

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи бакалавра

Галузь знань – 27 – Транспорт

Спеціальність – 274 Автомобільний транспорт

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

на тему: *«Дослідження та покращення методів пуску дизельних двигунів на автотракторній техніці в зимовий період»*

Шифр: ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ

Виконав студент 4 курсу, група АТ-20-1

Владислав ЛИСЮК

Керівник роботи к.т.н., доц.

Олег МАКОВКІН

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ

Олександр ДИХА

6 06 2024_р.

Хмельницький, 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Галузь знань 27 – Транспорт

Спеціальність – 274 Автомобільний транспорт

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Світньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Духа О.В.

2024 року

21 02

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лисюку Владиславу Валентиновичу

Прізвище, ім'я, по батькові

Тема проекту (роботи)

Дослідження та покращення методів пуску дизельних двигунів на втракторній техніці в зимовий період»

Рівень проекту (роботи) Маковкін Олег Миколайович к.т.н., доцент

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

Затверджено наказом університету від 15 лютого 2024р. № 8 додаток 29

Строк подання студентом проекту на кафедру 10 червня 2024 року

Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, ефективності, складанню і регулюванню вузлів паливної системи; вимоги з охорони праці безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз стану питання; 2 Розробка конструкції гальмівного стенда для дослідження працездатності вузлів паливної системи автомобіля; 3 Технологічний процес; 4 Розрахунок ефективності спроектованої конструкції

Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на айдах

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 01.03.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Пр
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>15.05.2024</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.05.2024</i>	
3	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>30.05.2024</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>2.06.2024</i>	
5	<i>Оформлення презентації бакалаврської роботи</i>	<i>5.06.2024</i>	
6	<i>Нормоконтроль магістерської роботи</i>	<i>9.06.2024</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>10.06.2024</i>	

Студент

Керівник проекту (роботи)

[Signature]
Підпис

[Signature]
Підпис

Владислав ЛИСЮК
Ініціали, прізвище

Олег МАКОВИЧ
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

У даній роботі досліджується проблема пуску дизельних двигунів на автотракторній техніці в зимовий період. Актуальність даної теми обумовлена необхідністю забезпечення надійності та ефективності роботи дизельних двигунів при низьких температурах.

У розділі 1 "Проблематика використання дизельних двигунів в умовах низьких температур" розглядається вплив низьких температур на роботу дизельних двигунів та необхідність розробки методів полегшення їх пуску в зимовий період.

У розділі 2 "Параметри палива" аналізується асортимент та склад дизельного палива, його основні експлуатаційні характеристики та низькотемпературні властивості. Також розглядається процес кристалізації н-парафінів та методи покращення низькотемпературних властивостей дизельного палива.

У розділі 3 "Робота паливної системи при низьких температурах" розглядаються різні методи підігріву палива, такі як підігрів палива відпрацьованими газами, від охолоджувальної рідини, використання теплообмінників на основі надлишкового палива, подача палива з автоматичним електропідігрівом, а також сучасні методи полегшення запуску двигунів взимку.

У розділі 4 "Методи розрахунку елементів паливної системи при низьких температурах" наведено умови розрахунку, розрахунок геометричних розмірів обігрівача дизельного палива та результати розрахунку параметрів підігрівача.





Отже, дана робота містить інформацію про використання дизельних двигунів в умовах низьких температур, параметри дизельного палива, роботу паливної системи при низьких температурах та методи розрахунку елементів паливної системи. Результати досліджень можуть бути корисними для розробників автотракторної техніки та операторів, які використовують цю техніку в умовах низьких температур.

Випускна кваліфікаційна робота складається з 71 сторінок, і містить у собі 16 ілюстрації, 2 таблиці, 13 джерел, 1 додаток.

Ключеві слова: ДИЗЕЛЬНІ ДВИГУНИ, АВТОТРАКТОРНА ТЕХНІКА, НИЗЬКІ ТЕМПЕРАТУРИ, ПУСК ДВИГУНІВ, ПАЛИВНА СИСТЕМА

ЗМІСТ

	ВСТУП	5
1	ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ В УМОВАХ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР	6
2	ПАРАМЕТРИ ПАЛИВА	18
2.1	Асортимент та склад дизельного палива	19
2.2	Основні експлуатаційні характеристики дизельного палива	22
2.3	Низькотемпературні властивості дизельного палива	26
2.4	Процес кристалізації n-парафінів і методи покращення низькотемпературних властивостей дизельного палива	28
3	РОБОТА ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ПРИ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ	37
3.1	Підігрів палива відпрацьованими газами	41
3.2	Підігрів палива від охолоджувальної рідини	43
3.3	Теплообмінники на основі використання з надлишкового палива	44
3.4	Подача палива з автоматичним електропідігрівом	45
3.5	Сучасні методи полегшення запуску двигунів взимку	50
4	МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕМЕНТІВ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ПРИ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ	58
4.1	Умова розрахунку	58
4.2	Розрахунок геометричних розмірів обігрівача дизельного палива	64
4.3	Результат розрахунку параметрів підігрівача	66
4.4	Висновок	67
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	69
	ДОДАТКИ	71

ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ				
Змк.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Разроб.		Лисюк		
Перевір.		Маковкін		
Н. Конпр.		Бабак		
Затверд.		Диха		
Дослідження та покращення методів пуску дизельних двигунів на автотракторній техніці в зимовий період				
		Лист.	Арк.	Акреслб
		4	71	
ХНУ АТ-20-1				

ВСТУП

Експлуатація автотракторної техніки з дизельними двигунами в зимовий період супроводжується великим споживанням палива та теплової енергії. Це пов'язано з тим, що при від'ємних температурах навколишнього середовища в дизельному паливі утворюються кристали вуглеводнів парафінового ряду, які накопичуються в вузьких місцях штуцерів та паливопроводів, забиваючи фільтри грубого та тонкого очищення. При цьому збільшується їх опір, що призводить, як правило, до розриву паперового елемента та роботи дизеля на неочищеному паливі. В результаті відбувається швидке виходження з ладу паливного насоса та форсунок, що в значній мірі визначає працездатність дизеля. Крім того, при від'ємних температурах ускладнюється запуск холодного дизеля.

В епоху зростаючої підтримки за кліматичні зміни, вимоги до автотракторних дизелів у зимовий період експлуатації стають все більш складними. Вивчення проблеми замерзання палива та пуску в холодну погоду привертає увагу вчених, які досліджують нові методи та технології для покращення ефективності та надійності дизельних двигунів.

Для руйнування кристалічних структур вуглеводнів перед запуском двигуна в зимових умовах використовується підігрів палива. Розрахунки показують, що при температурі повітря $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ на підготовку до запуску дизельного двигуна середньої потужності витрачається приблизно 1100 МДж теплової енергії. Така кількість тепла виділяється при повному згоранні 2,5 кг дизельного палива. При високих цінах на паливно-мастильні матеріали розробка питань щодо економії паливних та енергетичних ресурсів має першочергове значення для всіх суб'єктів господарювання.

Температура навколишнього середовища суттєво впливає на перебіг фізичних процесів, пов'язаних з кристалізацією парафінових вуглеводнів, конденсацією і розчиненням води в паливі, потужнісними, енергетичними та екологічними характеристиками двигуна, надійність та тривалість роботи паливного обладнання та двигуна в цілому.

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Тому дослідження у сфері обґрунтування критеріїв і розробки простих, економічних та довговічних приладів для запуску та підігріву дизельних двигунів в зимовий період експлуатації мають важливе практичне значення для різних галузей промислового та сільськогосподарського виробництва України.

1. ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ В УМОВАХ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР

Широке використання дизельних двигунів, які працюють тривалий час у зимовий період експлуатації за умов низьких температур, віддаленість цих зон від джерел постачання, складність постачання запасних частин та агрегатів вимагає значного підвищення надійності використовуваної техніки.

Досвід експлуатації машин підтверджує, що їхній рівень надійності суттєво залежить від клімату. Це стає особливо помітним у випадку, якщо машини або окремі їхні елементи працюють в умовах клімату, на який вони не розраховані. Дослідженнями [1] встановлено, що кількість відмов, інтенсивність зношування деталей в умовах зимової експлуатації техніки в три - п'ять разів вища, ніж при позитивній температурі навколишнього середовища. Вплив від'ємних температур на інтенсивність зношування деталей дизельного двигуна зафіксовано в роботах [2, 3, 4 та ін.]. Дослідженнями [5] встановлено, що зниження температури навколишнього повітря від 20 °С до -35 °С призводить до збільшення зносу двигуна у середньому на 50...60%. Знос гільз циліндрів дизеля під навантаженням при зменшенні температури від 0 °С до -20 °С зростає в 1,5...2,0 рази, а поршневих кілець - в 2...2,7 рази [6]. Складність підтримання оптимального теплового стану двигуна в зимовий період експлуатації, зниження температури рідини в системі охолодження призводить до зниження температури подаваного в циліндри паливно-повітряного заряду та

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

затримки його самозаймання. Зменшення температури охолоджувальної рідини в двигуні з 85 °С до 45 °С призводить до зниження ефективної потужності дизеля на 5-6% [7], знос дзеркала циліндра зростає в 4 рази (порівняно з зносом при нормальному тепловому стані).

Унаслідок складності підтримки оптимального теплового режиму двигуна відбувається зниження температури охолоджувальної рідини в системі охолодження, що призводить до падіння температури подаваного в циліндри паливно-повітряного заряду та затримки його самозаймання. Розхід палива збільшується на 6-7%. Низька температура охолоджувальної рідини сприяє формуванню смоляних та окисних речовин. У результаті різко зростає відкладення нагару, швидше зношуються поршні, поршневі кільця та стінки циліндрів. Знос дзеркала циліндрів також збільшується за рахунок вимивання шару змазки конденсованим паливом та водою. Порівняно зі зносом при нормальному тепловому режимі при зниженні температури охолоджувальної рідини до 55 °С знос зростає в 4 рази, до 40 °С - в 12 разів, до 30 °С - в 20 разів [7].

Зниження температури повітря від +20 °С до -37 °С викликає зменшення температури повітря у впускному колекторі з +21 °С до -31 °С. Впорскування палива з пониженою температурою в холодне повітряне середовище призводить до збільшення періоду затримки самозаймання. Це в кінцевому підсумку призводить до неповного згорання палива, жорсткої роботи двигуна, збільшення середнього індикаторного тиску та підвищення витрати палива. Так, під час експлуатаційних випробувань паливної системи автомобіля дизельною силовою установкою виявлено, що кількість димних викидів та експлуатаційна витрата палива досягають мінімуму при температурі палива у баці 36...37 °С. Перший показник збільшується у декілька разів, а другий зростає на 30...35% при зниженні температури палива до 0 °С [8].

Паралельно зі зниженням температури навколишнього середовища пропорційно збільшується кількість відмов двигунів та інших систем і

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механізмів транспорту. Практика показує, що найбільша кількість відмов дизелів (до 50%) відбувається внаслідок порушення роботи паливної системи. Це обумовлено тим, що її агрегати розташовані по всій довжині транспортного засобу і не мають системи підтримання оптимальної температури. Частина агрегатів (паливний насос високого тиску, фільтри тонкої і грубої очистки) знаходяться поруч з двигуном і нагріваються від нього, інші (паливний бак, всмоктуючий топливопровід) розташовані на значній відстані від двигуна і охолоджуються навколишнім повітрям.

Температура оточуючого повітря суттєво впливає на фізичні процеси, пов'язані з кристалізацією парафінових вуглеводнів, конденсацією та розчиненням води в паливі, на характеристики окремих агрегатів паливної системи, потужнісні характеристики двигуна, надійність та тривалість роботи паливного обладнання та двигуна в цілому.

Використання техніки з дизельним ДВЗ у зимовий період супроводжується великими втратами робочого часу, праці та матеріальних ресурсів на експлуатацію, обслуговування, ремонт і зберігання машин. Особливо помітно зростають простої та витрати праці, знос деталей та кількість відмов двигунів у період підготовки до запуску та самого запуску, тривалість якого при температурі нижче мінус 30 °С досягає 10...20% робочої зміни і більше. При низькій температурі змінюються експлуатаційні властивості палива та мастильних матеріалів, створюються небезпечні умови для роботи паливоподаючого апарату та електрообладнання. Збільшена в'язкість палива та масел ускладнює обертання двигуна при запуску та викликає підвищений знос його деталей.

Ефективність використання тракторів та автомобілів в значній мірі залежить від технічного стану найбільш складного і дорогоцінного агрегату - двигуна, довговічність і надійність роботи якого визначаються кліматичними умовами, навантаженням, швидкісними та температурними режимами роботи, якістю обслуговування та багатьма іншими факторами. Вплив цих факторів зростає з пониженням температури навколишнього

								Арк.
								8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ			

середовища. В умовах зимової експлуатації, особливо в період пуску-прогріву, збільшується кількість відмов двигунів, трудомісткість їх усунення та простої машин при підготовці двигунів до роботи. Достатньо відзначити, що простої машин через ускладнений пуск двигуна при температурі мінус 25...30 °С і нижче часто досягають 1,0...1,5 годин і більше. При цьому на пускових режимах збільшується інтенсивність зношування основних з'єднань, що знижує довговічність двигуна.

На першому етапі колінчастий вал обертається пусковою системою двигуна (подача палива вимкнена). Другий етап триває з початку стійкого його обертання пусковою системою до початку подачі палива в циліндри двигуна. Третій етап починається з моменту включення подачі палива і характеризується нестійкою роботою двигуна. Енергія, отримана від згорання палива, недостатня для збільшення частоти обертання колінчастого вала, яка коливається в межах 3...5 с⁻¹ (обертів в секунду). Відразу після включення подачі палива спостерігаються пропуски спалахів горючої суміші - до 40% від загальної кількості вприскувань палива в циліндри двигуна [11]. Кутова частота колінчастого вала змінюється в межах 150...200 хв⁻¹. Максимальний тиск згорання при першому спалаху досягає 8,5·10⁵ Н/м², потім знижується до (7...8)·10⁵ Н/м². Максимальне значення швидкості наростання тиску у процесі згорання (жорсткість) при першому спалаху досягає 3,1·10⁵ Н/м²град; середній тиск жорсткості становить 1,8·10⁵ Н/м²град [9].

Перехідний режим роботи включає в себе випромінювання енергії під час згорання палива, достатньої для прискорення обертання колінчастого вала з 4...5 с⁻¹ до максимального значення (режим холостого ходу) і самостійної роботи двигуна. Пропуски спалахів припиняються, рівномірно знижується максимальний тиск згорання. Вважається, що двигун перейшов у режим самостійної роботи, якщо кількість спалахів, віднесених до двох обертів колінчастого вала, досягла 75%. При роботі двигуна в режимі холостого ходу частота обертання колінчастого вала

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

коливається у вузьких межах, середнє значення максимального тиску згоряння практично рівне тиску кінця стиснення [8].

Низькі температури повітря та пов'язане з цим охолодження агрегатів та експлуатаційних матеріалів ускладнюють запуск двигуна, зменшують стабільність роботи окремих систем двигуна на всіх режимах. Труднощі запуску двигуна виникають через складність створення пускової частоти обертання колінчастого вала двигуна, погіршення умов для утворення суміші та запалення суміші. До загальних причин, які ускладнюють запуск холодних дизельних двигунів при низьких температурах, відносяться [7]:

Збільшення моменту опору обертанню колінчастого вала двигуна, що викликане підвищеною в'язкістю мастила, та зниження температури подачі повітря до двигуна призводять до пониження температури паливної суміші в кінці стиснення. Для успішного запуску дизеля необхідно досягнення температури в кінці такту стиснення в камері згоряння на рівні 350...400 °С. Наприклад, при частоті обертання колінчастого вала двигуна 190 обертів за хвилину і температурі навколишнього повітря 0 °С впорскування палива знижує температуру суміші в кінці такту стиснення на 130 °С.

Зниження температури в кінці такту стиснення через інтенсивний теплообмін зі стінками циліндрів призводить до зменшення середнього індикаторного тиску, що розвивається двигуном; збільшення витoku повітря через зазори в з'єднаннях деталей ЦПГ через повільне обертання колінчастого вала; підвищення в'язкості палива, утворення парафінів і погіршення розпилення його форсунками; погіршення працездатності акумуляторних батарей. Для забезпечення надійного запуску дизельного двигуна необхідно, щоб температура повітря в кінці стиснення була вище температури самозаймання палива. Температура самозаймання дизельного палива у розпиленому стані складає 400 °С, а температура повітря в кінці такту стиснення досягає 700 °С (за нормальних умов експлуатації). Для нагрівання повітря до вказаної температури необхідно стиснути його до $(300...350) \times 10^4 \text{ Н/м}^2$. Однак у холодну пору року навіть високий тиск не

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечує нагрівання повітря до необхідної температури в кінці такту стиснення. Температура повітряного заряду зимою знижується внаслідок дії ряду факторів.

Водночас, у циліндри двигуна надходить сильно охолоджене повітря з зовні, яке під час впуску не нагрівається від холодних гільз циліндрів.

Під час стиснення (при низькій частоті обертання колінчастого вала) відбувається велика витрата повітря через зазори між поршнем і гільзою циліндрів. Згідно з даними [1, 9 та ін.], при швидкості обертання колінчастого вала в межах 50...75 об/хв витрата повітря у середньому складає 24% (при ступені стиснення =16) від загального об'єму повітря, що надійшло в циліндри двигуна. При збільшенні кутової швидкості колінчастого вала до 200 об/хв витрата повітря через зазори в середньому знижується до 5%.

При запуску холодного двигуна, через посилений теплообмін між повітряним зарядом і стінками циліндра, підвищення температури стиснутого повітря сповільнюється, а, отже, погіршуються умови самозаймання палива. Крім того, впорскування холодного палива в камеру згоряння призводить до збільшення поверхневого натягу та кінематичної в'язкості крапель. Це впливає на те, що збільшується маса і кінетична енергія кожної краплі, зменшується загальна сила їх аеродинамічного гальмування. В результаті інтенсивність гальмування крапель зменшується, і лише невелика частина циклічної подачі опиняється у вагомому стані у факелі. Усе це призводить до того, що збільшується час на прогрівання, випаровування та запалювання палива, і як наслідок, відбувається порушення процесу горіння і підвищується жорсткість роботи двигуна. Пуск двигуна в холодну пору року ускладнюється ще тим, що температура самозаймання дизельного палива зростає зі зниженням тиску у камері згоряння. Наприклад, якщо при тиску 30 МПа температура самозаймання палива становить 200 °С, то при тиску 1 МПа вона досягає 400 °С [6].

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			11

Зимомою особливо складно запускати двигуни з електростартерами, оскільки погіршується працездатність акумуляторних батарей. В'язкість електроліту збільшується. Електроліт повільно проникає в пори активної маси пластин акумуляторних елементів, внаслідок чого корисний вихід акумуляторних батарей, особливо при розрядці струмами великої сили, наприклад при роботі стартера, значно зменшується. Експерименти з запуском двигуна при різних значеннях від'ємних температур (від мінус 16 до мінус 34 °С) показали, що вже при температурі електроліту мінус 16 °С в акумуляторах з експлуатаційним рівнем заряду (80% номінальної ємності) запуск підігрітого до 60 °С двигуна виявився неможливим через малі пускові оберти, що розвивалися стартером, і значну втрату ємності холодних акумуляторних батарей [5]. Великий вплив на процес запуску і стабільність параметрів робочого процесу дизельних двигунів в зимовий період справляють в'язкість і температура застигання палива, від яких залежить кількість і рівномірність подачі палива насосом високого тиску, якість його розпилення форсунками і утворення суміші в циліндрі. З падінням температури в'язкість дизельного палива підвищується, а через виділення кристалів парафінів хмарніє і навіть застигає, втрачаючи рухливість. Випавші кристали вуглеводнів забивають паливні фільтри та паливопроводи, що спочатку порушує, а потім повністю припиняє подачу палива. Фактори, що впливають на запалювання і згорання робочої суміші при запуску двигуна в зимових умовах, можуть бути розділені на ті, які можна контролювати під час експлуатації, і конструктивні, керування якими неможливо. Так, наприклад, якість роботи паливної системи залежить від виду палива, його цетанового числа, температури. У експлуатації на ці параметри можна впливати шляхом додавання легковогнезасних рідин, вибором палива з відповідним значенням цетанового числа, його підігріванням перед подачею в двигун.

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			12

При низьких температурах погіршується пропускна здатність фільтрів через їх забивання кристалами Н-алканів та кристалами льоду. Ці перешкоди також можуть бути усунуті шляхом обігріву паливних фільтрів.

Процеси впорскування, утворення суміші та горіння при низьких температурах

Умови утворення суміші в дизельному двигуні (з відбуванням від стиснення) є більш складними і менш сприятливими, ніж в карбюраторному двигуні. При цьому швидкість утворення робочої суміші в дизельному двигуні залежить від ряду факторів, найважливішими з яких є температура та щільність повітря в камері згорання, якість розпилення палива при впрыскуванні, випаровуваність палива. Вплив температури і щільності повітря полягає в наступному. Підвищення температури повітря викликає скорочення періоду затримки запалювання внаслідок прискорення нагрівання, випаровування та окиснення палива (рисунок 1.1). Температура в кінці такта стиснення визначається в першу чергу температурою в кінці такта впуску (рисунок 1.2), що свідчить про більшу доцільність попереднього розігріву повітря, що поступає в циліндри при запуску холодного дизельного двигуна.

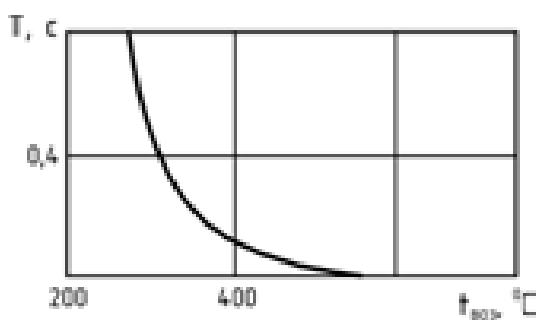


Рисунок 1.1. Затримка (за часом T) запалювання дизельного палива в залежності від температури стисненого повітря $t_{\text{пов}}$.

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			13

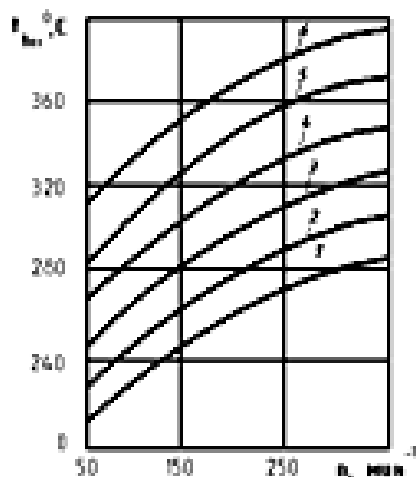


Рисунок 1.2. Залежність температури повітря $t_{\text{пов}}$ в кінці такта стиснення від частоти обертання колінчастого вала (ходу стиснення та ходу розширення): 1 - мінус 30 °С; 2 - мінус 20 °С; 3 - мінус 10 °С; 4 - 0 °С; 5 - 10 °С; 6 - 20 °С.

Температура і тиск у камері згоряння в кінці такта стиснення в більшій мірі залежать від частоти обертання колінчастого вала і пов'язаних з ними витоків повітря через непиткість кілець холодного двигуна. Так, при зміні частоти обертання колінчастого вала з 80 до 200 хв^{-1} температура і тиск в кінці такта стиснення збільшуються, а витoki повітря зменшуються приблизно в 2 рази.

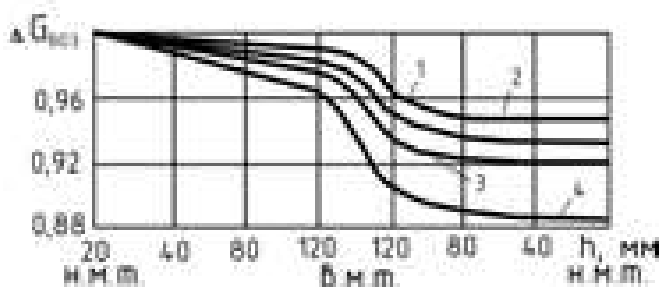


Рисунок 1.3. Витрати повітря $\Delta G_{\text{ВОЗ}}$ в циліндрі автомобільного дизельного двигуна при подвійному ході h поршня (ході стиснення та ході розширення) і при наступних частотах обертання колінчастого вала: 1 - 198 хвилин-1; 2 - 169 хвилин-1; 3 - 126 хвилин-1; 4 - 86 хвилин-1.

При зменшенні розміру крапель збільшується їхня кількість і загальна поверхня, з якої відбувається випаровування.

На період затримки запалювання робочої суміші великий вплив має цетанове число дизельного палива. Покращення пускових властивостей дизельних палив спостерігається при підвищенні їхнього цетанового числа до 60...65 одиниць. Однак при роботі дизельного двигуна найбільш ефективним виявляється застосування палив з цетановим числом до 55 одиниць, оскільки подальше підвищення дає невелике скорочення індукційного періоду.

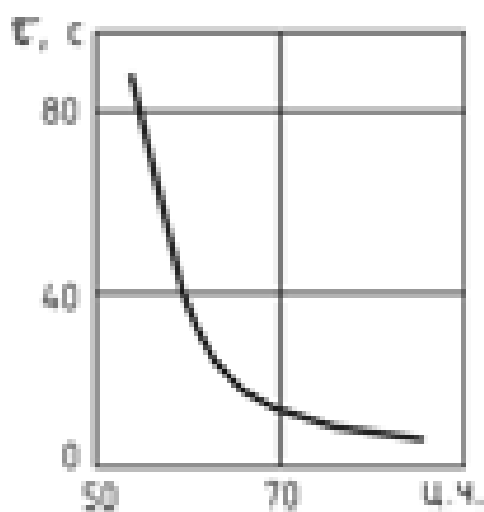


Рисунок 1.6. Вплив цетанового числа (Ц. Ч.) палива на час пуску двигуна τ .

Підвищення цетанового числа палива, як правило, пов'язане з збільшенням кількості нормальних парафінових вуглеводнів, які викидаються у вигляді кристалів при зниженні температури, сильно утруднюючи прокачуваність його до форсунок двигуна.

При всіх конструкціях камер згорання низькі температури зовнішнього повітря різко погіршують умови утворення суміші, ускладнюючи пуск двигуна і погіршуючи протікання процесів згорання при його роботі під час прогріву до номінальних температур. Це стало причиною того, що за останні роки розроблені конструкції двигунів, в яких

поєднуються методи утворення суміші, властиві дизельному двигуну, і методи запалювання, властиві карбюраторному двигуну, наприклад, запропоновано використовувати іскрове запалювання в камері з плівковим утворенням суміші.

При надуві двигуна збільшується густина, а часто і температура заряду в циліндрі, що призводить до покращення утворення суміші і прискорення запалювання суміші. Одночасно виникає необхідність суттєвого збільшення пробивної здатності паливного струменя внаслідок збільшення діаметра соплових отворів. Цей недолік особливо відчутний при запуску і роботі двигунів в умовах низьких температур, коли з підвищенням в'язкості палива погіршується його розпилення.

Запалювання робочої суміші в дизельному двигуні має багатоступінчастий ланцюговий характер. Центр запалювання розташований поблизу зовнішніх меж факела розпиленого палива, де зниження температури через випаровування менше, ніж по його вісі, а склад суміші сприятливий для запалювання. Виникнення центру запалювання відбувається за механізмом об'ємного запалювання, коли внаслідок швидкого стиснення суміші відбувається екзотермічна реакція. При цьому після періоду затримки запалювання спостерігається швидке саморозгонні хімічних реакцій (об'ємне запалювання), що супроводжується охопленням усього об'єму полум'ям.

При низьких температурах тривалість періоду затримки запалювання велика, процес згоряння палива затягується, неповнота згоряння призводить до викиду збільшеної кількості токсичних речовин.

У табл. 1.1 відображено вплив в'язкості дизельного палива на його витрату і димність відпрацьованих газів в результаті погіршення випаровування палива та зменшення повноти його згоряння.

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Таблиця 1.1.

Вплив в'язкості дизельного палива на його витрату

Кінематична в'язкість, сСт	7	9	15	16	40	49	65
g_e , г/кВт ч	332	334	338	348	354	428	446
Димність, умовні одиниці	77	79	82	84	85,6	95	98

Великі краплі, які не встигають випаровуватися в камері згорання, запалюються з великим запізненням і повільно догорають на такті розширення. Рідке паливо, що догорає на стінках камери згорання і днищі поршня, залишає на них вуглецеві відкладення; налетами покриваються і розпилювачі форсунок. У результаті цього погіршується теплообмін між сильно нагрітими деталями двигуна і охолоджувальною рідиною, що призводить до порушення утворення суміші палива. Для запуску холодного дизеля необхідне тонке розпилення палива, яке забезпечується кінематичною в'язкістю на вході в форсунку не вище $v=20$ сСт для середньооборотних і $v=25$ сСт для повільнооборотних дизелів.

2. ПАРАМЕТРИ ПАЛИВА

Параметри палива, що впливають на експлуатаційні якості двигуна в умовах низьких температур, обумовлені зміною його експлуатаційних та фізичних властивостей. Для забезпечення надійної та економічної роботи дизельного двигуна паливо повинно відповідати наступним вимогам:

добре прокачуватися для безперебійної та надійної роботи ТНВД (мати оптимальну в'язкість, необхідні низькотемпературні властивості, не містити води та механічних домішок);

забезпечувати тонке розпилення та добре утворення суміші, для чого необхідна оптимальна в'язкість та фракційний склад;

повністю згорати, не утворюючи сажових речовин, що необхідно для "м'якої" роботи двигуна (залежить від хімічного та фракційного складу палива та його в'язкості);

							Арк.
							18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ		

не викликати підвищеного утворення нагару на клапанах, кільцях та поршнях, закоксування форсунки та застрягання голки розпилювача (залежить від хімічного та фракційного складу палива, глибини та способів очищення);

мати хороші низькотемпературні властивості, що дозволяють працювати двигуну при від'ємних температурах (визначається температурою затемнення, при якій втрачається фазова однорідність палива; температурою початку кристалізації, при якій в паливі з'являються кристали, видимі невідблескненим оком; температурою застигання, при якій відбувається повна втрата рухливості палива)

2.1 Асортимент та склад дизельного палива

Дизельне паливо є одним з найважливіших продуктів, що виробляються нафтопереробною промисловістю. Воно представляє собою світло-коричневу олійнисту рідину з щільністю від 780 до 860 кг/м³, є продуктом прямої перегонки нафти і складається з середніх дистилятних фракцій нафти, які випаровуються в межах від 150...170° до 350...365 °С, легкі дизельні палива каталітичного і термічного крекінгу, коксування та гідрокрекінгу[2]. Дизельне паливо не потребує складних технологічних процесів для отримання і відноситься до наймасовіших нафтопродуктів, що застосовуються в сільському господарстві. Робочий процес в дизельному двигуні відрізняється від робочого процесу в карбюраторному двигуні тим, що зміسهутворення відбувається в кінці такту стиснення за дуже короткий проміжок часу. Якщо в карбюраторному двигуні зміسهутворення починається в карбюраторі і триває в циліндрі двигуна під час тактів всмоктування і стиснення, то в дизельному двигуні паливо вприскується безпосередньо в камеру згорання за кілька градусів до приходу поршня в верхню мертву точку. Паливо вприскується в камеру згорання зі стиснутим повітрям, що знаходиться під тиском 3,4...4,4 МПа і температурою 600...700 °С, випарюється, нагрівається до температури самозаймання та

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

запалювання. Цей процес триває лише 0,002...0,003 с (майже в 10 разів швидше, ніж в карбюраторному двигуні). У зв'язку з цим дизельне паливо повинно мати певні експлуатаційні властивості.

2.2 Основні експлуатаційні характеристики дизельного палива

Цетанове число, яке визначає високі потужнісні та економічні показники роботи двигуна.

Фракційний склад, що визначає повноту згоряння, димність та токсичність відпрацьованих газів двигуна.

В'язкість та щільність, які забезпечують нормальне подання палива, розпилення в камері згоряння та працездатність системи фільтрації.

Низькотемпературні властивості, що визначають функціонування системи живлення при від'ємних температурах навколишнього середовища та умови зберігання палива.

Ступінь чистоти, що характеризує надійність роботи фільтрів грубої та дрібної очистки та циліндро-поршневої групи двигуна.

Температура спалаху, що визначає умови безпечного застосування палива в дизелях.

Наявність сірковмісних сполук, ненасичених вуглеводнів та металів, що характеризує нагароутворення, корозію та знос [2].

Експлуатаційні властивості дизельного палива, так само як і будь-якого іншого моторного палива, визначаються передусім фізичними та хімічними властивостями складових його вуглеводнів, тобто хімічним складом. На якість палива впливає:

природа нафтової сировини, тобто хімічний склад сирової нафти даного родовища, яку взяли для переробки, та технологія переробки;

співвідношення компонентів, взятих при виготовленні цієї партії палива;

межі температур кипіння, в яких відбирали компоненти для партії палива;

								Арк.
								20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ			

ступінь очищення від небажаних складових частин палива (очищення від сірки, депарафінізація тощо);

вид і кількість введених у паливо присадок, якщо такі застосовувалися при виготовленні палива.

Експлуатаційні властивості дизельних палив оцінюються певними показниками, які можуть бути розділені на наступні групи:

Показники, необхідні для розрахунку економічності двигуна, теплового балансу та складу продуктів згоряння (груповий хімічний і елементарний склад палива, теплота згоряння); Показники, що визначають процес згорання в двигуні (фракційний склад, цетанове число); Показники, що характеризують подачу палива в двигуні, а також умови його зберігання та транспортування (в'язкість, температури помутніння, застигання та спалаху, а також наявність води та механічних домішок); Показники, від яких залежать знос, нагароутворення, корозія при тривалій роботі двигуна (коксовість 10%-ного залишку, вміст фактичних смол, кислотність, мінеральні речовини, вміст сірки та ін.), тобто показники, що в значній мірі впливають на моторесурс двигуна. Нижче наведено коротку характеристику та значення найважливіших показників якості дизельного палива. Цетанове число - основний показник запалюваності дизельного палива. Воно визначає запуск двигуна, жорсткість робочого процесу (швидкість наростання тиску), витрату палива та димність відпрацьованих газів. Чим вище цетанове число палива, тим нижче швидкість наростання тиску і тим менш жорстко працює двигун. Однак з підвищенням цетанового числа палива понад оптимального, яке забезпечує роботу двигуна з допустимою жорсткістю (менше 0,5 МПа/°К), погіршується його економічність у середньому на 0,2-0,3 % і димність відпрацьованих газів на одиницю цетанового числа зростає на 1-1,5 одиниць Хартріджа. Чим вище цетанове число палива, тим швидше відбудуться процеси попереднього окиснення його в камері згоряння, тим швидше запалиться суміш та запусниться двигун, що особливо важливо в умовах низьких температур.

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нижче наведено дані щодо впливу цетанового числа на час запуску двигуна: Цетанове число 53 38 Час запуску, с 3 45-50 Цетанове число палив залежить від їх вуглеводневого складу. Найвищими цетановими числами володіють нормальні парафінові вуглеводні, при цьому з підвищенням їх молекулярної маси воно зростає, а з розгалуженням - знижується. Найнижчі цетанові числа у ароматичних вуглеводнях, які не мають бічних ланцюжків; ароматичні вуглеводні з бічними ланцюжками мають більш високі цетанові числа.

Цетанові числа дизельних палив різних марок, вироблених вітчизняною промисловістю, характеризуються наступними значеннями: Марка дизельного палива Л 3(-35°C) 3(-45°C) А Цетанове число 47-51 45-49 40-42 38-40 Використання палив з цетановим числом менше 40 призводить до жорсткої роботи двигуна, а більше 50 - до збільшення витрати палива через зменшення повноти згоряння. Влітку можна використовувати палива з цетановим числом, що дорівнює 40, а взимку для забезпечення холодного запуску двигуна - з цетановим числом не менше 45. Цетанове число та низькотемпературні властивості палива - це взаємопов'язані величини: чим краще низькотемпературні властивості палива, тим нижче його цетанове число. Так, палива з температурою застигання нижче -45 °С характеризуються цетановим числом близько 40. Добрі низькотемпературні властивості досягаються кількома способами: суттєвим полегшенням фракційного складу (температура кінця кипіння 300-320 °С замість 360 °С), проведенням депарафінізації палива (вилучення н-парафінових вуглеводнів), переробкою нафто-ароматичних нафт з малим вмістом н-парафінових вуглеводнів. При цьому в усіх випадках знижується цетанове число. Встановлення оптимальних цетанових чисел має велике практичне значення, оскільки з углибленням переробки нафти в склад дизельного палива будуть включатися легкі газоїлі каталітичного крекінгу, коксування та фракції, що володіють відносно низькими цетановими числами. Бензинові фракції також мають низькі цетанові

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

числа, і додавання їх в дизельне паливо завжди помітно знижує цетанове число останнього. Європейським стандартом на дизельне паливо встановлено нижню межу цетанового числа - 48 одиниць. Характер процесу горіння палива в двигуні визначається двома основними показниками - фракційним складом та цетановим числом. На спалення палива більш легкого фракційного складу витрачається менше повітря, при цьому завдяки зменшенню часу, необхідного для утворення паливовоздушної суміші, процеси змішування протікають більш повно.

Палива виступають мастильним матеріалом для рухомих деталей паливного обладнання швидкісних дизелів, пар тріщин поршневих паливних насосів, запірних голок, штифтів та інших деталей. Мастильні властивості палив значно гірші, ніж у мастил, оскільки як в'язкість, так і вміст поверхнево-активних речовин (ПАР) у паливах менше, ніж їх вміст у мастилах. Протикорозійні властивості палив покращуються зі збільшенням вмісту ПАР, в'язкості та температури кипіння. У зв'язку з більш жорсткими вимогами до якості дизельних палив за вмістом сірки та переходом на виробництво екологічно чистих палив, гідроочищення їх проводять у жорстких умовах. При цьому з дизельних палив вилучаються сполуки, що містять сірку, кисень та азот, що негативно впливає на їх мастильну здатність. Найбільш реальним способом покращення мастильних властивостей дизельного палива є застосування протикорозійних присадок. Хімічна стійкість дизельного палива - це здатність протистояти окиснювальним процесам, що відбуваються під час зберігання. Ця проблема виникла з поглибленням переробки нафти та залученням до складу товарного дизельного палива середньодистилятних фракцій вторинної переробки нафти, таких як легкого газоїлю каталітичного крекінгу, вісбрекінга, коксування. Останні збагачені ненасиченими вуглеводнями, включаючи діолефіни та діциклоолефіни, а також містять значну кількість сірнистих, азотистих та смолистих сполук. Наявність гетероатомних сполук, особливо в поєднанні з ненасиченими

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вуглеводнями, сприяє їх окиснювальній полімеризації та поліконденсації, тим самим впливаючи на утворення смол та осаду. Найбільш сильними промоторами смоло- та осадкоутворення є азотисті та сірністі сполуки. Хімічна стійкість оцінюється за кількістю утвореного в паливі осаду (мг/100 мл) за ASTM D 2274. Легкого газойлю каталітичного крекінгу (ЛГКК) за хімічною стійкістю суттєво поступається прямогонним або гідроочищеним дистилятним фракціям.

На сьогоднішній день вітчизняною нафтопереробною промисловістю виробляється дизельне паливо за ДСТУ 305-82 трьох марок: Л - літнє, застосовуване при температурах навколишнього повітря 0 °С і вище; З - зимове, застосовуване при температурах до -20 °С (у цьому випадку зимове дизельне паливо повинно мати $t_z < -35$ °С і $t_{п} < -25$ °С), або зимове, застосовуване при температурах до -30 °С, тоді паливо повинно мати $t_z < -45$ °С і $t_{п} < -35$ °С), марки А - арктичне, температура застосування якого до -50 °С. Вміст сірки в дизельному паливі марок Л і З не перевищує 0,2 % - для І виду палива і 0,5 - для ІІ виду палива, а марки А - 0,4 %. Для задоволення потреби в дизельному паливі дозволяється за узгодженням з споживачем виробництво і застосування палива з температурою застигання 0 °С без нормування температури помутнення. Відповідно до ДСТУ 305-82 прийнято наступне умовне позначення дизельного палива: літнє паливо замовляють з урахуванням вмісту сірки і температури спалаху (Л-0,2-40), зимове - з урахуванням вмісту сірки і температури застигання (З-0,2-мінус 35). У умовне позначення на арктичне дизельне паливо входить лише вміст сірки: А-0,2. Дизельне паливо (ДСТУ 305-82) отримують компаундуванням прямогонних і гідроочищених фракцій у відношеннях, що забезпечують вимоги стандарту щодо вмісту сірки. У якості сировини для гідроочищення часто використовують суміш середньодистилятних фракцій прямої перегонки і вторинних процесів, частіше прямогонного дизельного палива і легкого газойлю каталітичного крекінгу. Вміст сірки в прямогонних фракціях залежно від перероблюваної нафти коливається в межах 0,8-1,0 %

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

(для сірковмісних нафт), а вміст сірки в гідроочищеному компоненті - від 0,08 до 0,1. Дизельне експортне паливо (ТУ 38.401-58-110-94) - виробляють для поставок на експорт, вміст сірки 0,2 %. Виходячи з вимог до вмісту сірки, дизельне експортне паливо отримують гідроочищенням прямогонних дизельних фракцій. Для оцінки його якості за вимогою замовників встановлюють дизельний індекс (а не цетанове число, як прийнято ДСТУ 305-82). Крім того, замість визначення вмісту води і коефіцієнта фільтруваності експрес-методом встановлюють прозорість палива при температурі 10°C.

Екологічно чисте дизельне паливо виробляють за ТУ 38.1011348-89. Технічні умови передбачають випуск двох марок літнього (ДЛЕЧ-В і ДЛЕЧ) і однієї марки зимового (ДЗЕЧ) дизельного палива з вмістом сірки до 0,05 % (вид I) і до 0,1 % (вид II). З урахуванням посилення вимог до вмісту ароматичних вуглеводнів введено норму на цей показник: для палива марки ДЛЕЧ-В - не більше 20 %, для палива марки ДЗЕЧ - не більше 10 %. Екологічно чисті палива виробляють гідроочищенням дизельного палива, допускається використання в сировині гідроочищення дистилятних фракцій вторинних процесів. Міське дизельне паливо (ТУ 38.401-58-170-96) призначене для використання в м. Москві. Основна відмінність міського дизельного палива від екологічно чистого - покращеність якості завдяки використанню присадок (літом - антидимної, зимою - антидимної і депресорної).

Додавання присадок до міського дизельного палива зменшує димність і токсичність відпрацьованих газів дизелів на 30-50%. Як антидимної присадки можуть використовуватися вітчизняна ЕФАП-Б та іноземна Любризол 8288, які допущені до використання. Активною речовиною цих продуктів є барій. Депресорні присадки, які поліпшують низькотемпературні властивості палива, переважно представляють собою сополімери етилену з вінілацетатом іноземного виробництва. Європейський стандарт EN 590 діє в країнах Європейського економічного

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			25

співтовариства з 1996 року. Стандарт передбачає випуск дизельного палива для різних кліматичних регіонів. Загальні вимоги до дизельного палива включають в себе: температура вспишки - не нижче 55 °С, коксуємість 10%-ного залишку - не більше 0,30 %, зольність - не більше 0,01 %, вміст води - не більше 200 ppm, механічні домішки - не більше 24 ppm, корозія мідної пластинки - клас 1, стійкість до окислення - не більше 25 г осаду/м3. Для районів з помірним кліматом виготовляють 6 марок дизельного палива: А, В, С, D, Е і F з максимальною температурою фільтруваності +5, 0, -5, -10, -15 і -20 °С відповідно. У 1996 році в Європі були введені обмеження на вміст сірки в дизельних паливах - не більше 0,05 %. Такі вимоги відповідають вітчизняним ТУ 38.1011348-89. Зимове дизельне паливо з депрессорними присадками. З 1981 року виробляють зимове дизельне паливо марки ДЗп за ТУ 38.101889-81. Воно отримується на базі літнього дизельного палива з $t_{п} = -5$ °С. Додавання депрессорної присадки знижує максимальну температуру фільтруваності до -15 °С, температуру застигання до -30 °С і дозволяє використовувати літнє дизельне паливо в зимовий період часу при температурі до -15 °С. Для використання в районах з холодним кліматом при температурах -25 і -45 °С виробляють палива за ТУ 38.401-58-36-92. Згідно з технічними умовами отримують дві марки палива: ДЗп-15/-25 (базове дизельне паливо з температурою помутнення -15 °С, товарне - з максимальною температурою фільтруваності -25 °С) і арктичне дизельне паливо ДАп-35/-45 (базове паливо з температурою помутнення -35 °С, товарне - з максимальною температурою фільтруваності -45 °С).

2.3 Низкотемпературні властивості дизельного палива

До низкотемпературних характеристик палива відносять температуру його помутнення та початку кристалізації. У склад дизельного палива входять парафінові вуглеводні, які при зниженні температури перш за все починають переходити у твердий стан. Нижній температурний предел

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			26

можливого використання палива характеризується температурою помутнення, при якій порушуються його фазова однорідність і прозорість, з'являються дрібні кристалики, пухирці. При помутненні паливо не втрачає текучості, але розміри мікрокристалів не дозволяють їм проходити через фільтри тонкої очистки, в результаті чого подача палива припиняється. Температура початку кристалізації зазвичай на 10 °С нижче температури помутнення. Кристалізація супроводжується втратою рухливості палива, що ускладнює його використання в двигуні та перекачування з одного резервуара в інший. Температура застигання визначає умови складського зберігання палива - умови застосування палива, хоча на практиці відомі випадки використання палива при температурах, що наближаються до температури застигання. Для більшості дизельних палив різниця між T_p та T_z становить 5-7 °С. У випадку, якщо дизельне паливо не містить депресорних присадок, вона дорівнює або на 1-2 °С нижче T_p . Для палив, що містять депресорні присадки, ця різниця становить 10 °С і більше нижче T_p . Ще зовсім недавно здавалося, що низкотемпературні властивості дизельного палива достатньо характеризуються двома параметрами - температурою помутнення і температурою застигання, однак з експлуатаційної точки зору ця характеристика палива явно необ'єктивна. При перекачуванні палива під тиском кристалічна структура парафінів механічно руйнується, і паливо може набути властивості текучості при температурах нижче температури застигання. Наприклад, дизельне паливо з температурою застигання мінус 30 °С в певних умовах прокачувалося при мінус 50 °С. Зараз в стандарти багатьох країн введено ще один параметр - предельна температура фільтруваності ПТФ і розроблена методика її визначення. Для країн, що входять до НАТО, розроблена єдина військова специфікація на дизельні палива, в якій для оцінки низкотемпературних властивостей передбачена лише предельна температура фільтруваності. Ця температура демонструє здатність палива протікати через стандартний фільтруючий елемент за точно визначених умов. Вона в більшій мірі

						Арк.
					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеризує низькотемпературні властивості палив щодо реальних умов його використання і особливо зручна при порівнянні різних партій палива, а також при порівнянні здатності присадок змінювати форму та розміри кристалів парафіну. Повернене паливо, що виливається у бак, при раціональному розміщенні виливної та забірної трубок сприяє подачі до фільтру підігрітого палива. Але при дуже низьких температурах цього може бути недостатньо для розчинення утворених кристалів парафіну. Варто також нагадати, що утворені при певній температурі кристали розчиняються при значно вищій температурі: "м'який" парафін плавиться при 42...45 °С, "твердий" - при 54...57 °С, а "озокерит" - при 78...80 °С. Крім того, при запуску двигуна в бак виливається, звісно, холодне паливо.

Для забезпечення потрібних температур помутнення і застигання зимові палива отримують полегшенням фракційного складу. Так, для отримання дизельного палива з $t_3 = -35$ °С і $t_n = -25$ °С потрібно знизити температуру кінця кипіння палива з 360 до 320 °С, а для палива з $t_3 = -45$ °С і $t_n = -35$ °С - до 280 °С, що призводить до зниження відбору дизельного палива з нафти з 42 до 30,5 і 22,4 % відповідно. На сьогоднішній день до стандарту на дизельні палива (ДСТУ 305-82) введені лише два показники, які характеризують низькотемпературні властивості дизельних палив - температура застигання T_3 і температура помутнення T_n . Показник - предельна температура фільтруваності T_f , як характеризуючий низькотемпературні властивості дизельних палив, включений поки що лише в ТУ 38.101889-81 на паливо дизельне літнє з депрессорною присадкою для районів помірного кліматичного поясу. Згідно з ДСТУ 305-82 для палива без депрессора низькотемпературні властивості регламентуються за t_3 і t_n . Різниця не повинна перевищувати 10 °С.

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Процес кристалізації н-парафінів і методи покращення низькотемпературних властивостей дизельного палива

Складність розробки ефективної системи захисту топливної апаратури дизелів від парафінів полягає, в першу чергу, у різноманітності групового складу дизельного палива, який цілком залежить від хімічного складу вихідної нафти та способів її переробки. Груповий склад палива визначається групами (класами) входящих в них вуглеводнів. У випадку дизельного палива в склад палива входять всі основні групи вуглеводнів, що присутні в нафті (алкани, циклани, ароматичні вуглеводні), а також ненасичені вуглеводні (олефіни та діолефіни), які утворюються при переробці нафти. При зниженні температури виділяється з палива тверда фаза, яка представляє собою складну суміш, в склад якої входять переважно вуглеводні парафінового ряду (н-алкани та ізоалкани), що відрізняються структурою та молекулярною масою. Крім того, тверда фаза може включати нафтеніві вуглеводні від 1 до 3 колець в молекулі і мати довгі бічні ланцюги як нормального, так і ізостроєного типу, а також ароматичні вуглеводні з різним числом колець в молекулі, різною довжиною і структурою бічних ланцюгів, тобто викидана в паливі при низьких температурах тверда фаза не менш складна, ніж структура самого палива.

Фізико-хімічні властивості парафінових вуглеводнів, що відповідають за температури плавлення дизельних палив, залежать від структури вуглеводнів та їх молекулярної маси. Так, для н-алканів з ускладненням структури молекул, а отже, з збільшенням молекулярної маси, температура кипіння $t_{\text{кип}}$ і плавлення $t_{\text{пл}}$ вуглеводнів підвищується. Наприклад, для н-декану ($C_{10}H_{22}$) температури $t_{\text{кип}} = 174,1$ і $t_{\text{пл}} = -29^{\circ}C$, а для н-генойкозана ($C_{21}H_{44}$) $t_{\text{кип}} = 358,4$ і $t_{\text{пл}} = +40^{\circ}C$. Однак для інших типів температури плавлення вуглеводнів однієї і тієї ж молекулярної маси в залежності від структури коливаються в дуже широких межах; в ряді випадків температура плавлення високомолекулярних вуглеводнів нижче, ніж низькомолекулярних, що свідчить про залежність температури

									Арк.
									29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ				

плавлення вуглеводнів від поляризованості та симетрії їх молекул [3]. Вуглеводороди з несиметричною розгалуженою структурою характеризуються низькою температурою кристалізації, а в деяких випадках взагалі не здатні кристалізуватися. Симетрія молекул і простота їх структури сприяють утворенню кристалічних структур і підвищенню температури плавлення вуглеводнів, оскільки чим більше симетрична молекула, тим більше способів побудувати з неї кристалічну решітку. При цьому правило молекулярної маси може бути далеко правилом симетрії.

Фотографування процесу парафінізації літнього дизельного палива з 140-кратним збільшенням в діапазоні температур $-4...-15^{\circ}\text{C}$ на мікроскопі "Біолам" показало, що процес кристалізації починається при температурі -4°C з виділенням окремих зародків кристалів, які знаходяться на невеликій відстані один від одного. У діапазоні температур $-4...-7^{\circ}\text{C}$, тобто при температурі, що визначає помутнення дизельного палива, відбувається інтенсивний ріст кристалів, утворення нових кристалічних утворень, їх зближення один до одного, однак кристали парафінів знаходяться у рухливому стані, оскільки між ними ще знаходиться рідке паливо. При температурі $-8, -9$ і особливо -10°C окремі кристали парафінів починають ущільнюватися, утворюючи кристалічну решітку, яка заповнює весь об'єм дизельного палива. При температурах $-11...-13^{\circ}\text{C}$, що наближаються до температури застигання палива, кристали парафінів щільно укладаються в кристалічну решітку, в результаті чого дизельне паливо втрачає рухливість і при таких температурах неможливо забезпечити його подачу до насоса високого тиску. Подальше зниження температури палива до -15°C призводить до ущільнення кристалічної решітки, дизельне паливо повністю застигає, запуск і експлуатація дизелів стають неможливими без спеціальних підігрівачів, що забезпечують розігрів палива і його прохід через фільтри грубої і тонкої очистки. Аналіз температур плавлення вуглеводнів дизельного палива показує, що процес парафінізації відбувається безперервно, тобто при зниженні температури плавлення

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відбувається послідовне затвердіння вуглеводнів при досягненні температури їх плавлення і насичення палива кристалами парафінів. При цьому з пониженням температури спочатку викидаються високоплавкі вуглеводні, на кристалічній решітці яких послідовно кристалізуються вуглеводні з меншою температурою плавлення, що містять менше атомів в молекулі [9]. Для експериментальної перевірки цього припущення на спектрофотометрі СФ-26 були зняті коефіцієнти пропускання для літнього дизельного палива (ДСТУ 305-82) в області спектра від 700 до 1000 нм. При цьому в монохроматичний потік випромінювання по черзі вводився контрольний зразок (паливо при температурі від +20°C) і вимірювані зразки (паливо з температурою від -20°C). При введенні контрольного зразка значення світлового потоку приймалося за 100% пропускання. При введенні вимірюваного зразка показання вимірювального приладу відповідало величині коефіцієнта пропускання в %.

Для відповідності вимогам щодо температури застигання зазвичай стараються або готувати дизельне паливо з малопарафінових сортів нафти, які дають дистилати з достатньо низькими температурами застигання, або знижують кінець кипіння дизельного палива, щоб зменшити вміст кінцевих фракцій з найвищими температурами застигання. Однак такі шляхи покращення низькотемпературних властивостей палива значно зменшують їх ресурси.

Переважна більшість промислових процесів депарафінізації базується на властивості парафінів зменшувати при охолодженні розчинність у різних розчинниках, включаючи нафтопродукти, виділяючись при цьому з розчину у вигляді кристалічних утворень, які відокремлюють від розчину в більшості випадків або фільтруванням, або центрифугуванням. Такий метод відомий як депарафінізація кристалізацією.

Іншою властивістю парафіну, яка використовується при депарафінізації, є його здатність утворювати з деякими речовинами тверді комплекси, що не розчиняються у нафтопродуктах. У якості речовин, що

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

утворюють з парафінами нерастворні комплекси, на даний момент застосовується карбамід (уреа), і цей метод відомий як карбамідна депарафінізація. Однак видалення твердих вуглеводнів вищезазначеними методами зменшує вихід дизельного палива і призводить до зниження його цетанового числа, що погіршує запалюваність палива. Крім того, при карбамідній депарафінізації повне видалення високомолекулярних вуглеводнів не досягається. При цьому вимагана температура застигання для зимових сортів палива (-35°C) забезпечується, але температура помутнення знижується лише до -10°C. Таким чином, при виробництві зимових сортів палива доводиться прибїгати до компромісу між двома важкоздійснюваними властивостями палива: низькою температурою помутнення і низькою температурою самозаймання.

Третім принципом депарафінізації є використання деяких розчинників, які по-різному розчиняють низькозастуджуючі і високозастуджуючі компоненти нафтопродуктів, що дозволяє вилучати низькозастуджуючі компоненти екстрагуванням такими розчинниками. Цей процес отримав назву екстрадіційна депарафінізація.

Четвертим принципом депарафінізації є здатність сорбентів вибірково адсорбувати з нафтового сировини або застигаючі, або низькозастуджуючі його компоненти. Так активований вугіль здатний адсорбувати застигаючі компоненти (парафіни). Молекулярні сита з цеоліту типу MgA здатні селективно вилучати з палива нормальні парафінові вуглеводні, які випаровуються в межах 200...320°C.

Один з перших промислових процесів виділення н-парафінів з вуглеводневих сумішей за допомогою адсорбції на цеолітах (процес молекс) був розроблений фірмою "ЮОП" США в 1959 році. Цільовим продуктом цього процесу є н-парафіни C10-C14, які в подальшому використовуються як продукти синтезу біологічно розкладаємої мийних засобів. Процес молекс дозволяє виділяти н-парафіни до C22 концентрацією не менше 96% при ступені вилучення н-парафінів з

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

керосино-газойлевих прямогонних гідроочищених фракцій, які випаровуються до 330°C, приблизно 95...98%.

Фірма "Юніон Карбайд" - основний постачальник синтетичних цеолітів за кордоном - розробила процес ізосив для депарафінації бензинових і керосиново-газойлевих фракцій, що містять вуглеводні до C22. Процес ізосив дозволяє отримати н-парафіни C4-C22 концентрацією до 99% при високому ступені вилучення з сировини (до 97...98%).

Для депарафінації нафтопродуктів за кордоном розроблені також процеси фірми "Бритіш Петролеум", "Ессо Рисерч", вакуумний процес фірми "Линда", процес фірми "Тексако" та інші.

Починаючи з 1953 року, широкі дослідження в області розробки процесів виділення н-парафінів з нафтяних фракцій на цеолітах ведуться в ГрозНІІ.

Для парафінації літніх сортів палива також застосовується метод каталітичної обробки - процес гідрокрекінгу - гідродізомеризація, який проводиться в одному етапі на серостійкому каталізаторі, що містить галогени, або в два етапи - глибока гідроочистка і гідродізомеризація. У одноетапному процесі вихід палива з температурою помутнення -25°C і застигання -35°C складає 85%. Вихід палива при двоетапній очистці становить близько 70%, але паливо має низькі температури помутнення - 35°C і застигання -45°C.

При експлуатації автотракторної техніки в умовах низьких температур оточуючого повітря, в разі відсутності зимових сортів палива широко застосовується розведенням бензином, керосином дизельних палив марки "Л". Фізична суть цього методу - підвищення розчинності і зниження концентрації парафінів в паливі, що призводить до зниження температури його помутнення і застигання.

Згідно з ДСТУ 18499-73 допускається застосування суміші літнього дизельного палива і освітлювального керосину, (що забезпечує більш м'яку роботу дизелів). Для практичного застосування рекомендується

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

використовувати: при температурі зовнішнього повітря до мінус 20 °С - суміш з 60 % дизельного літнього палива і 40% освітлювального керосину; при температурі від мінус 20 до мінус 30 °С - суміш з 40 % дизельного палива і 60% керосину. Суміш з 50 % дизельного палива і 50% керосину також забезпечує нормальну роботу дизелів при температурі зовнішнього повітря до мінус 37 °С.

При температурі повітря від мінус 20 до мінус 30 °С до зимового дизельного палива слід додавати 10 % керосину, а в діапазоні температур від мінус 30...35 °С - до 25 % освітлювального керосину. Вважається, що додавання 25 % освітлювального керосину знижує температуру застигання на 8...12 °С. Часом в заводських інструкціях є вказівки на те, що додавати в дизельне паливо більше 30 % керосину не слід через погіршення запуску і збільшення жорсткості роботи двигуна. Ця вказівка відноситься до тракторного керосину. Слід пам'ятати, що в'язкість суміші дизельного палива з керосином в більшій мірі знижується при низькій температурі і в меншій - при підвищеній. При нагріванні дизельного палива від 0 до 80 °С в'язкість знижується на 25...30 %, а при нагріванні його сумішей з керосином в таких же межах - на 15...25 %.

У північних районах Західної Європи та Канади практикується додавання до дизельного палива керосину з маслом моторним у зимовий період. Проте додавання тракторного керосину до дизельного палива спричиняє підвищене утворення коксу та відкладення на дюзах форсунок, знос циліндро-поршневої групи, погіршення роботи паливної апаратури та збільшення споживання палива.

Застосування літнього дизельного палива при низьких температурах можливо шляхом його змішування з авіаційним паливом, наприклад, Т-1. Так, при додаванні 25% палива Т-1 температура застигання літнього дизельного палива знижується на 8-12 °С, а температура помутнення - на 2-3 °С.

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Проте при змішуванні високозастуджувального дизельного палива з низькозастуджувальним температури початку помутнення та застигання отриманих сумішей не підкоряються правилу адитивності, а їх значення (особливо температура початку помутнення) зміщується в бік високозастуджувального компонента. Тому для достатньо сильного зниження температур помутнення та застигання дизельного палива необхідно додавати велику кількість низькозастуджувального компонента (до 80%).

Особливо небажаною в експлуатації є змішування літніх і зимових сортів дизельних палив, оскільки це суттєво погіршує їх експлуатаційні властивості не лише через високі температури помутнення та застигання, а й через різке збільшення в'язкості при від'ємних температурах. Змішані палива непридатні для роботи при температурі нижче мінус 5 °С, навіть у випадках, коли суміш містить значну кількість зимового палива. Наприклад, якщо змішати літнє паливо з температурою помутнення мінус 9 °С з зимовим паливом (температура помутнення мінус 31 °С), температура помутнення цієї суміші може підвищитися до -6...-8 °С.

Дуже перспективним способом поліпшення низькотемпературних властивостей дизельного палива є додавання присадок-депресантів. Призначення депресорних присадок - зниження температури застигання (ТЗ) та максимальної температури фільтруваності (МТФ) дизельних палив. В основному вони застосовуються на НПЗ при виробництві стандартних палив, але можуть бути використані і споживачем для поліпшення низькотемпературних властивостей палив, які вже є в наявності. Останнє є більш безпечним, ніж розведення палива керосином чи бензином. Варто зауважити, що депресори не впливають на температуру помутнення палива (Тп), яка регулюється стандартами. Це означає, що депресори запобігають не утворенню кристалів парафінів, а лише їх зростанню. При тривалому зберіганні палив утворені дрібні кристали осідають, і в результаті утворюються два шари: верхній - світлий і нижній - помутнілий,

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			35

збагачений парафінами. Розшарування палив не може бути запобіжено додатками депресорів. Перша синтетична депресорна присадка для олів "Paraflow", отримана ще у 1931 році, залишається широко застосовуваною й до цього часу. Після того, як було виявлено (в результаті численних випробувань в умовах низьких температур палив з депресорними присадками), що не температура помутнення, а такі показники, як температура текучості і прокачуваності палива, максимальна температура фільтруваності є визначальними в рішенні питання використання палив при низьких температурах, в СРСР і за кордоном почали інтенсивно розвиватися дослідження по синтезу депресорних присадок до дизельних палив. Такі присадки широко представлені на світовому ринку відомими зарубіжними фірмами БАСФ, ХЕХСТ, ЕКСОН, ШЕЛЛ, ЛУБРИЗОЛ та іншими. Проте в Росії та інших країнах СНД масштабне промислове виробництво присадок до дизельних палив до цього часу відсутнє, незважаючи на зростаючу потребу в них.

Численні вітчизняні дослідження, проведені, починаючи з середини 70-х років, по розробці присадок різного функціонального призначення до дизельних палив у більшості випадків не були доведені до впровадження. Так, організаціям промислового виробництва розроблених в ІНІ НП ефективних депресорів на основі сополімерів етилену з вінілацетатом (типу ВЕС) завадили технологічні труднощі, що виникають при використанні високого тиску (вище 150 МПа) та температур (вище 150 °С).

Асортимент депресорів, допущених в Росії до застосування в дизельних паливах, включає чотири вітчизняні (вважаючи за одну присадку ВЕС-238 та її модифікацію Поліпрен) та кілька зарубіжних присадок.

З наведеного огляду видно, що на сьогоднішній день, незважаючи на різноманітні методи покращення низькотемпературних властивостей дизельних палив, дана проблема залишається нерозв'язаною як в вітчизняній, так і в світовій практиці експлуатації дизельних двигунів. Проблема покращення низькотемпературних властивостей дизельного

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

палива як на стадії його виробництва, так і на стадії його споживання автотракторними двигунами потребує всебічних подальших досліджень. Тому, на нашу думку, на сьогоднішній день необхідно зосередити зусилля на створенні умов, які пом'якшують негативний вплив зовнішніх факторів як на роботу агрегатів паливної системи, так і на властивості дизельного палива.

3. РОБОТА ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ПРИ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

При роботі паливної системи дизельних двигунів у низьких температурах виникають особливості, які можуть погіршувати їх ефективність та надійність. Однією з причин цього є викидання парафіну в дизельне паливо, що може забивати фільтри та підвищувати їх опір, що в кінцевому підсумку може призвести до розриву фільтрів. Робота дизеля на неочищеному паливі може швидко вивести з ладу паливний насос та форсунки, що в основному визначає його працездатність.

У зв'язку з цим, під час експлуатації машин в зимовий період кількість відмов збільшується втричі-всім разом порівняно з літнім періодом, зростає витрата палива, збільшуються непродуктивні втрати часу та експлуатаційні витрати. Під час роботи дизельних двигунів в зимових умовах температура палива в баці, грубих (ФГО) та тонких (ФТО) фільтрах, а також в головці паливного насоса (ТНВД) змінюється в достатньо широких межах. Стендовими випробуваннями встановлено, що з пониженням температури навколишнього повітря від 20 °С до мінус 37 °С температура в головці насоса двигуна Д-37 М знижується від 50-55 °С до 0-мінус 2 °С. У реальних умовах експлуатації тракторів, при температурі навколишнього повітря мінус 26 °С, температура палива в головці насоса становить 2 °С (для трактора МТЗ-80), а при температурі 25 °С - досягає 75 °С (трактор ДТ-75). Холодне паливо, яке потрапляє в фільтр тонкої очистки

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

та головку високого тиску паливного насоса, нагрівається в основному за рахунок тепла, що випромінюється двигуном.

При експлуатації тракторів в умовах від'ємних температур найбільш вразливим місцем системи живлення двигуна є ділянка від паливного бака до фільтра грубої очистки. Тут паливо подається самотеком або під впливом розрідження, створеного підкачуючим насосом. У багатьох літературних джерелах відзначається, що при експлуатації дизелів в зимових умовах температура палива в паливному баку практично така ж, як і температура навколишнього повітря. Встановлено, що після стоянки трактора в теплому гаражі, нагрітому дизельним паливом, тепла вистачає для нормальної роботи двигуна при температурі повітря мінус 25 °С лише на 1-1,5 години. Подальша різниця у температурі палива та навколишнього повітря не перевищує 3 °С. У цьому випадку, якщо температура навколишнього середовища нижче температури затемнення та замерзання палива, то його однорідність порушується через утворення кристалів парафінових вуглеводнів. Виділення з палива кристалів парафінових вуглеводнів (Н-алканів) у вигляді твердої фази призводить до появи аномальної в'язкості, яка зростає з пониженням температури.

Експлуатаційні випробування показали, що автомобілі з дизельними двигунами американського та західноєвропейського виробництва перестають нормально функціонувати при температурі навколишнього середовища на 5-10 °С нижче температури затемнення палива; в 47% це стається через забивання паливних фільтрів кристалами твердих вуглеводнів, а в 53% - через замерзання палива в паливопроводах.

Проблема захисту топливної апаратури, зокрема фільтрів грубої і тонкої очистки від забивання парафінами в зимовий період експлуатації, залишається невирішеною як в вітчизняному, так і в світовому двигунобудуванні.

Обмеженням застосування дизельного палива при низьких температурах навколишнього повітря є температура, при якій починається

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забивання фільтрів з сіткою 45 мкм. Для європейських країн ця температура навіть для зимових сортів палива невисока і становить від -9 до -20 °С. На ринку європейських країн дизельне паливо для автомобільних дизелів постачається з температурою затемнення від +3 до -10 °С і температурою виходу з ладу паливного фільтра через заповнення парафіном від -8 до -15 °С. Варто відзначити, що метод визначення температури предельної фільтруваності дизельних палив стандартизований у ряді країн.

При використанні дизелів в умовах низьких температур у країнах СНД передбачено застосування зимових і арктичних дизельних палив з температурою застуджування відповідно -35 °С і -55 °С з масовою часткою парафінів у паливі 53%. Однак температура виходу з ладу паливного фільтра через заповнення його парафіном для цих палив не встановлюється через те, що вітчизняний ДСТУ не передбачає визначення цього показника.

Актуальність проблеми покращення низькотемпературних характеристик дизельного палива зростає у зв'язку з наявністю різних кліматичних зон, що відрізняються зміною температури як протягом року, місяця, так і протягом одних доби.

Температура навколишнього середовища є величиною випадковою, змінюваною в широкому діапазоні в часі та просторі. У зв'язку з цим, для характеристики клімату за температурою приймають середнє значення за добу, місяць та рік.

При вирішенні питань, спрямованих на покращення низькотемпературних властивостей палива, важливо враховувати коливання температур протягом не лише сезону чи місяця, а й доби. Найвищі температури відзначаються в 14-15 годин, а найнижчі - в 7-8 годин, тобто приблизно в період підготовки до запуску та запуску трактора. Суточна амплітуда змінюється в широких межах від 3 до 15 °С, у середньому складаючи 6-7 °С.

									Арк.
									39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ				

Дуже важливою характеристикою клімату у контексті експлуатації машин є тривалість холодного періоду (кількість днів у році з від'ємною температурою). Такий період на більшій частині території країн СНД складає значну частину року. На півночі азіатських територій кількість днів з від'ємною температурою становить 65-70% від часу року, на півночі Європейської частини країн СНД - 45-50%. Заходячи на південь, тривалість періоду від'ємних температур скорочується, і в окремих районах середньої Волги, південного Уралу становить 140-150 днів, а в окремих районах середньоазіатських республік, Кавказу і узбережжя Чорного моря доходить до 10-12 днів і навіть до нуля.

Найбільшою складністю при експлуатації є процеси запуску та подальшого прогріву двигуна. Так, при сильних морозах тривалість теплової підготовки збільшується в 12 разів у порівнянні з літнім періодом, досягаючи 20-25% часу зміни, а експлуатаційні витрати зростають в 16 разів.

Більшість зарубіжних і вітчизняних підігрівачів (газові, електричні, рідинні, свічки накаливання тощо), які використовуються в зимовий період експлуатації, не забезпечують запуску двигунів і виходу їх на режими навантаження відповідно до ДСТУ 14892-69 більше 45 хвилин при температурі повітря -60°C . У результаті час, витрачений на прогрів і запуск після тривалої стоянки, становить 1-1,5 год, а в сильні морози - до трьох і більше годин.

Покращення умов прокачуваності та фільтрування дизельного палива при від'ємних температурах навколишнього середовища можливе кількома способами. Один з них - встановлення нового елемента топливної апаратури - підігрівача палива, який дозволяє забезпечити попереднє нагрівання палива перед його подачею до топливного насосу високого тиску. Для цих цілей використовуються різні нагрівальні пристрої, які відрізняються за конструкцією, видом теплоносія та джерелом енергії - пара, гаряча вода, гаряче повітря, електроенергія, інфрачервоне

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

випромінювання, тепло відпрацьованих газів та продуктів спалювання палива, а також за місцем встановлення. На сьогоднішній день зустрічаються пристрої, що базуються на ультразвуковому, радіоактивному, електромагнітному, механічному та інших методах впливу на дизельне паливо. Однак використання таких пристроїв потребує спеціальної підготовки обслуговуючого персоналу та вимагає додаткових вимог до техніки безпеки як під час експлуатації, так і під час ремонту двигуна. Найбільш вразливим участком топливної системи є паливний бак, паливопровід до фільтра грубої очистки та фільтр грубої очистки. Ймовірність втрат текучості палива тут найбільша. Найпростіший, доступний та поширений спосіб захисту - утеплення паливних баків, трубопроводів, паливних фільтрів, установка останніх в підкапотне простір двигуна як можна ближче до випускного колектора. Наприклад, один з дослідників пропонує для утеплення паливного бака обгорнути його м'якою дротом або сіткою. Потім покрити обмазкою, що складається з 35% асбестової крихти, 40% деревних опилок, 20% вогнетривкої глини та 5% рідинного скла. Утеплювальну обмазку наносять на бак шаром 15-20 мм, висушують при температурі 30-35 °С протягом 12-14 годин. Після цього поверхню бака обмотують тканинними стрічками або поміщають в щільно облягаючий тканинний чохол та покривають водостійкою фарбою. Для утеплення паливопроводів вміст рідинного скла в обмазці збільшують до 15% за рахунок скорочення опилок. Замість опилок іноді використовують крихти пінопласту. Корпуси паливних фільтрів утеплюють чохлами з парусини та ватину. У чохлах передбачають отвори для стоку води та конденсату. Перевага цього способу в тому, що не потрібно додаткових пристроїв, однак він має і суттєвий недолік, такий як низький рівень нагрівання і неможливість руйнування кристалів в період запуску і прогріву двигуна. Підвищений рівень нагрівання отримують застосуванням спеціальних нагрівальних пристроїв, таких як: теплообмінники відпрацьованих газів, охолоджувальної рідини, залишків палива або електронагрівальні пристрої.

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

3.1 Підігрів палива відпрацьованими газами

Теплообмінники, що базуються на використанні відпрацьованих газів, переважно розміщені внизу паливного бака. Однак існують конструкції теплообмінників, що використовують відпрацьовані гази в спеціальному корпусі, всередині якого розміщені пучки труб. Суть цієї конструкції полягає в тому, що вихлопні гази проходять по трубках, які оточують дизельне паливо. Наприклад, компанія "Любер-Файнер" (США) [6] пропонує підігрівач, що використовує тепло відпрацьованих газів. Тут паливо підігрівається в змійовику, погруженому у теплопровідну рідину. Зайве паливо, яке відводиться від двигуна назад у бак, перед подачею ще раз підігрівається у подібному теплообміннику. Аналогічну конструкцію розробила компанія "Kim Horstrat", яка забезпечує підвищення температури на 20 °С. До складу входять циркуляційний паливний бак, спіральний алюмінієвий теплообмінник, для забезпечення автоматичної роботи застосовують соленоїдний клапан управління. На Рисунок 3.1 зображено конструкцію підігрівача [1], що використовує енергію відпрацьованих газів, який виготовлений так. До дна бака зварюють ребристу чашку у спеціальній оболонці з отворами у верхній частині для кожного проміжку між ребрами. Ребра служать для збільшення поверхні нагрівання і утворюють канали, по яких направляється потік газів. Чашку з оболонкою розміщують у зовнішньому циліндричному оболонці, яка служить для подачі та відведення газів, а також для кріплення всієї системи до рами трактора. Гази проходять по трубі, яка є відгалуженням основної вихлопної труби двигуна. Кількість направляючого до підігрівача газу регулюють заслонкою. Температуру палива в зоні підігріву контролюють за допомогою дистанційного термометра.

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

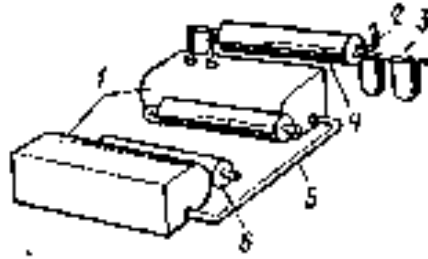


Рисунок 3.1. Схема підігріву дизельного палива:

1 - паливні баки; 2 - сливний паливопровід; 3 - паливопровід, що подає паливо з бака до насоса; 4 - теплоізоляція; 5 - з'єднувальний паливопровід з тепловою ізоляцією; 6 - глушник.

Іноді паливопроводи від бака проходять через утеплену кабіну, а в паливний бак вварюють цільнотягнуту трубу, по якій проходить частина газів від вихлопної труби трактора. Використовують схему, в якій паливопровід від бака до фільтра грубого очищення поміщають у трубу, і в неї подають частину вихлопних газів. Для цього між вихлопним колектором та трубою встановлюють тройник. Кількість газів, а, відповідно, і температуру палива регулюють заслонкою. При цьому слід пам'ятати, що нагрівати паливо вище 50 °С не слід.

Теплообмінники, які використовують відпрацьовані газы, мають свої недоліки. Серед них слід відзначити сильну залежність температури теплоносія від режиму роботи двигуна та низький потенціал тепла газів при холостому ході. Крім того, вони мають складну конструкцію, не забезпечують підігрів палива перед запуском дизеля, що збільшує пожежонебезпеку. Такі підігрівачі також збільшують опір виходу відпрацьованих газів, що призводить до зниження потужності двигуна.

3.2 Підігрів палива від охолоджувальної рідини

Для уникнення великого споживання електроенергії для підігріву палива можна використовувати тепло від охолоджувальної рідини. Теплообмінники з використанням тепла охолоджувальної рідини зазвичай

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			43

виконуються за традиційною схемою "труба в трубі". Такі теплообмінні підігрівачі виготовляються компаніями "Даль", "Мідко", "Давко" (США). Проте існують конструкції таких теплообмінників, виконаних у вигляді зміювика, який занурено в паливний бак. Вони працюють таким чином: у відкриття нижче основного клапана в коробці термостата ввинчується штуцер. До нього під'єднують трубку з газової труби, з'єднаної з водопостачальним гумовим шлангом. Інший кінець гумового шланга під'єднують до вхідного штуцера зміювика, який складається з чотирьох витків труби. Штуцер, з'єднаний з коробкою термостата, має клапан, яким можна регулювати кількість гарячої рідини, що надходить до зміювика. До вихідного штуцера зміювика також під'єднують гумовий шланг. Перед запуском двигуна відкривають клапани вхідного і вихідного штуцерів і заливають гарячу воду в рубашку блока. Вода, яка прогріває блок двигуна, також потрапляє в зміювик. Це дозволяє підігрівати паливо навіть при роботі пускового двигуна, оскільки штуцер із відводячим патрубком підключений до коробки термостата нижче основного клапана.

Основними недоліками теплообмінників з використанням тепла охолоджувальної рідини є досить складна конструкція подвійного штуцера і непридатність їх для запуску холодного двигуна.

3.3 Теплообмінники на основі використання з надлишкового палива

Теплообмінники, що використовують тепло з надлишкового палива, можуть бути виконані по всій довжині всмоктуючого трубопроводу у вигляді "труба в трубі". Простим аналогом такого теплообмінника є пристрій від Алтайського СХІ (рисунок 3.2). Цей пристрій дозволяє використовувати тепло вилишкового палива, що надходить з головки паливного насоса. Паливопровід від бака до грубого фільтра замінюють подвійною трубкою. Паливо з бака до фільтра подається по внутрішній трубці. Паливопровід для відведення зайвого палива до підкачувального насоса від'єднаний, і воно через зовнішню трубку напряму подається в бак.

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Проще в конструктивному виконанні варіант, коли подаючий і відведений паливопроводи розташовані поруч і обмотані текстильною стрічкою або іншою теплоізоляцією.

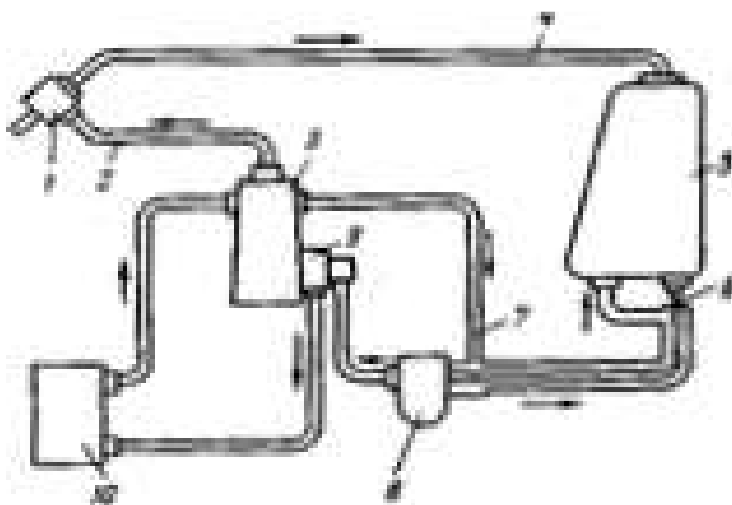


Рисунок 3.2 зображено пристрій для підігріву палива:

1 - форсунка; 2 - топливопровод високого тиску; 3 - насос високого тиску; 4 - топливопровод відведення палива від форсунки до бака; 5 - бак; 6 - забірний штуцер; 7 - відводний топливопровод; 8 та 10 - фільтри грубої та тонкої очистки; 9 - підкачувальний насос.

3.4 Подача палива з автоматичним електропідігрівом

Заслуговує уваги схема підводу палива, представлена на рисунок 3.3. Особливістю є організація постійного підігрівання палива в системі низького тиску. Для цього паливо подається по відводному паливопроводу 5 до забірної штуцера паливного бака і далі в циліндр 4, встановлений в нижній частині бака. Паливо забирається через трубопровід 3, встановлений всередині циліндра 4 нижче рівня палива. У верхній частині циліндра розташований конус 2, який сприяє виділенню газоповітряних бульбашок з відведеного палива і через центральне отвір в якому паливо подається в трубопровід 3. За рахунок змішування підігрітого і холодного палива воно на ділянці від бака до фільтра грубої очистки 8 не втрачає своєї текучості. Паливо, рухаючись до підкачувального насосу 9 і фільтрів тонкої очистки.

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			45

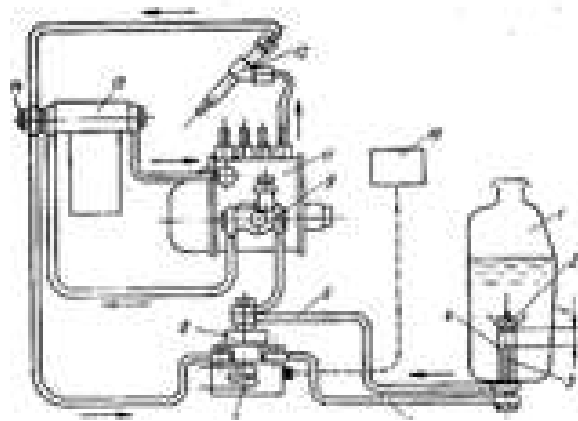


Рисунок 3.3 представлена схема подачі палива з автоматичним електропідігрівом:

1 - паливний бак; 2 - конус; 3 - трубопроводи; 4 - циліндр змішувача; 5 та 14 - перепускні трубопровід і клапан; 7 - електропідігрівач; 8 та 13 - фільтри грубої та тонкої очистки; 9-підкачувальний насос; 10 - датчик температури; 11 - насос високого тиску; 12 - форсунка.

За рахунок змішування підігрітого і холодного палива на ділянці від бака до фільтра грубої очистки 8 воно не втрачає своєї текучості. Паливо, рухаючись до підкачувального насосу 9 і фільтрів тонкої очистки 13, нагрівається за рахунок тепла двигуна і дроселювання в каналах системи. Якщо температура палива нижче 30...40 °С, воно підігрівається електронагрівачем 7, який живиться від бортової електричної мережі трактора. Електронагрівач, встановлений в одному корпусі з фільтром грубої очистки. Температура палива в фільтрі грубої очистки контролюється датчиком 10. При такій схемі перепускання палива підігрівається лише невелика частина близько місця забору. Цим запобігається надмірне розчинення води в паливі і випадіння її в осад. Клапанний вузол 14 обладнаний жиклером, через який постійно проходять утворені паровоздушні бульбашки і невелика частина палива.

Недоліками цього методу є те, що руйнування кристалів парафіну відбуватиметься лише при запущеному і добре прогрітому двигуні, проте це не виключає можливості забивання пробками парафіну в подвійному

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			46

штуцері. Усі вищезазначені теплообмінники створюються з метою забезпечення економії енергоносіїв, більш повного використання теплової енергії двигуна, утилізації продуктів згоряння. Проте, подібно до передпускових підігрівачів, вони здатні лише частково руйнувати кристали н-парафінів шляхом підвищення загального теплового стану двигуна. Тому найбільш перспективними для руйнування кристалів н-парафінів у дизельному паливі перед запуском двигуна є пристрої з використанням електронагрівальних елементів, які мають менші масові характеристики, ніж теплообмінники. При використанні різних електронагрівальних пристроїв коефіцієнт корисної дії підвищується в декілька разів. Крім того, використання таких пристроїв дозволяє проводити підігрів дизельного палива перед запуском дизеля. Проте й ці системи не позбавлені недоліку, головним з яких є залежність роботоздатності підігрівача від надійності системи електроживлення.

На рисунку 3.5 зображено схему фільтра тонкої очистки з електронагрівальним пристроєм, виготовленим з вуглецевих тканин [6].

Підігрівач працює наступним чином. Перед запуском двигуна вимикач маси замикатиме ланцюг, і електричний струм проходитиме через зажим 10, вуглецеву тканину 20, зажим 11, позистор 25.

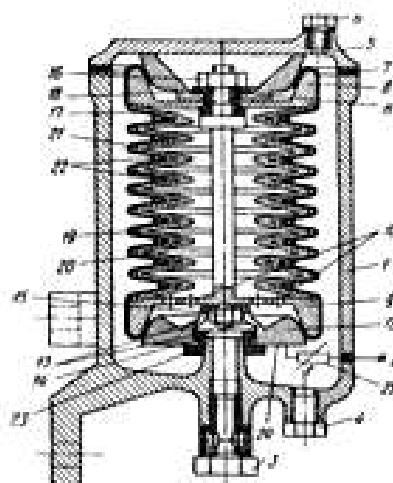


Рисунок 3.5 Схема фільтра тонкої очистки з електронагрівальним елементом:

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			47

1, 2 - корпус фільтра тонкої очистки (ФТО); 3 - вісь; 4 - сливний патрубок; 5 - кришка корпусу; 6 - патрубок для випуску повітря; 7 - прокладка; 8, 9 - основи фільтруючого елемента; 10, 11, 12, 24 - зажими; 13, 14 - отвори; 15, 16 - гайки; 17, 18, 23 - діелектричні втулки; 19, 21, 22 - пружини; 20 - вуглецева тканина; 25 - позистор.

Цей фільтр працює за принципом підігрівання. Перед запуском двигуна вимикається маса, і електричний струм проходить через зажим 10, вуглецеву тканину 20, зажим 11 та позистор 25. У результаті цього вуглецева тканина нагрівається, що сприяє руйнуванню кристалів парафіну на її поверхні. Це поліпшує умови фільтрування дизельного палива. Позистор 25 вберігає від перегріву та руйнування вуглецевої тканини. Однак застосування такого підігрівача не дозволяє нагрівати дизельне паливо на лінії всмоктування, яка є найбільш критичним участком системи живлення в умовах низьких температур. Також варто зазначити, що під час експлуатації трактора фільтр тонкої очистки нагрівається за рахунок тепла двигуна і не працює більшу частину часу.

У результаті цього нагріватиметься вуглецева тканина, що призводить до руйнування кристалів парафіну, що знаходяться на її поверхні, за рахунок чого забезпечується поліпшення умов фільтрування дизельного палива. Позистор 25 запобігає перегріву та руйнуванню вуглецевої тканини. Проте застосування такого підігрівача не дозволяє забезпечити нагрівання дизельного палива на лінії всмоктування, яка є найбільш критичним участком системи живлення в умовах низьких температур, крім того, під час експлуатації трактора фільтр тонкої очистки нагрівається за рахунок тепла двигуна, і ця конструкція більшу частину часу не працюватиме.

Приблизно таку саму конструкцію має трьохфункціональний агрегат фірми Fram Corp. Fregat, який виконує наступні функції (рисунок 3.6) [6]:

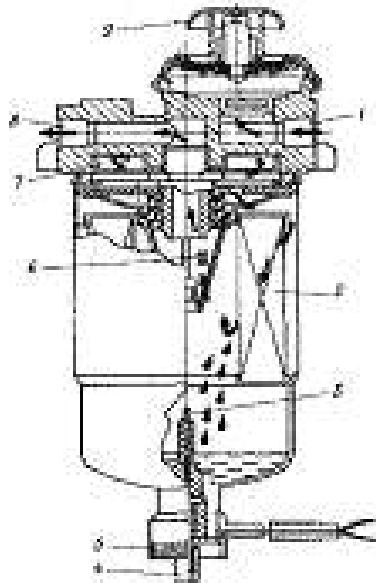
Відокремлює вільну та емульговану воду: перша ступінь відокремлення відбувається на фільтрі 2, який коалесцірує воду в краплі,

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

що стікають в водосховище; друга ступінь - на нейлоновій сітці з кремнієорганічним покриттям, вона затримує найдрібніші краплі води, що пройшли через першу ступінь;

Затримується містяться в паливі тверді частинки розміром до 1,5 мкм, фільтруючий елемент - паперовий гармошковий;

Підігріває паливо для полегшення холодного запуску.



Рисунку 3.6 Трійний агрегат від компанії Fram:

1 - вхід; 2 - коалесцентний фільтр; 3 - датчик рівня води; 4 - гнучка слизька трубка; 5 - слизький вентиль; 6 - сітка; 7 - підігрівач; 8 - вихід; 9 - ручна помпа.

Цей агрегат виконує наступні функції:

Відокремлює вільну та емульговану воду: перша ступінь відокремлення відбувається на фільтрі 2, який коалесцує воду в краплі, які стікаються у збірник; друга ступінь - на нейлоновій сітці з кремнієорганічним покриттям, вона утримує найдрібніші краплі води, що пройшли через першу ступінь.

Утримує тверді частинки розміром до 1,5 мкм, фільтруючий елемент - паперовий гармошковий.

Підігріває паливо для полегшення холодного запуску.

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк. 49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Установка нагрівальних елементів в корпусі фільтра тонкої очистки (ФТО) та трьохфункціонального агрегату (ФГО) неухильно призводить до зміни конструкції цих вузлів та їх експлуатаційних параметрів. Цей недолік притаманний усім розглянутим вище способам підігріву палива з нагрівальними елементами, вбудованими в будь-який агрегат системи живлення двигуна. Він є стримуючим фактором для впровадження оригінальних дослідницьких розробок у виробництво, оскільки конструкторські бюро заводів двигунобудування та тракторобудування виявляють дуже скептичне ставлення до конструктивних змін, які змінюють добре зарекомендували себе в експлуатації вузли та агрегати. Тому для підігріву палива слід використовувати індивідуальні підігрівачі, які не вносять конструктивних змін у агрегати системи живлення прийнятої схеми подачі палива.

3.5 Сучасні методи полегшення запуску двигунів взимку

Зі зниженням температури повітря ступінь використання і продуктивність техніки зменшуються. Особливо складною є проблема запуску двигунів взимку при відсутності гаражного зберігання машин. Запуск двигунів у зимовий період вимагає значних витрат праці та часу, а у випадку відмови системи запуску є причиною простою автомобіля або трактора. Автомобілі та трактори випускаються в універсальному виконанні, і основна маса їх (близько 90%) експлуатується в зонах з ускладненими умовами запуску взимку, коли необхідно використовувати ефективні засоби для полегшення запуску та підготовки холодних двигунів до роботи.

Ефективність використання автомобільно-тракторної техніки стандартного виконання залежить від її пристосованості до суворих кліматичних та дорожніх умов. Порушення необхідних умов експлуатації та відсутність засобів для відповідної підготовки автомобільно-тракторної техніки до місцевих умов призводять до затримок виїзду машин на роботу,

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

зниження продуктивності, підвищення витрат кваліфікованої праці водіїв, що завдає значних збитків народному господарству. За даними автотранспортних підприємств, виїзд автомобілів за нарядом на роботу в зимові місяці порівняно з літніми знижується на 10-40%, при суттєвому збільшенні експлуатаційних витрат. Розрахункові дані показують, що через втрати часу на запуск двигунів тракторів щорічно не виконується обсяг механізованих робіт на 18% (близько 130 га умовної плугової площі на 1 фізичний трактор), а з урахуванням пускових зносів при низькій температурі збитки господарств, пов'язані з підготовкою техніки до роботи, становлять 476 тис. грн. на 1 фізичний трактор. Особливо важко забезпечити запуск і оптимальні умови роботи двигунів тракторів. Конструкції багатьох тракторів розраховані на роботу в літній період, тоді як вони використовуються протягом усього року. Позбавити впливу низьких температур на роботу двигунів можна модернізацією існуючих машин, обладнанням техніки північного виконання технічно вдосконаленими та ефективними пусковими системами та допоміжними засобами полегшення запуску двигунів. Запропоновано та розроблено багато методів та пристосувань, що полегшують запуск холодних двигунів. Більшість з них ґрунтується на розігріві двигунів. Розігрів двигунів з метою скорочення часу запуску та прогрівання до робочої температури цілком доцільно застосовувати навіть при невеликому зниженні температури навколишнього повітря. Вибір способу та пристрою, що полегшують запуск, визначається конструктивними особливостями двигуна, економічними факторами та умовами експлуатації. Допоміжні засоби для полегшення запуску розділяються на діючі в передпусковий період і безпосередньо в процесі запуску. До пристроїв, що діють безпосередньо при запуску, відносяться пристрої, що змінюють характеристики окремих систем двигуна на період запуску, та пристрої, що полегшують умови запалювання палива (засоби полегшення запалювання). Предпускові засоби полегшення запуску бувають груповими і індивідуальними, групові в свою

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

чергу - стаціонарні або рухомі. Застосовувані на практиці засоби передпускового розігріву двигунів відрізняються за способом створення і подачі тепла, типом і принципом циркуляції теплоносія, видом споживаної енергії, за методами нагріву (прямий і опосередкований). У процесі передпускового розігріву тепло подають до системи охолодження двигуна, внутрішньокартерному простору, картерному маслу, системі живлення, акумуляторній батареї або одночасно до кількох систем. При опосередкованому нагріві в якості теплоносія використовують рідину, пар, повітря або їх комбінації. Прямий розігрів двигуна та його систем перед запуском є більш перевагою і може здійснюватися за рахунок електричної енергії, теплоти згорання палива (газоподібного, рідкого або твердого) або механічного стиснення рідини.

Дуже ефективним засобом полегшення запуску дизелів є використання легкозаймистих стартових рідин, які, як правило, складаються з суміші легко киплячих вуглеводнів. Основним компонентом більшості стартових рідин є етиловий ефір. Температура самозаймання етилового ефіру за атмосферного тиску нижче, ніж у дизельного палива. Займання етилового ефіру в камері згорання відбувається при температурі близько 463-493 К, що дозволяє значно знизити предельну температуру запуску двигунів. Однак при подачі у циліндри чистого ефіру різко зростає швидкість наростання тиску і, відповідно, жорсткість роботи двигуна. До складу стартових рідин вводяться масло для забезпечення змазування деталей циліндро-поршневої групи та такі компоненти, як аміни, нітрати, низькокиплячі парафінові вуглеводні - для зменшення жорсткості роботи двигуна. Вміст ефіру в стартових рідинах не перевищує 60-70%. Подача стартової рідини в циліндри двигуна може здійснюватися через систему живлення разом із основним паливом, однак такий спосіб неекономний через великий витрати стартової рідини. Наибільш ефективний спосіб розпилення стартової рідини в впускному трубопроводі за допомогою спеціальних пристроїв. У цьому випадку суміш стартової рідини з повітрям

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

подається в циліндри двигуна, стискається, температура її підвищується через стискання і внаслідок утворення продуктів попереднього окислення, які відразу віддають свою енергію в навколишнє середовище. Подача рідини з низькою температурою запалювання. Широке поширення в нас і за кордоном знайшов спосіб полегшення запуску двигунів за допомогою вприскування рідини з низькою температурою запалювання. Для вприскування рідин в циліндри двигунів розроблено багато пристроїв різного конструктивного виконання.

Для полегшення запуску попередньокамерних та вихрових дизелів, які мають низьку ступінь стиснення і температуру, недостатню для запалювання палива в кінці стиснення, застосовують електричні свічки накалювання.

Свічки накалювання можуть бути відкритого (з відкритою спіраллю нагрівання) або закритого (з штифтом) типу. Вони встановлюються в камеру згоряння таким чином, щоб нагрівальний елемент забезпечував запалювання розпиленого палива. Для цього необхідно, щоб теоретичний конус розпилення палива торкався нагрівального елемента, що виступає в камеру згоряння.

Раніше проведені спроби використовувати свічки накалювання для полегшення запуску дизелів з безпосереднім вприском призвели до погіршення їх економічних показників через зниження обертів повітряного заряду та погіршення утворення суміші. Однак дослідження, проведені на Володимирському тракторному заводі за участю НАТІ та досвід фірми MBM (Німеччина) з питань використання на дизелях серії Д208, Д308 штифтових свічок, доводять принципову можливість встановлення їх в нерозділених камерах згоряння без суттєвого погіршення економічних показників дизелів. При цьому важливу роль відіграє вибір місця їх встановлення та величина виступаючої частини нагрівального елемента.

Застосування штифтових свічок накалювання дозволяє здійснити запуск двигуна при температурі зовнішнього повітря 243 К, на частоті

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			53

обертання 70-80 об/хв при використанні масла М8В, розрідженого додатком 10% бензину.

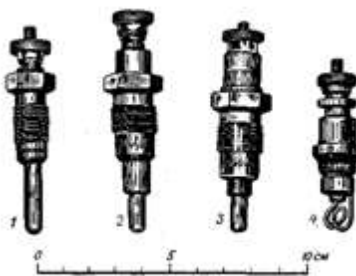


Рисунок 3.7. Свічки накаливання:

1, 2 и 3 - закритого типу; 4 - відкритого типу

Попереднє нагрівання свічок накаливання виконується за 15-60 с перед запуском дизеля, при цьому сила струму досягає значень 30-50 А при напрузі 8 або 12 В відповідно для чотирьох- або шестизільного дизеля.

Для полегшення запуску дизелів шляхом підвищення температури впускного повітря застосовують свічки підігріву. Серійно випускається однопровідна свічка підігріву повітря СН-150 (рисунок 3.15), яка встановлюється в впускному колекторі двигунів Д-21 і Д-37М. Нагрівальний елемент свічки (спіраль) виготовляється з дроту діаметром 2 мм високого омичного опору. Свічка закріплюється гайкою на спеціальній гнізді впускного колектора. Герметичність при посадці забезпечується ущільнювальною шайбою. Номінальна напруга свічки 8,5 В, номінальний струм 45-47 А, температура нагріву спіралі за 30-40 с досягає 1173-1223 К.

									Арк.
									54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

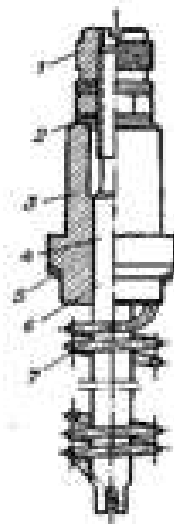


Рисунок 3.8. Підігрівач повітря впускний СН-150:

1 - гайка контактна; 2 - шайба ізоляційна; 3 - корпус; 4 - стрижень; 5 - шайба ущільнювальна; 6 - слюда; 7 - спіраль

Свічку підігріву СН-150 слід включати на 40-60 секунд, оскільки практично струм у ланцюгу не перевищує 42-45 А; при меншому часі нагрів недостатній. Схема підключення свічки СН-150 аналогічна двохпровідним свічкам накаливання. У схемі використовуються контрольний елемент ПД51 та додатковий опір СЕ52. У модернізованій схемі трактора Т-28Х4 контрольний елемент замінено лампочкою. Свічка СН-150 підігріває повітря на впуску в середньому до 298-308 К.

Місце установки свічки СН-150 в впускному колекторі обирається експериментально. Для отримання найбільшого нагріву повітря бажано максимально наблизити свічку до впускних вікон циліндрів. Для двигунів з робочим об'ємом понад 4 л слід використовувати дві свічки, а при наявності двох впускних колекторів встановлювати свічки в кожному з них.

Для підвищення ефективності підігріву повітря в впускному трубопроводі застосовують свічки підігріву фланцевого типу. У свічок фланцевого типу при такій же потужності збільшена площа поверхні теплообміну за рахунок збільшення довжини спіралі. Крім цього, фланцеві свічки можуть встановлюватися ближче до впускних вікон, що зменшує

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			55

втрати тепла. Недоліком фланцевих свічок є відсутність можливості уніфікації їх конструкцій для різних типів дизелів.

Використання свічок підігріву знижує максимальну температуру холодного пуску дизеля в середньому на 5 К. Разом з тим, ефективність застосування зменшується з пониженням температури, що вимагає суттєвого підвищення їх потужності. Має сенс використовувати свічки підігріву для полегшення пуску дизелів з нерозділеною камерою згоряння до температур близько 263 К в поєднанні з паливними насосами, що мають збільшену циклову подачу палива при пуску.

Електрофакельні підігрівачі. Схема роботи (рисунок 3.9) подібних пристроїв досить проста. Паливо з основного бака подається в спеціальну камеру згоряння через форсунку, де потрапляючи на розігріту спіраль накаливання запалюється та нагріває охолоджувальну рідину двигуна, яка для покращення процесу прогріву прокачується додатковим насосом.

Якщо розглядати ці пристрої докладніше, то не можна не відзначити, що сучасні електрофакельні підігрівачі значно вперед пішли. Якщо раніше водій включав спіраль накаливання, переконувався, що нагрів є, потім відкривав подачу палива на форсунку, контролював процес утворення факела в камері згоряння і лише потім заливав заздалегідь приготовану воду для прогріву двигуна, то тепер все інакше. Усі сучасні пристрої цього типу мають власну автоматику, що забезпечує самостійну стабільну роботу. Крім того, практично всі пристрої цього класу обладнані програмованими таймерами включення, а деякі і пристроями дистанційного управління. Використання електрофакельних підігрівачів впускного повітря одночасно з заливкою у двигун малов'язких масел знижує в середньому температуру пуску холодного двигуна на 10-15 К. Найбільш вдосконалою вітчизняною конструкцією є підігрівач, розроблений Владимирським тракторним заводом спільно з НАТІ. З іноземних підігрівачів цікаві конструкції фірми "Бош" (Німеччина) і "Лукас" (Англія). Підігрівач ВТЗ-НАТІ планується встановлювати на дизелях Д-37Е, Д-160 і Д-240, а підігрівач конструкції фірми "Бош" - на

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			56

дизелях ЯМЗ-240, ЯМЗ-740 і ЯМЗ-741. Підігрівач фірми "Лукас" встановлюється на дизелях фірми "Перкінс", що експлуатуються в нашій країні.

Одним із переваг електрофакельних підігрівачів є можливість їх роботи на дизельному паливі або бензині, тобто на тому самому паливі, що і двигун, на який вони встановлюються. Це дозволяє використовувати їх на двигунах різної конструкції, включаючи для полегшення запуску багатопаливних двигунів. Підігрівачі можна використовувати і після запуску двигуна в режимі праці його на холостому ходу. Прогрів двигуна прискорюється, зменшується димність і токсичність відпрацьованих газів. На тривалість запуску впливає розташування електрофакела у впускному колекторі відносно впускних вікон, а також величина виступання його нагрівального елемента. Найкращі результати були отримані, коли кришка підігрівача або штифт теплового елемента з захисною сіткою виступав у колектор приблизно на 2/3 своєї довжини, а полум'я охоплювало приблизно 1/3 площі впускного колектора. При проектуванні нових двигунів, на яких планується встановлення електрофакельних підігрівачів, необхідно передбачати у колекторах спеціальні камери, що зменшують швидкість всмоктуваного повітря і забезпечують стійке горіння факела при самостійній роботі двигуна.

На основі представленого матеріалу можна зробити висновок, що аналіз фізико-хімічних властивостей та кристалізація углеводневих компонентів в дизельному паливі впливає на його роботу при низьких температурах. Низька температура сприяє утворенню кристалів, що може призвести до забивання фільтрів та ущільнювачів, порушуючи нормальну роботу паливної системи. Ефективність застосування депресорних присадок залежить від концентрації та складу палива, включаючи наявність води. Також важливо зазначити, що використання електропідігрівачів може вирішити ці проблеми, поліпшуючи процеси прокачування та фільтрування палива, а також знижуючи викиди шкідливих речовин в атмосферу та споживання палива.

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			57

4. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕМЕНТІВ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ПРИ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

4.1 Умова розрахунку

Низька температура в системі живлення дизеля викликає випадіння з палива високотемпературних вуглеводнів у вигляді кристалів різної форми, які можуть забивати фільтруючі елементи, вузькі місця паливопроводів та штуцерів. На сьогодні існують три способи запобігання цьому небажаному явищу:

Вплив на властивості дизельного палива під час його виробництва та споживання;

Адаптація конструкції паливної системи дизеля до від'ємних температур;

Створення умов, що пом'якшують негативний вплив зовнішніх факторів як на роботу агрегатів паливоподаючої системи, так і на властивості самого палива.

Перша група в основному зводиться до додавання депресорних присадок, які підвищують текучість та прокачуваність палива при низьких температурах. Однак ефективність дії депресорних присадок залежить від їх концентрації у паливі, його вуглеводного складу та наявності в ньому асфальтосмольних речовин. Введення присадок у дизельне паливо з наявністю води, яка завжди міститься в умовах експлуатації, небагато сприятно впливає на ефективність їх застосування. Тому ефект від депресорних присадок у реальних умовах завжди виявляється нижче, ніж при спеціальних цільових випробуваннях.

Друга група спрямована на поліпшення низькотемпературної прокачуваності дизельного палива. Реалізація програми IGF-3 європейської координаційної ради з вдосконалення методів випробувань мастил та моторних палив дозволить лише визначити арсенал засобів покращення працездатності дизельних палив при низьких температурах, а також

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			58

кількісно оцінити вплив того чи іншого фактора.

Третя група може бути реалізована як на етапі створення дизельних установок (розміщення агрегатів в місцях, захищених від обдуву холодним повітрям), так і в експлуатації. Однак найбільш радикальним способом цієї групи є підігрів палива. Застосування електропідігрівача дозволяє вирішити проблеми як прокачуваності, так і фільтруваності дизельного палива. Крім того, підігрів палива дозволить знизити викид шкідливих речовин в атмосферу з відпрацьованими газами та споживання палива дизелем, оскільки покращується процес згоряння.

Визначення меж працездатності паливної системи при низьких температурах

Температура оточуючого повітря суттєво впливає на процес подачі палива дизеля, що пов'язано залежністю в'язкості дизельного палива від температури та кристалізацією парафінових вуглеводнів. Однією з причин зниження надійності авто-тракторних дизелів в умовах від'ємних температур є випадіння кристалів парафінів в паливі, підвищення опору лінії низького тиску системи живлення, і як наслідок, зменшення коефіцієнта наповнення насоса високого тиску. Згідно з нашими [1] дослідженнями найбільш критичним участком паливної системи дизеля, який працює в умовах від'ємних температур, є лінія всмоктування паливопідкачувального насоса (ТПН) з фільтром грубої (ФГО) очистки, який одним з перших забивається утворюючимися кристалами Н-алканів. Для вивчення процесу утворення Н-алканів у дизельному паливі ми провели дослідження з визначення кількості кристалів парафінів у дизельному паливі марки «Л» [9].

Аналіз фізико-хімічних властивостей вуглеводнів, показує, що в дизельному паливі містяться кристали вуглеводнів з дуже високою температурою плавлення. Наприклад, гексаметилбензол $C_{12}H_{18}$ плавиться при температурі 165.5 °С; бутилнонан $C_{13}H_{28}$ має температуру плавлення 70 °С і так далі. Вміст таких вуглеводнів в дизельному паливі становить не

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			59

більше 0.6%. Вуглеводні з високою температурою плавлення практично перебувають у твердому стані при будь-якій температурі навколишнього середовища.

Деякі нафтові і ароматичні вуглеводні, наприклад, ізопропілдекалін $C_{13}H_{26}$, н-гексилбензол та інші, плавляться при температурі $-94.8...-66.8$ °С. Отже, вуглеводні з низькою температурою плавлення практично перебувають у рідкому стані при експлуатації дизеля в будь-якій кліматичній зоні. У дизельному паливі марки «Л» вуглеводні з низькою температурою плавлення складають приблизно 1,5%, забезпечуючи його відносну рухливість.

Важкі вуглеводні парафінової і ароматичної груп у літньому дизельному паливі становлять приблизно 57%. Температура плавлення цих вуглеводнів розташовується в межах від -13 °С до -2 °С. За даними таблиці 2.12 побудована інтегральна крива (рисунок 4.1) замерзання вуглеводнів дизельного палива в залежності від температури навколишнього середовища.

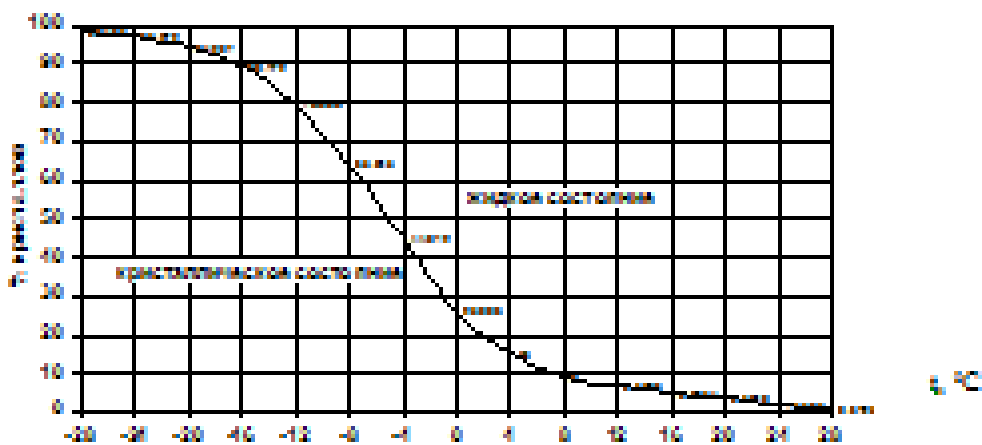


Рисунок 4.1 Інтегральна крива застигання вуглеводнів дизельного палива.

Крива відображає зміну фазового стану палива в залежності від температури навколишнього середовища.

Аналіз інтегральної кривої дає змогу зробити наступні висновки:

При зниженні температури навколишнього середовища з 28°C до 0°C кількість кристалів твердих углеводнів плавно збільшується і при 0°C становить близько 25% об'єму палива.

При температурі навколишнього середовища 0...-5°C інтенсивність утворення кристалів різко зростає. При -5°C близько 50% углеводнів дизельного палива переходять з рідкого стану в кристалічну фазу, що пояснює затемнення палива.

При подальшому зниженні температури навколишнього середовища від -5°C до -13°C спостерігається різкий перехід дизельного палива з рідкого стану в твердий. При -13°C близько 86% углеводнів дизельного палива знаходяться в кристалічному стані.

При подальшому зниженні температури від -13°C до -28°C спостерігається сповільнений ріст кристалів в дизельному паливі. При температурі -28°C близько 98% углеводнів перебуває в твердому стані.

Для визначення мінімальної температури палива, при якій можлива робота паливної системи дизеля, скористаємося рівняннями нерозривності потоку та Бернуллі для реальної рідини. Розглянемо лінію всмоктування паливної системи дизеля, що працює за традиційною схемою, коли ФГО розташований перед ТПН. В цьому випадку рівняння Бернуллі матиме наступний вигляд:

$$Z_1 + H + \alpha_1 \frac{g_1^2}{2g} = Z_2 - \frac{P_{\text{вак}}}{\rho g} + \alpha_2 \frac{g_2^2}{2g} + \sum h, \quad (4.1)$$

У рівнянні нерозривності потоку враховуються наступні параметри:

Z_1, Z_2 - висота виходу з паливного баку та вхід у ТПН, відрахована від довільної горизонтальної площини порівняння;

H - висота стовпа палива в баку;

α_1, α_2 - коефіцієнти Коріоліса в розглянутих перерізах;

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

v_1, v_2 - середні швидкості потоку палива в розглянутих перерізах;

g - прискорення вільного падіння;

ρ - щільність палива;

$\sum h$ - загальні втрати напору між розглянутими перерізами;

$P_{\text{вак}}$ - вакууметричний тиск, створений ТПН.

Рівняння нерозривності потоку матиме такий вигляд:

$$g_1 \omega_1 = g_2 \omega_2 = Q, \quad (4.2)$$

де ω_1, ω_2 - площі потоку в розглянутих перерізах; Q - витрата палива через ТПН.

Умова забезпечення працездатності лінії низького тиску дизеля з урахуванням рівнянь (4.1) і (4.2), а також того, що коефіцієнт Коріоліса для ламінарного руху в трубах дорівнює 2.0, може бути виражена наступним чином:

$$\sum h \leq H + (Z_1 - Z_2) + \frac{P_{\text{вак}}}{\rho g} + \frac{g_2^2}{g} \left(\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} - 1 \right), \quad (4.3)$$

Сумарні втрати напору складаються з втрат напору вздовж трубопроводів $\sum h_{\text{дл}}$ та втрат від місцевих опорів $\sum h_{\text{м}}$.

$$\sum h = \sum h_{\text{дл}} + \sum h_{\text{м}}, \quad (4.4)$$

Втрати напору вздовж трубопроводів визначаються за формулою:

$$\sum h_{\text{дл}} = \lambda \frac{l g_{\text{тр}}^2}{2d_{\text{тр}} g}, \quad (4.5)$$

де $h_{\text{дл}}$ - втрати напору на довжині трубопроводу;

λ - коефіцієнт гідравлічного опору;

l - загальна довжина трубопроводів від бака до ТПН;

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

$g_{\text{тр}}$ - середня швидкість руху палива по трубопроводах; λ - коефіцієнт гідравлічного тертя (коефіцієнт Дарсі).

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

При ламінарному русі палива по трубопроводах круглого перерізу коефіцієнт Дарсі можна визначити

де Re - число Рейнольдса. Число Рейнольдса для труб круглого перерізу обчислюється за формулою:

$$Re = \frac{g_{mp} d_{mp}}{\nu}, \quad (4.7)$$

де ν - середня швидкість руху палива по трубопроводах;

ν - кінематична в'язкість дизельного палива.

Загальні втрати від місцевих опорів при ламінарному русі палива обчислюються за наступною залежністю:

$$\sum h_m = \sum_{i=1}^n \frac{g_i^2}{2g} \left(\xi_{кв.i} + \frac{A_i}{Re_i} \right), \quad (4.8)$$

де $\xi_{кв.i}$ - коефіцієнт місцевого опору квадратичної області;

Re_i - число Рейнольдса для i -го місцевого опору;

A_i - коефіцієнт i -го опору;

ν_i - середня швидкість палива в i -тій опорі.

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

$$\mu = \mu_0 e^{-\beta(T-T_0)} \quad (4.10)$$

де μ , μ_0 - динамічна в'язкість дизельного палива при температурі T та T_0 ;

$-\beta$ - коефіцієнт, значення якого для дизельного палива змінюється в межах 0,025...0,03.

Після підстановки формули для в'язкості в вирази для загальних втрат і врахування формул для числа Рейнольдса, коефіцієнта гідравлічного опору та інших параметрів, після необхідних перетворень отримуємо:

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			63

$$\sum h = \sum h_{дл} + \sum h_{м}, \sum h = \sum h_{дл} + \sum h_{м}, \quad (4.11)$$

де $\sum h$ - загальні втрати напору;

$\sum h_{дл}$ - втрати напору по довжині трубопроводу;

$\sum h_{м}$ - втрати напору від місцевих опорів.

За формулою (4.11) з достатньою точністю може бути визначена мінімальна температура, при якій забезпечується нормальна подача палива по лінії низького тиску.

4.2 Розрахунок геометричних розмірів обігрівача дизельного палива

Для ефективної експлуатації двигуна в зимових умовах оптимальним варіантом економії енергоресурсів є той, при якому обсяги обігріваного та споживаного палива за одиницю часу є рівними. Розхід палива двигуном визначається з умови потрібного циклової подачі. Отже, продуктивність обігрівача повинна відповідати цикловій подачі. Це означає, що для обігріву палива в зимових умовах необхідно використовувати спеціальні обігрівальні прилади, які:

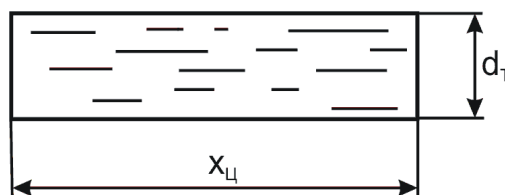
не порушують прийняту схему подачі палива;

не вимагають значних конструктивних змін у системі живлення;

автоматично підтримують температуру обігріву палива при зміні температури навколишнього середовища.

Основним технологічним параметром обігрівача є продуктивність, тобто об'єм палива, який підігрівається за одиницю часу до заданої температури. Для розрахунку параметрів обігрівача в якості оптимальної продуктивності ми взяли циклову подачу паливного насоса.

Якщо об'єм циклової подачі уявити як недеформований циліндр діаметром d_T , то в трубопроводі низького тиску він матиме висоту $h_{ц}$.



						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			64

Рисунок 4.1. Схема для розрахунку геометричних параметрів підігрівача.

$$x_{...} = \frac{4q_{...}}{\pi d_T^2} \cdot 10^{-6} \quad (4.12)$$

, (м)

Де $q_{ц}$ - об'єм циклової подачі, мм³/цикл. З умови неперервності потоків рідини в трубопроводі низького тиску буде знаходитися N таких циліндрів

$$N = \frac{\ell_T}{x_{...}} = \frac{\pi d_T^2 \ell_T}{4q_{...}} \cdot 10^6 \quad (4.13)$$

де d_T, ℓ_T - відповідно діаметр і довжина трубопровода, м.

За час руху циклового об'єму від вхідного штуцера підігрівача до вхідного штуцера ФТО в активному об'ємі підігрівача повинен відбутися повний обмін маси палива. У цьому випадку обчислюваний об'єм активної частини підігрівача складатиме

$$V_P = q_{...} N = \frac{\pi d_T^2 \ell_T}{4} \quad (4.14)$$

Нашими розрахунками, а також даними [2, 7, 8], встановлено, що нагрівальні елементи, їх кріпильне та натягуючі пристрої, токопровідна система в загальній складності займають близько 50% обсягу V_P . З урахуванням цього фактичний об'єм підігрівача складатиме

$$V_n = V_P \cdot K = \frac{\pi d_T^2 \ell_T}{4} \cdot K \quad (4.15)$$

де $K=1.5$ - коефіцієнт, що враховує об'єм, зайнятий нагрівальним елементом.

Якщо прийняти об'єм активної частини підігрівача більшим за $V_{п}$, то температура палива на вході в ФГО буде вище від потрібної. Це буде корисно позначитися на роботі двигуна, однак призведе до перевитрати енергії акумуляторної батареї під час запуску. Якщо підігрівач виготовити

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

у вигляді короткого циліндра з внутрішнім діаметром d_{Π} і довжиною l_{Π} , то об'єм активної частини підігрівача визначиться за формулою

$$V_n = \frac{\pi d_T^2 \ell_T}{4} \cdot K = \frac{\pi d_n^2 \ell_n}{4} \quad (4.16)$$

З формули (4.16) випливає, що об'єм підігрівача є функцією двох незалежних змінних: внутрішнього діаметра d_{Π} і довжини активної частини l_{Π} . Основним вимогам, що пред'являються до геометричних розмірів, слід вважати мінімальний теплообмін з оточуючим середовищем через зовнішню поверхню підігрівача. Досліджуючи площу поверхні на мінімум, отримаємо внутрішній оптимальний радіус підігрівача і його довжину

$$R_{\Pi} = \sqrt[3]{\frac{V_{\Pi}}{2\pi}}, \quad \ell_{\Pi} = 2R_{\Pi} = d_{\Pi} \quad (4.17)$$

4.3. Результат розрахунку параметрів підігрівача

У таблиці 4.1 наведені рекомендовані параметри підігрівача, розраховані за вище приведеними формулами при $K=1,5$. Для порівняння тут же наведені параметри експериментальних підігрівачів з діаметром $d_{\Pi}=0,038$ м.

Таблиця 4.1.

Рекомендовані параметри підігрівача

Довжина трубопроводу l_T , м	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
Об'єм підігрівача V_{Π} , м ³	$0.76 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$1.53 \cdot 10^{-4}$	$1.87 \cdot 10^{-4}$	$2.26 \cdot 10^{-4}$	$2.64 \cdot 10^{-4}$
Діаметр трубопроводу робочої частини d_{Π} , м	0.046	0.052	0.058	0.062	0.066	0.069
Довжина трубопроводу робочої частини l_{Π} , м	0.046	0.052	0.058	0.062	0.066	0.069
Площа поверхні підігрівача $S_{\text{пов}}$, м ²	$0.97 \cdot 10^{-3}$	$1.27 \cdot 10^{-2}$	$1.58 \cdot 10^{-2}$	$1.81 \cdot 10^{-2}$	$2.07 \cdot 10^{-2}$	$2.29 \cdot 10^{-2}$
Експериментальні						
Діаметр трубопроводу робочої частини d_{Π} , м	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038
Довжина трубопроводу робочої частини l_{Π} , м	0.067	0.097	0.135	0.165	0.199	0.233
Площа поверхні підігрівача $S_{\text{пов}}$, м ²	$1.02 \cdot 10^{-2}$	$1.38 \cdot 10^{-2}$	$1.83 \cdot 10^{-2}$	$2.19 \cdot 10^{-2}$	$2.60 \cdot 10^{-2}$	$3.01 \cdot 10^{-2}$
Похибка ΔS , %	2.3	8.66	15.8	21	25.7	31.4

4.4 Висновок

Аналізуючи дані таблиці, можна зробити висновок, що збільшення довжини активної частини призводить до збільшення площі теплообміну.

Наприклад, при об'ємі $V=1,53 \cdot 10^{-4}$ м³ площа поверхні ($S_{\text{пов}}$)

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

експериментального підігрівача відрізняється більш ніж на 15% в порівнянні з поверхнею підігрівача з оптимальними розмірами. Аналіз фізико-хімічних властивостей палива показує, що при будь-якій температурі оточуючого середовища в паливі є дві фракції: рідка і кристалічна. Зі зниженням температури об'єм рідкої фракції зменшується, а кристалічної - збільшується. Основна мета підігріву - руйнування кристалічних структур, тобто перетворення кристалічної фракції в рідку. Умовно процес перетворення кристалічної фракції можна розділити на два етапи:

підігрів та плавлення кристалів від температури оточуючого середовища до температури помутніння палива;

підігрів рідкої фракції від температури помутніння до потрібної температури на виході з підігрівача. Відповідно і теплова енергія підігрівача буде витрачатися на плавлення кристалів та підігрів палива до потрібної температури

$$Q=QП+QН, \quad (4.18)$$

де $QП$ - потрібна кількість тепла на підігрів та плавлення кристалів, Дж;

$QН$ - кількість тепла, необхідна для підігріву рідкої фракції до потрібної температури, Дж.

Кожен з відзначених підігрівів палива буде протікати за різними термодинамічними законами. При охолодженні дизельного палива нижче визначеної температури в його окремих мікроскопічних об'ємах починається утворення та зростання кристалів гнучких молекул. З'єднуючись між собою, вони утворюють гнучкі нитки довжиною до 60 мм [4, 5], які можуть приймати різні конфігурації з різними мінімумами потенціальної енергії. Зі зниженням температури нижче критичної на 3...4 °С (критична - температура початку кристалізації гомологічного ряду вуглеводнів) лише повністю витягнуті вуглеводні нитки упаковуються в кристалічну решітку. У такому вигляді кристалічна решітка вуглеводнівних

						ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
							67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

ниток має мінімум потенціальної енергії [10]. При від'ємних температурах оточуючого середовища різко збільшується кристалічна фракція та зменшується рідка. Процес плавлення можна уявити як складаючись з двох стадій: більша частина тепла плавлення витрачається на відокремлення молекул від кристалічних ниток. Друга стадія полягає в перетворенні однієї конфігурації, що відповідає кристалу, в кілька, що відповідають розплаву, що веде, в кінцевому рахунку, до утворення суміші вуглеводнів [10]. В усіх цих теоріях розглядаються питання руйнування кристалічних решіток на рівні атомів, молекул або іонів [11]. Метою нашої роботи є визначення середніх витрат тепла на плавлення кристалів дизельного палива при різних температурах оточуючого середовища. Для вирішення цієї задачі скористаємося теорією плавлення твердих тіл [12, 13], з урахуванням особливостей кристалізації вуглеводнів та спрощень при розрахунках.

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лукашенко, В. Д., & Герасимчук, І. П. (2018). Покращення низькотемпературних властивостей дизельного палива. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України, (296), 163-170.
2. Попов, О. М., & Іванов, П. С. (2019). Сучасні методи депарафінзації дизельних палив. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Хімія, технологія речовин та їх застосування, (934), 169-175.
3. Шевченко, О. В., & Петренко, І. Г. (2020). Вплив депресорних присадок на низькотемпературні властивості дизельного палива. Журнал наукових публікацій аспірантів та студентів, (2), 57-62.
4. Гончаренко, В. П., & Коваленко, С. М. (2021). Аналіз методів покращення низькотемпературних властивостей дизельного палива. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, (5), 117-122.
5. Дмитрієва, І. В., & Степаненко, В. П. (2022). Перспективи використання нових методів покращення низькотемпературних властивостей дизельного палива. Журнал наукових досліджень, (3), 88-95.
6. Іванов І.І. Кристаллическая структура і кінетичні властивості топливних конденсатів // Топливные исследования. - 2005.
7. Сидоров Л.П. Процессы кристаллизации углеводородных соединений // Химическая физика. - 2008.
8. Петров В.С. Теплообмен в системах с твердыми телами // Термодинамика и теплообмен. - 2010.
9. Смирнов Г.А. Методы определения теплопроводности твердых тел // Теплофизика материалов. - 2012.
10. Кристаллическая структура и кинетические свойства топливных конденсатов, И.И. Иванов, журнал "Топливные исследования", 2005.
11. Процессы кристаллизации углеводородных соединений, Л.П.

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сидоров, журнал "Химическая физика", 2008.

12. Теплообмен в системах с твердыми телами, В.С. Петров, "Термодинамика и теплообмен", 2010.

13. Методы определения теплопроводности твердых тел, Г.А. Смирнов, "Теплофизика материалов", 2012.

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					ДРАТТАМ 24. 20214.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71