

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Дев'ятко Дмитро Валерійович**

**УДК 621.45.04**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПАЛИВНОЇ  
СИСТЕМИ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ, ЩО  
ПРАЦЮЮТЬ НА БІОПАЛИВІ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Дев'ятко Д.В.

**Керівник роботи**

**Борак К.В.**

доктор технічних наук, професор

**Житомир – 2024**

## АНОТАЦІЯ

**Дев'ятко Дмитро Валерійович. Підвищення працездатності паливної системи дизельних двигунів, що працюють на біопаливі. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В магістерській роботі встановлено, що вміст ріпакової олії в сумішевому паливі не впливає на кут випередження подачі палива в паливній системі дизельного двигуна. Однак збільшення концентрації ріпакової олії з 25 % до 75 % призводить до підвищення тривалості подачі палива майже в 1,5 рази.

Особливо характерне підвищення тривалості подачі палива на режимі холостого ходу. Збільшення концентрації ріпакової олії з 25 % до 75 % у сумішевому паливі призводить до підвищення максимального тиску впорскування палива майже в 1,2 рази і залишкового тиску в паливопроводі високого тиску майже в 1,2 рази. Збільшення вмісту ріпакової олії в дизельному паливі не погіршує роботу форсунок. Експлуатаційні випробування після пробігу 8000 км у дизельних двигунів, які працюють на сумішевому паливі з 75% ріпаковою олією, показали, що ресурс паливного фільтра, який працює на сумішевому паливі, до заміни менший на 25%, виявлено закоксування соплового отвору форсунок на відміну від роботи на дизельному паливі. Гумотехнічні вироби перебували в задовільному стані.

Розроблено рекомендації з обслуговування паливної системи дизельних двигунів для роботи на біопаливі.

*Ключові слова: двигун, діагностування, паливо, ріпакова олія, тиск, потужність, форсунки.*

## ANNOTATION

**Devyatko Dmytro Valeriyovych. Improving the efficiency of the fuel system of diesel engines running on biofuel.** – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.  
– Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

In the master's thesis, it was found that the content of rapeseed oil in the mixed fuel does not affect the fuel advance angle in the fuel system of a diesel engine. However, an increase in the concentration of rapeseed oil from 25% to 75% leads to an increase in the duration of fuel supply by almost 1.5 times.

The increase in the duration of fuel supply in the idling mode is especially characteristic. An increase in the concentration of rapeseed oil from 25% to 75% in the mixed fuel leads to an increase in the maximum fuel injection pressure by almost 1.2 times and the residual pressure in the high-pressure fuel line by almost 1.2 times. An increase in the content of rapeseed oil in diesel fuel does not worsen the operation of the injectors. Operational tests after 8000 km of diesel engines running on mixed fuel with 75% rapeseed oil showed that the resource of the fuel filter running on mixed fuel is 25% less before replacement, coking of the nozzle hole of the injectors was detected, unlike when running on diesel fuel. Rubber products were in satisfactory condition.

Recommendations for servicing the fuel system of diesel engines for operation on biofuel have been developed.

*Keywords: engine, diagnostics, fuel, rapeseed oil, pressure, power, injectors.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	16
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	28
РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ З АДАПТАЦІЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ.....	43
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Сільськогосподарська техніка – це широкий спектр технічних засобів призначених для підвищення продуктивності та полегшення праці в сільському господарстві на підприємствах шляхом механізації та автоматизації операцій. Техніка широко застосовується особливо у країнах, де сільське господарство є важливою частиною економіки (Україна, Франція, Данія, Нідерланди, Німеччина, Бразилія, Туреччина, Японія, США та ін.).

В даний час у сільському господарстві, як і в інших галузях широко використовуються дизельні двигуни, встановлені на різних транспортно-технологічних машинах і агрегатах.

Загалом в Україні споживання дизельного палива протягом останніх 10 років зросла з 5...7 до 18...23 %, що істотно впливає економічні показники.

Провідними країнами у споживанні та виробництві біологічного палива зараз є Франція, Німеччина, Італія, США. За прогнозом, необхідність використання біологічного палива до 2030 р. зросте порівняно з 2020 р. на 15 млн. т.

Отримана ріпакова олія за допомогою холодного віджиму вже використовується як біопаливо в дизельних двигунах автомобілів. Розроблено різні рекомендації щодо складу біопалива для дизельних двигунів, досліджено їхню працездатність, в основному за параметрами призначення. Іntenсивно цей науковий напрямок розвивається за кордоном.

Однак у джерелах відсутні дані щодо впливу біопалива на працездатність паливної системи дизельних двигунів. У цьому істотну роль економії палива грає харчування системи дизельних двигунів. За низького рівня або за відсутності технічного обслуговування та поганого стану паливної системи, швидше за все, очікується збільшення (понад 35 %) витрати палива. Тому, вважаємо за

необхідне рекомендувати ввести керівні документи або ДСТУ, які регулюватимуть технічне обслуговування паливної системи з метою підтримки працездатності у необхідних параметрах та межах, щоб не допустити перевитрати пального та мастильних матеріалів (ПММ). Через основні вузли та агрегати паливної системи дизельних двигунів відбувається головне перевитрата палива: – форсунки (приблизно 25 %); - Паливні насоси високого тиску (понад 5%); – фільтри грубого та тонкого очищення (понад 4 %); – паливні баки (при нещільному закритті – до 4 %, при підтіканні – до 5 %); – паливопроводи (при підтіканні – до 5%); - Негерметичність клапана економайзера (до 20%) [7; 18; 19; 20].

Тому підвищення працездатності паливної апаратури дизельних двигунів, що працюють на біопаливі, є актуальним науковим та практичним завданням.

**Об'єкт дослідження:** процес експлуатації та те технічного обслуговування транспортно-технологічні машини в АПК.

**Предметом дослідження** виступають показники надійності дизельних двигунів транспортно-технологічних машин в АПК, що працюють на сумішевому паливі з біодобавками з ріпакової олії.

**Мета роботи:** розробка рекомендації щодо модернізації та обслуговування паливної системи дизельних двигунів, які працюють на сумішевому паливі з біодобавками з ріпакової олії.

У зв'язку з поставленою метою визначено **завдання досліджень:**

- виконати аналіз досліджень щодо впливу біодобавок у дизельне паливо на працездатність дизельних двигунів, тенденції використання ріпакової олії як альтернативного палива для дизельних двигунів та вплив біодобавок на працездатність паливної апаратури;

- експериментально визначити ефективні (потужні, екологічні, параметри системи паливоподачі та працездатність форсунок та фільтрів паливної системи та ін.) показники дизельних двигунів при роботі на товарному дизельному паливі та сумішевих паливах;

- представити результати досліджень впливу біодобавок у дизельному паливі на працездатність форсунок, фільтрів паливної системи, гумотехнічних виробів та на потужнісні, екологічні показники дизельних двигунів. Вплив щільності та в'язкості біопалива на характеристики паливоподачі дизельного двигуна;

- розробити рекомендації щодо обслуговування паливної системи дизельних двигунів з використанням сумішевого біопалива та оцінити їх економічну ефективність.

**Методи досліджень** представлені теоретичними дослідженнями зміни показників паливоподачі та експериментальними дослідженнями роботи двигунів на дизельному сумішевому паливі. Достовірність одержаних результатів дослідження обумовлена застосуванням сучасного дослідницького обладнання та приладів, у тому числі мотортестеру. Результати експериментальних досліджень оброблялися з використанням відомих статистичних методів та комп'ютерної техніки.

Перелік **публікацій** за темою роботи:

1. Савченко В.М, **Дев'ятко Д.В.** Вплив біодобавок у дизельне паливо на роботу паливної апаратури. Сучасні вектори розвитку аграрної науки: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (ХДАЕУ, 17-18 вересня 2024 року). Херсон: ХДАЕУ, 2024. С. 472-475.

2. Грабар І. Г., **Дев'ятко Д.В.** Вплив біодобавок із ріпакової олії в дизельне паливо на працездатність фільтрів. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 319-321.

3. **Дев'ятко Д.В.** Використання ріпакової олії як палива для дизельних двигунів. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково- педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої

освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 9-11.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено пристрій для підігріву біопалива дизельних двигунів. Проведені випробування пристрою для підігріву сумішевого біопалива показали, що запропоноване технічне рішення забезпечує легший запуск двигуна і підвищує працездатність паливної апаратури, зокрема за низьких температур навколишнього середовища.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 22 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 58 сторінок комп'ютерного тексту, містить 28 рисунків та 13 таблиць.



## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1 Використання ріпакової олії як палива для дизельних двигунів

Як біодобавку в дизельне паливо можна використовувати натуральну рослинну олію або продукти її переробки [1-5], що виявилось найкращим для створення біопалива для дизельних двигунів [4]. Біодобавки на основі рослинних олій виробляються більш ніж із 50 олійних культур [1]: рапсова, соняшникова, соєва, лляна, бавовняна, пальмова, арахісова, сафлорова тощо [5]. Однак за кордоном і в Україні переважно застосовують біодобавки з ріпакової олії [5]. Властивості ріпакової олії представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Властивості ріпакової олії.

Показники	Ріпакова олія
Щільність при 20 С, кг/м <sup>3</sup>	917
В'язкість при 20 С, мм <sup>2</sup> с	78
Температура, °С: спалаху	308
кристалізації	-17
Теплота згорання (нижча/вища), кДж/кг	37300
Цетанове число, од.	37
Вміст масла, %	44
Вихід масла, л/кг	0,38
Вилучення олії, %	72,2

Як показує аналіз, рослинні олії відрізняються від товарного дизельного палива високою в'язкістю, густиною, теплотою згорання, температурою спалаху. Як відомо, всі рослинні олії між собою за складом близькі, а від товарного дизельного палива відрізняються наявністю кисню (9,6...11,5 %).

Однак у рослинних олій є недоліки: менша теплота згоряння (на 7-10 %), висока в'язкість (у 6 разів і більше), низька випаровуваність, підвищена схильність до нагароутворення тощо. Через це дизельні двигуни, особливо сучасні, не можуть працювати на чистих рослинних оліях тривалий час. Один із найпростіших способів, що застосовуються у вигляді добавок, - змішування олії з дизельним паливом. Таке сумішеве паливо називається «біодизельне». Усі одержувані композиції називаються «біодит» (сумішеве паливо). Зі збільшенням концентрації ріпакової олії в дизельному паливі тривалість згоряння збільшується, коли ріпакової олії понад 60 %, то згоряння не встигає закінчитися до відкриття випускного клапана дизельного двигуна. Для того, щоб зменшити згоряння, додають активатори згоряння (фероцен) [1]. Фізико-хімічні характеристики різних видів палива наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльна фізико-хімічна характеристика палива

Показники	Ріпакова олія	Суміш ріпакової оливи і дизельного палива (75:25)	Дизельне паливо ДСТУ
Нижча теплота згоряння, МДж/кг	37,3	38,4	41,9
Густина при 20 С, кг/м <sup>3</sup>	918	891	861/842
Цетанове число	37	43	46
Йодне число на 100 г, г	9,8–10,4	10	7
Кислотність, мг КОН/100 см <sup>3</sup>	6,2	6,0	5,0
Вміст за масою, %:			
вуглець	78,4	80,4	86,5
водень	12,9	12,96	12,2
кисень	8,88	6,54	0
Масова частка сірки, %	0,06	0,17	0,6

Таблиця 1.3 – Фізичні властивості палива

Показники	Дизельне паливо		Суміш дизельного палива та ріпакової олії	
	літнє	зимнє	33 %	50 %
Теплотворна здатність, МДж/кг	42,8	42,9	41,2	-
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	850	830	858...866	878...880
Температура, °С:				
займання	70	70	-	-
помутніння	-6	-23	-17	-7

Таблиця 1.4 – Параметри біопалива порівняно з дизельним паливом (дані надані фірмою «Fischer-Tropsch fuels»)

Паливо	Щільність кг/л	Теплотворна здатність при 20 °С, МДж/кг	Теплотворна здатність при, МДж/л	В'язкість при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	Температура спалаху, °С	Еквівалентність палива
Дизельне	0,85	42,8	35,97	5	81	1
Ріпакова олія	0,93	38,6	34,61	76	320	0,97
Біодизель	0,89	37,5	32,70	7,5	124	0,92

Щільність ріпакової олії вища на 9 %, в'язкість - у 25 разів більша, вміст сірки менший у 10 разів. Температура застигання вища на 170С порівняно із зимовим паливом, і на 10°С нижча за літнє [4]. Сумішеве паливо за своїми фізико-хімічними характеристиками посідає середнє положення.

Щоб виготовити 1 тону сумішевого пального (75 % ріпакової олії та 25 % дизельного пального) необхідно 250 кг дизельного пального і 750 кг ріпакової олії [3].

Фізико-хімічні показники ріпакової олії, що використовуються у Фінляндії, наведено в таблиці 1.3.

Характеристика палива з біодобавками ріпакової олії, що використовується в Німеччині, наведена в таблиці 1.4.

Таким чином, найбільшого поширення як сировина для біопалива набула рапсова олія. Слід враховувати ці відмінності під час адаптації паливної апаратури дизельних двигунів для роботи на біопаливі.

## **1.2. Вплив біодобавок у дизельне паливо на роботу паливної апаратури**

Застосування біодобавок у дизельному паливі регламентується регіональними ресурсами, співвідношенням цін на добавки та нафтове паливо, витратами на адаптацію автотракторної та автомобільної техніки до роботи на сумішевому паливі, інфраструктурою доставки, зберігання та заправки, можливостями тривалого зберігання біопалива на нафтоскладах. Для забезпечення надійної експлуатації швидкохідних двигунів якість дизельного палива має відповідати певним вимогам. Ця особливість зумовлена процесом теплоти згоряння: за невеликий час повинне не тільки встигнути перемішатися з повітрям, окислюватися, випаруватися, спалахнути, а й вчасно має забезпечити повне згоряння. На процеси випаровування, згоряння і сумішоутворення насамперед впливають густина палива, поверхневий натяг, динамічна і кінетична в'язкість.

На розмір паливного струменя і дрібність розпилювання за рівних умов впливає в'язкість і густина. При зменшенні в'язкості середній діаметр крапель сумішевого палива скорочується, розпил стає однорідним. Кут розсіювання паливного струменя збільшується, а далькобійність зменшується. При підвищенні в'язкості зростає далькобійність паливного струменя, частка об'ємного сумішоутворення скорочується і призводить до потрапляння на стінки камери згоряння сумішевого палива. А коли менший поверхневий натяг, тоді й

тонше, однорідніше розпилювання пального, це призводить до прискорення сумішоутворення і згорання. Для оцінки та аналізу характеристики сумішоутворення та згорання альтернативного палива дизельного двигуна необхідно провести експериментальні дослідження. Проектування камери згорання і впускних каналів багато в чому дасть нам змогу унеможливити можливе рикошетування палива на «холодну» поверхню днища головки циліндра та інтенсифікувати можливі процеси сумішоутворення. Деяке збільшення далекобійності паливного струменя компенсує погіршення випаровування і сумішоутворення найбільших крапель палива. Найінтенсивніший процес сумішоутворення і випаровування відбувається на ділянці розвитку струменя.

Паливо для дизельних двигунів має відповідати таким експлуатаційним вимогам:

- забезпечувати необхідну займистість і досить повне згорання, м'яку роботу і необхідний легкий пуск двигуна;
- забезпечувати хороше сумішоутворення і розпил;
- забезпечувати наявність певних низькотемпературних властивостей і хорошу прокачуваність;
- забезпечувати експлуатацію та зберігання палива за безпечної роботи;
- має бути відсутнім: нагароутворення на клапанах, на кільцях і поршнях; закоксованість форсунки; зависання голки розпилювача; корозія деталей і вузлів дизельного двигуна та їхнє зношування.

Щоб біопаливо було адекватним стандартним нафтовим вуглеводневим паливом, воно повинно задовольняти не тільки основним перерахованим вище вимогам, а й мати кращі екологічні властивості.

Використання сумішевого палива з ріпакової олії в дизельних двигунах можливе тільки при виконанні таких умов: хімічний склад, фізичні властивості, чистота ріпакової олії повинні забезпечувати застосування сумішевого палива в дизельних двигунах під час запуску; паливні фільтри, паливний насос і розпилювачі форсунок не мають бути засмічені; якість розпилу сумішевого

палива має забезпечувати: повне згоряння; відсутність нагару на поршневих кільцях; мінімальною має бути швидкість займання; необхідно забезпечувати заданий робочий тиск при стисненні горючої суміші; сумішеве паливо не повинно залишатися на стінках циліндрів (це унеможливить перетікання суміші в масляний картер, погіршення якості мастила і роботи всієї мастильної системи).

Вимоги та умови визначають використовувану як паливо ріпакову олію, яка має відповідати дизельному паливу. Щоб забезпечити повноту згоряння сумішевого палива, зменшити нагар і сажові нашарування дизельні двигуни мають бути доопрацьовані.

Дослідники встановили основні відмінності властивостей ріпакової олії залежно від дизельного пального: низька теплота згоряння, підвищена в'язкість, густина і вміст кисню близько 11 %, практична відсутність вуглеводневих сполук. Щойно в циліндр дизельного двигуна впорскується в'язка рапсова олія, кут розсіювання струменя і бічна поверхня зменшуються, це призводить до зменшення кількості випаровування сумішевого палива, що випарувалося, за період затримки займання і «м'якої» роботи дизельного двигуна.

Позитивний вплив може мати підігрів сумішевого палива до 70...80 °С, що призведе до поліпшення показників паливної системи. Збільшення тиску впорскування призведе до зменшення діаметра крапель, що розпилюються. Відомо, що рослинні олії мають підвищену в'язкість і закоксованість.

Дослідження впорскування палива і сумішоутворення показало, що при використанні метилового ефіру ріпакової олії збільшується на 9 %, а кут розкриття струменя палива зменшився на 9 %, закономірно збільшується далекобійність струменя. Зміна цих параметрів і властивостей призводить до того, що до 79 % пального потрапляє на стінки камери згоряння, що призводить до зменшення сумішоутворення і негативно позначається на сумішоутворенні та згорянні. Це призводить до безпосереднього погіршення показників дизельного двигуна, у зв'язку з чим витрата палива збільшується на 6 %.

До недоліків біодизельного палива можна віднести агресивність до деталей, зокрема й гумових. За низької температури на жиклерах, форсунках та інших отворах можуть утворитися опади у вигляді кристалів воску, що призводить до їхнього закупорювання. Відзначаються випадки виходу з ладу паливних насосів високого тиску і фільтрів очистки палива, тому виробники вносять у дизельні двигуни конструктивні зміни, для того щоб адаптувати їх до використання на біопаливі.

## РОЗДІЛ 2

### ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1 Методика експериментальних досліджень

Для досліджень використовували сумішеве паливо. Щоб отримати сумішеве паливо ми змішували дизельне паливо (ДП) з рапсовою олією (РО). На підставі виконаних попередніх досліджень і даних робіт [1-12] готували сумішеве паливо в таких пропорціях – 25 % РО : 75 % ДП, 50 % РО : 50 % ДП, 75 % РО : 25 % ДП [2].

Отримана ріпакова олія має такі порівняльні характеристики (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Характеристики ріпакової олії

Показники	Ріпакова олія	Дизельне паливо Л/З
Щільність, кг/л	0,93	0,85
В'язкість при 20°C, мм <sup>2</sup> /с	75	4...6
Щільність при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	916	865/85
Кислотність, мг КОН/100 см <sup>3</sup>	6,2	6
Масова частка сірки, %	0,06	0,6
Теплота згоряння, кДЖ/кг	37300	42530
Цетанове число, од.	42	46
Температура, °C:		
помутніння	-10	-6/-26
застигання	-19	-11/-36
займання	594	544
Коксованість 10 % залишку, %	0,45	0,31

Для визначення в'язкості використовували прилад «в'язкометр» і секундомір, для вимірювання густини використовували ареометр (рис. 2.1).



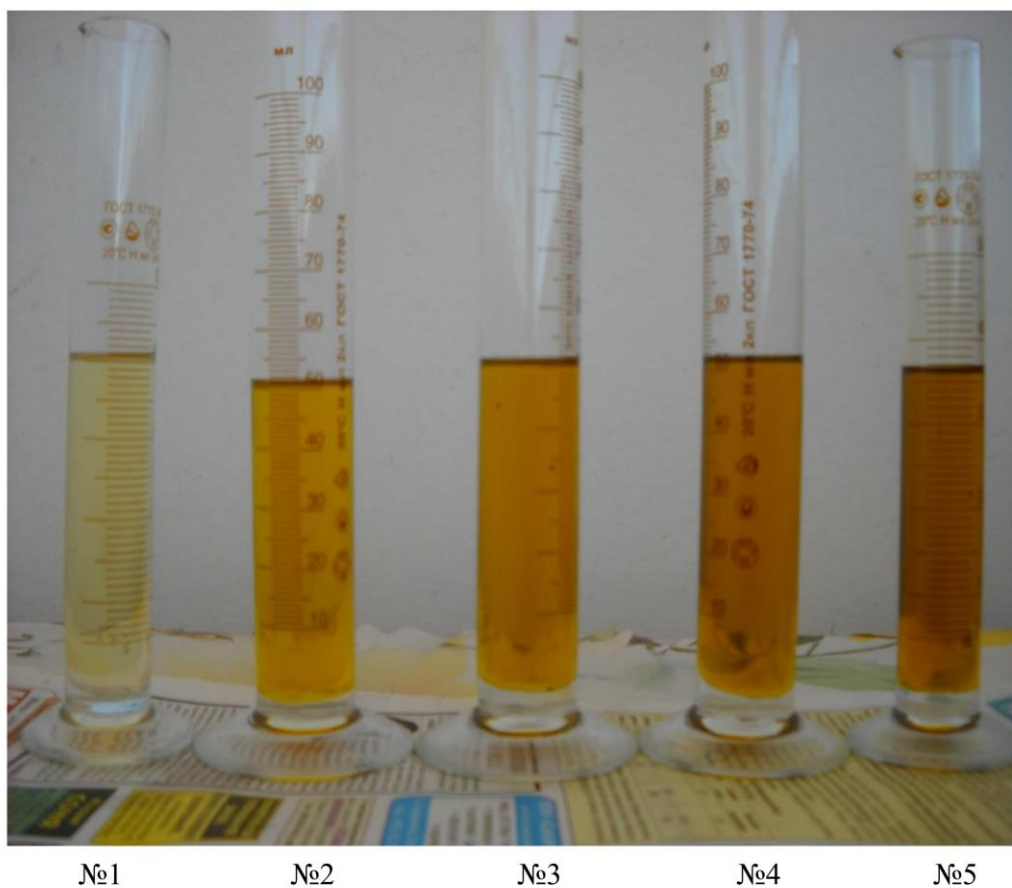


Рис. 2.1. Композиції сумішевого палива: №1 (дизельне паливо ДП), №2 (25 % РО : 75 % ДП), №3 (50 % РО : 50 % ДП), №4 (75 % РО : 25 % ДП), №5 (чиста ріпакова олія РО)



Рис. 2.2. Прилади для вимірювання в'язкості та густини палива

Паливні фільтри призначені для затримування забруднень, що містяться в дизельному паливі, ефективно оберігаючи високоточні елементи паливної системи двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) від швидкого зносу. Пил та іржа з внутрішніх стінок баків, вода, а також мікроорганізми, які живуть у ній, можуть спричинити швидке зношування форсунок насосів або клапанів регуляторів тиску, наявних у двигунах [7]. Ми проводили дослідження працездатності ФТО палива (рис. 2.3), що працюють як на дизельному, так і на сумішевому паливі з добавками ріпакової олії (РО).

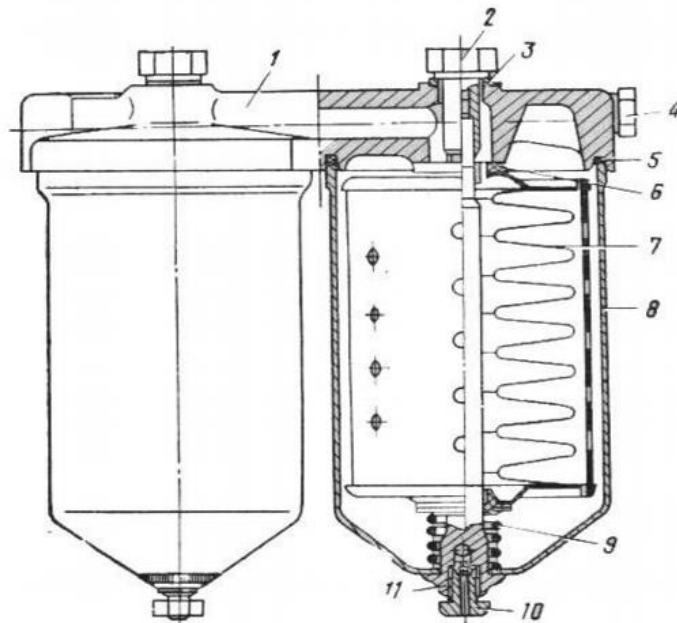


Рис. 2.3. Фільтрувальний елемент тонкого очищення палива: 1 – корпус, 2 – болт, 3 – шайба ущільнювача, 4 – корок, 5 і 6 – прокладка, 7 – фільтрувальний елемент, 8 – ковпак, 9 – пружина фільтрувального елемента, 10 – корок зливного отвору, 11 – стрижень.

Схема підключення системи паливоподачі пристрою така: один рукав пристрою приєднали за допомогою штуцера до нагнітальної магістралі паливного насоса низького тиску перед фільтрувальним елементом тонкого очищення палива, а інший - між фільтрувальним елементом тонкого очищення палива та паливним насосом. Критерієм працездатності фільтрувального елемента тонкого очищення пального є зміна (перепад) тиску до і після фільтрувального елемента тонкого очищення пального, який визначили за

показаннями пристосування для заміру тиску в паливопідкачувальній магістралі низького тиску [14].

Вимірювання тиску в магістралі до і після фільтра проводили на номінальній частоті обертання колінчастого вала дизельного двигуна під час холостої роботи дизельного двигуна на дизельному паливі, рапсовій олії та на різних паливних компонентах (рис. 2.4) [3]. Такі самі досліди проводили з пристроєм для підігріву палива з підігрітим сумішевим паливом. Для експериментів використовували нові фільтри тонкого очищення палива.



Рис. 2.4. Пристосування для вимірювання тиску в паливопідкачувальних магістралях

Досліджували також вплив біодобавок з ріпакової олії на стан фільтрувальних елементів тонкого очищення [3]. У першій серії дослідів у фільтри заливали товарне дизельне паливо та сумішеве паливо. Їх витримували протягом шести місяців. Оцінкою стану паперу слугувало зусилля на розрив.

Оскільки біодобавки з ріпакової олії містять різні смоли [3], то вони заповнюють пори, збільшуючи міцність на розрив.

Випробування фільтрувального паперу ми проводили на розривній машині. Схему розривної машини представлено на рис. 2.5.

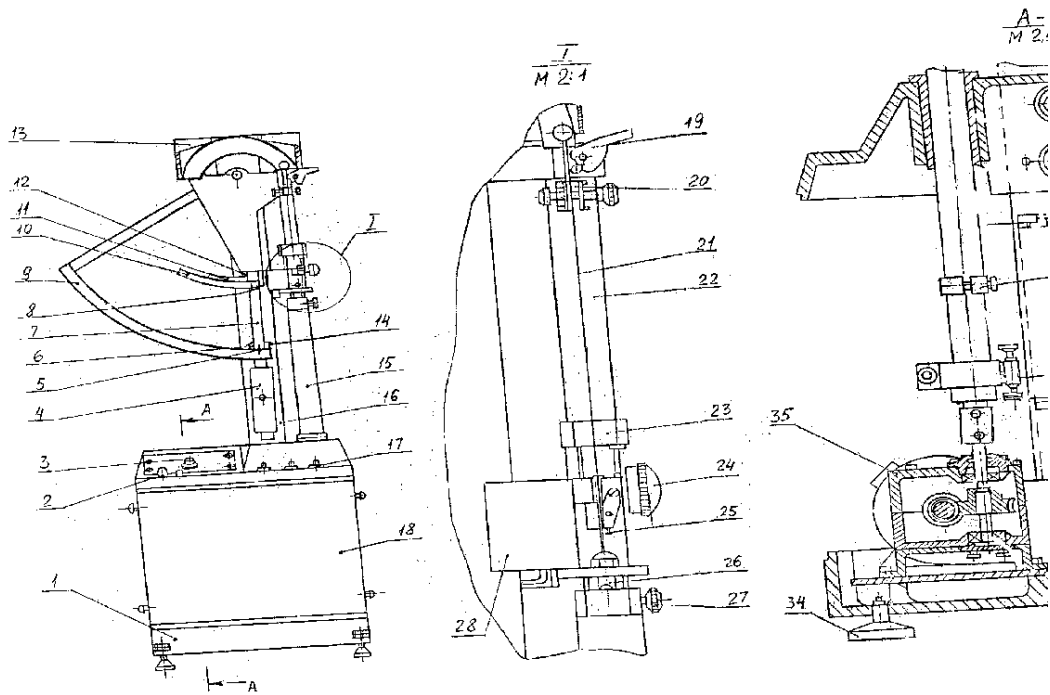


Рис. 2.5. Машина розривна випробувальна.

Для фіксування положення верхнього затискача 20 під час установлення випробовуваного зразка призначений гвинт 19.

На лінійці 22 встановлено упор 23, який фіксується гвинтом. На упорі є два штики: нерухомий і рухомий; упор 23 встановлюють на лінійці 22 таким чином, щоб нижній торець торкався пластини, де змонтований нижній затискач 28. При цьому рухомий штик буде за допомогою спеціального важеля піднімати нижній затискач у вихідне положення, за якого замикаються контакти ланцюга електродвигуна.

Пластина з нижнім затискачем 28 закріплена на висувному стрижні 26, який за допомогою конічного штифта 27 фіксується в тубусі 15. У стрижні розташовано шість отворів 26, які дають змогу встановлювати затискачами відстань, що дорівнює 0; 10; 50; 100; 150; 180 і 200 мм.

Нижній затискач 28 за допомогою маховика 24 і гвинта 25 дає змогу закріплювати випробовуваний зразок із попереднім натягом, що не перевищує 0,3 Н.

Для вимкнення електродвигуна приводу 35 у момент досягнення нижнім затискачем 28 крайніх нижнього та верхнього положень на нижній частині стійки 16 встановлено два мікроперемикачі 29 і 32, які спрацьовують під час натискання на них штовхача 31.

З метою підвищення точності фіксування нижнього затискача 28 у крайньому верхньому положенні передбачено упор 30, встановлений на тубусі 15 таким чином, щоб верхня площина упору стикалася з верхньою плитою машини після спрацьовування перемикача 29.

Під час розриву випробовуваного зразка відбувається миттєве вимкнення електродвигуна, зупинка нижнього затискача внаслідок розмикання контактів, що знаходяться на важелі нижнього затискача.

Для визначення величини передбачений маятник подовження 12. На довгому плечі маятника встановлено конус 11 для відліку абсолютного подовження зразка і покажчик 8 для відліку його відносного подовження. Коротке плече цього маятника за допомогою стрічки 21 і стяжки з двома гайками з'єднане з тубусом 15, що дає змогу в початковому положенні поєднувати нульові позначки конуса і циферблата подовження 10.

Від кожного фільтра вирізали прямокутні листи і потім смужки [6] (рис. 2.6).

Смужки фільтрувальних елементів тонкого очищення палива закріплювали на розривній машині. Навантаження з розтягуванням смужок проводили до руйнування (розриву). Показники руйнівного зусилля визначили за шкалою розривної машини. За результат визначення руйнівного зусилля досліджуваного паперу фільтрувального елемента тонкого очищення палива взяли середнє значення вимірювань і округлили до цілого числа за правилами округлення [3].

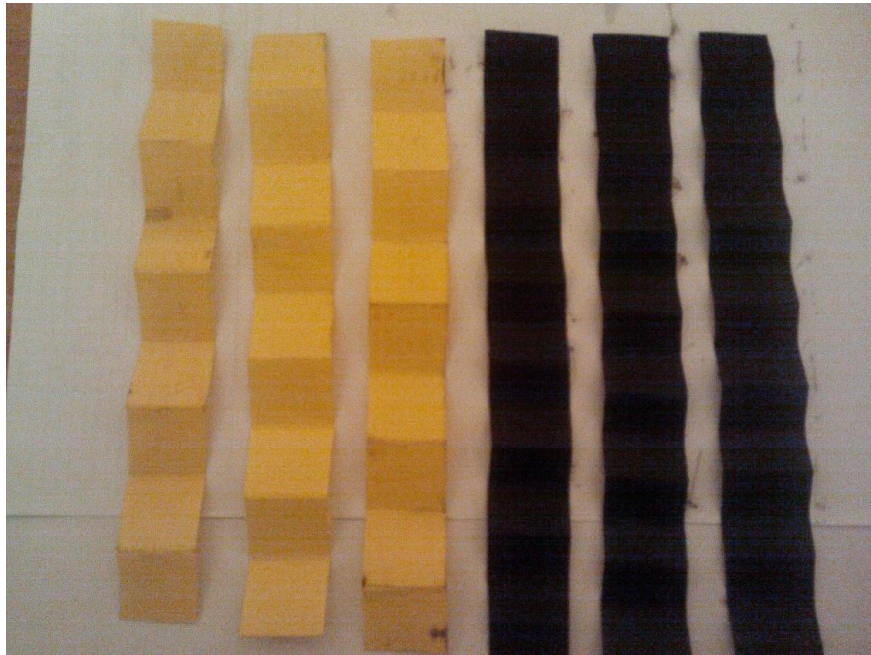


Рис. 2.6. Зразки фільтрувального паперу для випробування на розрив  
 Досліджували також стан гумотехнічних виробів фільтрів (ущільнення)  
 [13] (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Гумотехнічні вироби фільтрів: 1 – ущільнення.

Зразки гумотехнічних виробів були поміщені в ємності з товарним дизельним паливом і сумішевим паливом і були витримані протягом шести місяців. Після чого вироби були взяті з ємності для порівняння їхньої придатності для подальшої роботи та порівняні між собою [9] (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Гумотехнічні вироби фільтрів: 1 – у рапсовій олії; 2 – у дизельному паливі.

Для досліджень параметрів системи паливоподачі дизельного двигуна застосовували мотортестер МО 3-2 (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Загальний вигляд мотортестера МО 3-2.

Для зручності роботи з мотортестером робоче місце обладнали поворотною штангою. При розміщенні мотортестера враховували, що оптимальний кут огляду - перпендикулярно до дисплея [140] (рис. 2.9).

Мотортестер МО 3-2 являє собою мікропроцесорний прилад із комплектом датчиків і сполучних пристроїв [14] (рис. 2.10):

- датчик струму ДТ;
- датчик тиску ДД;
- датчик високої напруги ДВН;
- стробоскоп;
- пристрій з'єднувальний УС1, до складу якого входять: затискач контактний «+»; затискач контактний «-»; затискач контактний КЗ; щуп контактний ОСЦ1; щуп контактний ОСЦ2 [3].

Мотортестер вимірює різні параметри технічного стану паливної системи дизельних двигунів.

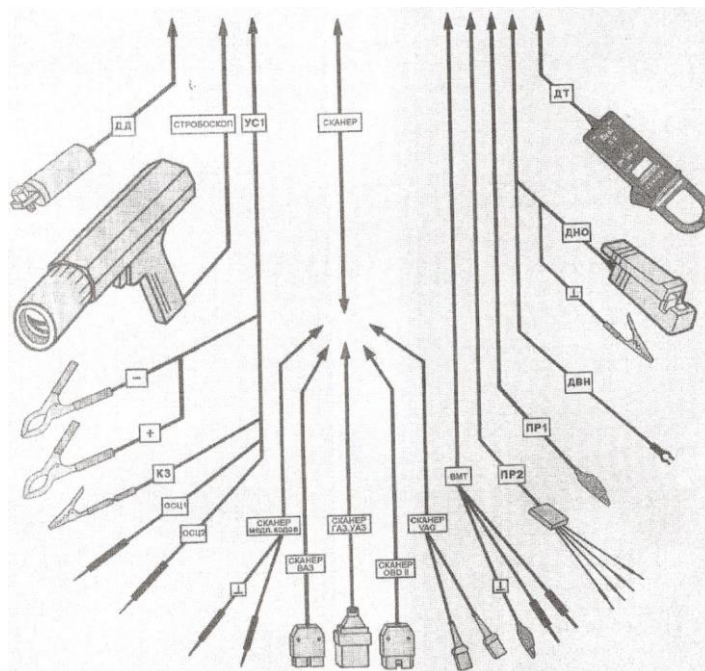


Рис. 2.10. Схема з'єднань і датчики мотортестера.

Перед проведенням вимірювань параметрів паливної системи ДВЗ прогрівається до робочої температури і підключаються всі необхідні датчики на випробовуваний дизельний двигун (рис. 2.11).



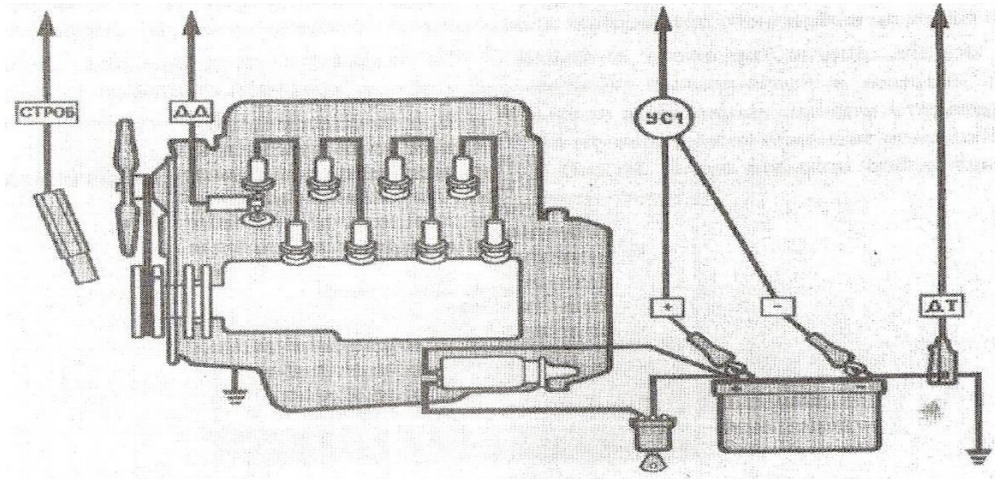


Рис. 2.11. Схема кріплення датчиків на двигуні.

Форсунка призначена для розпилення і впорскування палива в камеру згоряння. Надлишкове паливо і повітря, що потрапило в систему, через перепускний клапан паливного насоса високого тиску і клапан-жиклер фільтра тонкого очищення палива дренажними проводами надходить до паливного бака.

На стенді перевірили такі параметри: - тиск початку впорскування; - якість розпилювання пального; - гідравлічна щільність форсунки; - герметичність по замикаючому конусу розпилювача [2].

Стенд для випробування форсунки показано на рисунку 2.12, а його схему на рис. 2.13 [3].

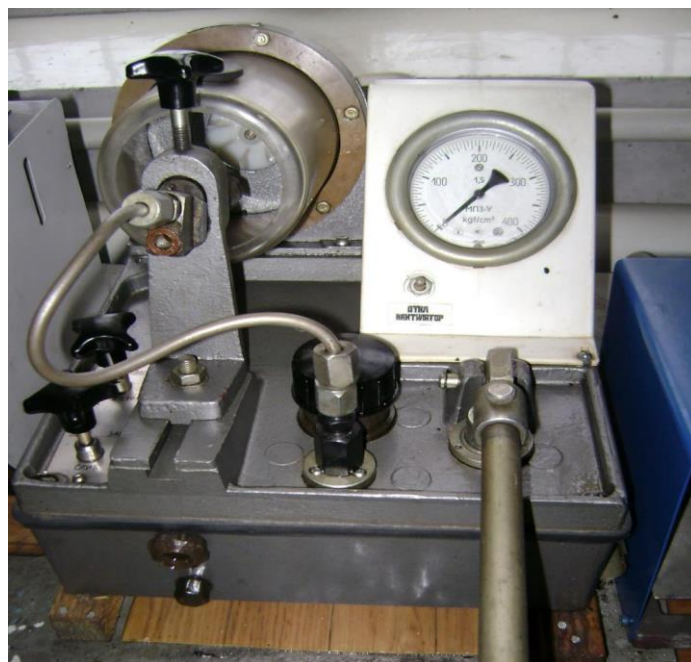


Рис. 2.12. Стенд для випробування форсунки.

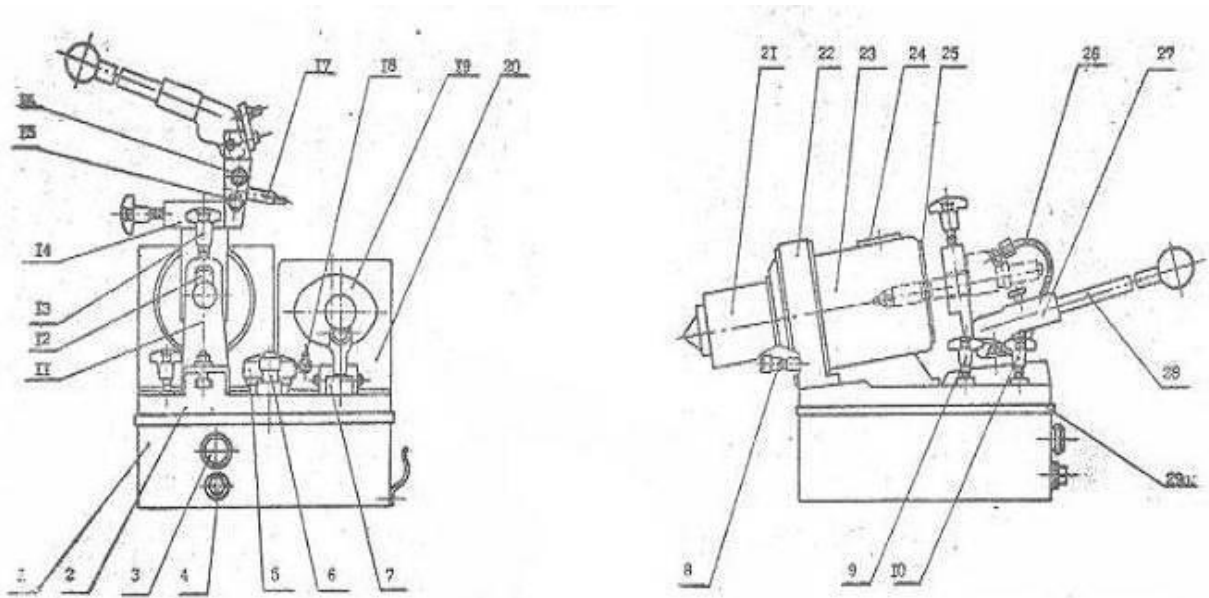


Рис. 2. 13. Схема стенда для перевірки форсунок: 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – оливопоказчик; 4 – зливна пробка; 5 – сапун; 6 – вихідний штуцер; 7 – насос; 8 – вставка; 9 – кран; 10 – кран «злив»; 11 – кронштейн; 12 – призма; 13 – гвинт натискний; 14 – затискач насос-форсунки; 15 – ковпачок; 16 – штуцер; 17 – паблон; 18 – тумблер; 19 – манометр; 20 – кожух; 21 – електродвигун ME-236; 22 – вентилятор; 23 – камера впорскування; 24 – заглушка; 25 – кришка; 26 – змінний паливопровід; 27 – важіль; 28 – рукоятка; 29 – прокладка [4].

Для випробування форсунку встановлювали на дизельний двигун (рис. 2.14).



Рис. 2.14. Дизельний двигун для дослідження працездатності форсунки на біопаливі.

Тиск початку впорскування форсунки перевіряли так: встановлювали форсунку на стенд; потім створили насосом тиск у гідросистемі та зафіксували його на манометрі в момент початку виходу струменя палива з форсунки [8].

Якість розпилування сумішевого палива форсункою визначали так: встановлювали форсунку на стенд; потім здійснювали впорскування сумішевого палива форсункою в камеру впорскування, створивши тиск насосом. Спостерігали візуально розміри частинок розпорошеного палива і щільність їхнього розподілу за поперечним перерізом факела впорскуваного сумішевого палива. Початок і кінець уприскування чіткий і супроводжується характерним звуком. У факелі сумішевого палива, що впорскується форсункою, не повинно утворюватися окремих крапель і суцільних струменів палива. Підтікання палива через соплові отвори не допускається [4].

Потужність двигуна вимірювали на режимі мотортестера «ПОТУЖНІСТЬ». Для цього за командою мотортестера «РОЗГІН» різко натискали педаль акселератора до упору. Після цього висвічувалася команда «ВИБІГ». Потім опускали педаль акселератора. При цьому частота обертання знижувалася до частоти початку розгону і висвічувалася команда «РОЗГОН». Знову різко натискали педаль акселератора. Цикл «РОЗГІН-ВИБІГ» повторили тричі за командою мотортестера. У результаті на екрані висвічувалося виміряне значення потужності двигуна [4].

Процедури вимірювань на різних режимах повторювали по п'ять разів із різними композиціями палив, зокрема на товарному дизельному, сумішевому та чистому ріпаковому маслі [1].

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

#### 3.1 Вплив біодобавок із ріпакової олії в дизельне паливо на працездатність фільтрів

На всій лінії подачі палива основним елементом, що забезпечує працездатність паливної системи, є фільтр тонкого очищення (далі ФТО) палива. Фільтрувальний елемент тонкого очищення палива зобов'язаний забезпечити необхідну точність фільтрації і зберігати тактико-технічні характеристики перепаду тиску до і після фільтра. На підвищене засмічення фільтрів тонкого очищення палива під час роботи на біопаливі вказують багато дослідників [1].

Тиск до і після фільтрів є одним з основних діагностичних параметрів їхнього стану. Цей параметр вимірювали пристроєм КИ-28140 на номінальній частоті обертання колінчастого вала дизельного двигуна за холостої роботи дизельного двигуна [6]. Залежність перепаду тиску до і після фільтра від вмісту біодобавок ріпакової олії в різних паливних композиціях наведено на рис. 3.1.

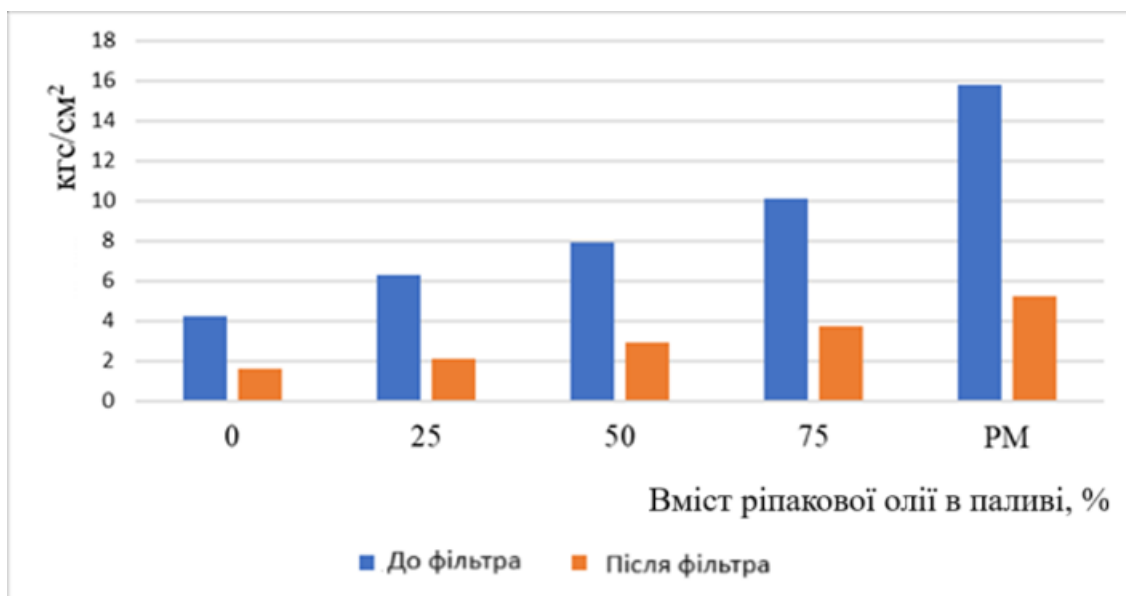


Рис. 3.1. Результати дослідження залежності тиску до і після фільтра тонкої очистки палива від вмісту ріпакової олії в дизельному паливі

Дослідженням встановлено, що додавання ріпакової олії в дизельному паливі створює додатковий гідравлічний опір. І пов'язано це з підвищенням в'язкості сумішевого палива (рис. 3.2) [1].

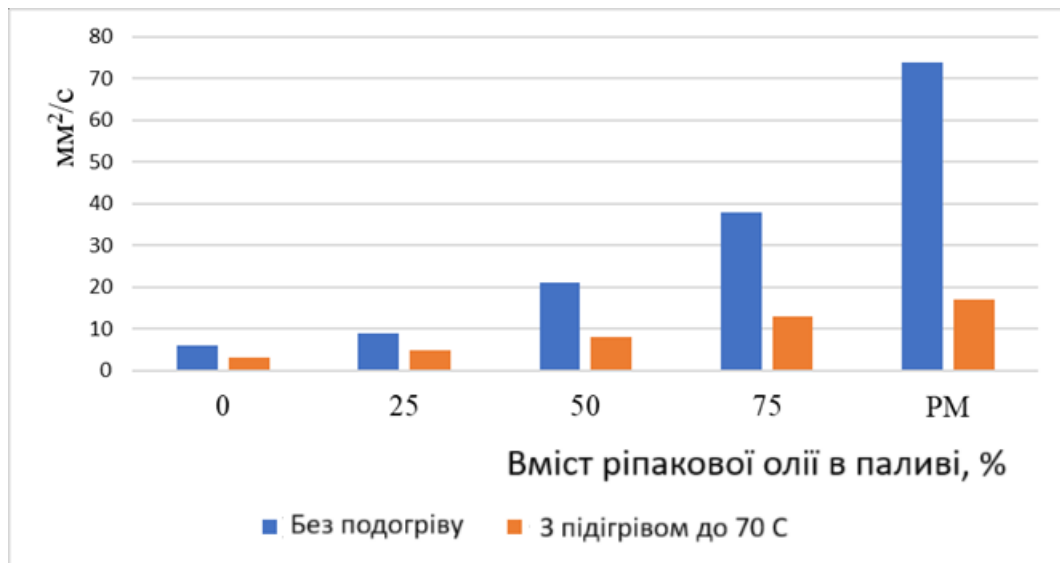


Рис. 3.2. Залежність в'язкості пального від вмісту ріпакової олії в дизельному паливі

Результати вимірювань густини пального від вмісту ріпакової олії в дизельному паливі представлено на рис. 3.3.

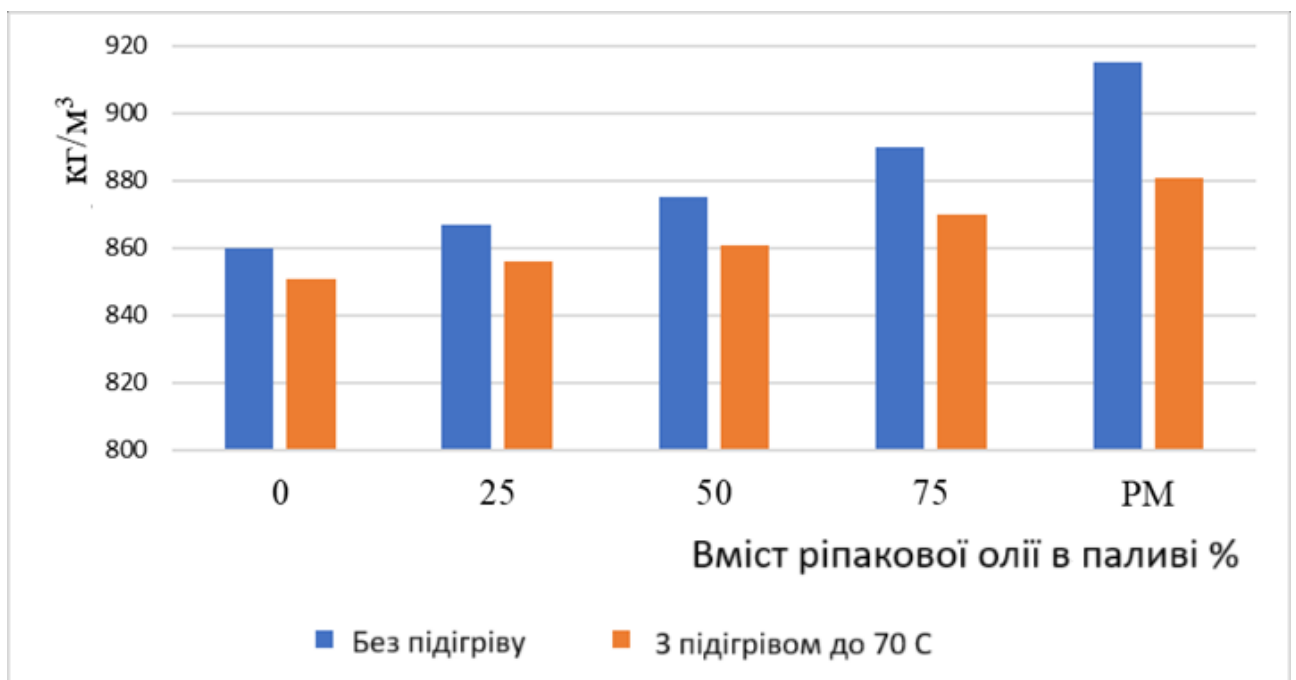


Рис. 3.3. Залежність густини палива від вмісту ріпакової олії в дизельному паливі.

Залежність перепаду тиску до та після фільтра від вмісту біодобавок ріпакової олії в підігрітих паливних композиціях до 70 °С подано на рис. 3.4.

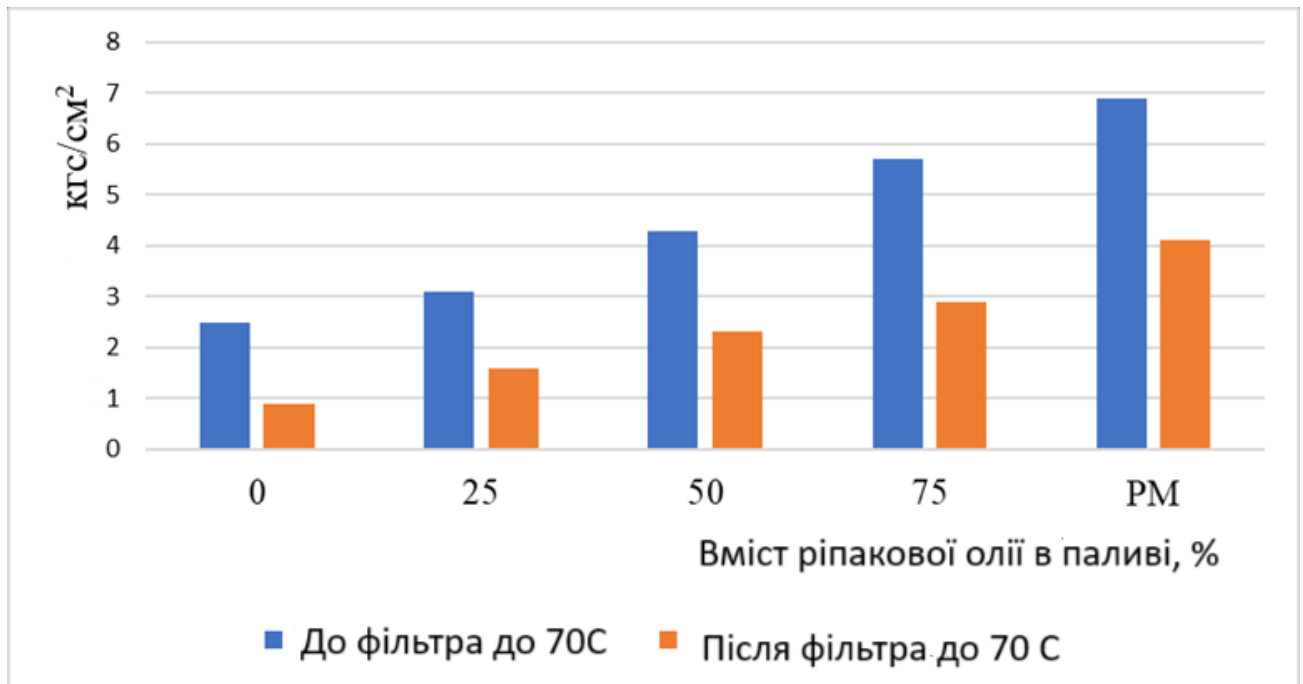


Рис. 3.4. Залежність тиску до та після фільтра від вмісту біодобавок ріпакової олії в підігрітих паливних композиціях температура підігріву палива до 70°С

Таким чином, у результаті досліджень встановлено, що використання біодобавок (ріпакової олії) в дизельному паливі створює додатковий гідравлічний опір. Підігрівом сумішевого палива можна знизити гідравлічний опір [6]. Перепад тиску збільшується пропорційно збільшенню динамічної в'язкості [1]. Наші дослідження підтвердили це положення.

### **3.2 Вплив біодобавок із ріпакової олії в дизельне паливо на працездатність фільтрувальних елементів**

Згідно з методикою, стан фільтрувальних елементів оцінювали за зусиллям розриву смужок фільтрувального паперу. Результати досліджень представлені в таблиці 3.1 [1].

Залежність зусилля розриву смужок фільтра від вмісту біодобавок із ріпакової олії в сумішевому паливі подано на рис. 3.5.

Таблиця 3.1 – Зусилля розриву смужок фільтрувального паперу

Фільтр	Зусилля розриву, Н
Новий	80
Фільтр, витриманий у товарному дизельному паливі	33
Фільтр, витриманий у сумішевому паливі (25 %РМ : 75 %ДП)	41
Фільтр, витриманий у сумішевому паливі (50 %РМ : 50 %ДП)	62
Фільтр, витриманий у сумішевому паливі (75 %РМ : 25 %ДП)	78
Фільтр, витриманий у рапсовій олії	90

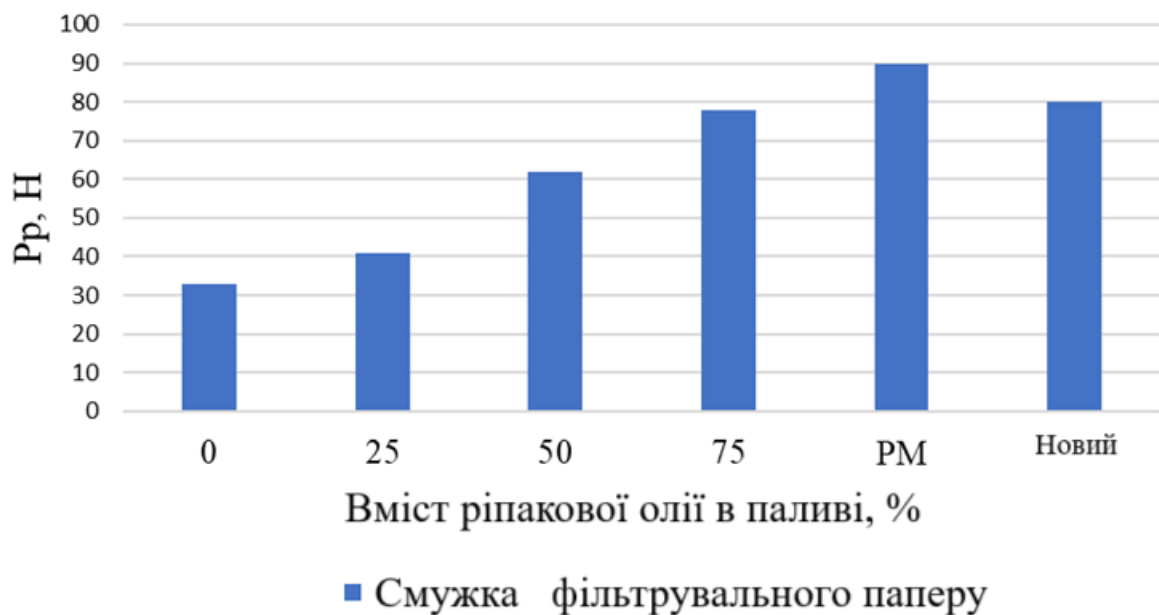


Рис. 3.5. Залежність зусилля розриву смужок фільтра тонкого очищення палива від вмісту ріпакової олії в дизельному паливі

Аналіз отриманих даних показав, що у фільтрувального елемента тонкого очищення пального, який був витриманий у рапсовій олії, розрив зразка вищий і становить 90 Н [3], а у фільтрувального елемента тонкого очищення пального, витриманого у дизельному паливі – 33 Н. Виходить, що для підвищення

працездатності фільтрувального елемента тонкого очищення палива, що працює на сумішевому паливі, його необхідно частіше міняти або промивати.

### **3.3 Вплив біодобавок із ріпакової олії в дизельне паливо на стан гумових виробів**

Згідно з розробленою нами методикою, після шести місяців витримки гумових виробів фільтрувального елемента тонкого очищення пального в сумішевому паливі їх візуально порівняли (рис. 3.6).

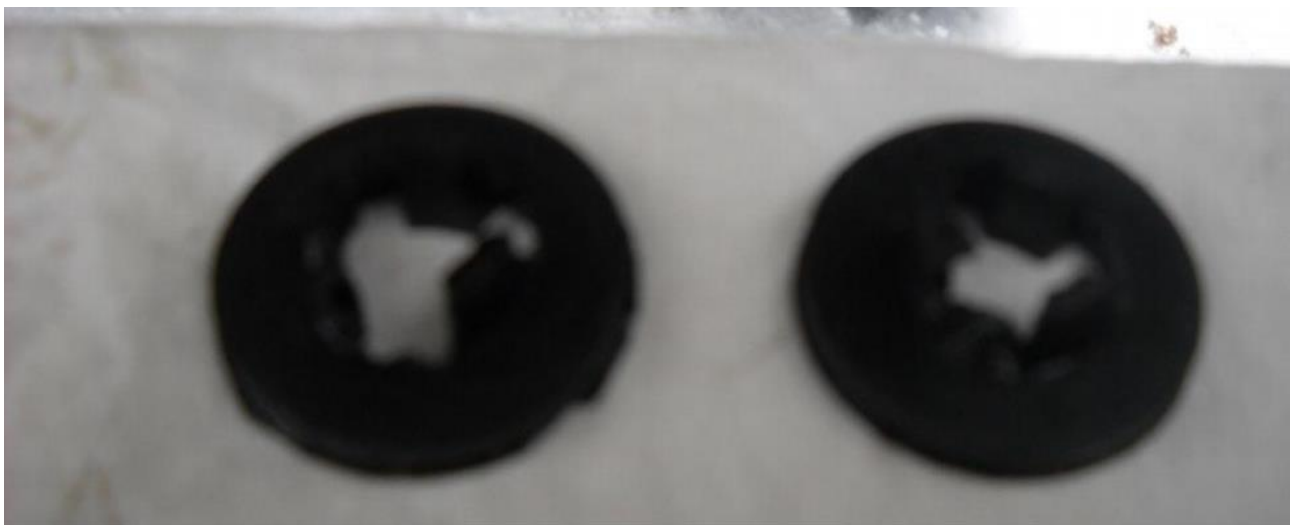


Рис. 3.6. Гумові вироби, витримані в дизельному паливі

Після порівняння було видно, що гумотехнічні вироби з ємності з ріпаковою олією №1, 2, 3 залишилися без змін і придатні для подальшої роботи. А ось гумотехнічні вироби, які були витягнуті з ємності з дизельним паливом № 4, 5, 6, були непридатні для подальшого використання. Гумовий виріб № 4 був пошкоджений, № 5 збільшений у розмірах, розтягнутий і м'який, № 6 розтягнутий на 20 мм у діаметрі (рис. 3.7).

Згідно з отриманими результатами дослідження видно, що гумотехнічні вироби № 4, 5, 6, з ємності з товарним дизельним паливом непридатні для подальшого використання [3; 5; 6].





Рис. 3.7. Гумотехнічні вироби (рем. комплект фільтра тонкого очищення пального), витягнуті з ємності з ріпаковою олією (№ 1, 2, 3) і дизельним паливом (№ 4, 5, 6) [6].

Встановлено, що вміст ріпакової олії в сумішевому паливі не погіршує стан гумотехнічних виробів фільтрувального елемента тонкого очищення пального. Хоча в деяких роботах зазначається, що під час роботи на біопаливі відзначається розм'якшення та розшарування гумових виробів [1; 6].

#### **3.4 Вплив біодобавок у дизельне паливо на характеристики паливоподачі**

Найважливішими характеристиками паливоподачі є кут нагнітання тиску та тривалість подачі палива. Вплив біодобавок у дизельне паливо проводили на різних режимах роботи дизельного двигуна.

Досліджували як чисте дизельне паливо, так і сумішеве з різною концентрацією ріпакової олії. Вплив вмісту ріпакової олії в сумішевому паливі на кут випередження подачі палива [3; 6] наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вплив вмісту ріпакової олії в сумішевому паливі на кут випередження подачі палива, град. до «ВМТ»

Режим робіт дизельного двигуна	ДП	25 %РО 75 %ДП	50 %РО 50 %ДП	75 %РО 25 %ДП
Холостий хід, 600 об/хв	25	25	25	25
При підвищених обертах, 2000 об/хв	42	42	42	42

Таким чином, вміст ріпакової олії в сумішевому паливі не впливає на кут випередження подачі палива (табл. 3.3, рис. 3.8) [3].

Таблиця 3.3 – Вплив вмісту ріпакової олії в сумішевому паливі на тривалість подачі палива [3; 9].

Режим робіт дизельного двигуна	ДП	25 %РО 75 % ДП	50 %РО 50 % ДП	75 %РО 25 % ДП
Холостий хід, 600 об/хв	2,4	2,4	3,2	3,8
При підвищених обертах, 2000 об/хв	3,6	3,7	4,2	4,5

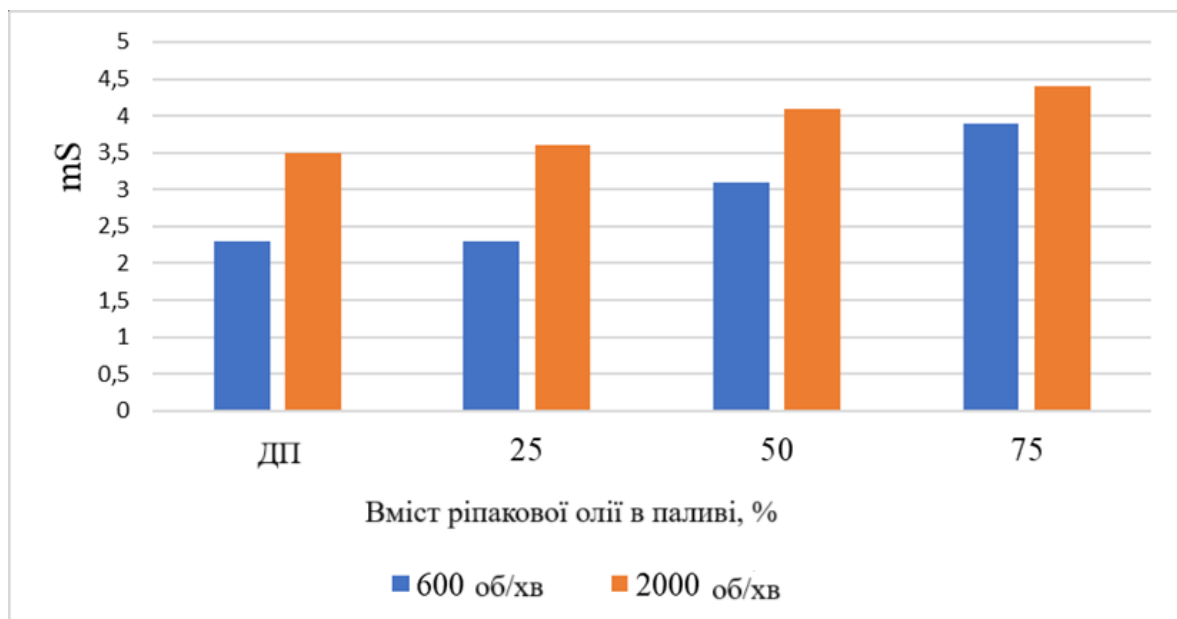


Рис. 3.8. Залежність тривалості подачі палива від вмісту ріпакової олії в дизельному паливі

Як показали результати випробувань, вміст ріпакової олії в сумішевому паливі впливає на тривалість подачі палива. Збільшення концентрації ріпакової олії призводить до підвищення тривалості подачі палива майже в 1,5 раза. Особливо характерне підвищення тривалості подачі палива на режимі холостого ходу. Це пояснюється підвищенням в'язкості палива (табл. 3.4) [1; 7].

Результати випробувань показали, що вміст ріпакової олії в сумішевому паливі впливає також на максимальний тиск уприскування палива.

Збільшення концентрації ріпакової олії призводить до підвищення максимального тиску впорскування палива майже в 1,2 раза. Особливо характерне це підвищення на режимі холостого ходу (рис. 3.9) [3].

Таблиця 3.4 – Вплив вмісту ріпакової олії в сумішевому паливі на максимальний тиск уприскування палива, МПа

Режим робіт дизельного двигуна	ДП	25 %РО 75 % ДП	50 %РО 50 % ДП	75 %РО 25 % ДП
Холостий хід, 600 об/хв	19,1	19,1	21,1	23,2
При підвищених обертах, 2000 об/хв	31,7	32,2	32,8	33,9

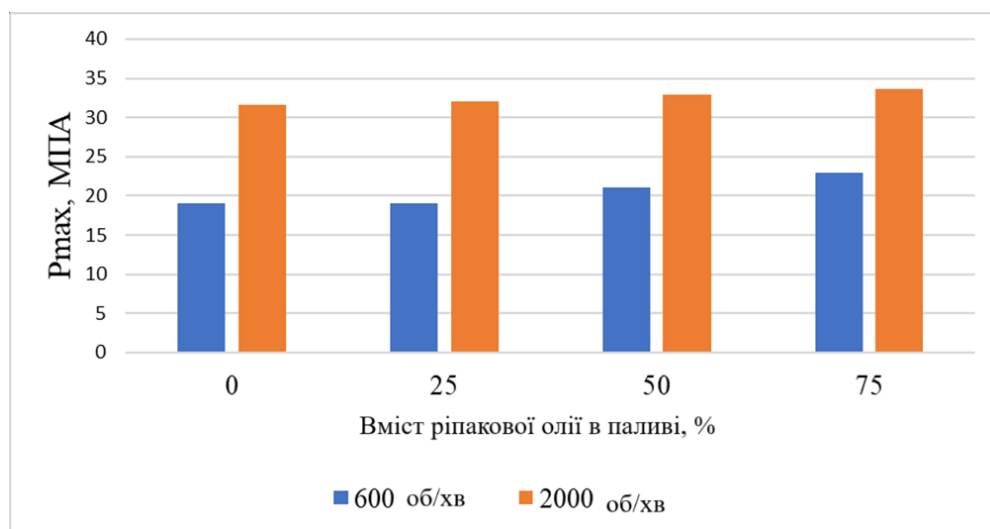


Рис. 3.9. Залежність максимального тиску впорскування пального від вмісту ріпакової олії в дизельному паливі.

Підвищення максимального тиску впорскування пального за збільшення вмісту ріпакової олії в сумішевому паливі пояснюється підвищенням його в'язкості [13].

У роботі [1] також показано, що застосування рослинних олій супроводжується збільшенням тиску в паливопроводах [7]. Збільшення тиску впорскування призводить до зменшення діаметра крапель, що розпилюються, а інтенсифікація турбулізації повітряного заряду поліпшить процеси сумішоутворення.

Виходячи з результатів випробувань, вміст ріпакової олії в сумішевому паливі впливає на залишковий тиск у паливопроводі високого тиску (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Вплив вмісту ріпакової олії в сумішевому паливі на залишковий тиск у паливопроводі високого тиску, МПа

Режим робіт дизельного двигуна	ДП	25 %РО 75 % ДП	50 %РО 50 % ДП	75 %РО 25 % ДП
Холостий хід, 600 об/хв	10,2	10,4	10,8	11,8
При підвищених обертах, 2000 об/хв	13,3	13,2	13,9	14,5

Збільшення концентрації ріпакової олії призводить до підвищення залишкового тиску в паливопроводі високого тиску майже в 1,2 раза. Особливо характерне це підвищення на режимі холостого ходу (рис. 3.10).

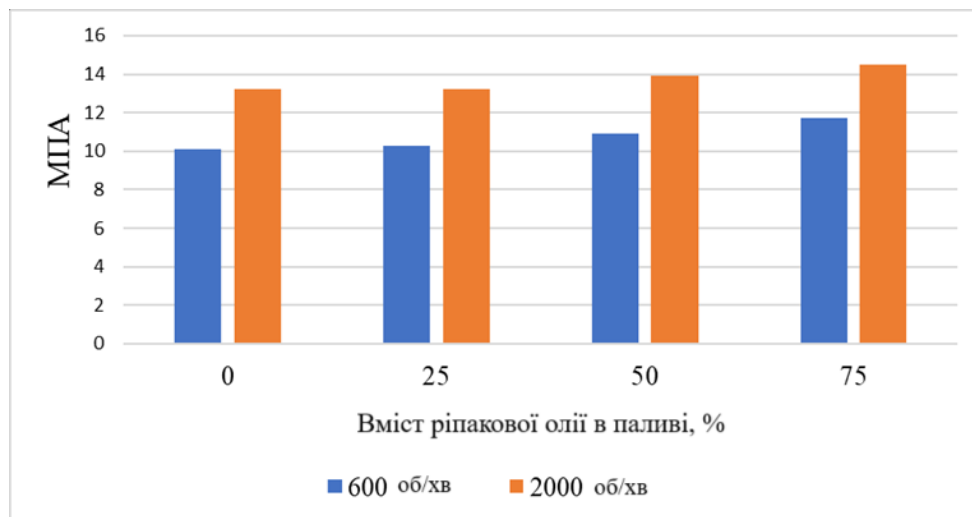


Рис. 3.10. Залежність залишкового тиску в паливопроводі високого тиску від вмісту ріпакової олії в дизельному паливі.

Підвищення залишкового тиску в паливопроводі високого тиску в разі збільшення вмісту ріпакової олії в сумішевому паливі пояснюється підвищенням тиску та тривалості уприскування [3; 7].

### 3.5 Вплив біодобавок у дизельне паливо на працездатність форсунок паливної апаратури дизельних двигунів

Працездатність форсунок під час роботи з біодобавками в дизельне паливо ми проводили на стенді Т 9161-115, досліджували композиції палива:

1. Дизельне паливо (ДП).
2. біопаливо (75 % дизельного палива, 25 % ріпакової олії).
3. біопаливо (50 % дизельного палива, 50 % ріпакової олії).
4. Біопаливо (25 % дизельного палива, 75 % ріпакової олії).
5. Чиста ріпакова олія (РО) .

Згідно з методикою досліджень форсунок отримували такі показники:

- тиск початку впорскування;
- якість розпилення пального;
- герметичність по замикаючому конусу розпилювача [3].

Згідно з результатами дослідження (табл. 3.6), було побудовано графік зміни параметрів форсунки від складу композиції та концентрації ріпакової олії в сумішевому паливі (рис. 3.11).

Таблиця 3.6 – Зміна параметрів форсунки від складу композиції та концентрації ріпакової олії

Досліджувані параметри форсунки	ДП (100 %)	РО (25 %)- ДП (75 %)	РО (50 %)- ДП (50 %)	РО (75 %)- ДП (25 %)	РО (100 %)
Тиск початку впорскування, кгс/см <sup>2</sup>	176	181	181	186	191
Тиск початку впорскування з підігрівом до 70°C, кгс/см <sup>2</sup>	172	176	178	181	184
Якість розпилення палива	норма	норма	норма	норма	норма
Герметичність замикаючого конуса розпилювача	норма	норма	норма	норма	норма

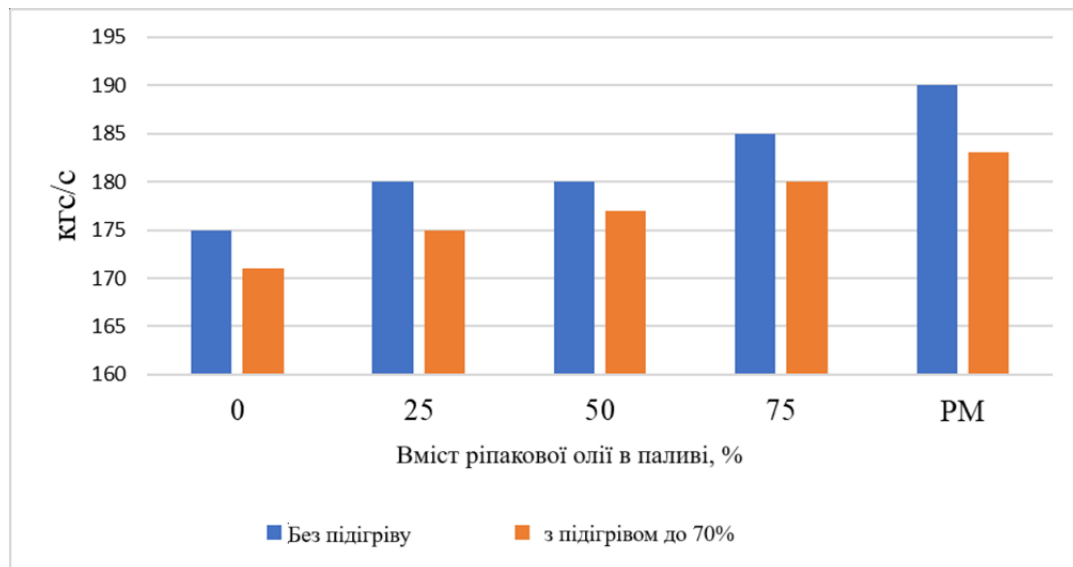


Рис. 3.11. Залежність тиску початку впорскування палива форсунки від вмісту ріпакової олії в дизельному паливі.

Таким чином, у разі збільшення вмісту ріпакової олії в дизельному паливі тиск початку впорскування форсунок дещо збільшується. Під час нагрівання сумішевого палива тиск початку впорскування форсунок зменшується.

Ймовірно, це пояснюється тим, що підвищується тиск упорскування, а після спрацьовування пружини стрілка приладу не встигає зафіксуватися.

Виходить, що збільшення вмісту ріпакової олії в дизельному паливі не погіршує роботу форсунок. Проведені випробування показали, що підвищення в'язкості пального призводить до підвищення тиску впорскування, внаслідок чого відбувається раннє відкриття або закриття голки розпилювача форсунки. На паливних композиціях з великим вмістом ріпакової олії збільшується тривалість згорання, тому необхідно відрегулювати насос і форсунку на підвищення тиску початку впорскування.

### 3.6 Вплив біодобавок у дизельне паливо на потужність двигуна

Результати випробувань параметрів потужності дизельного двигуна з використанням мотортестера представлено в таблиці 3.7 і на рис. 3.12.

Таблиця 3.7 – Результати випробувань параметрів потужності дизельного двигуна

Наименование измерения параметров	ДТ	25 %РО 75 %ДТ	50 %РО 50 %ДТ	50 %РО 25 %ДТ
Мощность, (кВт/л.с.)	143,2/143	141,2/193	138,7/188	132,3/180
Мощность с подогревом до 70 <sup>0</sup> , (кВт/л.с.)	148,7/202	144,5/196	138,8/191	137,9/187

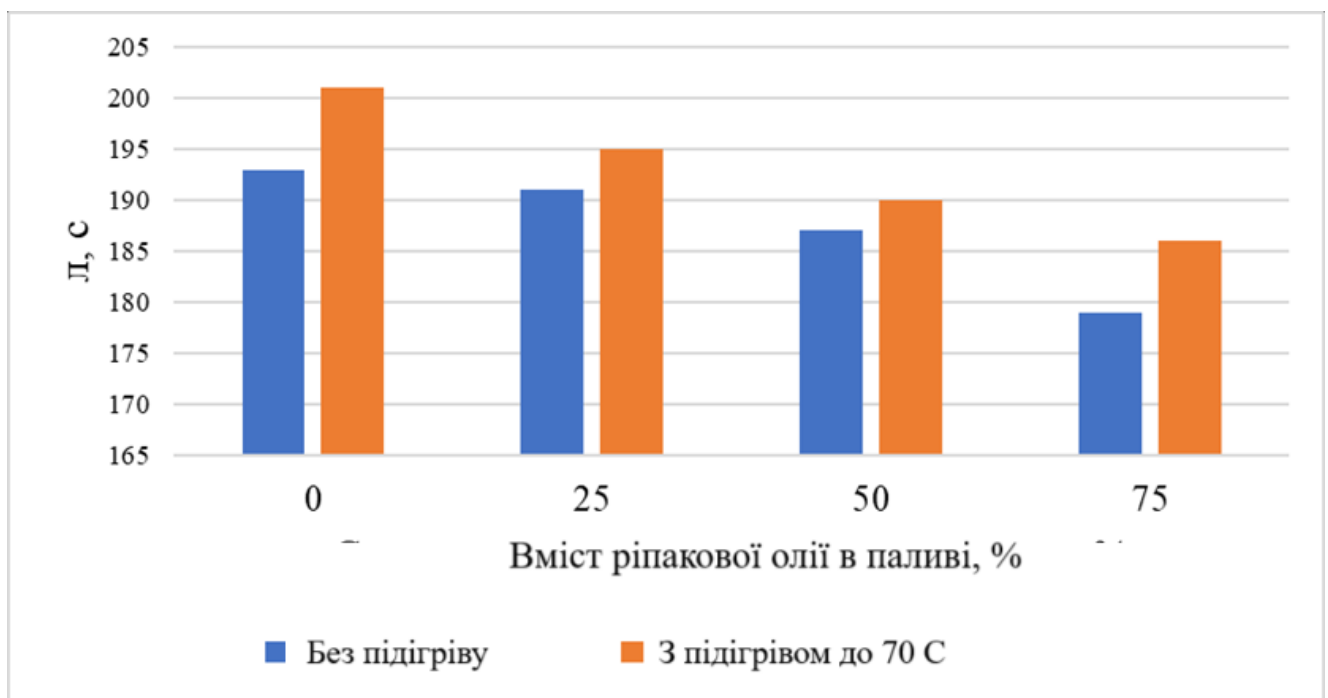


Рис. 3.12. Залежність потужності дизельного двигуна від вмісту ріпакової олії в дизельному паливі.

За збільшення вмісту ріпакової олії в сумішевому паливі потужність двигуна знижується. Зниження потужності пояснюється зниженням теплоти згоряння суміші, оскільки теплотворна здатність літнього дизельного палива становить 42,7 МДж/кг, а композиції з 25 % ріпакової олії – 41,1 МДж/кг.

### 3.7 Результати експлуатаційних випробувань

У процесі експлуатації фільтрувальний елемент знижує пропускну здатність, біодобавки з ріпакової олії забивають фільтр, підвищуючи його опір. Ми вимірювали перепад тиску до і після ФТО на дизельних двигунах, які проходили експлуатаційні випробування в аграрних підприємствах Житомирської області. Перепад тиску до і після ФТО в двигунах а, що працюють на дизельному паливі та різних композиціях після пробігу 8 тис. км, показано на рис. 3.13

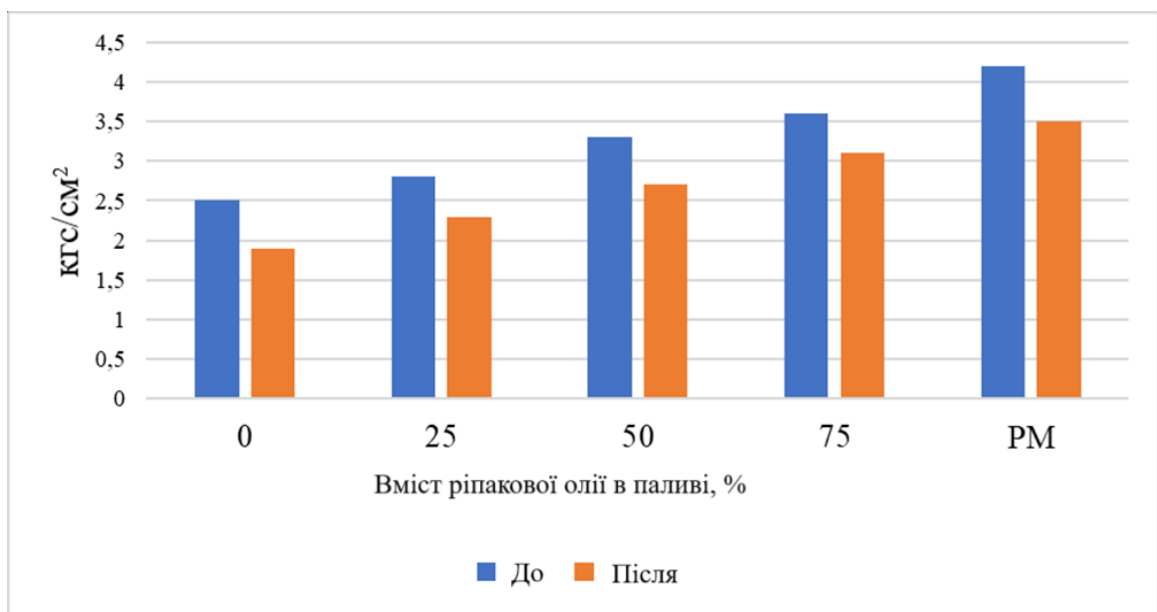


Рис. 3.13. Перепад тиску ФТО двигунів автомобілів КАМАЗ, що працюють на товарному дизельному паливі і різних композиціях (пробігу 8 тис. км).

Експлуатаційні випробування засвідчили, що працездатність (за критерієм опору прокачуваності палива) паливного фільтра, що працює на сумішевому паливі, менша, ніж у того, що працює на дизельному паливі. Для нормальної роботи паливної системи дизельного двигуна необхідно частіше міняти паливний фільтр, ніж рекомендовано заводом виробником [3].

Після пробігу 8000 км у дизельних двигунів, що працюють на композиції з 75 % ріпаковою олією, було виявлено закоксування соплового отвору форсунок, при цьому димність двигуна була найменшою. Гумотехнічні вироби перебували в задовільному стані. Результати порівняльних випробувань



дизельних двигунів автомобілів на паливі з біодобавками з ріпакової олії наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Результати порівняльних випробувань дизельних двигунів на паливі з біодобавками (25 %) з ріпакової олії

Дизельний двигун	Пробіг, тис. км	Перепад тиску до і після ФТО, кг·с/см <sup>2</sup>	Стан розпилювачів форсунок	Стан гумотехнічних виробів
ДП	12400	2,7	Задовільний	Задовільний
Суміш	8200	1,2	Задовільний	Задовільний

### Висновки по розділу

Встановлено, що використання біодобавок ріпакової олії в дизельному паливі створює додатковий гідравлічний опір. Підігрівом сумішевого палива можна знизити гідравлічний опір.

Фільтрувальний елемент фільтра тонкого очищення, що був витриманий у рапсовій олії, на розрив зразка вищий і становить 90 Н, ніж у фільтрувального елемента, що був витриманий у товарному дизельному паливі – 33 Н.

Експлуатаційні випробування дизельного двигуна засвідчили, що працездатність паливного фільтра тонкого очищення палива, який працює на сумішевому паливі, менша, ніж у того, який працює на дизельному паливі, це пов'язано з підвищеною густиною сумішевого палива та засалюванням фільтрувального паперу ФТО. Тому під час роботи паливного фільтра на сумішевому паливі, необхідно проводити його заміну через кожні 8 000 кілометрів, а не через 12 000 кілометрів, як це передбачено заводом-виробником.

Встановлено, що вміст біодобавок з ріпакової олії в сумішевому паливі не погіршує стан гумових деталей фільтрів.

Вміст ріпакової олії в сумішевому паливі не впливає на кут випередження подачі палива. Збільшення концентрації ріпакової олії з 25 % до 75 % призводить до підвищення тривалості подачі палива майже в 1,5 раза.

Особливо характерне підвищення тривалості подачі палива на режимі холостого ходу.

Збільшення концентрації ріпакової олії з 25 % до 75 % у сумішевому паливі призводить до підвищення максимального тиску впорскування палива майже в 1,2 раза і залишкового тиску в паливопроводі високого тиску майже в 1,2 раза. Особливо видно це підвищення на режимі холостого ходу.

Ріпакова олія в дизельному паливі на роботу форсунок не впливає, що не тягне за собою жодних технічних несправностей у цій галузі.

Встановлено, що найменший вміст оксиду вуглецю і вуглеців у вихлопних газах у дизельних двигунів, які працюють на сумішевому паливі 50 % РО: 50 % ДП. Найменша димність у дизелів, що працюють на сумішевому паливі 50 % РО: 50 % ДП.

Встановлено, що пусковий струм, споживаний стартером у момент пуску, збільшується з підвищенням вмісту ріпакової олії в сумішевому паливі.

Зі збільшенням вмісту ріпакової олії в сумішевому паливі напруга АКБ у момент пуску зменшується, тому що запуск двигуна проводиться із затримкою на 1-3 секунди, а споживання струму стартером збільшується.

При збільшенні вмісту ріпакової олії в сумішевому паливі потужність двигуна знижується. Найбільше зниження потужності забезпечує склад 25 %РМ + 75 %ДП. На всіх досліджуваних режимах роботи дизельного двигуна на сумішевому паливі незначне зниження потужності пояснюється тим, що менша теплота згоряння (теплотворна здатність) компенсується більшим відсотковим вмістом у ньому вільного кисню, що бере участь у процесі згоряння.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ З АДАПТАЦІЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

#### 4.1 Рекомендації з обслуговування паливної системи дизельних двигунів, що працює на паливі з біодобавками

У паливного насоса високого тиску контролюється початок подачі сумішевого палива секціями насоса. Для дизельних двигунів, що працюють на сумішевому паливі з вмістом 75 % ріпакової олії, необхідно відрегулювати на підвищений тиск початку подачі палива на 2 МПа. Перед роботою з регулювання:

- заливаємо в картер насоса олію, що застосовується в даному дизельному двигуні;
- перевіряємо герметичність нагнітальних клапанів методом опресовування, в'язкість якого 4-5 сСт, при температурі 25-30 °С; перевіряємо тиск за встановленим манометром, протікання не допускається.

Початок подачі палива регулюємо кутом повороту кулачкового вала ПНВТ при обертанні за годинниковою стрілкою.

Обертання кулачкового вала здійснюється через ведену напівмуфту автоматичної муфти випередження впорскування палива.

За правильного регулювання ПНВТ восьма секція почне подавати паливо за  $42^{\circ} 30' \pm 30'$  до осі симетрії профілю кулачка.

Кут початку подачі палива восьмою секцією прийняти за  $0^{\circ}$ , інші секції починають свою подачу палива по черзі (в градусах кута повороту кулачкового вала): Секція № 8.....0; Секція № 3.....180; Секція № 4.....45; Секція № 6.....225; Секція № 5.....90; Секція № 2.....270; Секція № 7.....135; Секція № 1.....315.

Розбіжність показань початку подавання палива однієї із секції ПНВТ відносно першої допускається не більше ніж 20.

Початок подачі палива регулюємо встановленням під п'яту п'яти штовхача певної товщини під плунжер. При збільшенні товщини п'яти на 0,05 мм паливо подається раніше, а при зменшенні товщини п'яти паливо подається пізніше.

#### **4.2 Рекомендації щодо періодичності обслуговування фільтрів тонкого очищення**

Згідно з отриманими результатами наших досліджень щодо зусилля розриву смужок фільтрувального паперу та виробничих випробувань рекомендовано заміну паливного ФПО палива через кожні 8000 км. Тому для підвищення працездатності паливної апаратури дизельного двигуна, що працює на сумішевому паливі, необхідна заміна фільтра через 8000 км.

#### **4.3 Рекомендації щодо встановлення системи підігріву сумішевого палива**

Під час експлуатації транспортно-технологічних машин із дизельним двигуном за низьких температур підвищується в'язкість пального, погіршується його прокачуваність і спостерігається закупорювання фільтрів тонкого і грубого очищення через парафінізацію. Це явище відбувається внаслідок кристалізації молекулярних ланцюжків твердих вуглеводнів, які у великій кількості присутні в літньому дизельному паливі та в значно менших кількостях – у зимовому.

Як відомо, до дизельного палива висуваються такі основні вимоги: температура кипіння 200-350°C; коксове число не повинно перевищувати 0,1; вміст сірки не більше ніж 0,2...0,5%; в'язкість має бути в межах 1,15...1,70 градусів умовної в'язкості за 20°C; температура застигання має відповідати для тракторів і стаціонарних дизелів мінус 35°C для зимового гатунку і не вище за мінус 10°C для літнього. Крім того, для різних типів дизельного палива є оптимальний для роботи двигуна діапазон робочих температур палива, що надходить у камеру згоряння.

Перспективні види сумішевого палива, зокрема такого, що складається з суміші дизельного палива з рапсовою олією, порівняно з дизельним паливом нафтового походження, мають цілу низку беззаперечних переваг: вищий цетановий показник (47-63) та істотно знижений вміст сірки й шкідливих речовин у викидах (CO, CH, CO<sub>2</sub>, тверді частинки). Це підвищує експлуатаційні характеристики дизельних двигунів, що працюють на сумішевому паливі. Однак сумішеве паливо має і свої недоліки: високу температуру застигання (від мінус 10 до мінус 15°C), підвищений вміст води, збільшені витрати палива і кількість викидів оксиду азоту. Із зазначених причин для підготовки біопалива до впорскування в камери згорання двигуна потрібні фільтрувальні системи попереднього очищення більш високого рівня, що включають засоби для нагрівання палива, відокремлення води тощо.

Огляд сучасних технічних рішень у цій царині показує, що для підвищення ефективності роботи двигунів і боротьби з парафінізацією стандартного дизельного пального, особливо, сумішевого біодизельного пального, системи подачі пального до дизельних двигунів мають обладнуватися спеціальними підігрівачами. Насамперед, це стосується паливних фільтрів грубого і тонкого очищення, оскільки саме фільтри є найвразливішими місцями з точки зору втрати пропускної здатності.

Розроблений пристрій для підігріву сумішевого палива дизельних двигунів функціонує так: під час використання сумішевого біопалива пристрій для його підігріву активується водієм за допомогою вимикача на приладовій панелі, а процес нагріву палива відображається, переважно, за допомогою оптичного індикатора. Як блок керування нагрівачами використовуються компоненти електричної схеми машини. Розроблений пристрій відрізняється простотою монтажу, експлуатації та вирішує питання, пов'язане із застосуванням сумішевого біопалива, а також полегшує запуск дизельного двигуна в холодну пору року. Підігрів сумішевого палива під час увімкнення живлення проточного електричного підігрівача 1 відбувається за порівняно короткий час, завдяки чому

різко підвищується його плинність, паливо стає однорідним, знижується його щільність і в'язкість. Унаслідок цього сумішеве паливо вільно проходить через фільтр 2 тонкого очищення і запобігає його закупорюванню (рис. 4.1)

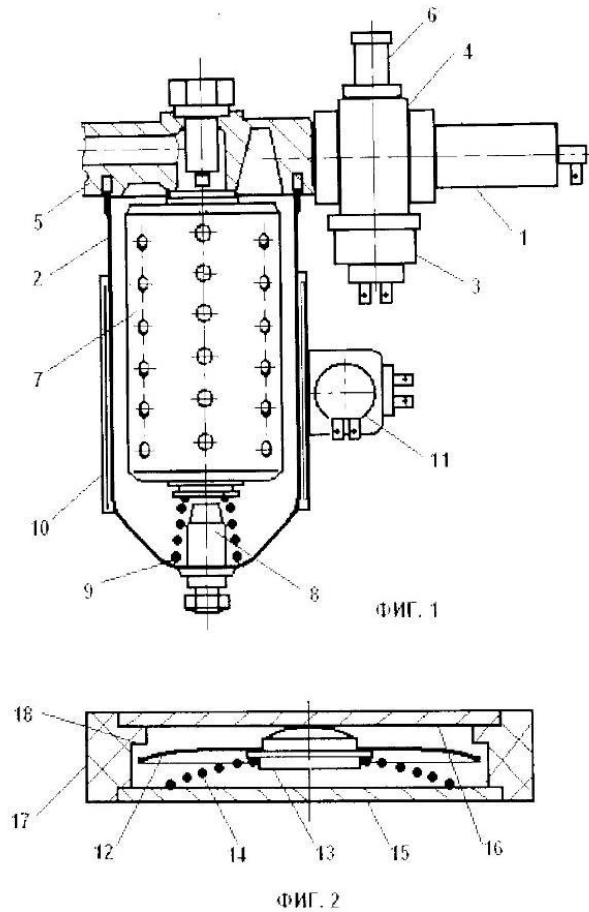


Рис. 4.1. Підігрівач палива, що встановлюється в паливний фільтр: 1 – електричний нагрівач, 2 – фільтр тонкого очищення, 3 – термоелектричний вимикач, 4 – проставка, 5 – корпус фільтра тонкого очищення, 6 – паливний штуцер, 7 – фільтрувальний елемент, 8 – зливний штуцер, 9 – пружина, 10 – додаковий стрічковий електричний нагрівач, 11 – термоелектричний вимикач, 12 – біметалічна пластина у формі тарілки, 13 – рухомий контактний елемент, 14 – пружину, 15 – нижня контактна пластина, 16 – верхня нерухома контактна пластина, 17 – циліндричний корпус вимикача 3, 18 – внутрішній буртик.

Нагрівальний елемент проточного електричного підігрівача 1 автоматично вимикається за допомогою термоелектричного вимикача 3 при температурі зазначеного сумішевого палива  $+75^{\circ}\text{C}$  на вході у фільтр 2 та вмикається при

температурі сумішевого палива  $+65^{\circ}\text{C}$ . При досягненні робочої температури сумішевого палива ( $+70^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) термоелектричний вимикач 3 автоматично підтримує її в зазначеному діапазоні. За температури корпусу 5 фільтра 2 тонкого очищення, проставки 4 і корпусу термоелектричного вимикача 3, нижчої за температуру спрацьовування, біметалічна пластина 12 у формі тарілки вільно спирається на фланець рухомого контактної елемента

13. Притискна пружина 4 змушує замикання нерухомих контактних пластин 15, 16 за допомогою рухомого контактної елемента 13. Під час зростання температури докільля до зазначеного значення температури спрацьовування вимикача 3 тарілка біметалевої пластини 12 стрибкоподібно змінює положення свого прогину на протилежне. При цьому зовнішня кромка біметалевої пластини 12 спирається на внутрішній буртик 18 ізоляційного корпусу 17, а її центральна частина відгинається в бік струмопідвідної притискної пружини 14, приводячи до відведення рухомого контактної елемента 13 від верхньої нерухомих контактної пластини 16.

Зазначений стан вимикача 3 підтримують доти, доки корпус вимикача 3 і вузли та деталі 1, 4, 6, що перебувають із ним у тепловому контакті, не охолонуть достатньою мірою.

Після охолодження до зазначеної вище температури, значення якої виходить із зони гістерезису біметалевої пластини 12, вона автоматично повертається у вихідне положення, що призводить до повторного стрибкоподібного замикання контактів 15, 16 і забезпечує під'єднання проточного електричного підігрівача 1 до джерела живлення на черговий проміжок часу для нагрівання сумішевого палива. Таким чином пусковим параметром автоматичного термоелектричного вимикача 3 є, насамперед, задане значення робочої температури використовуваного сумішевого біопалива. Працює розроблений пристрій підігріву сумішевого палива від бортової мережі машини і споживає порівняно невелику кількість енергії, що робить його використання безпечним.

За низьких температур навколишнього повітря можливо використовувати додатковий бандажний підігрівач 10 фільтра 2 тонкого очищення для передпускового і маршового підігріву. Якщо необхідно забезпечити експлуатацію автомобіля за дуже низьких температур (до  $-40^{\circ}\text{C}$ ), переважним є спільне застосування проточного електричного нагрівача 1 і стрічкового нагрівача 10 фільтра 2, а також підігріву сепаратора і паливозабірника. Управління підігрівачами може здійснюватися спеціальними клавішами на приладовій панелі машини.

### **Висновки по розділу**

Запропоноване технічне рішення забезпечує досягнення зазначеного технічного результату, пов'язаного зі спрощенням пристрою для підігріву стандартного або сумішевого біопалива, підвищенням надійності запуску двигуна та працездатності паливної апаратури за низьких температур навколишнього середовища. Крім того, під час використання дизельного палива, що складається із суміші дизельного палива та ріпакової олії, досягається також поліпшення екологічних характеристик дизельних двигунів.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Встановлено, що вміст ріпакової олії в сумішевому паливі не впливає на кут випередження подачі палива в паливній системі дизельного двигуна. Однак збільшення концентрації ріпакової олії з 25 % до 75 % призводить до підвищення тривалості подачі палива майже в 1,5 рази.

Особливо характерне підвищення тривалості подачі палива на режимі холостого ходу. Збільшення концентрації ріпакової олії з 25 % до 75 % у сумішевому паливі призводить до підвищення максимального тиску впорскування палива майже в 1,2 рази і залишкового тиску в паливопроводі високого тиску майже в 1,2 рази. Збільшення вмісту ріпакової олії в дизельному паливі не погіршує роботу форсунок.

При збільшенні вмісту ріпакової олії в сумішевому паливі до 75% потужність двигуна знижується на 10 кВт (з 141 кВт до 131 кВт) або 7 %, зменшується вміст оксиду вуглецю у вихлопних газах і зниження димності.

Експлуатаційні випробування після пробігу 8000 км у дизельних двигунів, які працюють на сумішевому паливі з 75% ріпаковою олією, показали, що ресурс паливного фільтра, який працює на сумішевому паливі, до заміни менший на 25%, виявлено закоксування соплового отвору форсунок на відміну від роботи на дизельному паливі. Гумотехнічні вироби перебували в задовільному стані.

Розроблено рекомендації з обслуговування паливної системи дизельних двигунів для роботи на біопаливі, зокрема з регулювання та налаштування форсунок, ПНВТ, привода керування подачею палива, кута випередження впорскування палива, періодичності заміни фільтра тонкого очищення, а також з установлення пристрою для підігріву біопалива.

Розроблено пристрій для підігріву біопалива дизельних двигунів. Проведені випробування пристрою для підігріву сумішевого біопалива показали, що запропоноване технічне рішення забезпечує легший запуск двигуна

і підвищує працездатність паливної апаратури, зокрема за низьких температур навколишнього середовища.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтюк В.І. Дослідження ефективності роботи паливних систем дизелів на біопаливі. Київ: Урожай, 2019. 240 с.
2. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
3. Герасименко В.В. Технічне обслуговування паливної системи дизельних двигунів. Харків: ХНАУ, 2021. 312 с.
4. Кравчук А.С., Малюк П.В. Вплив біодизельного палива на працездатність паливної системи двигунів. Науковий вісник НУБіП України. 2022. №4. С. 45–51.
5. Ляшенко О.Є. Паливні системи дизельних двигунів: теорія і практика. Київ: Аграрна наука, 2020. 280 с.
6. Сидоренко В.П. Дослідження зносостійкості паливної апаратури при використанні біопалива. Львів: Тріада, 2021. 198 с.
7. Мельник В.І., Бойко А.О. Вплив альтернативного палива на роботу паливних насосів дизелів. Полтава: Полтавська політехніка, 2020. 256 с.
8. Шевчук Р.О. Біодизель: характеристика, переваги та вплив на паливну систему. Агроінженерія. 2021. №2. С. 33–40.
9. Гончаренко В.І. Оптимізація параметрів паливних систем для біопалива. Дніпро: ДДАЕУ, 2022. 164 с.
10. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.
11. Деркач І.М. Розробка методів підвищення довговічності паливної системи на біодизелі. Київ: Техніка, 2021. 200 с.
12. Юхимчук О.П., Ломакін А.І. Дослідження режимів роботи дизельних двигунів на біопаливі. Одеса: ОДАУ, 2019. 300 с.

13. Hansen P., Smith R. *The Impact of Biodiesel on Diesel Fuel Injection Systems*. London: Springer, 2020. 210 p.
14. Johnson D.M., Reed L.J. *Effects of Biofuel on Wear and Efficiency of Diesel Fuel Pumps*. *Journal of Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 46(3). P. 78–84.
15. Kumar S. *Advances in Biodiesel and Engine Technologies*. New York: CRC Press, 2022. 320 p.
16. Martin R.L. *Influence of Biodiesel Blends on Diesel Engine Components*. Amsterdam: Elsevier, 2021. 275 p.
17. Smith J., Brown H. *Diesel Fuel Systems: Impact of Alternative Fuels*. Berlin: Springer-Verlag, 2021. 350 p.
18. Patel R.K., Gupta M. *Optimizing Diesel Fuel Systems for Biofuels* // *International Journal of Engine Research*. 2021. Vol. 15(2). P. 115–122.
19. Brown A.E., Wilson T.W. *Biodiesel Fuel: Impacts and Performance in Diesel Engines*. New York: McGraw-Hill, 2020. 280 p.
20. Garcia F., Carter L. *Performance of Diesel Engines Running on Biodiesel Blends*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 245 p.
21. Patterson K. *Wear and Tear in Fuel Injection Systems Using Biofuels* // *Fuel Systems Journal*. 2020. Vol. 18(4). P. 89–97.
22. Williams T., Lee R. *Enhancing Diesel Engine Fuel Systems with Biofuels*. Boston: Pearson Education, 2021. 310 p.