти в часі:

$$t_3 = t_{\Gamma} + t_{\text{см}} + t_{\text{ц}} + t_{\text{ВГ}}, \quad (2.11)$$

Час, необхідний для переміщення газу від дозатора до змішувача, розраховується наступним чином:

$$t_{\Gamma} = \frac{\pi l_{\Gamma} d_{\Gamma} \rho_{\Gamma}}{4G}, \quad (2.12)$$

Значення густини газу розраховується за наступною математичною формулою:

$$\rho_{\Gamma} = \frac{1000K}{R_{\text{см}} T_{\Gamma}}, \quad (2.13)$$

Час, який потрібно газу-повітряній суміші для переміщення від змішувача до впускного клапана, розраховується наступним чином:

$$t_{\text{см}} = \frac{\pi l_{\text{вп}} d_{\text{вп}}^2 \rho_{\text{см}}}{4(C+G)}, \quad (2.14)$$

Густину газоповітряної суміші можна обчислити за допомогою такої формули:

$$\rho_{\text{см}} = \frac{1000K}{R_{\text{в}} T_{\text{в}}}, \quad (2.15)$$

Час, протягом якого газоповітряна суміш перебуває у циліндрах двигуна, рівний тривалості трьох тактів двигуна: впуску, стиску і розширення.

$$t_{\text{ц}} = \frac{90}{n}, \quad (2.16)$$

Час, за який відходи відпрацьованих газів проходять від випускного клапана до кисневого датчика, обчислюється таким способом:

$$t_{\text{вг}} = \frac{\pi l_{\text{вип}} d_{\text{вип}}^2 \rho_{\text{вг}}}{4(C + G)} \quad (2.17)$$

Щільність відпрацьованих газів обчислюється за допомогою наступної формули:

$$\rho_{\text{вг}} = \frac{1000 P_{\text{вг}}}{R_{\text{вг}} T_{\text{вг}}}, \quad (2.18)$$

Температура відпрацьованих газів, приблизно, визначається ступенем відкриття дросельної заслонки.

$$T_{\text{вг}} = a_1 D_p + a_2, \quad (2.19)$$

Тиск відпрацьованих газів у випускному колекторі, приблизно, залежить від ступеня відкриття дросельної заслонки.

$$P_{\text{вг}} = b_1 D_p + b_2, \quad (2.20)$$

Надлишковий коефіцієнт повітря можна обчислити таким чином:

$$\alpha = \frac{c}{G W_{\text{см}}}, \quad (2.21)$$

Величина повітря, необхідна для повного згоряння газової суміші, в теорії дорівнює:

$$W_{\text{см}} = W_{\text{б}}^0 + (W_{\text{пр}}^0 - W_{\text{б}}^0) D_n, \quad (2.22)$$

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Опис системи доставки бензину під час експлуатації газового механізму живлення

Електронна система управління: Сучасні двигуни, як ЗМЗ-4062.10, оснащені електронною системою управління двигуном (ЕСУД), яка оптимізує роботу двигуна, контролюючи різні параметри, такі як подача пального, запалювання та повітряного змішування.

Система впорскування: Зазвичай використовується мультиточкова система впорскування пального, яка дозволяє точно дозувати бензин в кожний циліндр.

Система запалювання: Електронно контрольована система запалювання забезпечує оптимальний момент запалювання для кожного циліндра.

Система вентиляції картерних газів (СВКГ): Допомагає зменшити викиди шкідливих речовин.

Датчики та актуатори: Двигун оснащений рядом датчиків, які надсилають інформацію до ЕСУД. Це включає датчики температури, датчики кисню (лямбда-датчики), датчики положення дросельної заслінки та інші. За допомогою цієї інформації система керування може миттєво адаптувати роботу двигуна до змінних умов.

Система самодіагностики: Сучасні системи управління двигунами, як правило, мають можливість самодіагностики, яка допомагає виявляти та усувати різні проблеми або збої в системі.

Для того, щоб переключити двигун ЗМЗ-4062.10 на роботу від газу, слід дотримуватися наступних рекомендацій:

Зупиніть подачу бензину, від'єднуючи форсунки, щоб збільшити термін їх служби;

Вимкніть електричний бензонасос, щоб знизити споживання пального і продовжити його термін служби;

Забезпечте надійну роботу системи запалювання.

Аналіз системи впорскування підтвердив, що оптимальний спосіб виконання представлений на рис. 3.1.

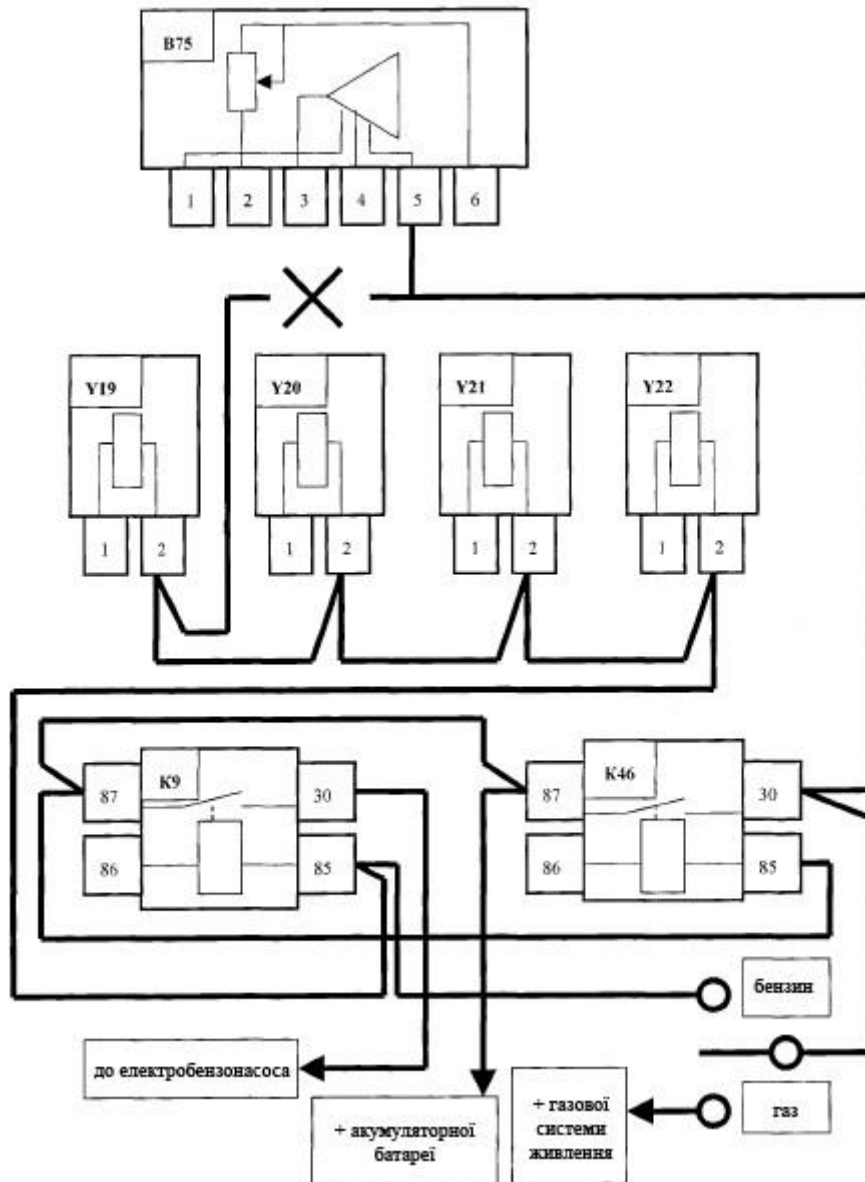


Рис. 3.1. Діаграма налаштування паливної системи двигуна 3МЗ-4062.10 містить компоненти такі як В75 - вимірювач повітряного потоку; Y19-Y22 - розпилювачі; К9, К46 - комутатори системи впорскування.

Змінюючи з'єднання між точками 30 реле Д046 та 85 реле К9, обмежимо енергопостачання електробензонасоса, який сполучається крізь реле К9, а також забезпечення всіх розпилювачів та датчика потоку повітря. Оскільки датчик потоку повітря є ключовим для системи живлення у взаємодії із системою запалювання, необхідно переналаштувати електропостачання датчика, переключивши його з розпилювачів на точку 5 датчика і під'єднавши

до джерела живлення, такого як точка 30 реле К46, де напруга стабільна під час роботи запалювання.

Після застосування описаного способу відключення паливної системи двигун ЗМЗ-4062.10 продовжує працювати без видимих проблем. Проте, при використанні діагностичного пристрою ДСТ-2М, були зареєстровані такі коди помилок:

132, 135, 138, 142 - відмова розпилювачів 1, 2, 3 та 4 відповідно (перерив);  
168 - дефект в ланцюгу реле бензонасоса (перерив).

Щоб уникнути виникнення помилок, рекомендується використовувати опори, які емулюють роботу форсунок та обмотку реле бензонасосу Д09. Хоча цей метод відключення паливної системи є дещо складнішим і потребує більше часу на реалізацію, він забезпечує надійність роботи електронної системи керування "Микас 5.4" без помилок.

### **3.2 Електронна система регулювання неперервної подачі газу з автоматичним контролем**

Електронна система регулювання автоматичної подачі газу до двигуна з неперервним забезпеченням представлена на діаграмі рис. 2.2. попереднього розділу.

Система включає в себе такі компоненти: контейнер для газу, основний електроклапан із вбудованим фільтром, однофазний редуктор з випарювачем, дозуючий пристрій, трубопровід від дозатора до впускного маніфольда, датчик потоку повітря, сенсор кисню та управляючий модуль.

Дозуючий пристрій представляє собою вентиль з можливістю регулювання прохідного отвору, що керується активним елементом. В якості такого регульованого вентиля було взято клапан другого рівня з раніше згаданого редуктора. В цьому редукторі діафрагма другого рівня і її кришка були демонтовані, а потенційні місця витоку газу були герметично закриті (згідно рис. 3.2.).

В якості активного елемента було застосовано двохкотушний крутний електродвигун (див. рис.3.3), який зазвичай використовується в регуляторі потоку повітря РХХ-60 у системі управління двигуном ЗМЗ-4062.10.

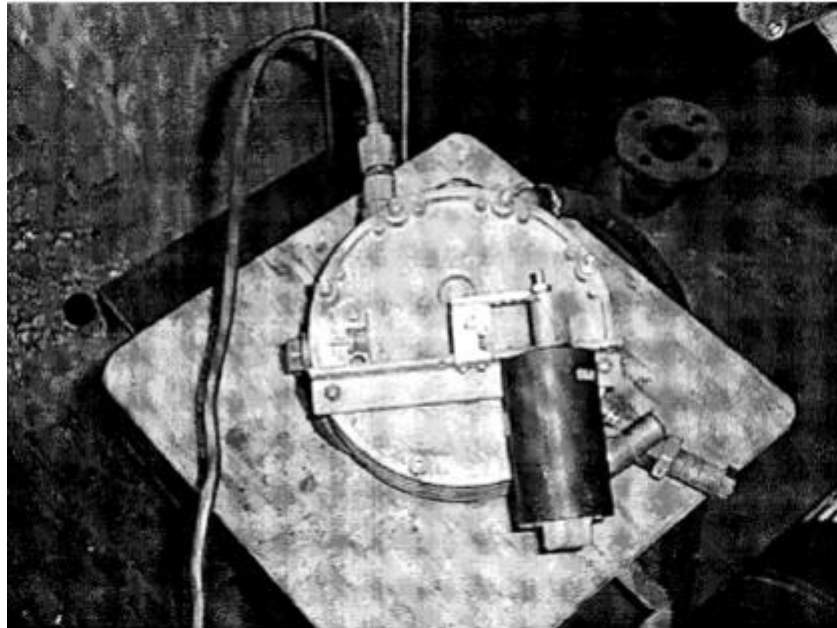


Рис.3.2. Регулятор газового потоку із редукційним пристроєм та випарювачем.



Рис.3.3. Електромеханічний пристрій регулювання холостого обертання РХХ-60.

Вказаний електромеханічний пристрій демонструє майже прямолінійну відповідь моменту на валу в залежності від прикладеної напруги (див. Рис. 3.4). Ця характеристика залишається майже стабільною в межах від 0...10 вольт.

Датчик потоку повітря з моделі 0 280 212 014 від компанії BOSCH (див. Рис. 3.5.) для управлінської системи двигуна ЗМЗ-4062.10. Відношення вихідної напруги цього датчика до об'єму проходящого повітря зображено на рис. 3.6.

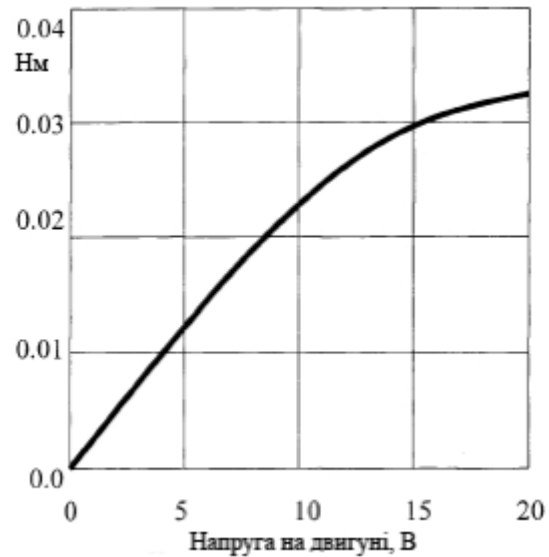


Рис. 3.4. Відповідність моменту обертання на валу електромеханізму регулювання потоку повітря РХХ-60 до прикладеної до нього напруги.

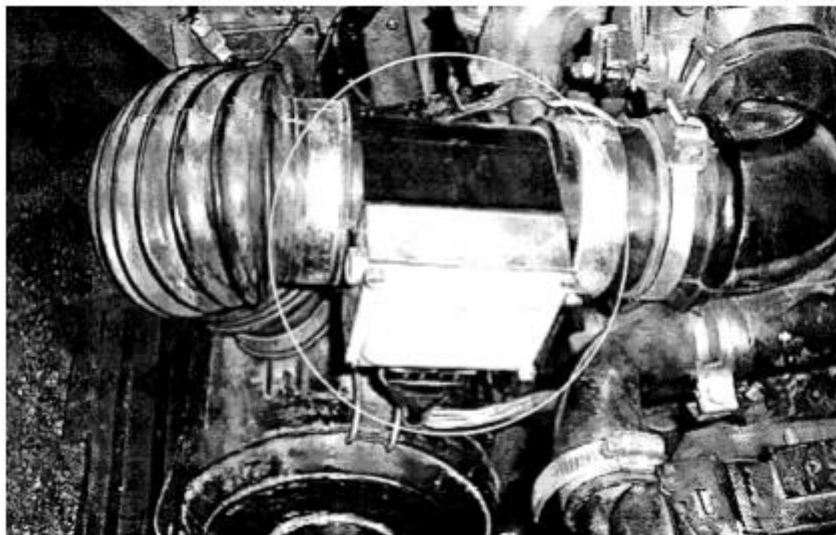


Рис. 3.5. Датчик об'ємного потоку повітря.

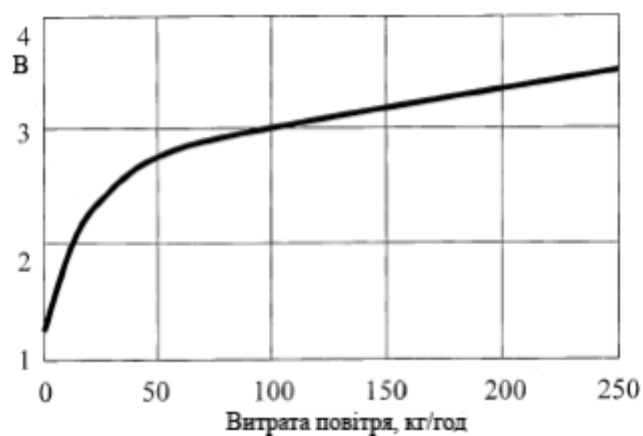


Рис. 3.4. Відповідність вихідної напруги датчика об'ємного потоку повітря до кількості проходячого повітря.

Датчик кисню з моделі 0 258 003 037 LSH 6 від компанії BOSCH для оптимізованої системи управління двигуном ЗМЗ-4062.10 (див. рис. 3.5).



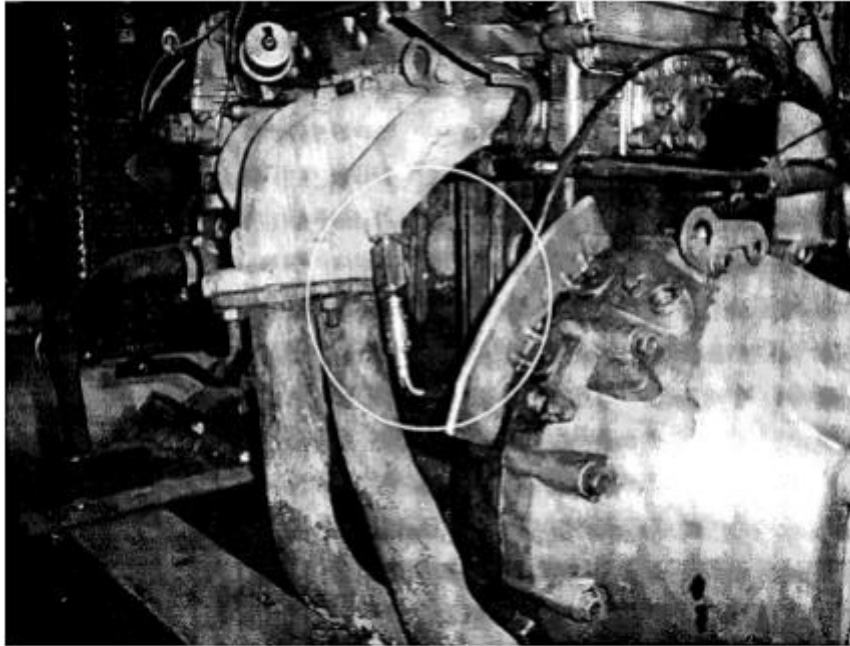


Рис. 3.5. Датчик кисню, інтегрований в систему двигуна.

Блок управління і його компоненти можна побачити на рис. 3.6. Основні частини цього блоку включають модуль коригування, порівняльний пристрій, інтеграційний елемент, агрегатор та завершальний каскад.

Управлінський модуль працює на основі даних від датчика витрати повітря. Сигнал з датчика адаптується в корекційному блоку, а потім надходить до суматора. Якщо повітряно-паливна суміш дуже насичена і рівень кисню падає нижче 0,98, то кисневий датчик видає напругу приблизно 0,8 В. Компаратор активується, коли напруга досягає 0,5-0,6 В, відправляючи високий сигнал до інтегратора. Інтегратор, в свою чергу, посилює цей сигнал. Суматор об'єднує ці сигнали і відправляє їх до виконавчого механізму.

Тобто, якщо суміш стає дуже насиченою, модуль управління коригує сигнал, щоб зменшити цю насиченість. Процес продовжується, поки кисневий датчик не вказує на оптимальний рівень кисню. Після цього система виправляє суміш у протилежному напрямку.

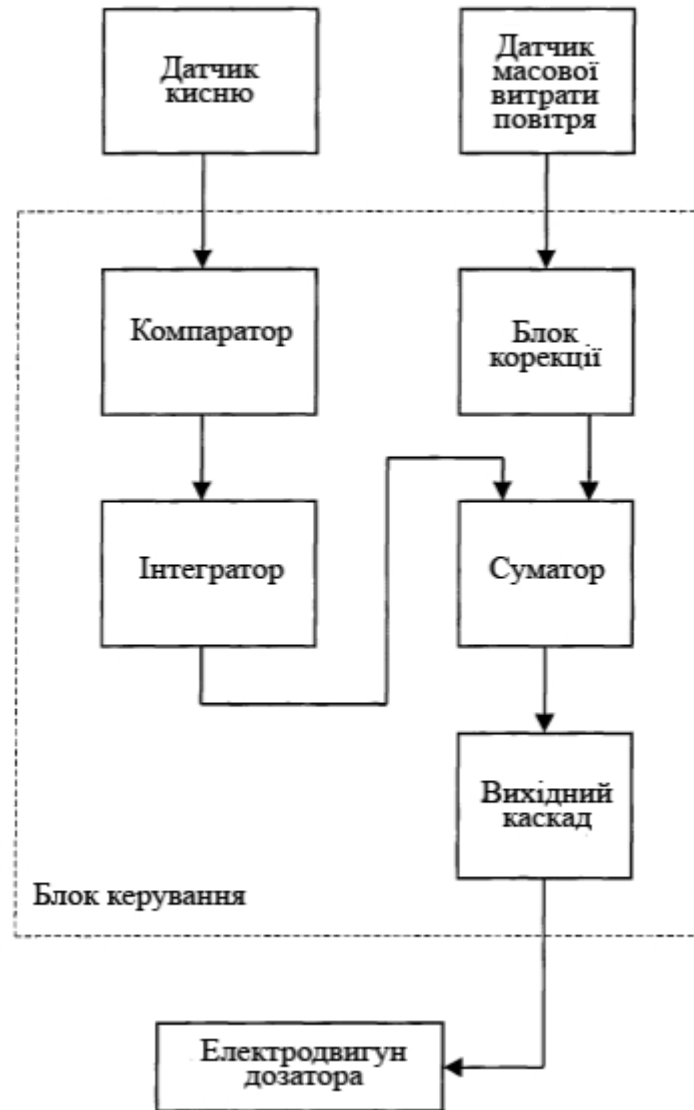


Рис. 3.6. Діаграма управління для системи електронного регулювання постійної подачі газу представлена у вигляді структурної схеми.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Теоретичні дослідження

В обчислювальній моделі редуктора, що не включає механізм важелів, було застосовано характеристики редуктора з комплекту газового обладнання.

У дослідженні було враховано такі параметри:

концентрація пропану в газі, що впливає на його фізичні характеристики, з коливанням у межах від 0 до 1,0;

амбієнтна температура, яка охоплювала діапазон від -30 до 30°C;

об'єм повітря, який споживає двигун, вказуючи на його робочий стан, варіювався в межах від 0,003 (при мінімальних обертах) до 0,123 кг/с (під час роботи на піку потужності);

величина атмосферного тиску з коливаннями у діапазоні від 0,95 до 1,05 кгс/см<sup>2</sup> (абсолютне значення).

Дані обчислень для механізму з важільною системою можна знайти на графіках 4.1 - 4.3, а для механізму без важелевої системи - на графіках 4.4 - 4.6. Графіки були складені з урахуванням того, що тиск у газовому контейнері вищий, ніж тиск на виході з механізму (це відповідає робочим умовам газопостачальної системи).

Вплив температурних факторів на коефіцієнт надлишку повітря є значущим, як це видно з малюнків 3.1 та 3.4. Це стає особливо помітним при високих витратах повітря (0,123 кг/с, що відповідає режиму максимальної потужності двигуна). При коливаннях температури оточуючого середовища від -25 °C до 30 °C коефіцієнт надлишку повітря може змінюватися від 1,07 до 0,95 (зі зміною на 0,12 у випадку з редуктором, що має важільну передачу) та від 1,14 до 0,97 (зі зміною на 0,17 у випадку без важільної передачі) для газу у стані зрідження. Для чистого бутану коливання температури оточуючого середовища в діапазоні від 20°C до 30°C призводить до зниження коефіцієнта надлишку повітря: від 0,95 до 0,92 (зі зниженням на 0,03 у системі з важільною передачею) та від 1,01 до 0,95 (із зміною на 0,06 у редукторі без важільної передачі).

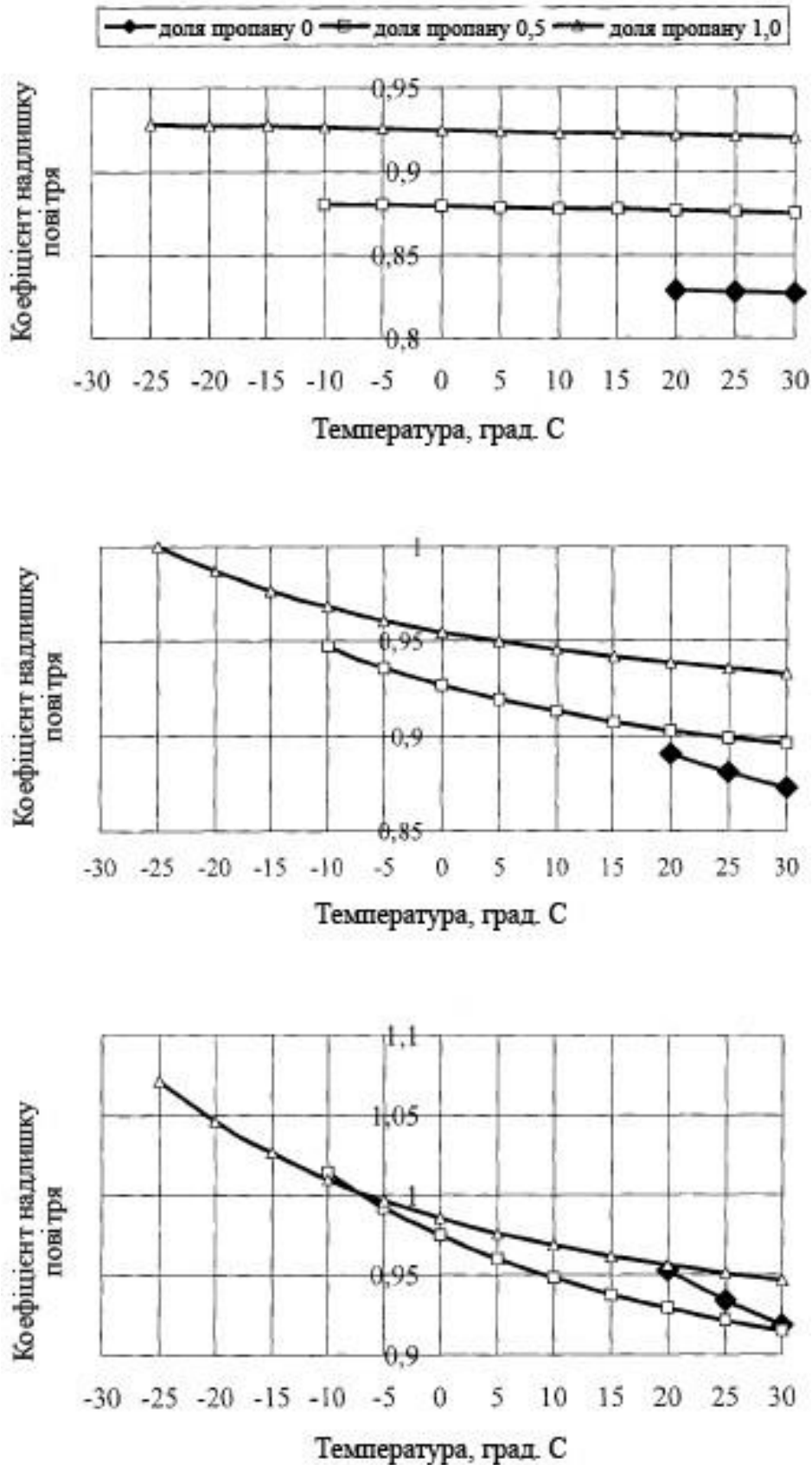


Рис. 4.1. Математичний аналіз залежності коефіцієнта відношення повітря від температурних показників газу в контейнері, його складу та потреб двигуна у повітрі для механізму із важільною системою показує наступне: при потребах двигуна у повітрі  $0,003 \text{ кг / с}$ ,  $0,063 \text{ кг / с}$  та  $0,123 \text{ кг / с}$  відповідно, спостерігаються різні характеристики.

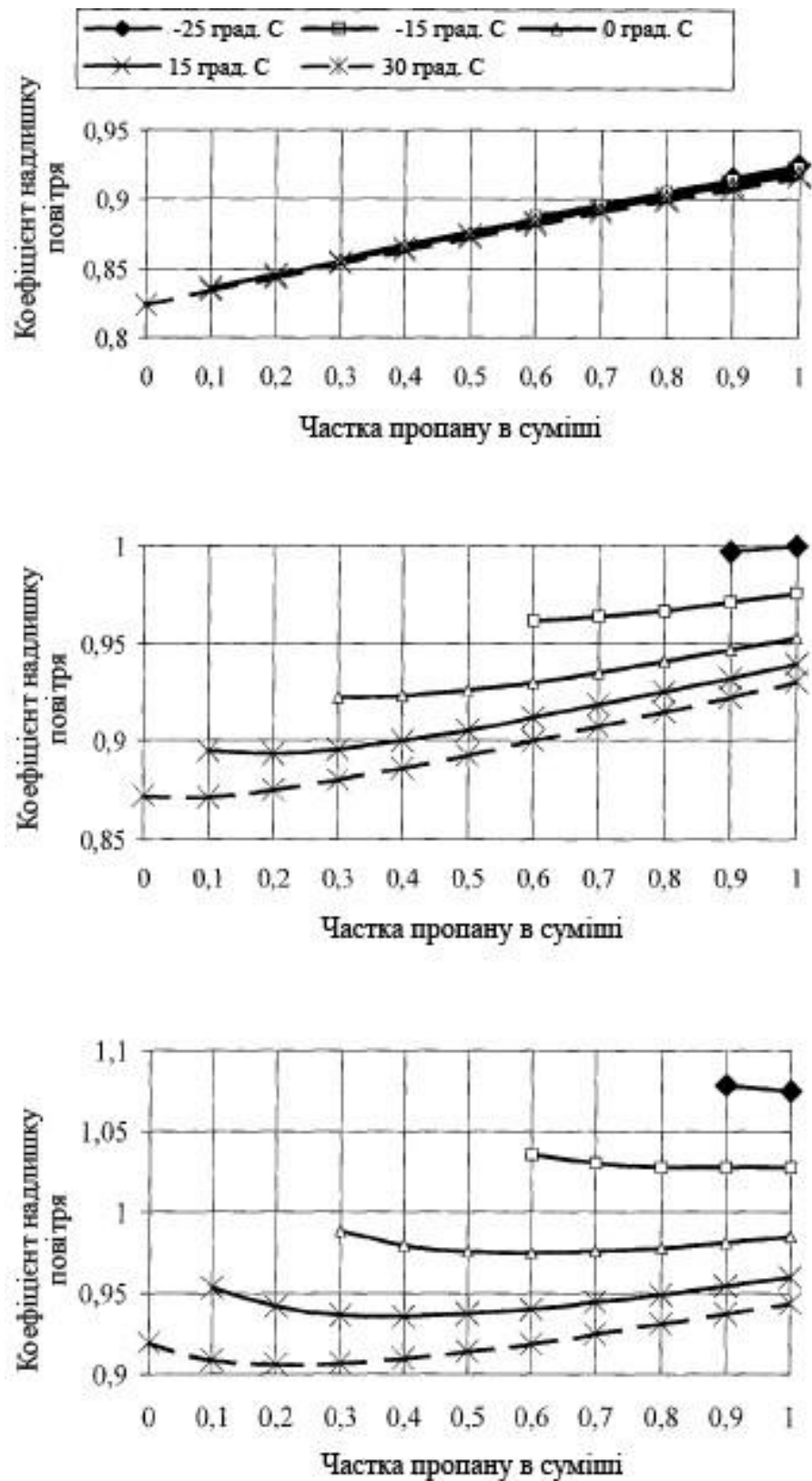


Рис. 4.2. Математичне моделювання показало, як коефіцієнт відношення повітря змінюється в залежності від вмісту пропану в суміші, температурних показників газу та об'єму споживаного двигуном повітря в системі із важільною передачею. Зокрема, при об'ємі споживаного двигуном повітря  $0,003 \text{ кг / с}$ ,  $0,063 \text{ кг / с}$  та  $0,123 \text{ кг / с}$  характеристики змінюються по-різному.

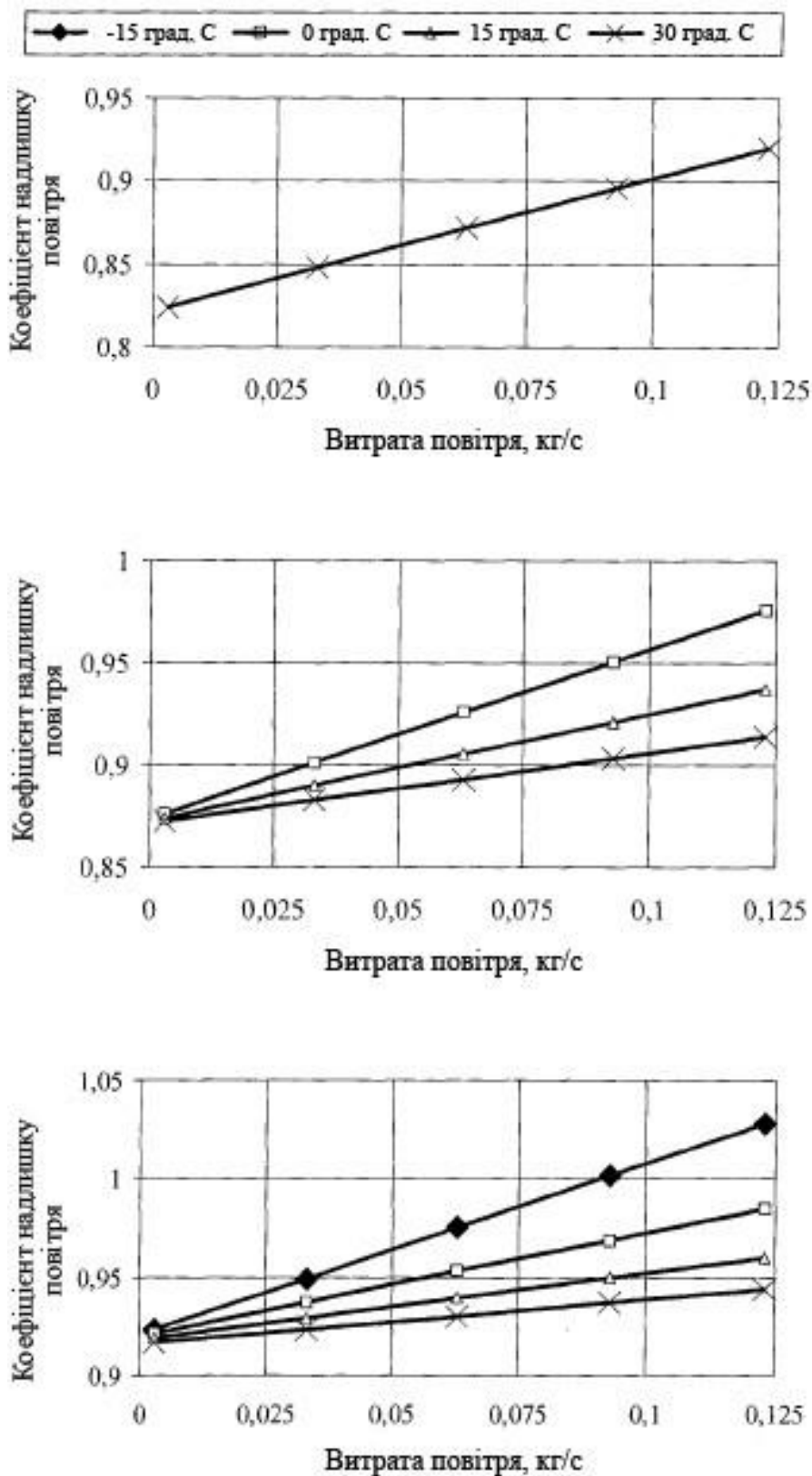


Рис. 4.3. Моделювання демонструє, яким чином коефіцієнт відношення повітря варіюється в залежності від об'єму повітря, який споживає двигун, температурних умов газу в контейнері та вмісту пропану в газовій суміші для системи із важільною передачею. Спостерігаються різні характеристики при вмісті пропану 0,0, 0,5 та 1,0 в суміші.

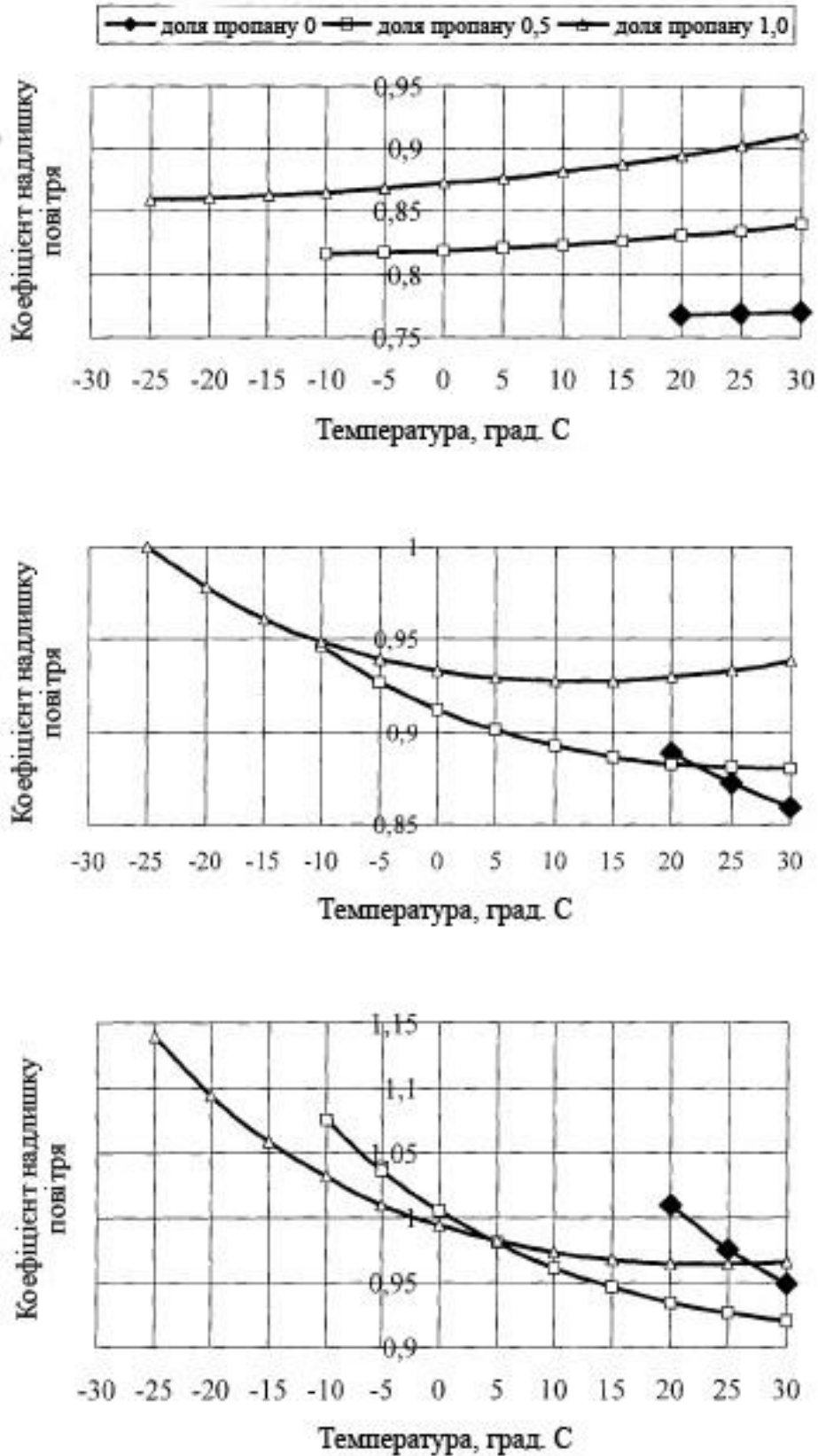


Рис. 4.4. Модельована залежність показує, як коефіцієнт відношення повітря змінюється в залежності від температури газу у контейнері, його складу та об'єму повітря, яке споживає двигун, для системи без важільної передачі. Досліджуються варіації при різних об'ємах споживаного повітря: 0,003 кг/с, 0,063 кг/с та 0,123 кг/с.

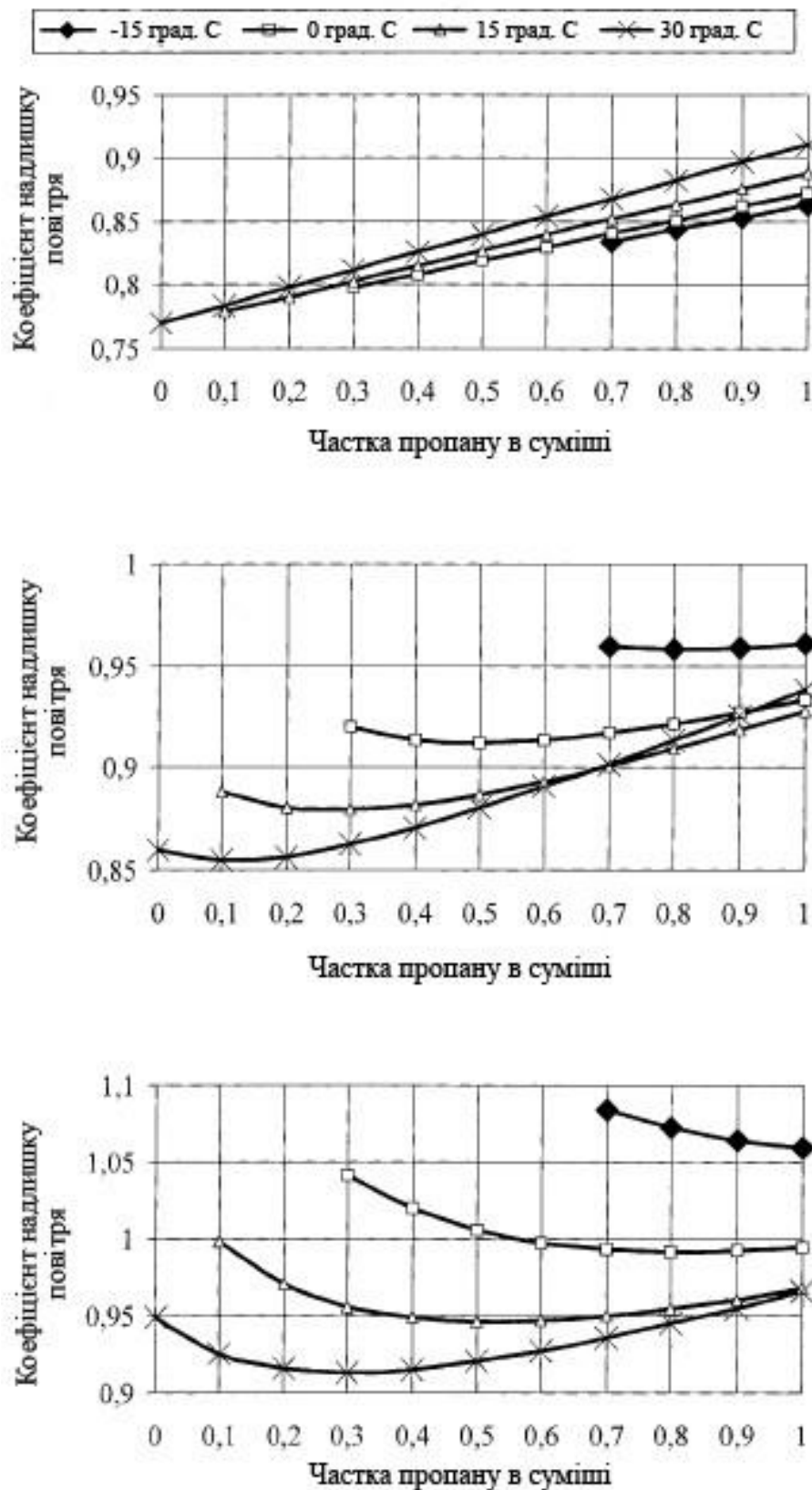


Рис. 4.5. Модельована залежність демонструє, як коефіцієнт відношення повітря залежить від складу газу (співвідношення пропану), температури газу та об'єму повітря, яке споживає двигун, у системі без додаткової важільної передачі. Аналізуються показники при трьох різних рівнях витрати повітря: 0,003 кг/с, 0,063 кг/с та 0,123 кг/с.



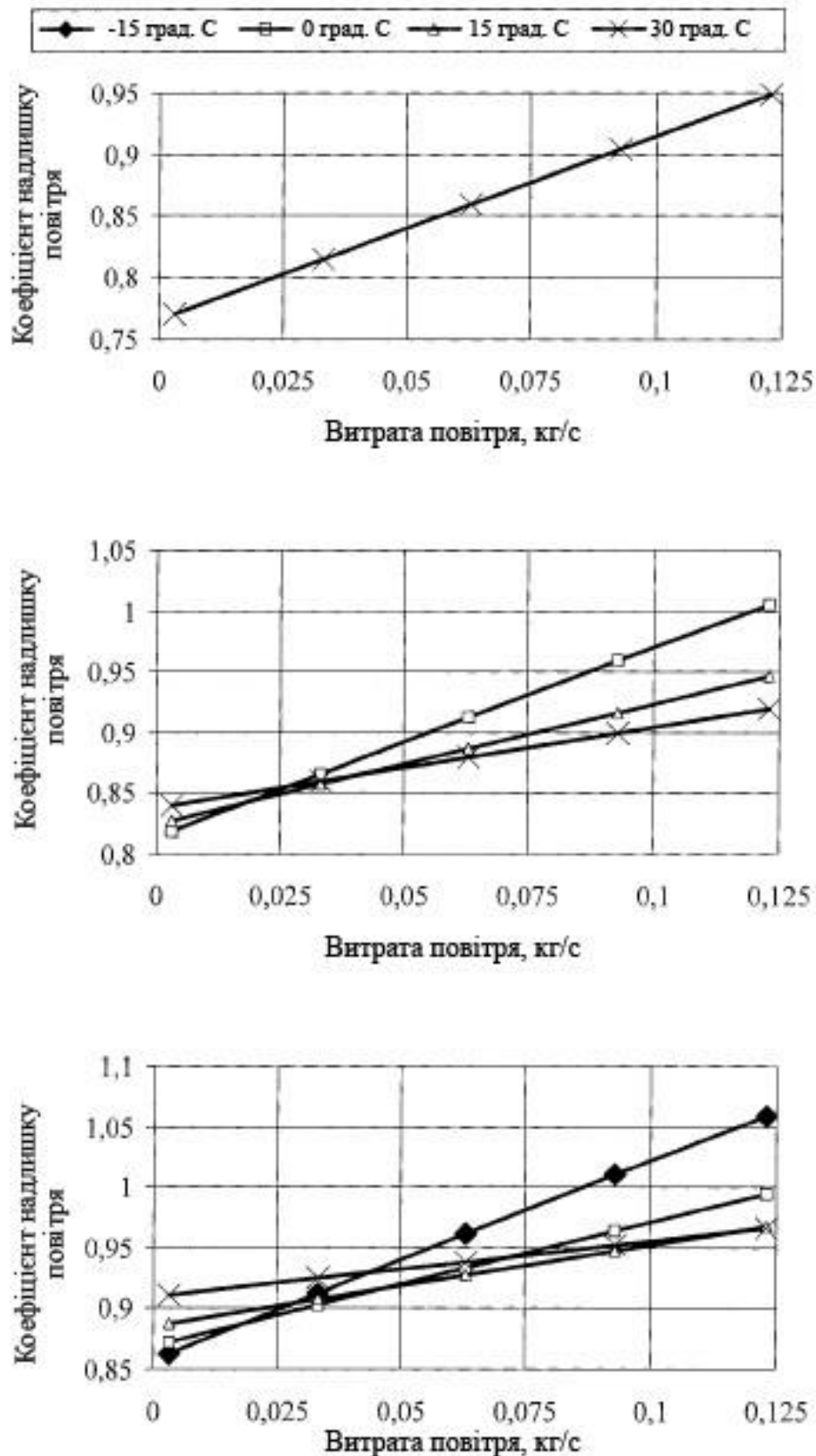


Рис. 4.6. Для системи без додаткової важільної передачі, залежність коефіцієнта повітря визначається від таких параметрів: об'єму повітря, яке споживає двигун, температури газу в ємності та вмісту пропану в газовій суміші. Аналізуються результати при трьох різних концентраціях пропану: 0,0, 0,5 та 1,0.

Отже, можна визначити наступне:

В умовах роботи системи примусової подачі газу без механізму регулювання складу паливо-повітряної суміші важко утримувати коефіцієнт надлишку повітря в діапазоні (0,99-1,0), що є критичним для стабільної роботи трикомпонентного каталізатора.

Є потреба в інсталяції засобів для регулювання складу паливо-повітряної суміші в системах примусової подачі газу до двигуна.

## 4.2 Результати експериментальних досліджень

В дослідницькій роботі аналізувалися флуктуації коефіцієнта надлишку повітря, визначені на основі зміни концентрації пропану в газовій суміші, регулювання повітряних потоків двигуном, а також при адаптації до температурних умов оточення.

Показник надлишку повітря був розрахований на основі концентрації окису вуглецю в вихлопних газах, враховуючи дослідження, яке вивчало об'ємні характеристики цього компоненту.

Для аналізу концентрації окису вуглецю в вихлопних газах на кожному етапі дослідження, необхідно розрахувати кількість вимірів. За умови нормального розподілу, ця кількість вимірів вираховується використовуючи відповідний математичний підхід.

$$n = \frac{v^2 t_{\alpha}^2}{\Delta^2}, \quad (4.1)$$

Аналіз вмісту окису вуглецю у вихлопних газах демонструє, що дані розподілені згідно з нормальним законом. Виходячи з розрахованого коефіцієнта варіації (0,1), можна визначити стандартне відхилення цієї величини. Використовуючи статистичний показник Стьюдента при довірчій ймовірності 0,95, отримуємо значення 1,96. Враховуючи задану відносну помилку 0,1, ми отримали значення 3,84, яке, заокруглюючи до найближчого цілого, становить 4 вимірювання. Для додаткової впевненості в даних, додаємо ще одне вимірювання, тобто загалом необхідно провести п'ять вимірювань.

При аналізі коефіцієнта надлишку повітря виявлено, що найбільша його флуктуація відбувається при споживанні двигуном повітря на рівні 0,003 кг/с при температурі 30°C - це характерний режим холостого ходу. Саме в цих умовах було вирішено перевірити відповідність створеної математичної моделі дійсному процесу, а також оцінити вплив зміни вмісту пропану в газовому складі на вказані параметри.

За даними заводської документації, концентрація пропану у чотирьох балонах різнилася. Перший містив 4% пропану, другий - 32%, третій - 69%, а четвертий насичений пропаном на 95%. Для забезпечення стабільної температури газу всередині балонів вони були занурені у ємність із водою. Ця вода була підігріта до 30°C і допомагала утримувати рівну температуру газу незалежно від зміни зовнішніх умов.

Процес дослідження включав декілька етапів. Початково, двигун розігрівався на бензині до оптимальної робочої температури. Після цього, джерело живлення двигуна змінювалось на газ із балона, що містив 95% пропану. Незабаром, після трьох хвилин переходу на газове живлення, двигун працював у режимі холостого ходу з витратою повітря 0,003 кг/с. Через спеціальний регулятор на редукторі налаштовувалася потрібна величина тиску, згідно із заданим вмістом окису вуглецю (4%) та коефіцієнтом надлишку повітря (0,89).

На наступному етапі використовувався балон із 69% пропаном. Після 10 хвилин роботи двигуна у режимі холостого ходу вимірювалася концентрація окису вуглецю. Той самий процес проводився з рештою балонів. Кожний етап дослідження повторювався п'ять разів для отримання надійних результатів. Отримані дані були зібрані в таблиці 4.1 та ілюстровані на графіку 4.7.

Таблиця 4.1. Перевірки відповідності математичної моделі залежності від частки пропану в газовій суміші

Частка пропану у ЗНГ	Середнє значення CO, %	95% довірчий інтервал CO, %	95% довірчий інтервал $\alpha$	Абсолютна похибка при визначенні $\alpha$	Сумарна абсолютна похибка $\alpha$	Середнє значення $\alpha$	Розрахункове значення $\alpha$
0,04	8,6	0,7	0,02	0,02	0,04	0,75	0,766
0,32	6,7	0,6	0,02	0,02	0,04	0,81	0,805
0,69	5,7	0,4	0,01	0,02	0,03	0,84	0,857
0,95	3,7	0,3	0,01	0,02	0,03	0,90	0,893

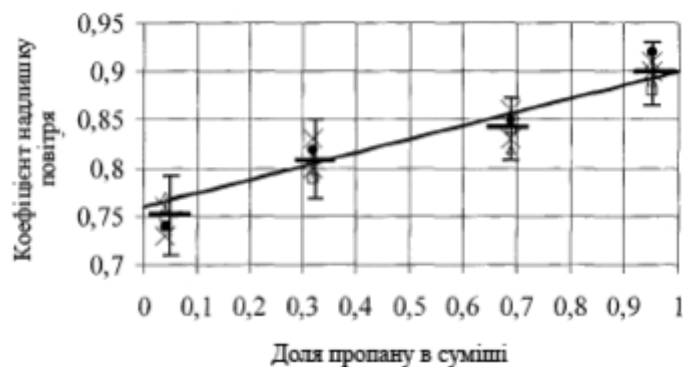


Рис. 4.7. Вивчена залежність коефіцієнта надлишку повітря від вмісту пропану в газовій суміші при заданих умовах. Для редуктора без важільної передачі при температурі 30°C та витраті повітря двигуном 0,003 кг/с

У процесі дослідження були використані чотири балони з газом, кожен із яких зберігався при різних температурних умовах. Перший балон виставлявся на мороз і досягав температури -23°C, оскільки його розташовували на вулиці протягом зимового періоду. Другий балон перебував у холодному приміщенні, де температура становила -10°C. Третій балон знаходився в приміщенні, де температура була стабільною та дорівнювала +5°C. А четвертий балон був поміщений у ємність з водою, яка дозволяла підтримувати його температуру на рівні +20°C. Завдяки цим умовам було можливо дослідити вплив температурних факторів на характеристики газу в балонах.

Після п'яти серій експериментів, дані були узагальнені та систематизовані. Щоб надати зрозумілу візуалізацію отриманих результатів,

інформацію було розміщено в таблиці 4.2. Додатково, ключові висновки та тенденції були відображені на графіку, який можна переглянути на рис. 4.8.

Таблиці 4.2. Наведено дані з випробувань, які демонструють вплив температурних факторів на точність математичної моделі.

Температура, °С	Середнє значення CO, %	95% довірчий інтервал CO, %	95% довірчий інтервал $\alpha$	Абсолютна похибка при визначенні $\alpha$	Сумарна абсолютна похибка $\alpha$	Середнє значення $\alpha$	Розрахункове значення $\alpha$
-23	4,4	0,3	0,01	0,02	0,03	0,88	0,890
-10	6,0	0,5	0,01	0,02	0,03	0,83	0,820
5	8,2	0,7	0,02	0,02	0,04	0,76	0,775
20	8,2	0,7	0,02	0,02	0,04	0,76	0,760

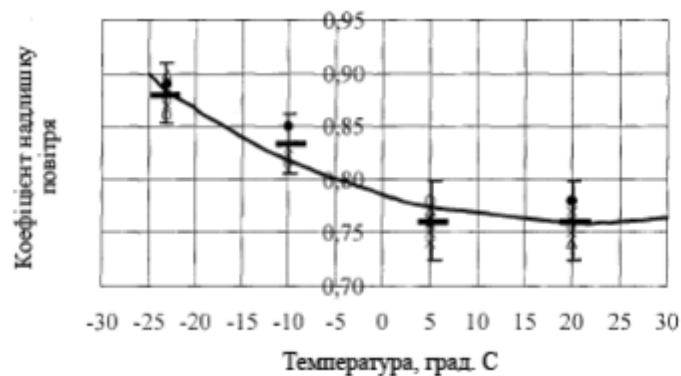


Рис. 4.8. Вивчення вплив температури оточуючого середовища на коефіцієнт надлишку повітря при константних параметрах: витраті повітря двигуном 0,123 кг/с та долі пропану 0,95.

Після проведених тестів було встановлено, що розроблена математична модель добре корелює з експериментальними даними. Це свідчить про її високу надійність та можливість застосування в практичних цілях.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Охорона парці під час заправки автомобіля газовим паливом

Охорона парці під час заправки автомобіля газовим паливом - це важливий процес, який передбачає безпечне та ефективне заправлення автомобіля стиснутим або рідким природним газом (CNG або LNG). Дотримання правил безпеки під час цієї процедури дуже важливе, оскільки газовий паливний бак може бути під певним тиском і потенційно небезпечним в разі некоректного обходу.

Детальний опис заходів охорони під час заправки газом:

Завжди вимикаємо двигун: Перш ніж почати заправку, завжди вимикаємо двигун автомобіля. Це запобігає виникненню іскри та можливим загрозам інцидентів.

Вимкніть всі джерела відкритого вогню: Переконайтеся, що в автомобілі вимкнено всі джерела відкритого вогню, такі як сигарети, запалювані газові пальники та інше.

Використовуйте лише визнані заправні станції: Важливо обирати заправні станції, які відповідають стандартам та мають добру репутацію щодо безпеки. Дотримуйтеся рекомендацій заправного персоналу.

Зняття статичної електрики: Перед розпочатком заправки відпрацюйте статичну електрику, доторкаючись до металевих деталей автомобіля або стоячи на антистатичному килимі, якщо це можливо.

Справжня посудина і шланг: Впевніться, що використовуєте лише підходящу посудину для газу та справний заправний шланг. Ніколи не використовуйте дефектний обладнання.

Увімкнення вентиляції: Заправка газом може мати запах, тому рекомендується увімкнути вентиляцію автомобіля для відведення будь-яких парів на зовнішню сторону.

Дотримання інструкцій заправного персоналу: Ретельно слідкуйте за інструкціями заправного персоналу та виконуйте їхні вказівки щодо заправки.

Не перевантажуйте бак: Заправляйте бак до рекомендованого рівня, щоб запобігти перевантаженню, яке може призвести до викидів або пошкоджень бака.

Перевірка на витоки і пошкодження: Перед тим, як поїхати, переконайтеся, що бак не має витоків і не пошкоджений.

Заправляйтеся відповідно до температури: Температура може впливати на об'єм газу, тому слід дотримувати вказівок щодо заправки при різних температурах.

Завжди дотримуйтеся правил та рекомендацій для безпечної заправки газом, щоб забезпечити свою індивідуальну безпеку та безпеку навколишніх.

## **5.2 Заходи безпеки під час діагностики, ТО, та ремонту газового обладнання автомобіля**

Діагностика газового обладнання автомобіля - це важливий процес, що передбачає перевірку та налаштування системи газового пального устаткування (ГПУ) для безпечного та ефективного його використання. Дотримання правил безпеки під час діагностики газового обладнання дуже важливе, оскільки ця система містить в собі паливний газ під певним тиском і потенційно небезпечна в разі некоректного обходу. Нижче наведено широкий опис заходів безпеки під час діагностики газового обладнання автомобіля:

Вимкніть двигун: Перш ніж розпочати діагностику, завжди вимикайте двигун автомобіля і зачекайте, доки всі системи автомобіля припинять роботу.

Вимкніть всі джерела відкритого вогню: Переконайтеся, що в автомобілі вимкнено всі джерела відкритого вогню, такі як сигарети, запалювані газові пальники та інше.

Зняття статичної електрики: Перед розпочатком роботи доторкаючись до металевих деталей автомобіля або стоячи на антистатичному килимі, якщо це можливо, для відведення статичної електрики.

Знання технічної документації: Перед тим, як розпочати діагностику, обов'язково звертайтеся до технічної документації та інструкцій виробника щодо правильного порядку дій.

Використовуйте відомий обладнання: Використовуйте лише відоме та справне обладнання для діагностики газового обладнання. Не використовуйте пошкоджені або неналежно підготовлені інструменти.

Запобігайте витокам газу: Перевіряйте всі з'єднання, різьблені з'єднання та ущільнювачі на витоки газу перед початком діагностики. В разі виявлення витоку, негайно припиняйте роботу та виправляйте ситуацію.

Робіть це в добре провітреному приміщенні: Діагностику газового обладнання краще проводити в добре провітреному місці або у спеціально обладнаному майстерному.

Уникайте стискання і відкривання клапанів: Уникайте стискання та різке відкривання клапанів системи газопостачання. Робіть це обережно та послідовно.

Перевіряйте стан балонів та магістралей: Періодично перевіряйте стан газових балонів і газових магістралей на наявність дефектів або пошкоджень.

Дотримуйтеся інструкцій виробника: Дотримуйтеся всіх рекомендацій та інструкцій виробника системи газового обладнання та автомобіля.

Будьте готові до викидів: Завжди маєте пожежний вогнегасник та першу допомогу в найближчому доступному місці в разі непередбачених ситуацій.

У разі невпевненості – консультируйтесь з фахівцем: Якщо у вас немає впевненості у власних навичках або знаннях, краще звертайтеся до кваліфікованого фахівця для діагностики та обслуговування системи газового обладнання.

Ремонт газового обладнання автомобіля - це діяльність, яка потребує особливої уваги до безпеки, оскільки вона пов'язана з роботою з палим газом, який може бути небезпечним при некоректному обслуговуванні. Нижче подано широкий опис заходів безпеки, які необхідно вживати під час ремонтних робіт газового обладнання автомобіля:

Вимкніть джерела загоряння: Перш ніж розпочати роботу, переконайтеся, що всі джерела відкритого вогню (сигарети, сірники, газові пальники і т. Д.) вимкнуті та видалені з робочої області.



Повітряне приміщення: Робіть ремонт в добре провітрюваному місці або в спеціально обладнаному гаражі з гарною вентиляцією. Це зменшить ризик накопичення пального газу в приміщенні.

Зняття статичної електрики: Перед роботою наділіть антистатичний ремінь або доторкайтеся до металевих деталей автомобіля, щоб уникнути статичного розряду.

Відсутність іскорів: Уникайте ударів, сильного тертя та іскорення у процесі ремонту. Все обладнання має бути антискрапельним, інструменти мають бути відголосостійкими.

Ізоляція електричних проводів: В разі роботи з електричною частиною обладнання відключіть акумулятор і ізолюйте всі електричні проводи, щоб уникнути короткого замикання або іскорів.

Використовуйте якісні інструменти: Використовуйте лише якісні та належно обслуговані інструменти для ремонту, а також забезпечте наявність необхідних ключів і наборів ізоляційних матеріалів.

Відключення системи газопостачання: Перш ніж розпочати будь-які роботи, вимкніть систему газопостачання і відсоединіть газовий балон або резервуар від автомобіля.

Проведення інспекції: Перед початком робіт уважно перевірте всі компоненти газової системи на наявність пошкоджень, тріщин або інших проблем.

Засоби захисту очей і дихальних шляхів: Використовуйте захисні окуляри та маски для запобігання потраплянню пилу та інших частинок у очі та легені.

Будьте обережні з газовим паливом: В разі виявлення витoku газу негайно вимкніть газовий клапан і робіть усі необхідні заходи безпеки.

Уникайте саморобних ремонтів: Не робіть саморобних ремонтів газового обладнання. Звертайтеся до кваліфікованих фахівців.

Регулярні перевірки і технічне обслуговування: Регулярно перевіряйте стан газового обладнання і здійснюйте обслуговування відповідно до рекомендацій виробника або фахівця.

**Знання та навички:** Перед початком робіт набувайте знань і навичок у сфері роботи з газовим обладнанням і ніколи не виконуйте роботу, якої ви не розумієте.

**Запасні частини:** Завжди майте під рукою необхідні запасні частини для можливої заміни.

**Екстрені заходи безпеки:** Завжди знайте, як діяти у випадку виникнення аварійної ситуації та майте під рукою екстрені засоби для виходу з небезпеки.

**Спостереження за показниками:** Спостерігайте за показниками тиску та температури газового обладнання під час і після завершення робіт.

Завжди пам'ятайте, що безпека є найважливішою під час діагностики та обслуговування газового обладнання автомобіля. Правильне виконання цих заходів безпеки допоможе уникнути можливих аварій і нещасних випадків.

### **5.3 Загальні підходи оцінки ризику виникнення НС**

Для оцінки ймовірності виникнення джерел небезпеки, які можуть запустити механізм виникнення НС потрібна наявність ефективного інструментарію у вигляді комплексів розрахункових кодів, що спираються на бази даних, які узагальнюють накопичену інформацію про можливі сценарії виникнення й розвитку НС при різних початкових й граничних умовах.

Для цього необхідно мати як мінімум три групи розрахункових методів і програм з необхідними базами даних, а саме:

методи і програми для ймовірності оцінки шляхів виникнення і процесів розвитку небажаних подій (аварій, стихійних лих і катастроф);

методи і програми, що описують наслідки небажаних подій, наприклад вихід, поводження і поширення в навколишньому середовищі небезпечних речовин і механізми ураження людини цими речовинами;

методи і розрахункові програми оцінки економічного збитку й оптимізації витрат ресурсів на запобігання або зменшення наслідків небажаних подій.

Існує чотири методичні підходи для ймовірнісної оцінки ризику виникнення НС:

інженерний (спирається на статистику, розрахунок частоти виникнення подій, ймовірний аналіз безпеки);  
 модельований (побудова моделей впливу на об'єкт захисту);  
 експертний (визначення ймовірності подій на основі опитування експертів);  
 соціологічний (опитування населення).

З метою оцінювання ризику аварій для кожної події, що ініціює аварію, виконують оцінку ймовірності її реалізації протягом одного року. Для цього використовують логіко-ймовірнісні методи, зокрема

«мінімальних шляхів», «мінімальних перетинів», «дерево подій», «дерево відмов»; статистичні методи обробки даних про аварійність технологічної системи, що відповідають специфіці об'єкту підвищеної небезпеки або виду діяльності; експертні оцінки ймовірності виникнення події, що розглядається, виконані за певною методикою. Розрахунок ймовірності аварії також проводиться із застосуванням функцій розподілів випадкових величин, зокрема біноміального закону, закону розподілу Бернуллі, законів розподілу Вейбулла, Парето, логарифмічно-нормального закону тощо.

«Дерево подій» – метод, що застосовують для побудови логічної структури сценаріїв й оцінки ймовірностей критичних подій. В цьому методі початкова подія є вихідною точкою розвитку сценарію аварії. Далі через послідовно-паралельні ланцюги проміжних подій, кожному з яких відповідає деяка ймовірність його виникнення, оцінюється сукупна ймовірність виникнення кінцевої окремої критичної події.

Метод «дерево відмов» характеризується тим, що спочатку розглядається деяка конкретна критична подія. Вона зображується як головна подія і пов'язується з численними базовими подіями зазначенням цих подій та логічних операторів над ними.

На рисунку 5.1. поданий узагальнений алгоритм аналізу та оцінювання ризику аварій на промислових об'єктах, який розроблений авторами роботи.



Рис. 5.1. Загальна схема аналізу та оцінювання ризику аварій.

Як видно з рисунку 1.26 аналіз та оцінювання ризиків аварій включає такі основні етапи:

ідентифікацію небезпеки (виявлення ризиків);

кількісне оцінювання ймовірності виникнення аварії;

оцінювання можливих негативних наслідків;

оцінювання ризиків;

порівняння визначеного поточного значення ризику з прийнятним значенням ризику;

вжиття заходів щодо зниження ризику в разі перевищення прийнятного рівня, в протилежному випадку – моніторинг і контроль рівня ризику.

Наведемо приклад складання можливого сценарію наслідків аварійної ситуації на АЗС у випадку витoku нафтопродуктів за матеріалами роботи.

На основі статистичних даних, визначено, що розвиток аварії може призвести до однієї з наступних подій:

Подія А1 – миттєве займання спливаючого продукту з подальшим факельним горінням;

Подія А2 – стався розлив пального на поверхню, загорання не відбулося (спрацювала системи блокування);

Подія А3 – системи блокування не спрацювали, сталося загоряння проливу;

Подія А4 – пальне, яке випарувалось, утворило парову хмару, відбулося її загоряння без утворення надлишкового тиску;

Подія А5 – сталася пожежа хмари з утворенням надлишкового тиску;

Подія А6 – утворилася «вогняна куля».

Статистичні ймовірності різних сценаріїв розвитку аварій з викидом горючої речовини (складено на основі даних занесені в (таблицю 1.1). Ймовірності кожної проміжної події, визначені за умови, що ймовірність ініціюючої події (локальне руйнування обладнання АЗС) дорівнює 1.

Таблиця 1.1 – Статистичні ймовірності різних сценаріїв розвитку аварій

№	Сценарій аварії	Ймовірність
1	«Вогняна куля» (А6)	0,108
2	Пожежа – спалах	0,367
3	Горіння проливу (А3)	0,1862
4	Згорання хмари (А4)	0,1689
5	Згорання хмари з розвитком надлишкового тиску (А5)	0,0119
6	Факел (А1)	0,322
7	Струмінь рідини (А2)	0,129
8	Пролив рідини	0,074

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Система електронного керування примусовою подачею газу є важливою складовою сучасних автомобільних двигунів, що дозволяє оптимізувати споживання пального, знижувати викиди шкідливих речовин та підвищувати ефективність роботи двигуна. Дослідження умов експлуатації виявило ряд аспектів, що потребують подальшого вдосконалення, зокрема врахування змінних зовнішніх факторів, якість газу та інші.

Зусилля, спрямовані на вдосконалення цієї системи, дозволять не лише підвищити економічні показники експлуатації автомобіля, але і зробити його екологічніше та безпечніше для довкілля. Зокрема, інтеграція сучасних сенсорів та алгоритмів аналізу даних може автоматично адаптувати роботу системи під конкретні умови, гарантуючи оптимальний режим роботи.

Таким чином, вдосконалення системи електронного керування примусовою подачею газу, базуючись на дослідженнях умов експлуатації, є актуальним і важливим напрямком розвитку автомобільної промисловості.

**БІБЛІОГРАФІЯ**

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.

2. Гевко І.Б. Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Ляшук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.

3. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.

4. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.

5. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.

6. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни«Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.

7. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник – К.: Знання. 2003. – 511 с.

8. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.

9. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.

10. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.
11. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2023, 118, 161-172. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.11>.
12. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom (2023) Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, 118, pp. 161-172. (Scopus).
13. Aulina, V., Kropivnya, V., Kuzyka, O., Lyashuk, O., Bosyia, M., Vovk, Y., Kropivnaa, A., Sokol, M., Senyk, A., Slobodyan, L. The Influence of Titanium as a Desferoidizing Element on the Stability of Production of Magnesium Cast Irons with Compacted Graphite (2021) Tribology in Industry - Kragujevac : University of Kragujevac, 4 (43), pp. 654-666. (Scopus).
14. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Lebid, I., Nevko, I., Khoroshun R Matviyishyn, A. (2022). Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. Communications, 24(3), B247-B258.
15. Безпека в надзвичайних ситуаціях : навч. посібник для студентів ЗВО України : у 2 ч. Ч. 1: Надзвичайні ситуації / М. Л. Лисиченко, В. В. Вамболь, С. О. Вамболь, М. М. Кірієнко, І. А. Черепньов, В. М. Власовець ; за ред. М. Л. Лисиченка ; ХНТУСГ. – Харків : ТОВ “ПромАрт”, 2021. – 202 с.
16. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.