

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

1 КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Підвищення ефективності роботи дизельних двигунів за низьких температур»**

Виконав: студент VI курсу групи Ат-61

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”

(шифр і назва)

Антон Філінський

(ім'я та прізвище)

Керівник: Олег Миронюк

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

УДК 631.359

Філінський А.А. Підвищення ефективності роботи дизельних двигунів за низьких температур: кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. 70с.

Табл. 5; рис. 19; бібліогр. джерел 23.

Мета роботи полягає у вивченні конструкції, принципу роботи індукційного підігрівача дизельного пально здатного забезпечити безперешкодний запуск двигуна за умов низьких температур.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю покращення ефективності та надійності використання дизельних двигунів за низьких температур, коли пальне розпочинає кристалізуватися, що в свою чергу ускладнює його подачу в паливну систему автомобіля. В роботі досліджено індукційний нагрівач, що дозволяє підігрівати пальне до оптимальних температур запуску.

Методика роботи включає в себе лабораторні дослідження за допомогою спеціалізованого стенда, що імітує умови роботи дизельного двигуна у холодну пору року, під час яких проведено серію вимірів теплових характеристик, включаючи час нагріву, теплопровідність, теплоємність та інші параметри, які відображають ефективність індукційного нагрівача.

Основними результатами дослідження є встановлення оптимальних параметрів підігрівача, що дозволяє значно прискорити час нагріву пального, що в результаті ефективно вплине на час нагріву двигуна. Отримані дані можуть бути застосовані в автомобільній промисловості, зокрема для модернізації паливних систем.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розробленого підігрівача у дизельні транспортні засоби, що значно підвищить їхню надійність в умовах холодного клімату. Це дослідження може стати основою для подальших робіт у галузі розробки ефективних систем підігріву пального.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Особливості експлуатації двигунів у холодну пору року	9
1.2 Особливості роботи паливної апаратури дизельного двигуна за низьких температур	10
1.3 Технічні рішення, що полегшують роботу двигуна у холодну пору року	12
1.3.1 Система EGR (система рециркуляції відпрацьованих газів).....	12
1.3.2 Система полегшення запуску двигуна	14
1.3.3 Додаткові варіанти покращення пускових властивостей дизельних двигунів.....	17
1.3.4 Хімічні способи покращення запуску дизельного двигуна у холодну пору року	20
1.3.5 Альтернативні способи збереження пускових властивостей двигунів у зимову пору року	22
Висновок до розділу	23
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	25
2.1 Теоретичне дослідження технічних параметрів дизельної паливної апаратури	25
2.2 Необхідні затрати теплової енергії для плавлення кристалів дизельних вуглеводнів	29
2.3 Розрахунок тепла на плавлення кристалів дизельного палива.....	32
2.4 Розрахунок часу нагріву паливного фільтра	35
Висновки до розділу	37
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
3.1 Підігрівач дизельного палива індукційного типу для дизельних двигунів внутрішнього згорання.....	39
3.1.1 Конструкція підігрівача.....	39
3.1.2 Принцип роботи підігрівача.....	40
3.1.3 Переваги індукційного підігрівача.....	40
3.1.4 Роль підігрівача у паливній системі дизельного двигуна	41

3.1.5	Опис електричної схеми підігрівача пального.....	41
3.1.6	Підключення системи підігріву дизельного палива	43
3.2	Результати лабораторних та розрахункових досліджень	44
3.2.1	Розрахункові дослідження.....	45
3.2.2	Лабораторні дослідження	48
	Висновки до розділу	53
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	55
4.1	Мікроклімат виробничих приміщень	55
4.2	Заходи безпеки під час технічного обслуговування та ремонту автомобілів.....	58
4.3	Заходи безпеки під час роботи з нафтопродуктами.....	60
4.4	Техніка безпеки під час використання системи підігріву дизельного пального	60
	Висновки до розділу	61
5	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	62
5.1	Методика визначення економічних показників автомобіля	62
5.2	Розрахунок економічної ефективності використання удосконаленого автомобіля.....	64
	Висновки до розділу	67
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69

ВСТУП

Магістерська робота є важливою складовою підготовки інженера та має на меті систематизацію, розширення й закріплення професійних знань, а також формування у студентів компетенцій самостійної роботи, досліджень та експериментів. У контексті дослідження експлуатації автомобільного транспорту особлива увага приділяється важливості його ролі в розвитку суспільства та залежності безпеки людей від надійності техніки. Автомобільний транспорт відіграє ключову роль у функціонуванні багатьох галузей економіки, включно з промисловістю, аграрним сектором та іншими сферами, не продукуючи матеріальної продукції, але надаючи життєво важливі послуги.

Тема даної роботи – " Підвищення ефективності роботи дизельних двигунів за низьких температур" – є надзвичайно актуальною, оскільки сучасні умови експлуатації автомобільного транспорту, особливо взимку, вимагають підвищеної надійності та ефективності роботи дизельних двигунів. В зимових умовах через утворення кристалів вуглеводнів у дизельному паливі виникають проблеми з забиванням паливних фільтрів та порушенням роботи паливної системи. Це може призводити до зношення ключових компонентів, зниження потужності двигуна та збільшення витрат палива й енергії. Для запуску дизельних двигунів у холодну пору року необхідне попереднє підігрівання палива, що потребує значної кількості теплової енергії. На тлі світових тенденцій до зменшення споживання енергії та мінімізації впливу транспорту на довкілля, удосконалення паливних систем дизельних двигунів набуває особливої важливості. Ефективне функціонування дизельних двигунів у холодних умовах не тільки покращує експлуатаційні характеристики транспортних засобів, але й сприяє зниженню викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Дослідження умов експлуатації дизельних двигунів у низькотемпературних середовищах, а також розробка і впровадження методів оптимізації

роботи паливної системи є важливими не лише для покращення надійності автомобільного транспорту, але й для зменшення енергетичних втрат та економії паливно-мастильних матеріалів.

Очікується, що результати цієї роботи матимуть практичне застосування в автомобільній промисловості, дозволяючи підприємствам транспортної галузі знижувати витрати на технічне обслуговування та підвищувати надійність роботи дизельних двигунів у складних кліматичних умовах. Отримані результати можуть стати основою для подальших досліджень у сфері підвищення ефективності паливних систем дизельних двигунів, що сприятиме розвитку нових технологій для роботи в екстремальних кліматичних умовах.

У зв'язку з цим, метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності роботи системи паливостачання дизельних двигунів в умовах зимового періоду.

Для реалізації поставленої мети поставлені наступні завдання:

1. Провести огляд наукової та технічної літератури щодо проблем експлуатації дизельних двигунів в умовах низьких температур, звертаючи увагу на сучасні методи підігріву палива та ефективності паливних систем.

2. Дослідити вплив низьких температур на характеристики дизельного палива, включаючи в'язкість, текучість та схильність до утворення парафінових кристалів, які можуть призводити до забивання паливних фільтрів.

3. Розглянути існуючі методи попереднього підігріву палива та паливної системи, включно з використанням підігрівачів палива, теплообмінників та електричних підігрівачів, і визначити їх ефективність та енергетичні затрати.

4. Провести аналіз роботи дизельних двигунів у зимових умовах та оцінити проблеми, що виникають через низькі температури, такі як збільшення навантаження на акумулятори, підвищене споживання палива та зниження потужності двигуна.

5. Розробити та запропонувати вдосконалену систему підігріву палива, яка забезпечує ефективний запуск та роботу дизельного двигуна за низьких температур, з урахуванням зниження енергетичних затрат.

6. Провести моделювання та експериментальне дослідження роботи паливної системи дизельного двигуна з розробленою системою підігріву в умовах низьких температур для оцінки її ефективності.

7. Проаналізувати отримані результати та сформулювати рекомендації щодо практичного використання вдосконаленої системи підігріву в автомобільній промисловості з метою підвищення надійності та економічності експлуатації дизельних двигунів у зимовий період.

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Особливості експлуатації двигунів у холодну пору року

Експлуатація автомобільних дизельних двигунів у холодну пору року супроводжується низкою викликів, що значно впливають на їх продуктивність, ефективність та надійність [2]. Дизельні двигуни є складними системами, робота яких залежить від кількох факторів, що змінюються при низьких температурах [19]. Це впливає як на паливну систему, так і на сам процес згоряння палива, що може призвести до зниження потужності двигуна, збільшення витрат палива та погіршення екологічних показників.

Однією з основних проблем, що виникають при експлуатації дизельних двигунів взимку, є ускладнений запуск. Під час зниження температури повітря двигун потребує більше енергії для початкового запуску. Це пояснюється як згущенням палива, так і підвищеною в'язкістю моторної оливи, що ускладнює рух деталей двигуна [16, 9]. Зниження температури також впливає на акумуляторну батарею, яка в холодних умовах втрачає частину своєї ємності, що додатково ускладнює запуск двигуна [14].

Окрім цього, важливим фактором є проблема попереднього підігріву повітря у камері згоряння. За низьких температур дизельне паливо не встигає достатньо випаровуватись, через що суміш пального та повітря не є оптимальною для згоряння [6, 12]. Це може призвести до нестабільної роботи двигуна або навіть його відмови під час холодного запуску. Для запобігання цьому зазвичай використовують свічки розжарювання, які прогрівають камеру згоряння і допомагають паливу швидше випаровуватися [11].

Низькі температури впливають на всі компоненти паливної системи дизельного двигуна. Окрім кристалізації парафінів у паливі, що буде розглянуто пізніше, існує ще кілька проблем, пов'язаних з температурними коливаннями. Однією з таких є зниження тиску в паливній системі, що може

спричинити нерівномірне постачання палива до форсунок. Це зменшує ефективність процесу згоряння і призводить до втрати потужності двигуна. Ще однією проблемою є зменшення швидкості випаровування дизельного палива в умовах низьких температур, що ускладнює утворення правильної паливно-повітряної суміші. Це призводить до неповного згоряння палива, збільшення кількості шкідливих викидів та зниження загальної ефективності двигуна. Особливо це стосується двигунів, які працюють на низьких обертах або в режимі холостого ходу, коли температура в камері згоряння не є достатньо високою для оптимального процесу згоряння.

Експлуатація дизельних двигунів в умовах низьких температур вимагає особливої уваги до їх технічного обслуговування та адаптації до зимових умов. Використання систем підігріву, спеціальних присадок до палива та свічок розжарювання дозволяє суттєво підвищити ефективність роботи двигуна, зменшити витрати палива та забезпечити стабільну роботу навіть за найнижчих температур.

1.2 Особливості роботи паливної апаратури дизельного двигуна за низьких температур

Експлуатація дизельних двигунів в умовах низьких температур супроводжується низкою проблем, які значною мірою впливають на їх надійність та працездатність. Однією з головних причин порушень у роботі паливної системи є утворення парафінових кристалів у дизельному паливі. За низьких температур, коли навколишнє повітря охолоджує паливо до критичних показників, парафіни кристалізуються, що призводить до зниження пропускної здатності паливопроводів і фільтрів [8, 5].

Ці кристали накопичуються у фільтрах, підвищуючи опір потоку палива, і в кінцевому підсумку можуть спричинити забивання фільтруючих елементів [11]. Коли двигун працює на неочищеному паливі, це призводить до швидкого зносу важливих компонентів паливної системи, таких як палив-

ний насос високого тиску (ПНВД) та форсунки. Наслідком таких проблем є погіршення характеристик двигуна, зниження його ефективності та підвищення витрат на технічне обслуговування.

У зимовий час кількість відмов дизельних двигунів значно зростає. За статистичними даними, кількість поломок техніки в холодну пору року збільшується у 3-7 разів порівняно з літнім періодом. Це пов'язано не лише з кристалізацією парафінів, але й із загальним погіршенням умов експлуатації: паливо стає в'язким, подача до двигуна утруднюється, що ускладнює запуск і стабільну роботу двигуна. Такі проблеми також призводять до збільшення витрат палива, простоїв і експлуатаційних витрат.

У системі живлення дизельного двигуна одним з найбільш вразливих елементів у зимових умовах є відрізок між паливним баком і фільтром грубої очистки. На цьому етапі паливо транспортується під впливом розрідження, створюваного підкачуючим насосом. За низьких температур паливо в цьому відрізку системи живлення охолоджується до рівня навколишнього середовища, що підвищує ризик утворення парафінових кристалів. Особливо критичною є ситуація, коли температура падає нижче точки помутніння палива, за якої починається кристалізація.

Коли температура палива опускається нижче точки замерзання, парафінові кристали, які утворюються в паливі, осідають на стінках паливопроводів і фільтрів, що призводить до їх забивання [6]. Найбільш уразливими до цих процесів є фільтри грубої та тонкої очистки, оскільки саме вони перші стикаються з твердими частками вуглеводнів. Це призводить до обмеження подачі палива та зупинки двигуна, особливо при роботі на холостих обертах. Відомі випадки, коли в умовах сильного морозу (нижче -30°C) автомобілі з дизельними двигунами зупинялися через засмічення фільтрів і трубопроводів парафіновими кристалами.

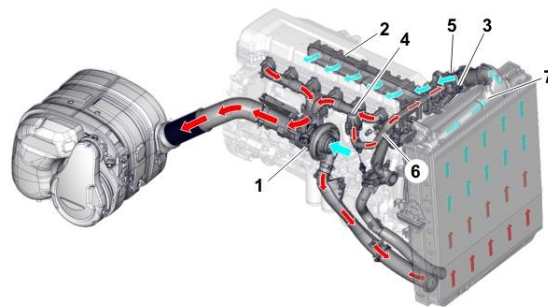
Для уникнення цих проблем у зимовий період рекомендується використовувати спеціальні заходи підігріву палива перед запуском двигуна. Це мо-

же включати підігрів паливного баку, паливо проводів та фільтрів. Такі системи підігріву дозволяють тимчасово підвищити температуру палива, що забезпечує його стабільний потік до двигуна та запобігає утворенню кристалів.

1.3 Технічні рішення, що полегшують роботу двигуна у холодну пору року

1.3.1 Система EGR (система рециркуляції відпрацьованих газів)

Одним із основних принципів покращення роботи дизельного двигуна за низьких температур навколишнього середовища у автомобілях нової епохи використовується система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) (рисунок 1.1). Це важливий елемент для зниження рівня шкідливих викидів дизельних двигунів, особливо в умовах сучасних вимог до екологічної безпеки. У вантажних автомобілях, таких як Volvo FH4, ефективна робота системи EGR сприяє зниженню викидів оксидів азоту (NOx), особливо за низьких температур і при малих навантаженнях на двигун [2]. Впровадження технологій, що дозволяють підтримувати належну температуру вихлопних газів навіть у холодному кліматі, є критично важливим для забезпечення стабільної роботи двигуна та зменшення його негативного впливу на довкілля [19].



1 – турбокомпресор; 2 – датчик тиску і температури відпрацьованих газів; 3 – дросельна заслінка на впуску; 4 – клапан EGR; 5 – змішувальна камера; 6 – труба EGR; 7 – охолоджувач нагнітаючого повітря

Рисунок 1.1 – Система EGR (рециркуляції відпрацьованих газів)

Покращення ефективності роботи системи EGR у зимовий період також сприяє підвищенню загальної продуктивності двигуна [19]. Це досягається через оптимальне керування температурою та складом суміші відпрацьованих газів і всмоктуваного повітря, що дозволяє не тільки знизити рівень викидів, але й забезпечити стабільність згоряння палива.

Гаряча система EGR знижує рівень оксидів азоту. Доочищення газів, що відпрацювали, відбувається в глушнику. ЕСМ регулює кількість вихлопних газів, що рециркулюються. Гаряча система EGR підвищує температуру вихлопних газів за низьких навантажень двигуна. У холодному кліматі гарячий контур EGR допомагає підняти температуру вихлопних газів до необхідної, сприяючи ефективній роботі системи доочищення.

Від клапана EGR 4 у випускному колекторі деяка частина вихлопних газів надходить у впускний колектор через змішувальну камеру 5. Впускна дросельна заслінка 3 та клапан EGR спільно регулюють склад суміші охолодженого повітря, що нагнітається, і вихлопних газів із системи EGR. Впускна дросельна заслінка використовується для керування витратою повітря після охолоджувача повітря, що нагнітається 7 в умовах низького навантаження на двигун. Датчик тиску повітря, що нагнітається, і датчик температури 2 розташовані на впускному колекторі. Датчик забезпечує ЕСМ інформацією про тиск і температуру суміші газів з EGR і повітря, що всмоктується. За допомогою цієї інформації ЕСМ регулює положення клапана EGR.

Розташований на випускному колекторі клапан EGR керує кількістю рециркулюючих через EGR відпрацьованих газів. Тиск масла з масляної системи двигуна управляє клапаном EGR, який, у свою чергу, подає гази, що відпрацювали, з випускного колектора в систему EGR. Соленоїд, керований ЕСМ і розташований усередині клапана EGR, регулює тиск олії.

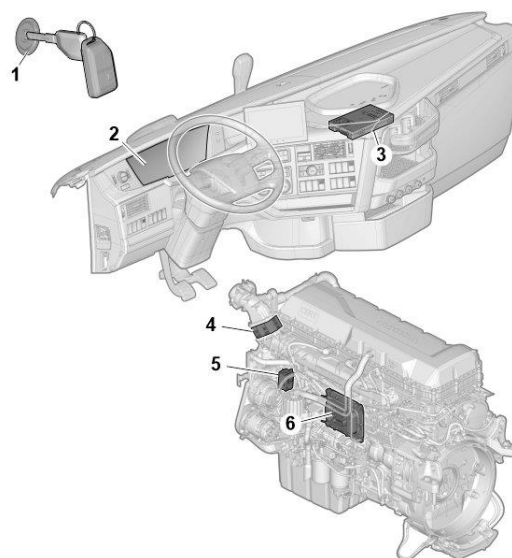
Гарячий газ EGR надходить у змішувальну камеру, де він змішується з повітрям, що всмоктується, охолоджується охолоджувачем повітря, що нагні-

тається. З змішувальної камери суміш газів EGR і повітря, що всмоктується, направляється у впускний колектор, а потім в головку циліндрів на згоряння.

Турбонаддув збільшує масову витрату повітря і тиск повітря, що надходить у двигун. Якщо повітря охолоджується на виході з компресора турбокомпресора, його об'єм зменшується, і циліндри можна примусово подати більшу кількість повітря (кисню). Більший обсяг повітря в циліндрі дозволяє збільшити подачу палива та потужність двигуна у поєднанні із зменшенням питомої витрати палива. Турбіна компресора оснащена перепускним клапаном, що управляється модулем ЕСМ. Головним завданням перепускної заслінки турбокомпресора 1 є його захист від перевищення обертів.

1.3.2 Система полегшення запуску двигуна

Один з варіантів системи полегшення запуску двигуна показано на рисунку 1.2.



1 – клавiшний перемикач (S15); 2 – комбiнацiя приладiв (A03H); 3 – VMCU (головний блок керування автомобiля) A187(2); 4 – пусковий елемент (R01); 5 – силове реле, передпусковий пiдiгрiв двигуна (K48); 6 – ЕСМ (модуль керування двигуном) (A14)

Рисунок 1.2 – Опис системи допомоги запуску двигуна

Система полегшення пуску двигуна призначена для зниження токсичності вихлопних газів та полегшення пуску двигуна за дуже низьких зовнішніх температур. Передпусковий підігрів встановлюється як опція у країнах із холодним кліматом. Система полегшення пуску двигуна виконує дві функції:

1. попередній підігрів повітря;
2. наступний прогрів повітря.

Для попереднього та подальшого підігріву повітря у системі полегшення пуску двигуна використовується електричний пусковий елемент у впускному колекторі. Пусковий елемент може бути активований водієм при повороті ключа запалювання в положення передпускового підігріву (положення ключа між "Робота" та "Пуск"), якщо при цьому температура рідини, що охолоджує, двигуна нижче $+12^{\circ}\text{C}$. Час підігріву регулюється блоком ЕСМ (А14).

Коли увімкнено підігрівач впускного повітря, на комбінації приладів загоряється індикатор попереднього підігріву. У холодний сезон наступний підігрів завжди вмикається на кілька секунд у процесі діагностики двигуна. Індикатор попереднього підігріву загоряється, навіть якщо наступний підігрів не потрібен.

1. Попередній підігрів повітря, сценарій запуску системи.

Коли ключ запалювання повертається в положення передпускового підігріву, активується система попереднього підігріву повітря. У цей момент запускається спеціальний підігрівальний елемент, а на панелі приладів загоряється відповідний індикатор.

Як тільки ключ повертається в положення запуску двигуна або закінчується встановлений час підігріву, система автоматично вимикає підігрівальний елемент, а індикатор гасне. Сценарій роботи системи зображено на рисунку 1.3.

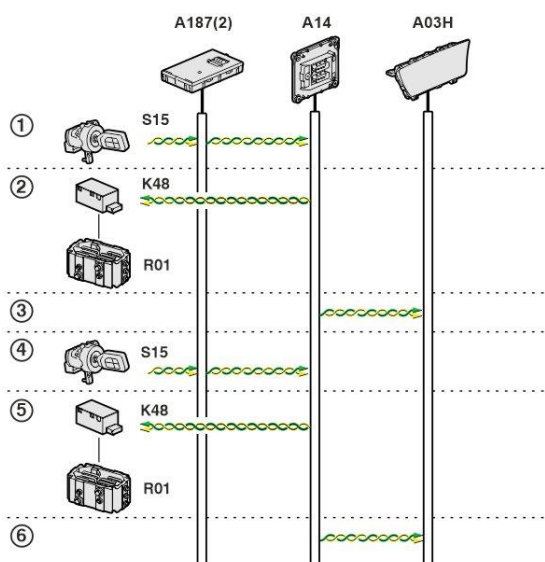


Рисунок 1.3 – Сценарій попереднього підігріву двигуна

Цей процес спрямований на забезпечення полегшеного запуску двигуна в умовах низьких температур.

2. Наступний прогрівання повітря, сценарій задіяння системи

Наступний підігрів повітря вмикається, коли автомобіль переходить з режиму "Пуск" у режим "Рух". Наступний підігрів повітря вмикається через попередньо заданий час або під час перемикання автомобіля в режим "Життєзабезпечення" або "Пуск" (рисунок 1.4).

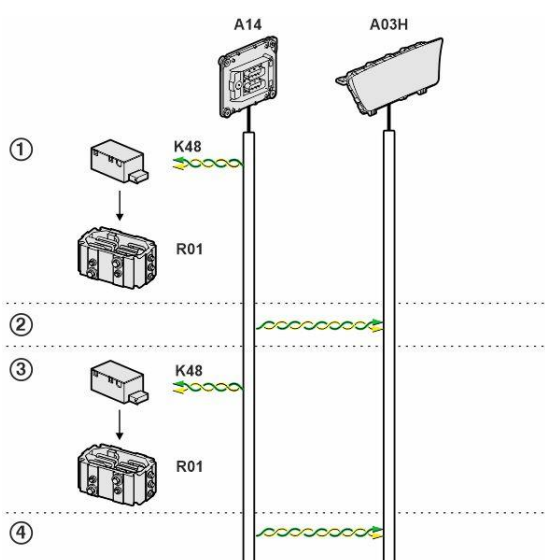
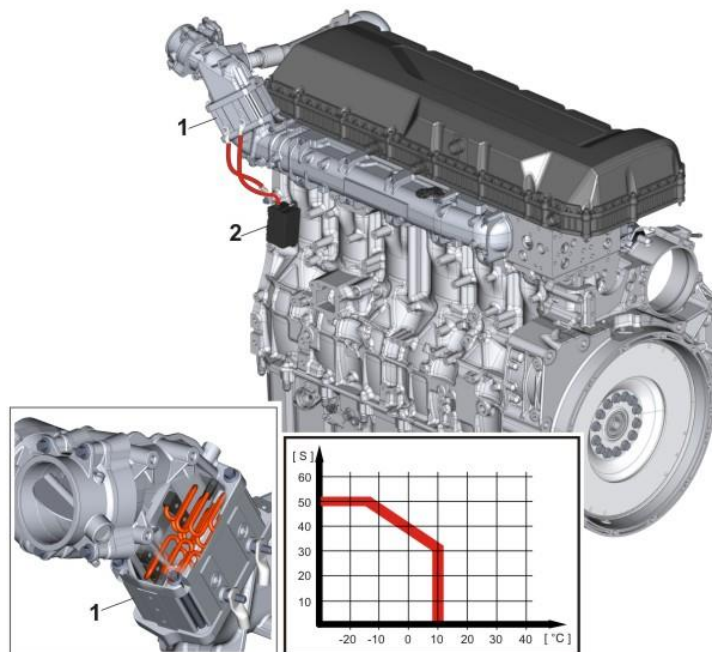


Рисунок 1.4 – Сценарій наступного прогріву повітря

Попередня умова. Функція полегшення пуску двигуна доступна в режимі автомобіля "Pre-running" (коли положення замку запалювання знаходиться у положенні передпускового підігріву).

На ілюстрації (рисунок 1.5) показано графік залежності часу включення в секундах залежно від температури рідини, що охолоджує. Пусковий елемент включається, коли ключ запалювання встановлюється в положення передпускового підігріву, а температура рідини, що охолоджує двигуна нижче +10 ECU регулює роботу пускового елемента.



Електричний пусковий нагрівальний елемент (1), реле пускового нагрівального елемента (2) K48

Рисунок 1.5 – Пусковий нагрівальний елемент

1.3.3 Додаткові варіанти покращення пускових властивостей дизельних двигунів

Удосконалення паливної системи дизельних двигунів внутрішнього згорання, особливо в умовах холодного клімату, є важливим напрямком, що впливає на їх ефективність та надійність. Варто розуміти що на легкість за-

пуску та безперебійність роботи дизельного двигуна, а також та продовження терміну експлуатації до виникнення проблем із запуском двигуна у холодну пору існує декілька напрямків спрямованих на полегшення запуску. В залежності від кліматичних умов, в тому числі зважаючи на середньо річний температурний показник, автомобілі постачаються на ринок заздалегідь підготовленні у відповідній модифікації. Такі дії дилерів автомобільної техніки спрямовані на задоволення потреб своїх клієнтів. Але, окрім цього як додаткова функція може бути встановлений інший додатковий пристрій який спрямований на покращення запуску дизельного двигуна внутрішнього згорання у холодну пору року. При покращенні пускових властивостей. Також покращиться і подальша робота стадія робота двигуна. Збільшиться час роботи до проявів несправностей у роботі двигуна, зменшиться викид токсичних вихлопних газів, зменшиться час прогріву двигуна до робочої температури, що в свою чергу ефективно вплине на показник розходу пального.

Із можливих додаткових функцій що встановлюються за попереднім запитом на вантажівки Volvo існує декілька варіантів спрямованих на умов для запуску в холодну пору року [19].

Обігрівач двигуна та кабіни 220 В, FH, FM, NL, FL

Підігрівач двигуна зондового типу, адаптований до двигунів Volvo. Монтаж швидкий і надійний. Висока потужність – 1100 і 1500 Вт відповідно. Попередній підігрівач двигуна вставляється безпосередньо в блок двигуна для ефективного обігріву. Він використовує 220 В (змінного струму) від звичайної настінної розетки, а кабель для підключення до настінної розетки встановлено в кабіні для зберігання речей. Занурюваний нагрівач встановлюється з правого боку двигуна, перед турбокомпресором (де він прикріплений болтами до блоку двигуна) або до спеціальної труби двигуна, залежно від варіанту двигуна. Усі кабелі від передньої частини вантажівки до блоку двигуна захищені сталевим каналом з пластиковим покриттям і гарячим оцинкуванням.



Рисунок 1.6 – Підігрів двигуна із виходом на 220 В

Завдяки попередньому нагріванню вантажівки за допомогою обігрівача двигуна знос двигуна зменшується, а запуск двигуна стає легшим, що призводить до менших викидів вихлопних газів, що завдає меншої шкоди навколишньому середовищу. Прогрітий двигун зменшує споживання палива та знос двигуна та швидко виробляє тепло для кабіни.

Стоянковий обігрівач двигуна та кабіни, дизельний, FH, FM

Стоянковий обігрівач мокрого типу (рисунок 1.7). Свою назву отримав через підключення до нього шлангів які подають на підігрів охолоджуючу рідину за допомогою помпи. Водяний насос приводиться в рух магнітом, тому там, де вал проходить через корпус, не може бути витоків охолоджуючої рідини. Охолоджуюча рідина надходить в стоянковий обігрівач, де нагрівається і уже нагрітою прямою до блоку двигуна де передає своє тепло для підігріву системи охолодження, що в свою чергу сприяє підігріву всього двигуна.



Рисунок 1.7 – Стоянковий обігрівач кабіни та двигуна

Попередньо прогрітий двигун служить довше та має менші викиди. Також позитивним є той факт що автономний опалювач забезпечує не лише підвищення температурного режиму для двигуна, а й використовується для

опалювання кабіни автомобіля. Тепло від автономного опалювача розподіляється через опалювальні канали вантажівки. Керамічні нагрівальні штифти зменшують споживання електроенергії на дві третини порівняно зі свічками розжарювання.

1.3.4 Хімічні способи покращення запуску дизельного двигуна у холодну пору року

Експлуатація дизельних двигунів у холодну пору року супроводжується низкою викликів, серед яких головною проблемою є утруднений запуск двигуна. За низьких температур дизельне паливо втрачає свої плинні властивості через кристалізацію парафінових вуглеводнів, що призводить до підвищення його в'язкості. Це ускладнює процес прокачування палива через паливопроводи та фільтри, а також погіршує якість утворення паливної суміші, що є критичним для забезпечення ефективного згоряння. У таких умовах хімічні способи підвищення ефективності роботи дизельних двигунів стають важливим засобом для покращення запуску та функціонування двигунів при низьких температурах.

Одним з найбільш поширених хімічних способів покращення запуску дизельних двигунів у холодну пору року є використання спеціальних присадок до палива [14]. Присадки допомагають знизити температуру застигання палива, що запобігає утворенню парафінових кристалів. Існує кілька типів присадок, які мають різні функції, але головна мета більшості з них полягає в збереженні текучості палива за низьких температур.

1. Депресорні присадки – основна мета депресорних присадок полягає в зниженні температури застигання дизельного палива. Вони запобігають злипанню кристалів парафіну у великі агрегати, що забезпечує можливість прокачування палива навіть при низьких температурах. Такі присадки дозволяють паливу залишатися рідким і зберігати необхідну плинність навіть при температурах до -30°C .

2. Антигелі – ці присадки мають схожу функцію з депресорними, але додатково запобігають утворенню гелеподібної маси у паливі. Антигелі сприяють поліпшенню текучості палива, що дозволяє уникнути проблем з його фільтрацією і подачею до форсунок.

3. Антиокислювальні присадки – хоча їх основне призначення – захист палива від окислення, в умовах низьких температур антиокислювальні присадки можуть підвищувати стабільність складу палива і покращувати його прокачуваність через систему живлення.

4. Цетанові присадки – для полегшення запуску дизельного двигуна у холодних умовах також застосовуються присадки, що підвищують цетанове число палива. Вищий рівень цетанового числа забезпечує швидше займання паливної суміші, що критично важливо при низьких температурах, коли дизельне паливо має погані властивості випаровування. Цетанові присадки знижують затримку займання, покращуючи процес згоряння та підвищуючи ефективність роботи двигуна.

Іншим хімічним методом покращення запуску дизельних двигунів є додавання спиртових добавок до палива. Спирти, такі як ізопропанол або метанол, мають властивість знижувати точку замерзання палива та допомагають зменшити вміст води у паливній системі. Оскільки вода в паливі може спричинити замерзання і блокування паливопроводів, спиртові добавки зв'язують воду та запобігають її замерзанню. Ці добавки також можуть поліпшити випаровування палива, що є важливим фактором для покращення процесу займання паливної суміші в умовах низьких температур.

Окрім присадок та спиртових добавок, існують також ефіри, які додаються до дизельного палива для полегшення його займання у холодну пору року. Диметиловий ефір, наприклад, має високі займисті властивості і може бути доданий до палива для покращення займання суміші за низьких температур. Такі добавки сприяють швидкому згорянню паливної суміші у складних кліматичних умовах, що забезпечує полегшений запуск двигуна.

Каталізатори займання — ще один клас хімічних добавок, які знижують енергію, необхідну для займання дизельного палива. Вони прискорюють реакцію згоряння палива, що є важливим у холодних умовах, коли паливо не випаровується належним чином. Це дозволяє двигуну швидше досягати робочої температури і зменшити втрати потужності на етапі прогріву [8].

1.3.5 Альтернативні способи збереження пускових властивостей двигунів у зимову пору року

Експлуатація дизельних двигунів у холодну пору року потребує спеціальних заходів для забезпечення надійного запуску та стабільної роботи. Окрім хімічних засобів покращення пускових властивостей, існують альтернативні методи, які спрямовані на збереження температури двигуна та забезпечення його готовності до запуску навіть у найсуворіших кліматичних умовах. Ці методи включають фізичну ізоляцію двигуна, зберігання в теплих приміщеннях, використання підігрівачів та інші технічні рішення, які сприяють підтримці необхідних умов для ефективного запуску.

Утеплення та ізоляція двигуна є одним із простих і ефективних способів збереження його пускових властивостей взимку. Використання ізоляційних матеріалів допомагає зменшити тепловтрати, утримуючи тепло, накопичене під час роботи двигуна, що сприяє легшому повторному запуску, особливо після коротких стоянок на морозі. Для утеплення застосовують спеціальні ковдри або теплоізоляційні кожухи, які легко встановлюються й знімаються. Вони ефективно утримують тепло, зменшуючи ризик швидкого охолодження двигуна, особливо коли автомобіль перебуває на відкритому повітрі при низьких температурах.

Зберігання транспортних засобів у теплих ангарах або гаражах також є надійним способом полегшення запуску двигуна взимку. У таких умовах двигун підтримує стабільну температуру, зменшуючи потребу в додаткових засобах підігріву. Теплі приміщення з системами клімат-контролю запобігають

повному охолодженню двигуна й замерзанню рідин у системах автомобіля. Це особливо актуально для дизельних двигунів, які чутливі до низьких температур.

Висновок до розділу

У ході розгляду особливостей експлуатації дизельних двигунів у холодну пору року було встановлено, що низькі температури значно впливають на роботу автомобільних двигунів, особливо дизельних, які є більш чутливими до змін температурного режиму порівняно з бензиновими аналогами. У розділі було показано, що проблеми запуску та ефективності роботи дизельного двигуна в холодних умовах обумовлені низкою факторів, серед яких критичне зниження температури впускного повітря, палива та моторної оливи. Усе це призводить до збільшення в'язкості рідин, утруднення прокачування палива та зниження продуктивності двигуна.

Детально проаналізовано проблеми, пов'язані з роботою паливної системи у зимових умовах. Основна увага була приділена кристалізації парафінових вуглеводнів у дизельному паливі, що призводить до забивання фільтрів та паливопроводів, погіршення якості утворення паливної суміші і, як наслідок, зниження ефективності згоряння палива. Було підкреслено, що в таких умовах робота двигуна стає нестабільною, а запуск — більш складним і затратним з точки зору ресурсів.

Далі, розглянуто кілька сучасних технологій, які допомагають мінімізувати негативний вплив низьких температур на дизельні двигуни. Зокрема, **система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR)** показала свою ефективність у підтримці температурного режиму вихлопних газів, що дозволяє знижувати рівень шкідливих викидів та покращує роботу двигуна при низьких навантаженнях. У цьому контексті система EGR стала важливим елементом для полегшення запуску двигуна та підвищення його продуктивності в холодних умовах.

Також розглянуто технічні рішення, спрямовані на спрощення запуску двигунів за низьких температур, зокрема свічки розжарювання та різні варіанти підігрівачів охолоджуючої рідини і палива. Це дозволяє зменшити навантаження на систему запуску та забезпечити більш плавний запуск двигуна навіть у найсуворіших умовах експлуатації.

Одним із важливих доповнень до технічних рішень стали хімічні способи покращення запуску та подальшої роботи двигуна аз низьких температур. Було розглянуто використання депресорних присадок, антигелів та цетанових покращувачів, які дозволяють дизельному паливу зберігати свої плинні властивості при низьких температурах, запобігаючи утворенню парафінових кристалів [10, 8]. Це сприяє підвищенню надійності паливної системи та зменшенню ризику пошкодження фільтрів та паливопроводів.

Було запропоновано інші варіанти збереження ефективності запуску двигунів. Серед них — утеплення двигуна, зберігання автомобілів у теплих ангарах та використання автономних і електричних підігрівачів. Ці методи дозволяють підтримувати оптимальні умови для запуску двигуна і забезпечують стабільну роботу техніки навіть за низьких температур.

Таким чином, для ефективної експлуатації дизельних двигунів у зимову пору року важливим є комплексний підхід, який включає як технічні рішення, так і хімічні засоби підтримки пускових властивостей двигуна. Поєднання таких підходів дозволяє забезпечити надійну роботу двигуна, зменшити витрати палива та знизити негативний вплив на навколишнє середовище.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Теоретичне дослідження технічних параметрів дизельної паливної апаратури

Температурні характеристики дизельного палива мають вирішальний вплив на його експлуатаційні властивості, зокрема на здатність забезпечувати стабільну подачу палива до двигуна [2, 8]. Основними показниками низькотемпературних характеристик палива є температура помутніння та температура початку кристалізації. У складі дизельного палива містяться парафінові вуглеводні, які при зниженні температури першими переходять у твердий стан.

Температура помутніння визначає межу, при якій паливо втрачає фазову однорідність і прозорість, що призводить до появи дрібних кристалів або «пластівців» [3, 8]. Попри це, текучість палива зберігається, однак розміри кристалів парафіну можуть бути такими, що їх не пропускають фільтри тонкої очистки, що призводить до припинення подачі палива до двигуна.

Температура початку кристалізації зазвичай на 10°C нижча за температуру помутніння і характеризується втратою текучості палива, що ускладнює його використання [10]. При цьому паливо може втратити здатність циркулювати через систему живлення і перекачуватися між резервуарами.

Температура застигання палива є важливим параметром для зберігання, оскільки визначає можливі умови експлуатації дизельного палива. На практиці дизельне паливо часто використовується при температурах, близьких до температури застигання. Зазвичай різниця між температурою помутніння і застигання складає $5-7^{\circ}\text{C}$, проте в разі використання депресорних присадок, ця різниця може збільшитися на 10°C або більше, що значно покращує низькотемпературні властивості палива.

Раніше вважалося, що достатньо враховувати лише два показники — температуру помутніння та температуру застигання, але дослідження показали, що цього недостатньо. У процесі перекачування палива під тиском кри-

талічна структура парафінів може частково руйнуватися, відновлюючи текучість палива навіть за температур нижче точки застигання. Наприклад, дизельне паливо з температурою застигання -30°C може прокачуватися за умов, коли температура знижується до -50°C . Тому в стандарти багатьох країн було додано параметр — граничну температуру фільтрівності (ПТФ), яка більш точно відображає реальні умови використання палива в низькотемпературних умовах. Цей параметр показує здатність палива проходити через стандартний фільтр при визначених умовах, що робить його зручним для порівняння різних партій палива або присадок, які змінюють форму та розміри кристалів парафіну.

При поверненні палива з паливної системи в бак, за належної організації розміщення зливних і забірних трубок, підігріте паливо може зменшити кількість кристалів парафіну. Однак, за дуже низьких температур цього підігріву може бути недостатньо [8]. Для повного розчинення утворених кристалів, оскільки різні типи парафінів мають різні температури плавлення: «м'який» парафін плавиться при $42-45^{\circ}\text{C}$, «твердий» — при $54-57^{\circ}\text{C}$, а озокерит — при $78-80^{\circ}\text{C}$. До того ж, під час запуску двигуна в бак повертається переважно холодне паливо, що лише ускладнює ситуацію.

Температура навколишнього середовища значно впливає на роботу паливної системи дизельних двигунів. З пониженням температури змінюється в'язкість палива, що спричиняє процес кристалізації парафінів. Кристали парафінів, які утворюються в дизельному паливі, збільшують тиск у паливопроводах низького тиску і можуть призвести до засмічення фільтрів грубої очистки, що знижує коефіцієнт наповнення паливного насоса високого тиску. У такій ситуації першими страждають паливопроводи низького тиску, де утворені кристали порушують нормальну подачу палива.

Температура плавлення вуглеводнів, що входять до складу дизельного палива, варіюється від -13°C до -2°C . При зниженні температури навколишнього середовища кількість твердих кристалів у паливі збільшується. За да-

ними досліджень, при 0°C об'єм кристалів у паливі сягає 25%, а при -13°C уже 86% палива знаходиться в кристалічному стані. Цей процес призводить до того, що паливо втрачає свою текучість, ускладнюючи його подачу до двигуна.

Для визначення мінімальної температури, за якої паливна система може функціонувати належним чином, використовуються закони гідродинаміки. Зокрема, рівняння нерозривності потоку та рівняння Бернуллі, які дозволяють описати поведінку реальних рідин у паливній системі, що знаходиться під впливом низьких температур:

$$Z_1 + H + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 - \frac{P_{\text{вак}}}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \sum h, \quad (2.1)$$

де Z_1 і Z_2 – висоти паливного бака і паливного насоса відповідно;

H – рівень пального в баку;

α_1 і α_2 – коефіцієнти Коріоліса для різних секцій;

v_1 і v_2 – швидкість потоку пального;

$P_{\text{вак}}$ – вакуумметричний тиск від паливопідкачуючого насоса;

ρ – густина пального;

g – прискорення вільного падіння;

$\sum h$ – сумарні втрати напору у системі.

Для визначення швидкості потоку палива використовують рівняння нерозривності потоку:

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 = Q, \quad (2.2)$$

де ω_1 і ω_2 – площа потоку в різних секціях;

Q – витрата палива через систему.

Враховуючи ці рівняння, а також те, що коефіцієнт Коріоліса для ламінарного потоку дорівнює 2.0, можна встановити наступну умову для працездатності системи:

$$\sum h \leq H + (Z_1 - Z_2) + \frac{P_{\text{вак}}}{\rho g} + \frac{v_2^2}{g} \left(\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} - 1 \right). \quad (2.3)$$

Сумарні втрати тиску визначаються як сума втрат через довжину трубопроводів і місцеві опори:

$$\sum h = \sum h_{\text{дт}} + \sum h_{\text{м}}. \quad (2.4)$$

Втрати тиску вздовж трубопроводів можна розрахувати за такою формулою:

$$\sum h_{\text{дт}} = \lambda \frac{l v_{\text{тр}}^2}{2 d_{\text{тр}} g}, \quad (2.5)$$

де l — загальна довжина трубопроводу від паливного бака до насоса;

$d_{\text{тр}}$ — діаметр трубопроводу;

$v_{\text{тр}}$ — середня швидкість потоку палива в трубопроводах;

λ — коефіцієнт гідравлічного тертя (коефіцієнт Дарсі).

У разі ламінарного потоку в трубопроводах круглої форми коефіцієнт Дарсі визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (2.6)$$

де Re — число Рейнольдса.

Число Рейнольдса для трубопроводу круглої форми розраховується так:

$$Re = \frac{v_{\text{тр}} d_{\text{тр}}}{\nu}, \quad (2.7)$$

де ν — кінематична в'язкість дизельного пального.

Втрати через місцеві опори при ламінарному потоці пального визначаються за такою формулою:

$$\sum h = \sum \frac{v_i^2}{2g} \left(\xi_{\text{кв.}i} + \frac{A_i}{Re_i} \right), \quad (2.8)$$

де ξ — коефіцієнт локального опору для i -тої ділянки;

Re — число Рейнольдса для i -тої ділянки;

A_i — коефіцієнт опору для i -тої секції;

v_i — середня швидкість потоку палива в i -тій точці.

В'язкість дизпалива залежить від температури і може бути визначена за формулою:

$$\mu = \mu_0 e^{-\beta(T-T_0)}, \quad (2.9)$$

де μ і μ_0 — динамічна в'язкість палива при температурі T та T_0 відповідно;
 β — коефіцієнт, значення для дизельного палива варіюється між 0,025 і 0,030.

Відомо, що динамічна в'язкість та кінематична в'язкість пов'язані між собою через густину рідини: $\mu = \nu\rho$. Якщо припустити, що густина пального за певної температури є постійною, то кінематичну в'язкість можна виразити наступним чином:

$$\nu = \nu_0 e^{-\beta(T-T_0)} \quad (2.10)$$

Вставивши цю формулу у попередні рівняння та здійснивши відповідні перетворення, отримаємо:

$$T_e \geq \frac{1}{\beta} \ln(\vartheta_0 \left(N + 64 \frac{l\vartheta_{\text{тр}}^2}{d_{\text{тр}}^2} \left(M + \frac{P_{\text{вак}}}{\rho T} + R + K \right) \right) + T_0). \quad (2.11)$$

Тут:

$$N = d_{\text{тр}}^2 \sum \frac{\vartheta_{iA_i}}{l_{oi}};$$

$$M = g(H + Z_1 - Z_2);$$

$$R = \frac{\vartheta_2^2}{\omega_2^2} - 1;$$

$$K = \frac{1}{2} \sum \xi_{\text{кв.}i} \vartheta_i^2.$$

Ця залежність дозволяє точно визначити мінімальну температуру, за якої паливна система на лінії низького тиску залишається працездатною.

2.2 Необхідні затрати теплової енергії для плавлення кристалів дизельних вуглеводнів

При низьких температурах дизельне паливо поступово втрачає свої плинні властивості через утворення кристалів парафінів, що значно впливає на працездатність паливної системи. Для забезпечення нормальної роботи двигуна в холодний період необхідно розрахувати, скільки теплової енергії потрібно для плавлення цих кристалів і відновлення текучості палива. У цій

роботі буде розглянуто витрати тепла на плавлення кристалів в елементарному об'ємі палива, ґрунтуючись на базових фізичних закономірностях.

Під час розрахунку витрат енергії на плавлення кристалів дизельного палива використовуємо найпростіший приклад, в якому паливо в об'ємі V нагрівається з температури навколишнього середовища t_c до температури плавлення t_1 , за якої починається інтенсивний перехід парафінів у рідку фазу. У цьому процесі приблизно 80-90% дизельного палива переходить із твердого стану в рідкий. Для спрощення розглянемо такі припущення:

1. Система координат V та T встановлена таким чином, що температура палива в точці T_0 відповідає температурі навколишнього середовища.
2. Дизельне паливо є однорідною сумішшю вуглеводнів із середньою густиною ρ кг/м³, що дозволяє спростити розрахунки.
3. Площини А–А та Б–В проектують основний об'єм ΔV_j в якому ліворуч від площини А–А паливо перебуває у рідкому стані, а праворуч від площини Б–В — у кристалічному.

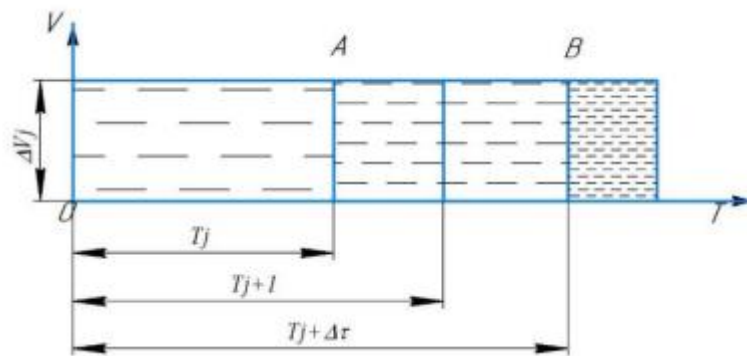


Рисунок 2.1—Схема розрахунку необхідних витрат енергії на плавлення парафінових кристалів

4. Об'єм ΔV_j містить тверді вуглеводні, які мають температуру плавлення T_j і при подальшому підвищенні температури до $T_{j+1} = T_j + \Delta t$ поступово переходять у рідку фазу.

5. Середня температура плавлення кристалів парафіну в обсязі V_j позначається як T_{Pj} .

Якщо весь обсяг палива V буде нагрітий до температури T_{Pj} можна очікувати такі процеси:

1. Рідкі частинки палива, які знаходяться з лівого боку площини А–А, будуть нагріватися від температури T_0 до T_{Pj} , що потребує витрат тепла Q_{lj} .

2. Кристали, які залишаються з правого боку площини Б–В, будуть також нагріватися, але залишатимуться у твердому стані. Для цього необхідна теплова енергія Q_{Tj} .

3. Кристалічна маса у обсязі V_j , після досягнення температури T_{Pj} , перейде з твердого стану в рідкий, що потребує додаткового тепла Q_{Pj} . Процес супроводжується плавленням кристалів і їх подальшим переходом у рідку фазу.

Для кожного з процесів можна визначити витрати теплової енергії. Якщо розділити об'єм палива на частини ΔV_j , можна послідовно визначити кількість тепла, необхідного для нагрівання рідкої фракції та плавлення кристалів у межах кожного з цих об'ємів. Початкові дані для розрахунку:

$T_0 = 249K$ – температура навколишнього середовища, за якої приблизно 80-88% дизельного пального знаходиться в твердому стані.

$T_1 = 277K$ – температура, за якої 90-95% пального переходить у рідку фазу.

$\Delta t = 4K$ – температурний інтервал, в якому відбувається перехід кристалів із «гнучкої» молекулярної структури в багаточасткову решітку.

$V_{qц} = 288\text{мм}^3/\text{цикл}$ – розрахунковий об'єм рідини за цикл роботи двигуна.

Під час плавлення парафінових кристалів витрачається велика кількість енергії на руйнування їхньої структури. Для цього процесу важливими є дві фази — підігрів твердих часток палива до температури плавлення та безпосереднє плавлення цих часток. Як відомо, різні типи парафінів мають різні температури плавлення, наприклад, «м'який» парафін плавиться при 42-45°C,

а «твердий» — при 54-57°C. Таким чином, для досягнення повного розчинення кристалів потрібно забезпечити достатній запас теплової енергії.

Як показано на рисунку 2.1, у випадку підвищення температури навколишнього середовища до критичних значень (близько 277 К), велика частина кристалів парафінів починає танути. Важливо відзначити, що для кожного типу парафіну потрібна своя кількість теплової енергії, яка залежить від маси кристалів і їхнього теплового балансу. У розрахунковому процесі також важливо враховувати, що під час плавлення парафінів вивільняється додаткова енергія, яка може бути використана для підігріву рідкої частини пального.

Таким чином, визначення витрат теплової енергії на плавлення кристалів у дизельному паливі є важливим етапом для забезпечення ефективної роботи паливної системи в умовах низьких температур. Розрахунки показують, що температура навколишнього середовища суттєво впливає на швидкість та обсяг плавлення кристалів, а також на загальний тепловий баланс системи.

2.3 Розрахунок тепла на плавлення кристалів дизельного палива

Для визначення витрат теплової енергії на плавлення кристалів дизельного палива в умовах різних температурних режимів використовуємо середні значення об'єму та температури плавлення вуглеводнів, що входять до складу палива [2, 4]. Середнє арифметичне значення для об'єму (y %) і температури плавлення визначається за формулами:

$$T_{\text{П}j} = \frac{\sum_{i=1}^k T_j}{k}, V_{\text{П}j} = \frac{\sum_{i=1}^k V_j}{k}, \quad (2.12)$$

де T_i — температура плавлення i -го компонента вуглеводню, що входить у розрахунковий об'єм;

V_i — відсоток об'єму, який займає i -тий компонент;

k — кількість компонентів у розрахунковому об'ємі;

j — номер розрахункового об'єму.

Зі зміною агрегатного стану пального змінюються і його термодинамічні властивості, такі як питома теплота плавлення і теплоємність у різних фазах [3, 4]. Для точного визначення цих параметрів розраховуємо молекулярну масу вуглеводнів, що входять до складу дизельного палива:

$$\beta = a \times n_C + b \times n_H, \quad (2.13)$$

де $a = 12$ — атомна маса вуглецю;

$b = 1$ — атомна маса водню;

n_C, n_H — кількість атомів вуглецю та водню в молекулі.

Якщо прийняти об'єм циклової подачі $q_{Ц}$ за одиницю виміру об'єму, то маса i -того розрахункового об'єму обчислюється за формулою:

$$\lambda_i = 54.4 \times T_{\Pi i}, \quad (2.14)$$

де 54.4 — кількість енергії, необхідної для переходу однієї молекули органічної речовини з твердого стану в рідкий при зміні температури на 1 градус. Витрати тепла на плавлення кристалів у i -тому обчислюваному об'ємі можна обчислити за формулою:

$$Q_{ki} = \lambda_i m_i, \quad (2.15)$$

Для визначення теплоємності в обчислюваному об'ємі за постійного тиску застосовується наступна формула:

$$C_p = \frac{\sum C_i n_i}{\beta}, \quad (2.16)$$

де C_i — теплоємність окремих елементів у молекулі;

n_i — кількість атомів у молекулі.

Для вуглецю та водню теплоємності у твердому та рідкому стані різняться: для гідрогену — $C_i = 7.53$ Дж (у твердому стані) та $C_i = 11.72$ Дж (у рідкому стані), для вуглецю — $C_i = 9.62$ Дж і $C_i = 17.99$ Дж відповідно.

Кількість тепла, що витрачається на підігрів рідини від температури T_{0i} до температури плавлення $T_{\Pi i}$, визначається за формулою:

$$Q_{pi} = C_{pi} \times m_i \times (T_{0i} - T_i), \quad (2.17)$$

де C_{pi} — середня теплоємність рідини у i -тому об'ємі.

Витрати тепла на підігрів кристалів у розрахунковому об'ємі визначаються за рівнянням:

$$Q_{Ti} = C_{Ti} \times (T_{i-1} - T_i), \quad (2.18)$$

де T_{i-1} і T_i — температура кристалів на початку та в кінці підігріву. Середня теплоємність кристалів у цьому об'ємі розраховується за формулою:

$$C_{Ti} = \frac{\sum c_p}{k}, \quad (2.19)$$

Загальні витрати теплової енергії на плавлення кристалів можна визначити за допомогою виразу:

$$Q_{\Pi} = Q_{ki} + C_{pi} + C_{Ti}, \quad (2.20)$$

З використанням зазначених залежностей було виконано розрахунки кількості тепла, необхідного для плавлення кристалів у цикловому об'ємі та об'ємі підігрівача при температурах від 248 К до 277 К. У цих умовах приблизно 80–85% дизельного пального переходить з твердого стану в рідкий. Результати представлені у таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 – Необхідні витрати енергії для підігріву досліджуваної кількості пального залежно від температури

$t_c, ^\circ\text{C}$	10	5	0	-5	-10	-15
Підігрів кристалів $Q_T, \text{Дж}$	—	—	0.01	0.03	0.07	0.11
Сумарний розхід енергії $Q_{\Pi}, \text{Дж}$	1.18	1.22	1.93	2.47	4.16	5.09
Плавлення кристалів $Q_K, \text{Дж}$	1.18	1.22	1.23	1.56	2.76	3.41
Підігрів рідкої фракції $Q_R, \text{Дж}$	—	—	0.69	0.88	1.33	1.57

Детальні витрати теплової енергії для плавлення кристалів палива представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Затрати теплової енергії

Елементи паливної системи	Об'єм $V_p, \text{м}^3$	Температура навколишнього повітря				
		10	5	0	-5	-10
Трубопровід низького тиску	0,00004	142,9	714,3	1428,28	2142,9	2857,2
Паливний фільтр Shafer FM75	0,00084	2714,5	13572,1	32508,5	48762,7	65017
Паливний фільтр Jarco	0,00100	2714,5	16254,2	27144,6	40716,9	54289,2

Аналіз отриманих результатів свідчить, що в середньому близько 68% витрат тепла йде на плавлення кристалів, тоді як 29% використовується для підігріву рідкої фази палива, і лише 3,5% витрачається на підігрів кристалів. Це пояснюється тим, що руйнування молекулярних зв'язків під час плавлення потребує значних енергетичних витрат, тоді як тепло, необхідне для підігріву кристалів, менше через виділення енергії під час утворення кристалічних решіток. Також значна частина тепла (близько 30%) витрачається на підігрів слабкої фракції палива через зміну кінетичної енергії молекул під час нагрівання.

2.4 Розрахунок часу нагріву паливного фільтра

Передпусковий підігрів паливної системи є критичним елементом для забезпечення надійної роботи дизельних двигунів у холодну пору року. Він особливо важливий у таких випадках:

- довготривале зберігання транспортних засобів на відкритих майданчиках при температурах нижчих за температуру застигання пального [10, 4];
- використання пального, що не відповідає вимогам для дизельних двигунів у холодну погоду (наприклад, літнє дизельне паливо або неправильна суміш для зимових умов).

Вихідні дані для розрахунків

1. Температура пального у фільтрі: -15°C .
2. Тип пального: літнє дизельне паливо; зимове дизельне паливо.
3. Паливні фільтри: Shafer FM75 (діаметр циліндра $d = 80$ мм, висота $h = 154$ мм); Jarco (діаметр циліндра $d = 80$ мм, висота $h = 200$ мм).

Для розрахунку маси палива використовується формула:

$$m = V \times \rho, \quad (2.21)$$

де V — об'єм палива;

ρ — густина палива.

Густина пального визначається за допомогою спеціальних таблиць, що враховують зміну температури навколишнього середовища.

Об'єм палива, що знаходиться у паливному фільтрі, можна розрахувати за допомогою формули об'єму циліндра:

$$V = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times h, \quad (2.22)$$

де d — діаметр циліндра (0,08 м);

h — висота циліндра (для Shafer FM75 — 0,154 м, для Jarco — 0,2 м).

Масу палива у фільтрі розраховуємо за формулою:

$$m = V \times \rho, \quad (2.23)$$

Тепло, необхідне для нагрівання палива від -15°C до $+10^\circ\text{C}$, обчислюється за формулою:

$$Q = m \times c \times \Delta T, \quad (2.24)$$

де c — питома теплоємність палива (2200 Дж/кг \cdot °C);

ΔT — різниця температур ($\Delta T=25^\circ\text{C}$).

Час, необхідний для нагрівання палива, можна визначити за формулою:

$$t = \frac{Q}{P \times \eta_n \times k_f}, \quad (2.25)$$

де P — потужність нагрівача (500 Вт);

η_n — коефіцієнт ефективності нагрівача (0,78);

k_f — коефіцієнт, що враховує додаткові втрати тепла при нагріванні (1,35).

Отримане значення часу вказує на те, що для нагрівання палива у фільтрі від -15°C до $+10^\circ\text{C}$ знадобиться приблизно 131 секунда.

Для зимового дизельного пального витрати енергії будуть дещо меншими через нижчу густину пального при низьких температурах. За аналогічних умов (при температурі -15°C) маса палива у фільтрі буде меншою, що скоротить час його нагрівання. Проте відмінності між літнім і зимовим дизельним паливом у цьому контексті не є суттєвими, і час нагрівання може різнитися на декілька секунд.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків необхідного часу для нагрівання фільтра

Тип дизельного пального	Індукційний	Потужність Вт.	ΔT	Середній час нагріву T,с.	
				паливні фільтри	
				Shafer FM75	Јарко
Дизель Л	ZVS	500	25	131	152
Дизель З	ZVS	500	25	129	151

Висновки до розділу

Визначення меж працездатності паливної системи при низьких температурах показало, що для забезпечення стабільної роботи дизельних двигунів за умов негативних температур необхідно використовувати відповідне пальне (зимове дизельне або підігріти літнє дизельне паливо). При температурах нижчих за -15°C пальне втрачає текучість через кристалізацію вуглеводнів, що вимагає додаткових заходів з підігріву для відновлення його працездатності.

Витрати теплової енергії на плавлення кристалів дизельного палива свідчать про значну потребу в тепловій енергії для розплавлення кристалізованих компонентів палива в умовах низьких температур. Для літнього дизельного пального при температурі навколишнього середовища -15°C витрати тепла на плавлення кристалів у паливному фільтрі Shafer FM75 становлять 67861,5 Дж. Це показує, наскільки важливо забезпечити ефективний підігрів паливної системи для уникнення загустіння палива.

Розрахунок часу нагріву паливного фільтра підтверджує, що для літнього дизельного палива необхідно близько 131 секунди для досягнення робочої температури ($+10^{\circ}\text{C}$) при використанні індукційного нагрівача потужністю 500 Вт. Для зимового дизельного палива цей час може бути дещо меншим через його кращу текучість при низьких температурах. Результати свідчать про необхідність врахування специфіки пального при виборі засобів підігріву та розрахунку необхідної енергії.

Загалом, дослідження показують важливість використання спеціальних палив або ефективних підігрівачів для забезпечення стабільної роботи паливної системи дизельних двигунів у зимових умовах. Зимове дизельне паливо значно полегшує роботу системи, зменшуючи витрати на підігрів, але за умов використання літнього дизельного пального необхідно приділяти більше уваги системам підігріву для уникнення перебоїв у роботі двигуна.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Підігрівач дизельного палива індукційного типу для дизельних двигунів внутрішнього згорання

Підігрівач дизельного палива (рисунок 3.1) є важливим елементом паливної системи сучасних дизельних двигунів, особливо в умовах холодного клімату. Завдяки підігріву палива перед його подачею до системи впорскування, забезпечується стабільна робота двигуна в зимових умовах, знижуються ризики закупорки паливних фільтрів парафінами і кристалами дизельного палива.



Рисунок 3.1 – Підігрівач дизельного пального індукційного типу

3.1.1 Конструкція підігрівача

Підігрівач дизельного палива індукційного типу призначений для роботи у складі паливної системи двигуна внутрішнього згорання. Він складається з кількох основних частин. Металева вставка круглої форми, яка є основним елементом нагріву. Втулка, що розміщується між корпусом паливного фільтра та корпусом полки паливних фільтрів, забезпечуючи надійне різьбове

з'єднання, та слугує основою для металевої вставки. Ущільнювачі, розташовані з обох сторін металевої вставки, для запобігання витоку палива і збереження герметичності конструкції. Нагрівальний елемент, що працює за допомогою електричного струму, який подається за командою електронної системи управління двигуном.

3.1.2 Принцип роботи підігрівача

Робота підігрівача дизельного палива заснована на нагріванні нагрівального матеріалу за допомогою індукційного струму. Це означає, що електричний струм, який подається на нагрівальний елемент, створює магнітне поле, яке викликає нагрівання металевої вставки. Нагріте паливо потрапляє до фільтра, де підвищується його температура, що запобігає кристалізації дизельного палива при низьких температурах навколишнього середовища. Технічні особливості

Втулка з'єднана різьбовими з'єднаннями з корпусом фільтра і полки паливних фільтрів, що забезпечує герметичність та уникнення витоків палива. Верхня частина втулки має внутрішню різьбу для надійного закріплення.

Електричний нагрів активується електронним блоком управління або автоматично залежно від температури, працює лише при зниженні температури палива, що підвищує ефективність та економить енергію.

Металева вставка з високою теплопровідністю забезпечує швидкий і рівномірний нагрів палива.

Гумові ущільнювачі з обох боків вставки ізолюють та герметизують з'єднання, запобігаючи витокам палива.

3.1.3 Переваги індукційного підігрівача

1. Енергоефективність. Індукційні підігрівачі споживають менше електроенергії порівняно з традиційними нагрівачами, оскільки їх робота базується на індукційних струмах, які генерують тепло лише в необхідних зонах.

2. Швидке нагрівання. Завдяки ефективному передаванню тепла від металевої вставки до палива, підігрів здійснюється швидко, що мінімізує час прогріву двигуна і забезпечує його швидкий запуск навіть в умовах екстремально низьких температур.

3. Простота монтажу. Завдяки різьбовим з'єднанням конструкцію підігрівача легко встановити або замінити без потреби у складних механічних операціях. При виконанні річного ТО, відсутня необхідність демонтажу усєї системи попереднього нагріву пального, так як паливний фільтр просто відкручується із нижньої частини втулки.

4. Надійність та довговічність. Елементи підігрівача, виконані з матеріалів, стійких до агресивного середовища дизельного палива. Це забезпечує тривалий термін служби пристрою без необхідності частого ремонту чи заміни.

3.1.4 Роль підігрівача у паливній системі дизельного двигуна

1. Покращення роботи паливної системи. Забезпечує стабільну фільтрацію палива навіть за низьких температур, підвищуючи ефективність системи.

2. Зменшення зносу двигуна. Прогріте паливо сприяє зниженню навантаження на двигун, що подовжує термін його служби та зменшує витрати на обслуговування.

3. Економія палива. Забезпечує повне згоряння палива, знижуючи його витрати та викиди шкідливих речовин.

Індукційний підігрівач — це простий, надійний і енергоефективний пристрій, який швидко прогріває паливо, забезпечуючи нормальну роботу двигуна навіть у холодному кліматі. Його довговічність і здатність працювати в складних умовах роблять цей пристрій економічно вигідним для тривалої експлуатації.

3.1.5 Опис електричної схеми підігрівача пального

На схемі представлена система керування підігрівачем пального, що складається з кількох основних компонентів. Далі подано детальний опис ко-

жного елемента та принцип його роботи в системі. Електрична схема підігрівача зображена на рисунку 3.2.

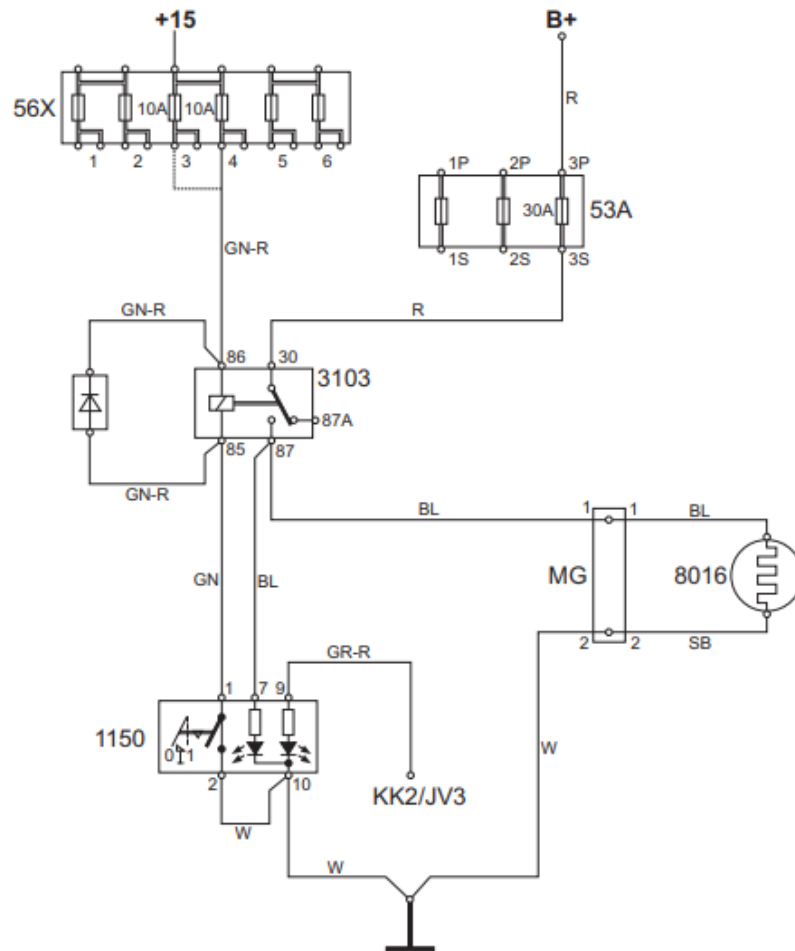


Рисунок 3.2 – Електрична схема підключення підігрівача пального Система підігріву пального забезпечує надійне функціонування двигуна за низьких температур. Основними її компонентами є:

- Шина із запобіжниками (56X). Подає живлення до системи після вмикання запалювання. Відповідає за захист компонентів системи.
- Реле (53A). Увімкнення та вимкнення підігрівача здійснюється на основі сигналів із системи керування. Живлення подається через запобіжник 30A.
- Контрольне реле (3103). Перемикає живлення до підігрівача. Вхідні сигнали включають керуючий сигнал і заземлення, а вихідні – подачу живлення до підігрівача.

- Блок керування (1150). Регулює роботу підігрівача за допомогою таймера або датчиків температури.
- Підігрівач пального (8016, MG). Основний елемент, який здійснює підігрів. Підключення живлення і сигналів контролю забезпечується проводами.
- З'єднувальний блок (KK2/JV3). Відповідає за заземлення системи для безпеки і стабільності роботи.

Принцип роботи

1. Після вмикання запалювання через шину запобіжників (56X) подається напруга до системи.
2. Контрольне реле (3103) активується, забезпечуючи живлення підігрівача пального.
3. Блок керування (1150) регулює увімкнення/вимкнення підігрівача залежно від температури або заданого часу.
4. Підігрівач (8016) нагріває паливо перед його подачею до двигуна, забезпечуючи ефективну роботу системи в умовах низьких температур.

3.1.6 Підключення системи підігріву дизельного палива

Процес підключення системи підігріву дизельного палива є важливим для забезпечення її ефективної роботи в умовах низьких температур. Основним завданням є безпечне і надійне підключення електричної системи, яка контролює роботу підігрівача.

Нагрівальний елемент монтується на полицю паливних фільтрів і забезпечує нагрів палива, запобігаючи кристалізації парафінів. Після фіксації елемента прокладаються кабелі живлення та маси, які поміщають у пластикову гофру для захисту від механічних пошкоджень. Гофру укладають вздовж існуючих джгутів проводів, фіксуючи пластиковими стяжками з інтервалом 10-15 см.

Кабелі заведені в салон автомобіля через спеціальні отвори з ізолюючим захистом. У салоні встановлюється електричний роз'єм, який розділяє систему на зовнішню і внутрішню частини, спрощуючи діагностику та обслуговування.

Кабель маси підключають до надійної точки автомобіля, перевіреної на чистоту контакту. Кабель живлення прокладається до блоку запобіжників через плавкий запобіжник номіналом 10А. Додаткові дроти використовуються для керування функціями підігріву, включаючи підключення до кнопки управління на приладовій панелі та до центральної плати автомобіля.

Реле підключене через запобіжник номіналом 30А, виконує роль посередника між кнопкою і системою живлення нагрівального елемента. Воно автоматично активує або вимикає підігрівач залежно від положення кнопки.

Правильний монтаж включає чітке прокладання проводки, використання захисних гофр, встановлення реле та запобіжників. Це забезпечує безпечну роботу системи, її довговічність та ефективність навіть у складних кліматичних умовах.

3.2 Результати лабораторних та розрахункових досліджень

У підрозділі представлено результати лабораторних і розрахункових досліджень процесу нагріву пального у фільтрі паливної системи дизельного двигуна. Завдяки розрахункам вдалося отримати інформацію про поведінку температури, теплового потоку, густини, швидкості зсуву та інших показників, що впливають на ефективність роботи фільтра та загальну продуктивність паливної системи. Отримані дані допоможуть у подальшій оптимізації роботи системи та забезпеченні її стабільності в різних температурних режимах.

Проведені дослідження за допомогою розрахунків надали можливість визначити ряд важливих параметрів, що характеризують процес нагрівання пального у фільтрі паливної системи дизельного двигуна.

Густина рідини була стабільною при значенні 850 кг/м^3 , тоді як густина твердих матеріалів (корпус) досягала 7874 кг/м^3 . Тиск у системі тримався на рівні $0,30 \text{ МПа}$. Температурні показники варіювалися: мінімальна температура рідини була $-15,02 \text{ }^\circ\text{C}$, а максимальна – $250,15 \text{ }^\circ\text{C}$, тоді як температура корпусу змінювалася від $4,22 \text{ }^\circ\text{C}$ до $352,55 \text{ }^\circ\text{C}$. Швидкість зсуву в дослідженні досягала максимуму $0,335 \text{ м/с}$, тоді як значення напруженого зсувного струменя змінювалося від $2,302 \times 10^{-4}$ до $308,003 \text{ с}^{-1}$. Розподілена сила становила $0,30 \text{ МПа}$. Конкретна теплоємність корпусу змінювалася від $436,2$ до $597,6 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$, а адіабатична температура рідини коливалася в межах від $4,22 \text{ }^\circ\text{C}$ до $350,15 \text{ }^\circ\text{C}$. Показники теплового потоку коливалися від $160,982$ до $642,299 \text{ Вт/м}^2$, а коефіцієнт теплопередачі досягав максимуму $3892,361 \text{ Вт/м}^2/\text{К}$. Потік випромінювання, що визначає теплові втрати, змінювався від $326,904$ до $689,7548 \text{ Вт/м}^2$.

3.2.1 Розрахункові дослідження

Для представлення результатів проведених досліджень щодо нагріву паливної суміші при низьких температурах, нижче наведені графіки, які ілюструють залежності основних показників від температури. Це дозволяє оцінити вплив температурних змін на параметри пального та ефективність індукційного нагрівача. Густина рідини була стабільною на рівні 850 кг/м^3 , тоді як густина корпусу досягала 7874 кг/м^3 . За стабільного тиску в системі ($0,30 \text{ МПа}$) температурні показники варіювалися від $-15,02 \text{ }^\circ\text{C}$ до $250,15 \text{ }^\circ\text{C}$ для рідини, тоді як температура корпусу змінювалася в межах $4,22 \text{ }^\circ\text{C}$ – $352,55 \text{ }^\circ\text{C}$. Ці параметри заклали основу для розрахунку коефіцієнтів консистентності та теплоємності, які представлені на графіках нижче.

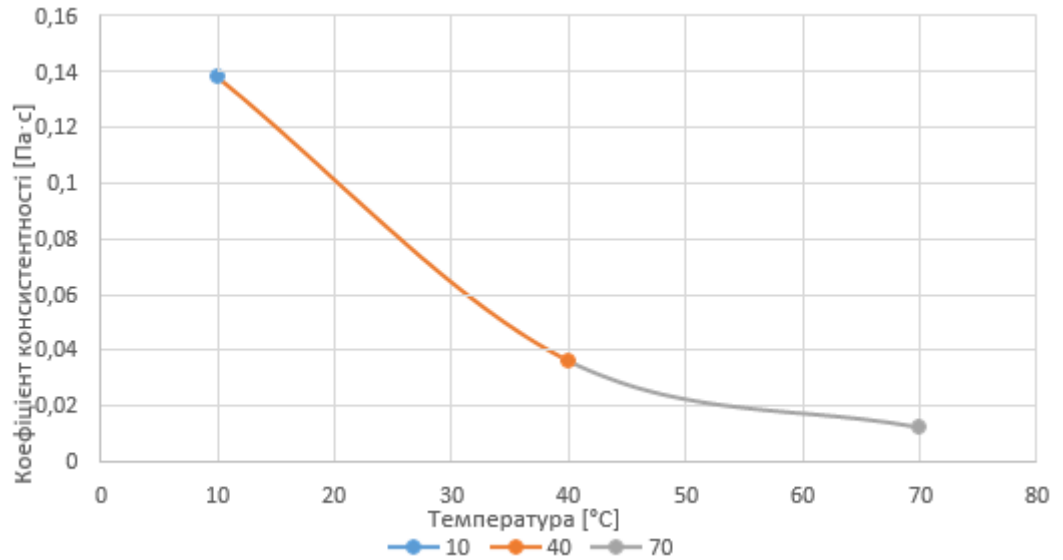


Рисунок 3.3 – Коефіцієнт консистентності

Зміна консистентності пального від температури показує, як зниження температури навколишнього середовища впливає на його плинність (рис. 3.3). Цей графік допомагає зрозуміти, як індукційний підігрівач підтримує оптимальну консистентність, запобігаючи надмірній густоті пального в холодних умовах.

Питома теплоємність металевого корпусу визначає кількість тепла, необхідну для нагрівання корпусу на один градус (рисунок 3.4).

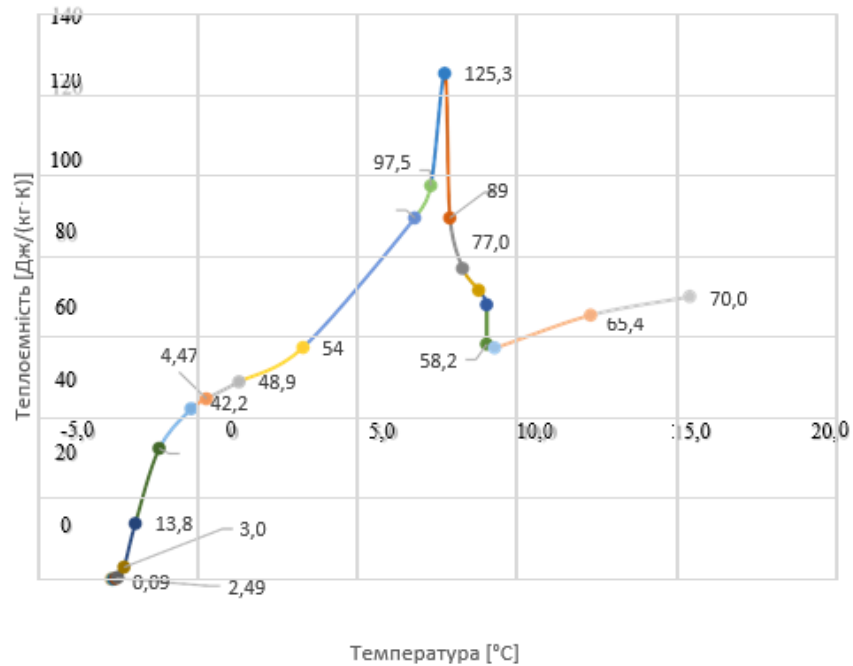


Рисунок 3.4 – Питома теплоємність металевого корпусу в залежності від температури

Це важлива характеристика, оскільки корпус індукційного нагрівача повинен швидко поглинати і розподіляти тепло, забезпечуючи рівномірний нагрів паливної суміші. На графіку представлена зміна питомої теплоємності корпусу в залежності від температури, що дозволяє оцінити ефективність теплопередачі в умовах низьких температур.

Показники теплопровідності пального демонструють його здатність передавати тепло в системі (рисунок 3.5). Висока теплопровідність забезпечує більш рівномірний розподіл тепла, що позитивно впливає на загальну стабільність роботи двигуна. Графік показує, як теплопровідність змінюється в залежності від температури, підкреслюючи ефективність індукційного нагрівача.

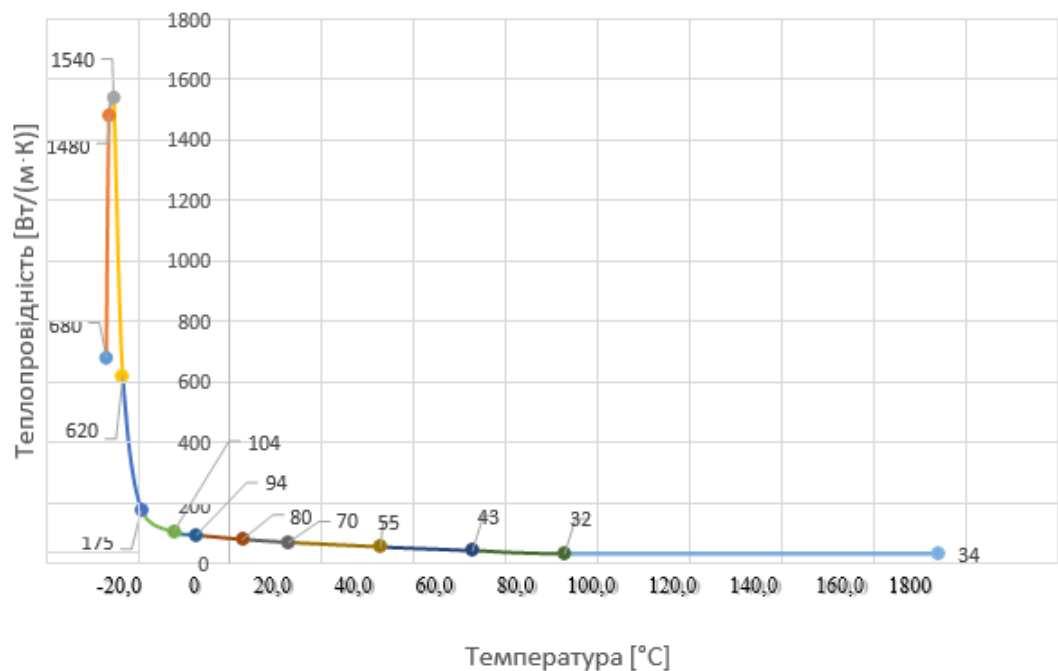


Рисунок 3.5 – Теплопровідність пального залежно від температури

Електропровідність є важливою характеристикою для оцінки електричних властивостей паливної системи, особливо при використанні індукційного нагрівача. Цей показник дозволяє виявити потенційні зміни в електричних властивостях системи в залежності від температури (рисунок 3.6).

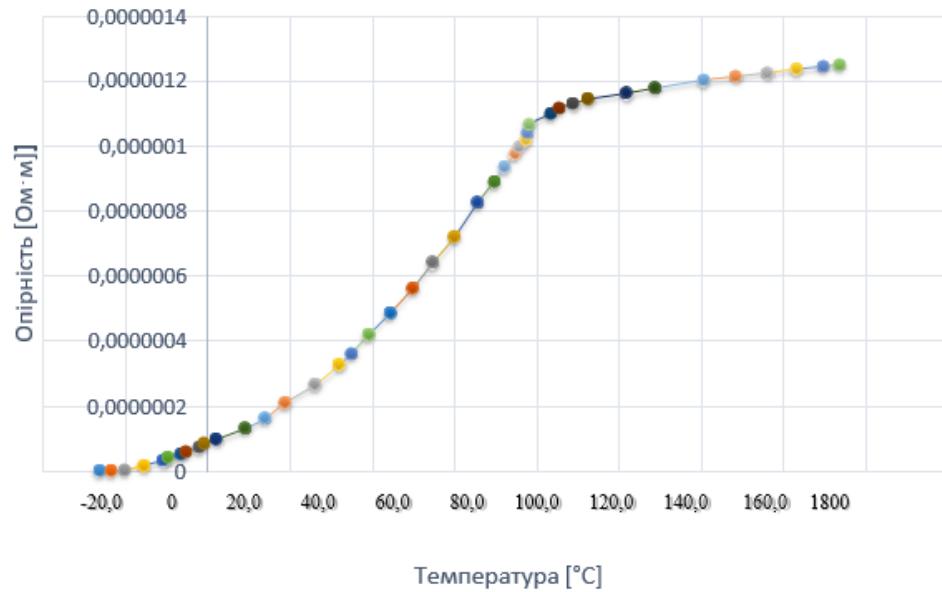


Рисунок 3.6 – Електропровідність паливної суміші від температури

3.2.2 Лабораторні дослідження

Метою лабораторних досліджень було визначення оптимальних параметрів роботи індукційного нагрівача дизельного пального при низьких температурах (від -15°C до 10°C). Дослідження проводилися на модернізованому стенді для ремонту паливної апаратури КИ-22205, обладнаному електронним блоком керування. Індукційний нагрівач SH-2000W і струмом до 50 А був під'єднаний до лабораторного блоку живлення EXtools PS-305D, який забезпечував стабільність електроживлення.

Методика виконання досліджень: паливний фільтр перед початком випробувань заповнювався паливом і заморожувався до температури не вище -20°C . Дизельне паливо, яке подавалося на стенд, також охолоджувалося до -15°C . Після цього паливний фільтр з'єднували з системою низького тиску стенду, що забезпечувало циркуляцію пального в системі. Фільтр розміщувався в середині індукційної котушки для початку процесу підігріву.



1 – Вхідна трубка для подачі пального з термозахистом; 2 – Інжектори (форсунки); 3 – Ручка зміни обертів привідного валу; 4 – блок живлення EXtools PS-305D; 5 – Трубопроводи високого тиску для палива; 6 – Випробувальний стенд КИ-22205; 7 – Фільтр для очищення пального; 8 – Вимикачі подачі пального до інжекторів; 9 – Кріпильний елемент ПНВТ; 10 – Блок електронного управління; 11 – ПНВТ; 12 – термодетектор Bosch; 13 – Вимірювальні колби; 14 – Муфта привідного валу; 15 – Індуктор; 16 – Кнопки для приводу стенда; 17 – Кнопки для управління стендовим насосом; 18 – Трубка подачі пального до ПНВТ із термозахистом; 19 – Індукційний нагрівач SH-2000W; 20 – Лінія відведення надлишкового пального.

Рисунок 3.7 – Стенд для ремонту паливної апаратури КИ-22205 з електронним блоком керування

Лабораторний блок живлення налаштовувався на подачу 24 В напруги для індукційного нагрівача, а струм у системі регулювався в межах 6 А. Під час підігріву температурний контроль здійснювався термодетектором Bosch UniversalTemp. Коли температура фільтра досягала -10°C , записували покази секундоміра і активували подачу пального на стенді. Далі фіксували час, необхідний для підігріву пального до 0°C на виході фільтра. Процедура повторювалася кілька разів з варіацією струму, що дозволило отримати дані для аналізу ефективності нагрівання при різних параметрах.

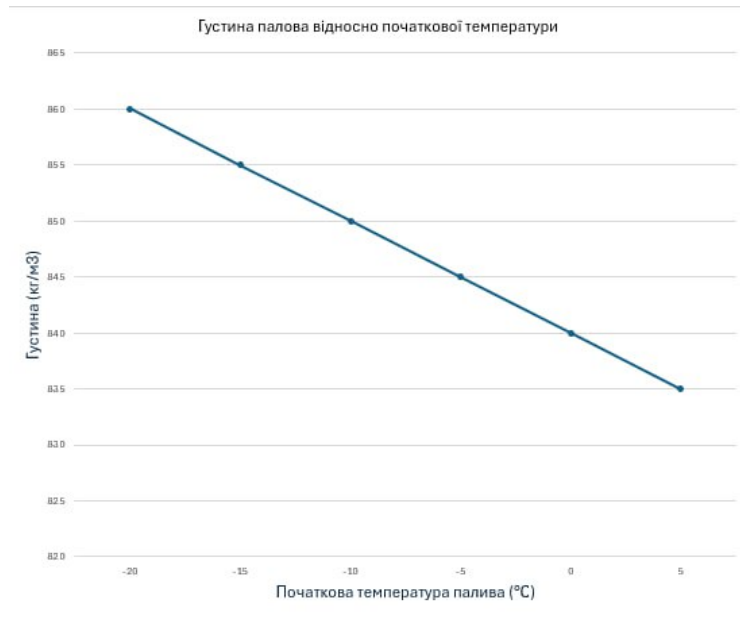


Рисунок 3.8 – Залежність густини палива від температури

Для експериментів дослідження використовували літнє дизельне паливо з густиною 825 кг/м^3 при температурі 15°C , графік залежності густини від температури зображено на рисунку 3.8 температурою помутніння -5°C і температурою застигання -10°C .

Кожне дослідження повторювали п'ять разів для підвищення точності результатів. Використовували два типи паливних фільтрів: Shafer FM75 і Jarco. Дані із середньостатистичними результатами часу нагріву пального до робочої температури представлено на рисунку 3.9

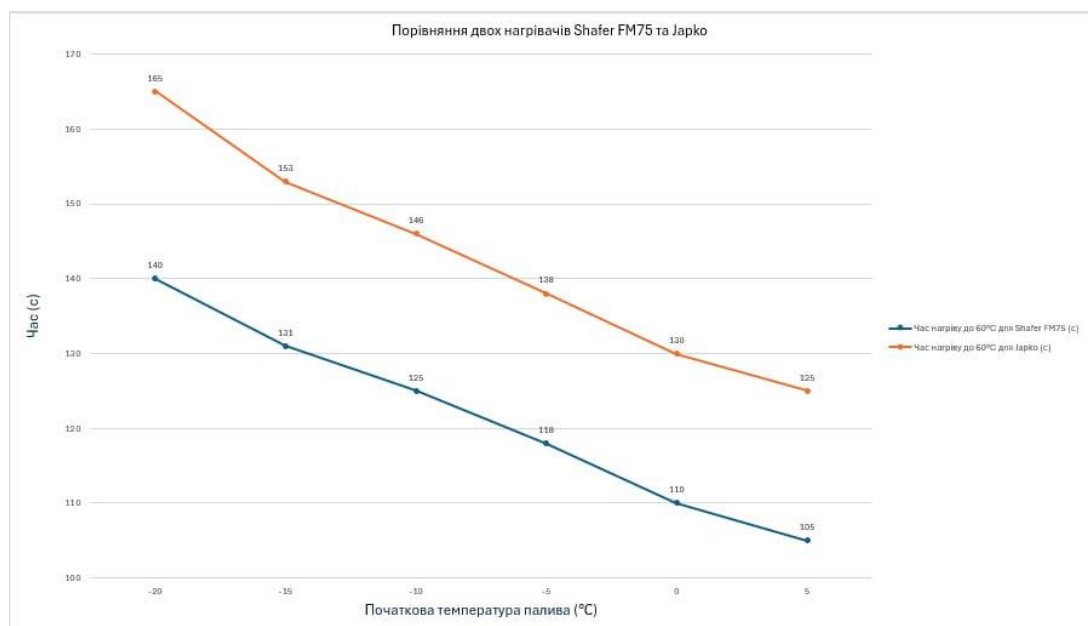


Рисунок 3.9 – Час нагріву пального до робочої температури

Здійснивши експериментальне дослідження необхідної потужності дизельного підігрівача пального, шляхом перевірки часу нагріву дизельного пального до робочої температури. Дослідження проводили регулюючи потужність підігрівача пального, перевіряючи час на відмітці потужності 2000Вт, 1500Вт, та 1000Вт. Дослідження проводили з використанням паливного фільтра який згідно попередніх досліджень має швидший час нагріву. З даними експерименту можна ознайомитись на рисунку 3.10.

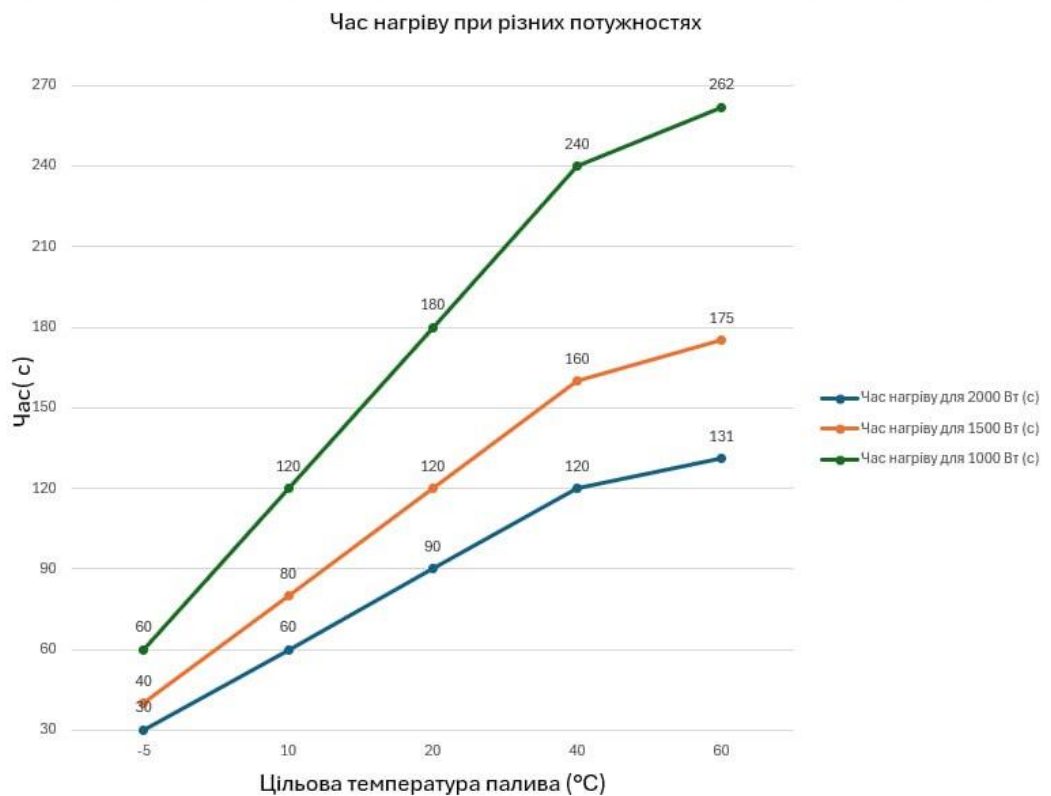


Рисунок 3.10 – Залежність часу нагріву від потужності підігрівача

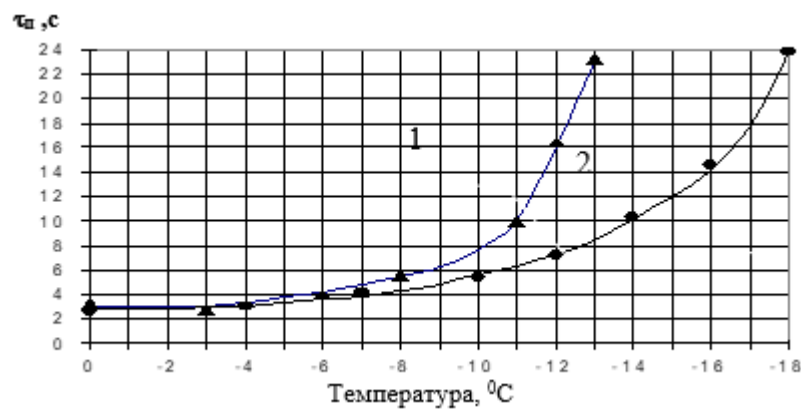
Дані розрахунку енергоефективності підігрівача занесемо в таблицю, яка показуватиме витрати енергії (Вт·с) для досягнення певної температури при різних потужностях підігрівача (1000 Вт, 1500 Вт і 2000 Вт). Також в таблиці 3.3, занесені дані які показують ефективність нагріву (Вт·с/°C), тобто кількість енергії, витраченої на підвищення температури палива на один градус. Довідка: цільова температура палива (°C): Температура, до якої нагрівається паливо; час нагріву для 2000 Вт, 1500 Вт, 1000 Вт (с): час, необхідний для досягнення певної температури при кожній потужності; енергія (Вт·с):

Загальна енергія, витрачена для досягнення певної температури. Розраховується як потужність (Вт) \times час (с); ефективність нагріву (Вт \cdot с/°С): Середня кількість енергії, витраченої на підвищення температури палива на один градус.

Таблиця 3.1 – Енергоефективність підігрівача при різних потужностях

Цільова температура палива (°С)	Час нагріву для 2000 Вт (с)	Енергія для 2000 Вт (Вт \cdot с)	Час нагріву для 1500 Вт (с)	Енергія для 1500 Вт (Вт \cdot с)	Час нагріву для 1000 Вт (с)	Енергія для 1000 Вт (Вт \cdot с)	Ефективність нагріву (Вт \cdot с/°С)
-5	30	60000	40	60000	60	60000	6000
10	60	120000	80	120000	120	120000	8000
20	90	180000	120	180000	180	180000	9000
40	120	240000	160	240000	240	240000	12000
60	131	262000	175	242500	262	262000	13000

Час запуску двигуна при різних температурах дозволяє оцінити, наскільки ефективним є підігрів в умовах низьких температур. Графік порівнює час запуску для пального з підігрівом і без нього, демонструючи суттєве зменшення часу, необхідного для запуску двигуна за наявності підігріву.



1 – без підігрівача; 2 – з підігрівачем.

Рисунок 3.11 – Час запуску двигуна при різних температурах

Графік відображає залежність часу запуску дизельного двигуна від температури навколишнього середовища для пального без підігріву (лінія 1) і з підігрівом (лінія 2).

1. Лінія 1 (без підігріву): Ця лінія показує, що при зниженні температури навколишнього середовища час запуску двигуна значно зростає.
2. Лінія 2 (з підігрівом): Ця лінія демонструє, що використання підігрівача значно зменшує час запуску двигуна, навіть при дуже низьких температурах.

Використання підігрівача пального дозволяє зберігати швидкий запуск двигуна навіть за значно нижчих температур, що покращує надійність роботи дизельного двигуна в холодну погоду. Підігрів суттєво зменшує залежність часу запуску від температури навколишнього середовища. Дослідження показали, що індукційний нагрівач може бути ефективно використаний для підігріву пального в умовах низьких температур. Для максимально ефективного нагріву індуктор розташовували між площиною фільтра та полки паливних фільтрів. Час, необхідний для нагріву пального в паливних фільтрах до робочих температур, склав: Shafer FM75 — 131 секунда. Jarco — 153 секунди. Ці результати підтверджують, що індукційні нагрівачі можуть забезпечити швидке і рівномірне нагрівання пального, знижуючи затримки при запуску двигуна в холодних умовах і підвищуючи ефективність паливної системи.

Відповідно до виконаних розрахунків із використанням формул для визначення необхідного часу нагріву палива до робочої температури, час нагрівання паливного фільтра Shafer FM75 становить 131 секунду, а для Jarco — 152 секунди. На основі експериментальних досліджень, проведених на спеціалізованому випробувальному стенді, час нагрівання для Shafer FM75 також склав 131 секунду, а для Jarco — 153 секунди. Це свідчить про низьку похибку між теоретичними розрахунками та експериментальними результатами, що підтверджує їхню точність і достовірність.

Висновки до розділу

У третьому розділі було детально розглянуто конструкцію та принцип роботи індукційного підігрівача дизельного палива, який використовується

для забезпечення стабільного запуску дизельних двигунів внутрішнього згорання в умовах низьких температур. Було описано основні конструктивні особливості підігрівача, його складові елементи та принцип роботи, що базується на використанні індукційного нагрівання для ефективного підвищення температури паливної суміші.

Особливу увагу приділено перевагам індукційного підігрівача в порівнянні з іншими типами підігрівачів. Зокрема, індукційний підігрівач характеризується високою швидкістю нагрівання та енергоефективністю, що сприяє підвищенню ефективності роботи двигуна в холодних умовах. Роль підігрівача у паливній системі дизельного двигуна полягає в забезпеченні стабільного потоку палива при низьких температурах, що зменшує зношування компонентів і підвищує надійність системи. Опис електричної схеми та підключення системи підігріву надає уявлення про технічні аспекти монтажу та функціонування підігрівача в складі автомобіля. Було також детально розглянуто алгоритм підключення системи та описано необхідні заходи безпеки для уникнення пошкодження елементів проводки і забезпечення довготривалої роботи пристрою.

Лабораторні та розрахункові дослідження підтвердили ефективність застосування індукційного підігрівача. Результати досліджень свідчать про те, що використання індукційного підігрівача значно скорочує час нагріву палива, знижуючи ризик утворення парафінових відкладень і покращуючи запуск двигуна при низьких температурах. Отже, впровадження індукційних підігрівачів є перспективним рішенням для підвищення надійності та продуктивності дизельних двигунів, особливо в умовах холодного клімату.

Таким чином, результати проведених досліджень і аналіз конструктивних особливостей свідчать про доцільність застосування індукційних підігрівачів для підігріву дизельного палива, що сприяє покращенню паливної економічності і надійності дизельного двигуна.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Мікроклімат виробничих приміщень

Мікроклімат виробничих приміщень характеризує сукупність таких параметрів внутрішнього середовища, як температура, відносна вологість, швидкість руху повітря і теплові випромінювання, що мають безпосередній вплив на фізіологічний стан організму працівника [22]. Ці фактори мають визначальне значення для забезпечення теплового комфорту та належних умов праці [23].

Нормальний тепловий баланс організму передбачає, що вироблене тілом тепло повністю відводиться в навколишнє середовище. Порушення балансу може призвести до перегріву або переохолодження, що знижує працездатність та може становити загрозу життю [23]. Залежно від фізичної активності людини, тепловиділення коливається від 85 Дж/с (у стані спокою) до 500 Дж/с (під час важкої роботи) [21].

Організм може підтримувати постійну температуру на рівні 36,6 °С навіть при коливаннях температури зовнішнього середовища від -40 °С до +40 °С, а внутрішні органи, такі як печінка, можуть мати температуру від 38,0 до 38,5 °С. У процесі обміну тепла беруть участь конвекція, теплопровідність, випромінювання і випаровування, кожен з яких залежить від параметрів навколишнього середовища, таких як температура, вологість і швидкість повітря.

Для нормального протікання фізіологічних процесів температура тіла людини повинна залишатися постійною. Надмірне тепло, що виділяється в процесі роботи, повинне розсіюватися в навколишнє середовище, і це залежить від мікрокліматичних параметрів. Якщо ці параметри виходять за межі комфортних значень, організм запускає механізми терморегуляції, контролюючи їх центральною нервовою системою. Існують хімічна і фізична терморегуляції, які забезпечують стабільність температури тіла в умовах різного

клімату. Переохолодження може статися при низькій температурі повітря та високій швидкості його руху. З іншого боку, перегрів відбувається при підвищенні температури повітря, особливо за вологості понад 75%, що ускладнює випаровування поту. Низька вологість спричиняє пересихання слизових оболонок, що робить організм уразливим до хвороб. Значне зневоднення на рівні 15-20% від загального об'єму води може призвести до смертельних наслідків. Тривалий вплив високої температури разом зі значною вологістю може спричинити гіпертермію, симптомами якої є головний біль, запаморочення, сплутаність свідомості, блювота, судоми і навіть втрата свідомості.

Параметри мікроклімату регулюються ДСН 3.3.6.042-99, які визначають оптимальні та допустимі значення для температури, відносної вологості і швидкості руху повітря. Ці норми залежать від категорії роботи, сезону і виду робочого місця (постійне чи тимчасове).

Температура повітря розраховується за даними метеорологічної служби, а межі норм для виробничих приміщень залежать від сезону – холодного (температура до +10 °С) чи теплого (температура вище +10 °С). Атмосферний тиск також впливає на умови праці, а різкі його зміни можуть негативно позначитися на самопочутті працівника, викликаючи дискомфорт.

Крім цього, контроль параметрів мікроклімату є особливо важливим у зонах з іонізуючим випромінюванням, наприклад, у залах з ЕОМ. Іонізація повітря в таких приміщеннях впливає на здоров'я працівників, тому встановлені гігієнічні норми вмісту іонів у повітрі для збереження їх доброго самопочуття та працездатності.

У кабінах, на пультах та постах керування технологічними процесами, у приміщеннях обчислювальної техніки та інших виробничих приміщеннях при виконанні робіт, пов'язаних із нервово-емоційними навантаженнями, слід дотримуватись оптимальних значень температури повітря 22–24°С, відносної вологості 40–60% та швидкості переміщення повітря не більше 0,1 м/с.

Перелік інших виробничих приміщень, де необхідно дотримуватись оптимальних параметрів мікроклімату, визначається за погодженням із органами санітарного нагляду. При санітарно-гігієнічному нормуванні умов мікроклімату відповідно до нормативу ДСН 3.3.6.042-99 виділяють два періоди року: теплий (середньодобова температура зовнішнього середовища вище $+10^{\circ}\text{C}$) і холодний (середньодобова температура зовнішнього середовища не перевищує 10°C).

Оптимальні мікрокліматичні умови — це поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують збереження нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту та створюють передумови для високої працездатності. Оптимальні умови мікроклімату встановлюються для постійних робочих місць. Показники температури повітря в робочій зоні по висоті та горизонталі протягом робочої зміни не повинні виходити за межі норм оптимальної температури для даної категорії робіт. Температура внутрішніх поверхонь робочої зони (стіни, підлога, стеля), технологічного обладнання (екрани тощо) та зовнішніх поверхонь технологічного устаткування й огорожувальних конструкцій не повинна відхилитися більш ніж на 2°C від оптимальної температури повітря для даної категорії робіт.

При виконанні робіт операторського типу, пов'язаних із нервово-емоційним напруженням, у кабінетах, на пультах та постах керування технологічними процесами, у приміщеннях з обчислювальною технікою та інших приміщеннях повинні дотримуватись оптимальні умови мікроклімату (температура повітря $22\text{--}24^{\circ}\text{C}$, відносна вологість $40\text{--}60\%$, швидкість руху повітря не більше $0,1\text{ м/с}$).

Допустимі мікрокліматичні умови — це поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають та нормалізу-

ються, і супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає порушень здоров'я, але можуть спостерігатись дискомфорт, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі параметри мікрокліматичних умов встановлюються у випадках, коли на робочих місцях не можна забезпечити оптимальні величини мікроклімату через технологічні вимоги виробництва, технічну недосяжність або економічну недоцільність. Ці значення встановлюються для постійних та непостійних робочих місць.

4.2 Заходи безпеки під час технічного обслуговування та ремонту автомобілів

Кожен водій, який бере участь у технічному обслуговуванні або ремонті автомобіля, повинен пройти інструктаж щодо заходів безпеки. Вимоги з техніки безпеки при обслуговуванні та ремонті включають правильну організацію робочого місця, оснащення його необхідними пристроями та інструментом, що забезпечують безпечну роботу [22].

Постановка автомобіля на пост обслуговування повинна проводитися на малій швидкості, із використанням стоянкового гальма і нижчої передачі. Перед виїздом із поста необхідно переконатися, що під автомобілем немає людей або неприбраних інструментів та інших предметів, які можуть заважати руху.

Піднімаючи автомобіль домкратом або талью, не можна працювати під піднятим автомобілем без надійних спеціальних підставок. Працюючи під автомобілем, забороняється класти інструмент і деталі на раму, підніжки та інші місця, звідки вони можуть впасти.

Переносні лампи мають живитися від напруги не більше 24 В.

Необхідно дотримуватись правил користування монтажним інструментом. Забороняється використовувати сильно зношені або невідповідного розміру ключі, а також інший інструмент із пошкодженою або неправильно за-

точеною робочою частиною, зламаними або ненадійно встановленими ручками.

При використанні стисненого повітря для обдування деталей струмів повітря слід спрямовувати від себе. Під час накачування шин, знятих із машини, необхідно розміщувати колеса в захисний кожух.

Забороняється проводити технічне обслуговування машини з увімкненим двигуном, за винятком регулювання двигуна та перевірки гідروпідсилувача кермового управління й гальм.

При обслуговуванні автомобіля на підйомнику необхідно встановити на механізмі управління підйомником табличку з написом: «Не чіпати – під автомобілем працюють люди».

Якщо зняття окремих агрегатів і деталей пов'язане зі значним фізичним навантаженням або іншими труднощами, повинні використовуватися пристосування (знімачі), що забезпечують безпеку роботи.

До роботи на установках, що мають електродвигуни, допускаються особи, які пройшли спеціальний інструктаж з електробезпеки. Перед початком роботи необхідно перевірити надійність та справність заземлення. Забороняється виконувати ремонтні роботи або торкатись струмопровідних частин при ввімкненому електродвигуні. Увесь електрифікований інструмент повинен бути заземлений.

Забороняється розбирати вузли та агрегати, коли в резервуарах є стиснене повітря, запускати обладнання без огороження обертових частин, перебувати під піднятим агрегатом, використовувати подовжувачі на рукоятці плунжерного насоса гідропреса, працювати несправним слюсарним інструментом. Після слюсарних робіт пил та стружку з робочого місця слід змитати тільки щіткою. Забороняється здувати стружку стисненим повітрям або збирати її голими руками.

4.3 Заходи безпеки під час роботи з нафтопродуктами

Перед початком роботи необхідно надіти спеціальний одяг. Потрібно підготувати робоче місце до безпечної роботи: перевірити, чи достатньо освітлення та чи справні стенди [23]. Якщо виявлено несправність, слід негайно повідомити майстра і до усунення недоліків не приступати до роботи.

Тривалий вплив нафтопродуктів може шкідливо впливати на організм людини, тому у випадку потрапляння палива на шкіру його необхідно негайно змити. Деталі паливної апаратури слід мити у спеціальних ваннах із використанням щіток та пензлів. При митті обов'язково вдягати фартух із матеріалу, стійкого до мастила і бензину [22].

Приміщення повинно мати висоту не менше 3,2 м, а також справну механічну припливно-витяжну вентиляцію. Устаткування, верстати та стелажі слід розміщувати так, щоб працювати було зручно і безпечно, а ширина проходів не повинна бути меншою за 1 м. Обладнання, інструменти і пристрої потрібно регулярно протирати від пилу, палива та оливи тканиною з бавовняної або паперової тканини. На верстаках для розбирання і складання не слід залишати деталі, що просочені паливом.

Інструменти для ремонту паливної апаратури повинні відповідати розмірам і формі та бути справними. Усе обладнання, підключене до електромережі, повинно бути заземлене, а всі зовнішні рухомі частини – захищені. Працювати на стендах і приладах дозволяється лише працівникам зі спеціальною підготовкою, а стороннім особам перебувати у приміщенні заборонено.

4.4 Техніка безпеки під час використання системи підігріву дизельного пального

Під час експлуатації підігрівника необхідно дотримуватись заходів безпеки. Забороняється встановлювати підігрівач на спеціальні транспортні засоби, призначені для перевезення небезпечних вантажів. Під час монтажу обладнання не допускається прокладати паливопроводи всередині салону або

кабіни автомобіля. Автомобіль із встановленим підігрівачем повинен бути обладнаний вогнегасником. Не дозволяється використовувати підігрівач у місцях, де можуть утворюватися легкозаймисті пари, гази або пил.

Заборонено експлуатувати підігрівач у закритих непровітрюваних приміщеннях. Під час заправки автомобіля паливом підігрівач має бути вимкнений. Під час виконання електрозварювальних або ремонтних робіт на підігрівачі необхідно від'єднати його від акумуляторної батареї.

При монтажі і демонтажі підігрівача потрібно дотримуватись правил безпеки, передбачених для роботи з електромережею, паливною і рідинною системами автомобіля. До роботи на контрольно-випробувальних стендах, спеціалізованих установках і приладах допускаються лише працівники, які пройшли спеціальне навчання. Перед роботою на спеціалізованому обладнанні працівник повинен пройти інструктаж із техніки безпеки.

Всі контрольно-випробувальні стенди та спеціалізовані установки повинні бути заземлені. Підключення стендів до електромережі здійснюється тільки через штепсельні з'єднання із заземлюючим контактом. Якщо працівник відчув дію електричного струму, стенд слід негайно відключити, і роботу продовжують лише після усунення несправності. На робочих місцях обов'язково мають бути вивішені правила техніки безпеки для відповідних робіт.

Висновки до розділу

Безпека життєдіяльності на виробництві має важливе значення при плануванні та організації роботи на підприємствах сільського господарства, оскільки діяльність цих підприємств пов'язана з потенційною небезпекою для працівників, задіяних у цих процесах. У цьому розділі розглянуто питання мікроклімату виробничих приміщень, загальні принципи оздоровлення повітряного середовища. Крім того, надані заходи безпеки при технічному обслуговуванні та ремонті автомобілів, при роботі з нафтопродуктами, а також техніка безпеки під час використання системи підігріву.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Метою розділу є розрахунок економічної ефективності, запровадження системи передпускового підігріву на дизельних двигунах внутрішнього згорання. Основна задача — оцінити, наскільки підігрівач може знизити витрати на пальне, зменшити знос двигуна, і знизити витрати на технічне обслуговування. Використання підігрівача в холодну пору року дозволяє знизити витрати на дизельне пальне на 10-15% у зимовий період за рахунок більш швидкого та стабільного прогріву двигуна.

5.1 Методика визначення економічних показників автомобіля

Зведені затрати Π на одиницю напрацювання визначаються:

$$\Pi = И + \frac{К}{Е}, \quad (5.1)$$

де $И$ – прямі експлуатаційні затрати на одиницю напрацювання, грн./т·км;

$К$ – капітальні вкладення на одиницю напрацювання, грн./т·км;

$Е$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Прямі експлуатаційні затрати дорівнюють:

$$И = З + Г + Р + А + Зз + АМ, \quad (5.2)$$

де $З$ – витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./т·км;

$Г$ – витрати на паливно-мастильні матеріали, грн./т·км;

$Р$ – витрати на технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт, грн./т·км;

$А$ – витрати на реновацію, грн./т·км;

$Зз$ – витрати на зберігання, грн./т·км;

$АМ$ – амортизаційні витрати на автомобіль, грн./т·км.

Витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу визначаються:

$$З = \frac{Лв \times \tau_v \times k_d}{W_{зм}}, \quad (5.3)$$

де $W_{зм}$ – продуктивність автомобіля за годину змінного часу, т·км/год;

$Лв$ – чисельність виробничого персоналу, чол.;

τ_v – годинна тарифна ставка оплати праці виробничого персоналу, грн./люд.-год;

k_d – коефіцієнт, що враховує доплати за класність, стаж роботи, кваліфікацію.

Витрати на паливно-мастильні матеріали:

$$\Gamma = q \cdot Ц, \quad (5.4)$$

де q – витрата паливно-мастильних матеріалів, кг/т·км;

$Ц$ – комплексна ціна 1 кг паливно-мастильних матеріалів, грн./кг.

Витрати на технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт:

$$P = \frac{Б \times r_T \times r_K}{T_p}, \quad (5.5)$$

де $Б$ – балансова вартість автомобіля, грн.;

r_T – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування;

r_K – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

T_p – річне завантаження автомобіля, год.

Витрати на реновацію:

$$A = \frac{a \times Б}{W_{рік}}, \quad (5.6)$$

де a – коефіцієнт відрахувань на реновацію;

$W_{рік}$ – річна кількість перевезень (обсяг роботи), т·км.

Витрати на зберігання:

$$Зз = \frac{Б \times k_3}{W_{рік}}, \quad (5.7)$$

де k_3 – коефіцієнт відрахувань на зберігання (визначається залежно від умов зберігання техніки).

Амортизаційні витрати:

$$AM = \frac{Б \times k_{am}}{W_{рік}}, \quad (5.8)$$

де k_{am} – коефіцієнт амортизації автомобіля.

Капітальні вкладення K на $t \cdot \text{км}$ становлять:

$$K = \frac{B}{W_{\text{рік}}}. \quad (5.9)$$

Затрати праці Z_p (люд.-год/ $t \cdot \text{км}$) становлять:

$$Z_p = \frac{L_B}{W_{\text{рік}}}. \quad (5.10)$$

Річний економічний ефект від експлуатації вдосконаленого автомобіля

$$E_{\text{ек}} = (P_b - P_n) \cdot W_{\text{рік}}, \quad (5.11)$$

де P_b і P_n – зведені затрати для базового і нового автомобілів, грн./ $t \cdot \text{км}$.

Річна економія праці:

$$Z_r = (Z_{pb} - Z_{pn}) \cdot W_{\text{рік}}, \quad (5.12)$$

де Z_{pb} і Z_{pn} – затрати праці для базового і нового автомобілів, люд.-год/ $t \cdot \text{км}$.

Ступінь зміни затрат:

$$C = \frac{(Z_b - Z_n)}{Z_b} 100\%, \quad (5.13)$$

де Z_b і Z_n – річні затрати (прямі експлуатаційні затрати, затрати праці та капітальні вкладення) для базового і нового автомобілів, люд.-год/ $t \cdot \text{км}$ або грн./ $t \cdot \text{км}$.

5.2 Розрахунок економічної ефективності використання удосконаленого автомобіля

На основі експлуатаційних показників роботи базового і удосконаленого автомобілів, нормативно-довідкових матеріалів, цін на технічні засоби і паливно-мастильні матеріали заповнюється таблиця вихідних даних (табл. 5.1), де враховані тільки показники, що впливають на економічну ефективність.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності використання автомобіля Volvo FH(4)

Показники	Позначення	Серійний автомобіль	Удосконалений автомобіль
Продуктивність за годину змінного часу, т·км/год	$W_{зм}$	640	640
Балансова вартість, тис. грн.	B	1 000 000	1 008 000
Річне завантаження, год	T_p	1900	1910
Чисельність виробничого персоналу, чол	L_g	1	1
Годинні тарифні ставки персоналу, грн./люд.-год	τ_g	180,0	180,0
Коефіцієнт, що враховує доплати персоналу	k_d	1,2	1,2
Коефіцієнт відрахувань на реновацію	a	0,1	0,1
Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт, технічне обслуговування	r_m	0,05	0,05
Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт	r_k	0,02	0,02
Витрата паливно-мастильних матеріалів, кг/т·км	q	0,24	0,23
Ціна палива з врахуванням вартості мастильних матеріалів, грн./кг	Ц	50	50
Нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень	E	0,15	0,15

Показники економічної ефективності від використання на модернізованому автомобілі запропонованого технічного рішення дано табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Показники економічної ефективності від використання автомобіля Volvo FH(4)

Показник	Автомобіль	
	серійний	удосконалений
Річне напрацювання, т·км	1216000	1222400
Прямі затрати (грн./т·км) на:		
– оплату праці	0,31	0,31
– паливно-мастильні матеріали	12	11,5
– технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт, відновлення шин	0,06	0,06
– реновацію	0,08	0,08
– зберігання	0,0	0,0
всього прямих затрат	12,95	11,95
Капітальні вкладення, грн./т·км	0,82	0,82
Зведені затрати, грн./т·км	12,58	12,08
Річний економічний ефект, грн.	–	610311
Затрати праці, люд.-год/т·км	0,0015	0,0015
Ступінь зміни (%):		
– затрат праці		0
– прямих затрат	–	4,01
– зведених затрат	–	3,97
– капіталовкладень	–	-0,27

Аналіз економічної ефективності проводився з використанням персонального комп'ютера, згідно розробленої програми. Отримані результати розрахунку (табл. 5.2) свідчать про доцільність використання удосконаленого автомобіля. При цьому порівняно із серійним прямі затрати зменшуються на 4,01%, а зведені – на 3,97%. Річний економічний ефект від використання удосконаленого автомобіля становить 610311 грн.

Висновки до розділу

1. Використання удосконаленого автомобіля практично значиме, його річне напрацювання досягає 1222400 т·км, що 0,5% більше, ніж у серійного.

2. Технічне рішення дозволить перш за все за рахунок збільшення напрацювання, зумовленого зменшенням спрацювання деталей двигуна та покращення за таких умов паливної економічності, зменшити прямі затрати порівняно з серійним автомобілем на 4,01%, а зведені – на 3,97%.

3. Річний економічний ефект від використання удосконаленого автомобіля становитиме 610311 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дипломній роботі проведено комплексне дослідження впливу низьких температур на роботу дизельних двигунів внутрішнього згоряння та запропоновано заходи щодо підвищення їх ефективності в умовах холодного клімату.

Виявлено, що експлуатація дизельних двигунів в холодну пору року супроводжується низкою проблем, серед яких найбільш критичними є утруднений пуск, кристалізація парафінів в паливі та підвищення в'язкості рідин. Це призводить до порушення паливоподачі, зниження ефективності згоряння, збільшення витрати палива та підвищення рівня шкідливих викидів.

Встановлено, що передпусковий підігрів паливної системи та використання депресорних присадок дозволяє значно підвищити надійність роботи двигуна в холодний період.

Запропоновано заходи щодо оптимізації системи підігріву палива, зокрема впровадження сучасних автономних підігрівачів та хімічних присадок.

Проведено економічний аналіз впровадження систем підігріву палива і встановлено, що їх використання не тільки окупається за рахунок зниження витрати палива, але і сприяє продовженню терміну служби двигуна.

Розроблено заходи безпеки при обслуговуванні автомобільних двигунів і роботі з нафтопродуктами. Особливу увагу приділено створенню комфортного мікроклімату в робочих зонах і дотриманню правил електробезпеки.

Застосування запропонованих технічних рішень та організаційних заходів дозволить значно підвищити ефективність та надійність роботи дизельних двигунів в умовах низьких температур. Крім того, це сприятиме зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище за рахунок зниження шкідливих викидів. Отримані результати можуть бути корисними для впровадження в практику технічного обслуговування та експлуатації транспортних засобів в регіонах з холодним кліматом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борисенко С.А. Системи рециркуляції відпрацьованих газів у дизельних двигунах. *Науковий вісник ХНАДУ*. Харків. 2020. №4, С. 12-19.
2. Борисов В.І. Експлуатація та обслуговування автомобільних двигунів. Київ: Логос, 2018. 280 с.
3. Гнатюк І.П. Керівництво з експлуатації дизельних двигунів у складних умовах. Київ: Техносфера, 2019. 360 с.
4. ДСТУ 3868-99. Дизельне паливо. Технічні умови. [чинний від 1999-04-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2000. 18 с.
5. Кравченко П.В. Особливості систем турбонаддуву та рециркуляції газів у дизельних двигунах. *Автотранспорт*. 2019. №3. С. 35-42.
6. Кузнецов І.В., Мартинюк В.В. Експлуатація дизельних двигунів: сучасні технології та інновації. Київ: Техніка, 2021. 320 с.
7. Локшин А., Ковальчук М. Передпусковий підігрів дизельних паливних систем: Довідковий посібник. Харків: ХНАДУ, 2019. 150 с.
8. Луговський А.Є. Технічне обслуговування автомобільних дизельних двигунів у зимовий період. Київ: Техніка, 2019. 240 с.
9. Морозов П.В. Основи теплотехніки для автомобільних двигунів. Львів: Світ, 2020. 320 с.
10. Нікіфоров А.В., Глазов М.М., Кузнецов І.В. Вплив низьких температур на паливну апаратуру дизельних двигунів. *Машинобудування*. 2020. №3. С. 45-51.
11. Руденко І.М. Автоматизовані системи управління двигунами внутрішнього згорання. *Вісник НТУУ Київ*. 2021. №6. С. 50-56.
12. Рябов С.О., Петров В.В. Вдосконалення системи підігріву палива в умовах низьких температур. *Вісник НТУУ*. Київ. 2021. №5. С. 80-87.
13. Савченко В.М., Романюк О.С. Електронні системи керування для дизельних двигунів сучасних автомобілів. Львів: Інжмаш, 2021. 270 с.

14. Сідоров А.О., Чернявський П.С. Пускові характеристики дизельних двигунів. *Автотехніка і запчастини*. 2021. №2. С. 10-15.
15. Brown, T., & Miller, S. Chemical Additives for Fuel Optimization in Cold Climates. *Fuel Chemistry Series*, 2019.
16. Johnson, M. Thermodynamics and Fluid Mechanics in Fuel Systems. 3rd ed., Elsevier, 2020.
17. Jones, R. Engine Insulation for Improved Cold-Weather Performance. *Thermal Engineering*, 2021.
18. Smith, J., & Johnson, K. Diesel Engine Cold Start and Performance in Low Temperatures. *Automotive Engineering Journal*, 2018.
19. Volvo Trucks. Technical Manual for FH and FM Series Trucks. Volvo. URL: <https://truckportal.volvo.com> (дата звернення 25.10. 2024).
20. White, F.M. Fluid Mechanics. 8th ed., McGraw-Hill, 2016.
21. Williams, P., & Anderson, R. Heat Transfer in Fuels: Paraffin Melting in Diesel Fuel under Low Temperatures. *Journal of Thermal Sciences*, 2020.
22. Петренко А.С., Герасименко О.В. Охорона праці в автомобільній галузі: Навчальний посібник. Харків: ХНАУ, 2019. 240 с.
23. Кравчук В.П., Литвиненко Р.М. Безпека праці в умовах експлуатації транспортних засобів. Львів: Інститут транспорту, 2020. 320 с.