

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:
Завідувач кафедри
к.т.н., проф. Гунько І.В.

(Підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

“ ___ ” _____ 2022 р.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО
ПАЛИВА У СИСТЕМІ ПАЛИВОПОДАЧІ ДВИГУНІВ
ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Виконав: студент групи 51-А1
Нагорний Вадим Юрійович

Керівник: к.т.н., проф.
Гунько Ірина Василівна

АНОТАЦІЯ

Нагорний В.Ю. Дослідження процесу очищення біодизельного палива у системі паливоподачі двигунів внутрішнього згорання

Рукопис.

Магістерська робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» за спеціальністю 208 - «Агроінженерія».

Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, 2022р.

Через забруднення різних видів рідкого палива абразивними частинками, водою та іншими домішками спричиняється передчасний знос двигунів внутрішнього згорання, погіршення процесу згорання, надмірна витрата палива та зменшується екологічність вихлопних газів.

В роботі була здійснена оцінка методів фільтрації паливо-мастильних матеріалів, що подовжує термін служби паливної апаратури та зменшує витрату пального. Для їх очищення використовуються різні технічні операції, засновані на фізичних, фізико-хімічних і хімічних процесах, включаючи обробку для видалення старіючих і забруднених продуктів. Дослідження показали, що найефективнішим способом відновлення якості відпрацьованих нафтопродуктів є малогабаритні установки та комбіновані фільтри. Основна складність створення даного обладнання полягає у виборі ефективного, екологічно чистого та економічно доцільного способу очистки.

Це важливий фактор економії при експлуатації, а також вирішення проблем утилізації відпрацьованих фільтруючих елементів фільтрів, що експлуатуються в даний час, що дозволяє економити кошти на ремонт і ТО ДВЗ до 4 % на 100 км пробігу.

Ключові слова: система живлення, дизельний двигун, двигун, форсунка, паливна система, паливний насос, гідродинамічні процеси.

ANNOTATION

Nagornyi V.Yu. Study of the process of purification of biodiesel fuel in the fuel supply system of internal combustion engines

Manuscript.

Master's thesis for obtaining an educational and qualification level

"Master" in specialty 208 - "Agroengineering".

Vinnitsia National Agrarian University, Vinnitsia, 2022.

Contamination of various types of liquid fuel with abrasive particles, water and other impurities causes premature wear of internal combustion engines, deterioration of the combustion process, excessive fuel consumption and reduced environmental friendliness of exhaust gases.

The work evaluated the methods of filtering fuel and lubricant materials, which extends the service life of fuel equipment and reduces fuel consumption. Various technical operations based on physical, physico-chemical and chemical processes are used for their purification, including processing to remove aging and contaminated products. Studies have shown that the most effective way to restore the quality of spent petroleum products is small-sized installations and combined filters. The main difficulty in creating this equipment is to choose an effective, environmentally friendly and economically feasible method of cleaning.

This is an important factor in saving during operation, as well as solving the problems of disposing of used filter elements of filters currently in use, which allows you to save money on the repair and maintenance of internal combustion engines up to 4% per 100 km of mileage.

Key words: power system, diesel engine, engine, injector, fuel system, fuel pump, hydrodynamic processes.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	3
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПАЛИВНИХ ФІЛЬТРІВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА	9
1.1. Паливні фільтри їх призначення та класифікація.....	9
1.1.1 Паливні фільтри: пристрій, види та як вибрати.....	12
1.1.2 Ознаки засмічення та виходу з ладу	19
1.2 Вплив показників палива на роботу паливної системи	23
РОЗДІЛ. 2. МАТЕМАТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРУВАННЯ ТА РОБОТИ ПАЛИВНИХ ФІЛЬТРІВ.....	30
2.1. Наявність домішок у дизельному паливі.....	30
2.2. Теоретичне обґрунтування конструкції фільтрів дизельного палива в системах живлення	32
2.3 Визначення витрати палива двигуном.....	45
РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ФІЛЬТРА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА	49
3.1. Методичне забезпечення проведення експериментальних досліджень	49
3.2 Експериментальні дослідження пристроїв для забезпечення чистоти дизельного палива в системах живлення двигуном.	51
3.3. Експериментальний фільтр для очищення біодизельного палива.....	53
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	55
4.1. Реалізація результатів досліджень та оцінка їх техніко-економічної ефективності	55
4.2. Результати моделювання роботи штатного та модернізованого фільтра	56
4.3. Результати моделювання роботи двигуна Д-240 з використання запропонованого фільтра	62
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
ДОДАТКИ.....	75
Додаток А.....	76

ВСТУП

На даний момент основними напрямками удосконалення автомобіля є:

- підвищити безпеку та мобільність;
- зменшити витрату палива та токсичність вихлопних газів;
- зменшення шуму, матеріаломісткості, ваги, збільшення питомої потужності двигуна, збільшення терміну служби агрегату;
- підвищити комфорт водія та пасажирів;
- дешевше виробництво автомобілів.

Основні заходи покращення:

- покращення видимості, гальмівної системи та внутрішньої системи безпеки;
- застосовувати комп'ютерні системи для контролю споживання палива, покращення складу палива та використання фільтрів вихлопних газів;
- застосовувати пластмаси, композиційні матеріали та сплави, сучасні мастильні матеріали та консерванти для покращення якості деталей, які найбільше напружуються;
- комп'ютерна система, що використовується для моделювання поведінки автомобілів, водіїв і пасажирів на дорозі;
- підвищити універсальність кожної моделі.

Системи живлення двигунів сучасних транспортних засобів забезпечують їхню роботу на різних режимах за рахунок відповідних пристроїв.

Вихід з ладу цих пристроїв не завжди призводить до повного виходу з ладу системи живлення, а часто змінює тягові та силові характеристики автомобіля, а також погіршує економічні характеристики. На жаль, це не завжди привертає уваги, яку воно заслуговує.

Охорона довкілля – одна з найактуальніших проблем. ДВЗ відіграє важливу роль у забрудненні навколишнього середовища.

У зв'язку з цим дизельне паливо стає все більш поширеним на транспорті. Це пояснюється тим, що воно відносно дешевше, має кращу економію палива та, як правило, меншу токсичність вихлопних газів.

Існують різноманітні методи покращення сумішоутворення, процесів займання та горіння для зменшення утворення токсичних компонентів, а також методи нейтралізації вихлопних газів, у тому числі покращення очищення палива для зменшення кількості шкідливих сполук, що викидаються в атмосферу.

Одним із шляхів є покращення процесу сумішоутворення з метою вдосконалення конструкції енергосистеми та пневматичного розпилення палива під тиском для забезпечення необхідного складу суміші та рівномірного розподілу палива в повітрі відповідно до режиму роботи двигуна.

З метою підвищення якості дизельного палива використовуються різноманітні конструкції очищення палива, способи подачі палива в двигун, що забезпечують найвищу чистоту палива [1].

Актуальність питання полягає в покращенні процесу змішування шляхом удосконалення конструкції енергосистеми та пневморозпилення з метою забезпечення необхідного складу паливної суміші, відповідного режиму роботи двигуна та рівномірного розподілу палива.

Мета дослідження: Очищення дизельного палива шляхом удосконалення паливного фільтра.

Завдання дослідження:

1. Дослідити це питання в спеціалізованій технічній літературі та практиці.
2. Проаналізувати існуючий проект очищення дизельного палива.

3. Виявити недоліки існуючих конструкції системи очищення дизельного палива.

4. Удосконалити систему очищення дизельного палива.

Об'єкт дослідження: ефективно очищення дизельного палива.

Предмет дослідження: система живлення дизельного двигуна.

Гіпотеза: якщо вдосконалити систему живлення дизельного двигуна, то зменшиться кількість шкідливих сполук, що викидаються в атмосферу, покращиться процес сумішоутворення, займання та згорання, зменшиться утворення токсичних компонентів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПАЛИВНИХ ФІЛЬТРІВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

1.1. Паливні фільтри їх призначення та класифікація

Паливні фільтри призначені для чищення палива від твердих частинок. Вони також оберігають паливо від компонентів, що викликають знос агрегатів системи впорскування, тому повинні бути достатньо ємними, щоб збирати велику кількість частинок, що відсіюються, і забезпечувати тривалі інтервали між технічними обслуговуваннями. Якщо фільтр забивається, подача палива знижується і потужність двигуна падає.

Прецизійні деталі системи упорскування дуже чутливі до найменшого забруднення палива. До їхнього захисту від зносу надаються високі вимоги, щоб забезпечити надійність роботи, мінімальна витрата палива і запропонований рівень емісії ОГ [22].

При особливо високих вимогах до захисту від зношування та/або при збільшеному інтервалі обслуговування системи подачі палива забезпечуються фільтрами грубого та тонкого очищення.

Фільтр грубої очистки палива призначається, головним чином, для фільтрації великих частинок і найчастіше є сіткою з кроком в 300 мкм [40].

Фільтр тонкого очищення палива розташований на паливній магістралі перед паливопідкачуючим насосом або ТНВД. Фільтрація відбувається за рахунок протікання палива через змінні фільтруючі елементи 3, виконані з пресованих матеріалів або багат шарових синтетичних мікрОВОЛОКОН. Можливі також конструкції, що складаються з двох фільтрів, з'єднаних або паралельно для збільшення ємності, або послідовно, що дозволяє проводити ступінчасте очищення палива або з'єднувати в єдиний агрегат фільтри грубої та тонкої очистки. Дедалі більше використовуються конструкції фільтрів, у яких змінюється лише фільтруючий елемент.

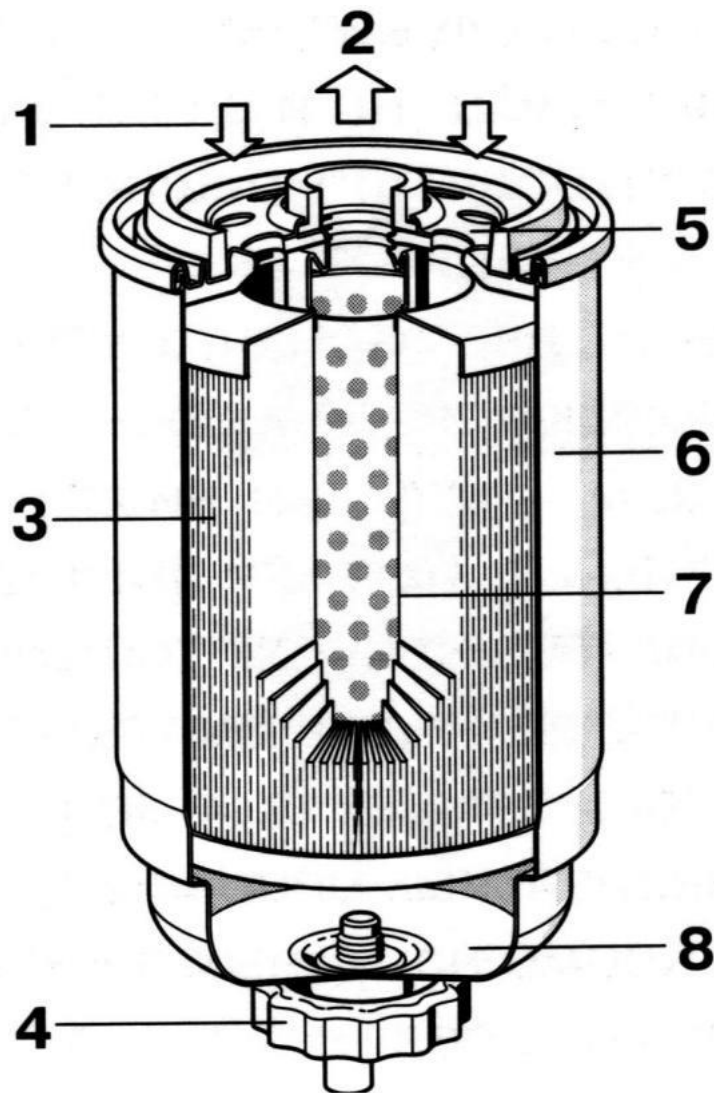


Рис. 1.1 - Фільтр тонкого очищення палива:

1 - підведення палива; 2 – відведення очищеного палива; 3 – фільтруючий елемент; 4 – зливна пробка; 5 – кришка; 6 – корпус; 7 – розпірна трубка; 8 – водозбірник

Паливо може містити вологу у вигляді крапель води або у вигляді емульсії води з паливом (наприклад, конденсат, що виникає при перепадах температури в паливному баку). Звичайно, вода не повинна потрапляти в систему упорскування палива.

Через різного поверхневого натягу води та палива на фільтруючих елементах утворюються крапельки води. Вони накопичуються у водозбірнику

8. Для видалення вільної вологи може застосовуватися окремий вологовідділювач-сепаратор, у якому краплі води відокремлюються від палива під дією відцентрової сили. Контролюють наявність води спеціальних датчиків.

Для запобігання закупорюванню пір фільтруючих елементів кристалами парафіну, що утворюються в паливі при зимовій експлуатації, у паливних фільтрах застосовується попередній підігрів палива. У більшості випадків попередній підігрів палива здійснюється за допомогою електронагрівальних елементів, охолоджуючої рідини або палива, що надходить із системи зворотного зливу.

Паливний фільтр у сучасних системах живлення дизельних двигунів з метою запобігання засміченню паливного фільтра кристалами парафіну встановлюються паливні фільтри з електропідігрівом для нагрівання палива при низьких температурах зовнішнього повітря.

Система обігріву паливного фільтра складається з алюмінієвих пластин 5 і контактного біметалевого вимикача. При високих температурах навколишнього повітря біметалічна пластина 3 вигинається і контакти знаходяться в розімкнутому стані струм на систему обігріву паливного фільтра не подається. При температурі навколишнього повітря від $+3$ до $+8^{\circ}\text{C}$ біметалічна пластина розпрямляється і контакти замикаються. На систему обігріву паливного фільтра подається струм і за допомогою алюмінієвих пластин відбувається підігрів палива в паливному фільтрі [13].

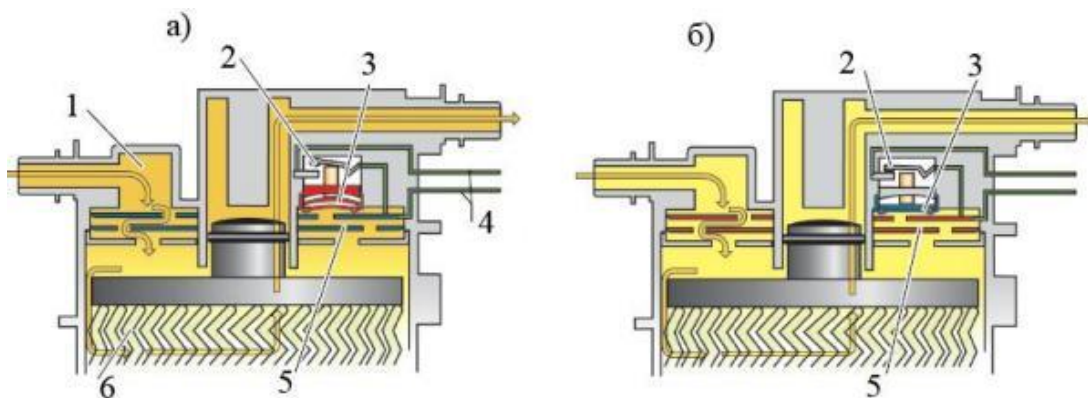


Рис. 1.2 - Паливний фільтр з електропідігрівом

1 – паливо; 2 – рухомий контакт; 3 – біметалічна пластина; 4 – дроти підведення електроенергії; 5 – алюмінієві пластини; 6 – фільтруючий елемент; а – обігрів вимкнений; б - обігрів включений

1.1.1 Паливні фільтри: пристрій, види та як вибрати

У будь-якому виді палива присутні різні суспензії та домішки – це дрібні та великі тверді частинки іржі, металу, піску та інші забруднення, включаючи вологу, які потрапляють у паливний бак ззовні або вже знаходяться в ньому [25].

Щоб максимально зменшити попадання бруду та конденсату в двигун використовуються паливні фільтри (ТФ) різних ступенів очищення, які різняться між собою за розташуванням, типом двигуна, розмірами, конструкцією, але встановлюються на всі колісні транспортні засоби.



Рис. 1.3 - Класифікація паливних фільтрів

Чи необхідний паливний фільтр. На що він впливає? Високоточні компоненти системи впорскування дуже вимогливі до якості палива. Негативно впливають на двигун навіть мікроскопічні частинки, які діють непомітно, але постійно, провокуючи передчасне зношування і критичний вихід з ладу вузлів і компонентів, пов'язаних з двигуном і паливною системою [51].

- Якщо автомобіль інжекторний (а це більшість сучасних машин), тверді частинки, потрапляючи з палива, накопичуються на високоточних елементах форсунок, внаслідок чого можуть заклинити та пошкодити прецизійні пари, які дозують упорскування бензину. Це, у свою чергу, тягне за собою засмічення та виходу з ладу форсунок. На додаток, погано очищене паливо діє як наждачний папір, провокуючи критичний знос внутрішніх деталей паливного насоса, що призводить до його виходу з ладу [26].

- До фільтрації палива дизельних машин висуваються підвищені вимоги, оскільки система подачі палива дизеля дуже тонко реагує на наявність навіть найдрібніших механічних домішок та вологи в паливі, що вже надійшли у двигун. Це пов'язано з тим, що прецизійні пари, відповідальні за упорскування, встановлені у форсунках, вони є навіть у ТНВД (насос високого тиску) [8].

Якісний паливний фільтр – це не лише ефективне очищення пального, а й підвищення потужності двигуна. Чим краще фільтрація, тим менше в ньому абразивних твердих частинок, ефективніше його впорскування та горіння, а значить загальна стабільність та надійність роботи двигунів внутрішнього згоряння [34].



Рис. 1.4 - Засміченість паливних форсунок

Паливний фільтр – один із важливих елементів системи подачі палива. Для того щоб забезпечувати надійність та ефективність роботи системи, зберегти високу продуктивність, мінімальну витрату палива та стабільний рівень емісії ОГ, паливні фільтри повинні не тільки відповідати типу двигуна, а й бути досить великими за ємністю, щоб збирати максимальну кількість твердих частинок [19].

Стандартний тип фільтрації палива – двоступінчасте очищення. Спочатку паливо проходить фільтр грубої очистки – його завдання полягає у утриманні великих механічних домішок. Після попереднього очищення бензин/дизель надходить у фільтр тонкого очищення, де відбувається фінішне очищення [1].

Враховуючи високі вимоги до чистоти палива дизелів, схема фільтрації відрізняється для бензинового та дизельного двигуна. Зокрема для бензинових двигунів оптимальний показник – фільтрація частинок розміром не більше 10 мкм, тоді як система живлення дизеля вимагає усунення навіть дуже дрібних

забруднень, а також води та парафінів, які дуже швидко забивають фільтр, що погіршує його пропускну здатність.

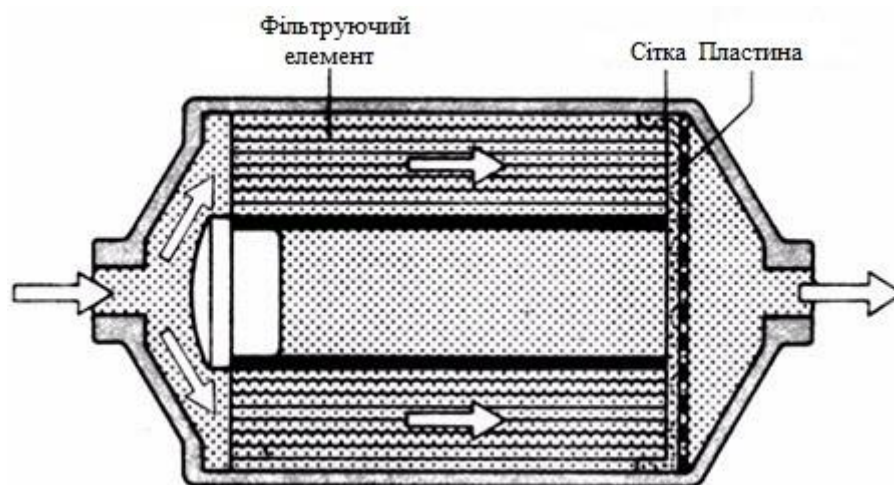


Рис. 1.5 - Прямоточний фільтр

Види паливних фільтрів:

Залежно від ступеня та тонкості фільтрації розрізняють два основних типи фільтруючих елементів – паливні фільтри грубого та тонкого очищення.

Фільтри грубої очистки:

- Фільтр грубого очищення для дизельних силових агрегатів має сітчасту структуру, через яку не можуть пройти великі тверді частинки, що не перевищують 0,1 мкм. Він розташований у паливному баку та відповідає за запобігання попаданню в систему не тільки бруду, а й частинок води та парафінів.

- На бензинових двигунах в якості попередньої фільтрації може використовуватися фільтруючий елемент, який є сіткою (металевою або синтетичною), встановленою в занурювальний паливний насос бака.

- Грубе очищення палива для карбюраторних моторів може проходити через кілька шарів фільтрації – через ґрати з великими осередками, розташованими на горловині бензобака, через сітку із сотами середнього

розміру, розташовану на паливозабірнику, та через шар із найдрібнішими ситами на впускному штуцері [7].



Рис. 1.6 - Фільтр відстійник

У автомобілях з дизельними моторами найчастіше встановлюється спеціальний комбінований пристрій (модуль), так званий сепаратор, або відстійник, що складається з паливного фільтра та водовідділювача. Його завдання – не допустити попадання конденсату (води) у систему. На автомобілях, що працюють на бензині, такий пристрій не використовується [56].

До паливних фільтрів для дизельних двигунів висувається ще одна жорстка вимога – відмінна працездатність в умовах низьких температур. При низькій середньодобовій температурі повітря у зимовий час у дизельному паливі кристалізується парафін, який швидко забиває звичайний фільтр.

Вже при -5°C дизельне паливо починає каламутніти, що є першою ознакою кристалізації, що почалася. Поки кристали парафінів малі, вони здатні проходити крізь матеріал, що фільтрує, як тільки температура опускається нижче 7°C кристали починають збиратися в згустки, які при ще

більшому зниженні температури повітря стають настільки великими, що не проходять через фільтр [14].

Досвідчені водії дають цьому ефекту назву – солярка, що «зацукорилася», яка дійсно схожа на масу, що зацукрилася. Вона забиває стільники, внаслідок чого паливо просто перестає надходити в двигун, машина глухне і зупиняється, завести її неможливо. Щоб цього не сталося, якісні паливні фільтри для дизелів мають вбудований елемент (підігрівач або струмопровідний папір), що контролює температуру паливної суміші [29].



Рис.1.7 - Забруднення фільтра

Фільтри тонкого очищення

Для якісної двоступінчастої фільтрації, фільтр тонкого очищення палива (ФТО) встановлюється і на бензинові, і на дизельні автомобілі, і виконує фінішну фільтрацію бензину/дизеля від дрібних частинок, які не зміг затримати фільтр попереднього очищення. Елементи тонкої очистки палива здатні вловити частинки розміром до 0,001 мм.

Місце, де розташований ФТО, у різних типах двигунів різниться. Так, у карбюраторній системі вона розташована між бензонасосом у паливній

магістралі та паливозабірником, в інжекторах розміщений між рампою та насосом, а в дизелях – між фільтром-відстійником та ТНВД, за рахунок чого його ще називають фільтр паливного насоса [4].

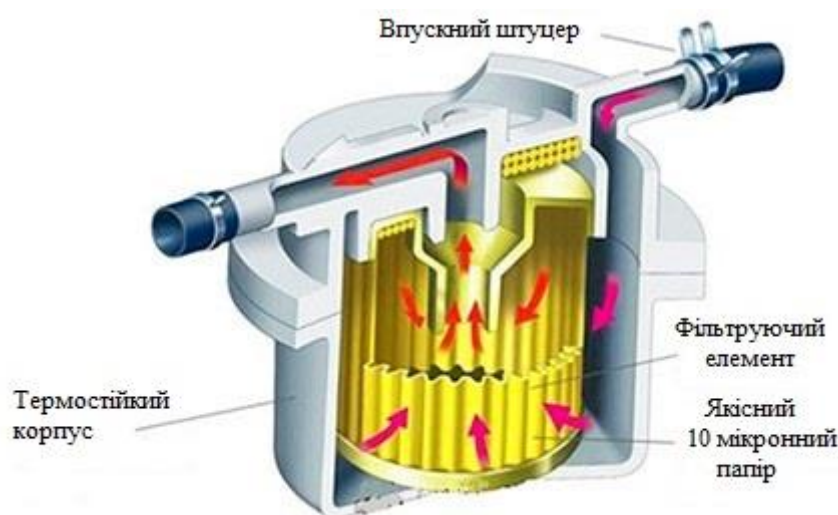


Рис. 1.8 - Будова фільтра відстійника

Додатково фільтри тонкого очищення поділяють за типом конструкції – нерозбірні, або одноразові, та розбірні (багаторазові).

- Нерозбірні – такий тип фільтрів є міцним корпусом, в який поміщений матеріал, що фільтрує, виготовлений з якісного паперу, покладеного в «гармошку».

Застосування саме такої форми дозволяє покращити процес відсіювання та, тим самим, продовжити експлуатаційний термін виробу. Позитивний ефект очищення палива відбувається завдяки збільшенню площі поверхні матеріалу. Він зібраний у гармошку, що дає більш тривалий контакт бензину з фільтром, а значить очищення буде якіснішим. Якість очищення палива можна оцінити за таким фактом – для гармошки фільтра діаметром 10 см використовується паперова стрічка завдовжки 1 метр.

Найчастіше нерозбірні моделі використовуються для інжекторних бензинових двигунів внутрішнього згоряння – така система живлення вимагає від фільтра високої стійкості до підвищених навантажень, як високих

температур, так і тиску в системі живлення. Саме тому фільтри для інжекторних двигунів виготовляються із високоміцних матеріалів, стійких до постійних термічних навантажень – найчастіше це сталь, різні сплави [17].

- Розбірні – фільтри виготовляються з латуні або кераміки, та можуть демонтуватися із системи для розбирання та очищення від забруднень [21].

Найзручнішими у використанні є прозорі моделі, які дозволяють легко визначити рівень забруднення.



Рис. 1.9 - Прямочний фільтр з металевою основою

Розбірний ПФ знаходиться між бензобаком і двигуном, як правило, в ніші днища або під капотом. Іноді можливе встановлення разом з фільтром попереднього очищення. Найчастіше встановлюється на типах карбюраторних двигунів [11].

1.1.2 Ознаки засмічення та виходу з ладу

Регламент заміни паливного фільтра вказаний у технічній документації автовиробника, і може змінюватись від 10 до 70 тис. км, в окремих виробників

може досягати позначки та у 120 тис. км. Середній пробіг, у якому рекомендовано заміна – 15-25 тис. км.

Простіше відстежити рівень забруднення в прозорому ТФ, але якщо корпус елемента непрозорий і нерозбірний, визначити ознаки засмічення і виходу з ладу візуально практично неможливо.

Основні ознаки засміченого фільтра:

- Збільшена витрата палива.
- Падіння потужності двигуна, проблемний запуск.
- Плаваючі обороти та троїння мотора.
- Втрата динаміки при зтяжному підйомі в гору на височину та загальне погіршення динамічних характеристик.
- Рух автомобіля ривками [18].

Такі ознаки несправності легко переплутати з іншими проблемами авто, не пов'язаними з паливною системою. Тому власникам інжекторів, у першу чергу, слід звертати увагу на падіння потужності, головною ознакою засмічення ТФ, а тим, у кого дизель – на точність і легкість запуску мотора, як у теплий, так і холодний час. Ще простіше зробити діагностику в автосервісі, яка допоможе визначити, потрібна заміна або ж потрібен ремонт якихось інших конструктивних вузлів і елементів.



Рис. 1.10 - Приклад забруднення фільтрів [10].

При покупці нового фільтра важливо вибрати якісний фільтруючий елемент паливної системи, і приваблива ціна дизельного або бензинового фільтра – це не головний пріоритет при підборі. Найчастіше відверто дешеві ТФ мають низьку якість, швидко стають непридатними.

Неякісні фільтри від невідомих виробників не здатні ретельно очищати паливо та убезпечити деталі паливної системи від зносу, корозії. Вони погано утримують дрібні частинки сторонніх суспензій, часто рвуться в процесі експлуатації, при цьому водій навіть не підозрює про це, що дуже негативно позначається на продуктивності, і справності двигуна і його компонентів [38].

Основні критерії вибору:

- Фірма-виробник – популярність і репутацію бренду на ринку автозапчастин вже можна вважати головним фактором якості продукції, що випускається.

При цьому найкраще купувати ТФ фірм, які мають вузьку спеціалізацію, тобто займаються виготовленням певної групи запчастин. Серед визнаних брендів-виробників паливних фільтрів до п'ятірки найкращих увійшли: KNECHT, MANN-FILTER, DELPHI, BOSCH та FILTRON.



Рис. 1.11 - Класифікація зарубіжних фільтрів [55].

Бюджетний варіант можна вибирати лише у разі відсутності можливості придбати брендовий фільтр або через відсутність більш якісної альтернативи.

Існує три рівні фільтрації – середній, номінальний, абсолютний:

- Середній рівень фільтрації забезпечує затримку 50 - 60% частинок і суспензій, підходить для старих іномарок і російського автопрому.
- Номінальний рівень відсіву забезпечує утримання до 80 - 90% забруднень, чого цілком достатньо більшості сучасних авто.
- Абсолютне відсівання гарантує утримання порядку 99,99% всіх суспензій, і є оптимальним варіантом для сучасних автомобілів з багатоступінчастою системою упорскування, двигунами з турбонаддувом [51].

Якість фільтрованого паперу та рівень його намотування візуально визначити важко, особливо якщо фільтр купується на замовлення, а ось габаритні розміри слід знати точно – навіть міліметрове відхилення від оригінальних параметрів та правильного положення фільтра може спровокувати великі проблеми з двигуном.

І, звичайно, головною вимогою вибору ТФ є підбір пристрою за типом двигуна і паливної системи автомобіля.

Найкраще встановлювати оригінальні комплектуючі чи хороші фірмові аналоги – це стосується всіх транспортних засобів, незалежно від марки, моделі, року випуску та типу силового агрегату [53].

Паливо фільтрується двома фільтрами:

- фільтром-відстійником, встановленим між паливним баком та бензиновим насосом;
- фільтр тонкого очищення, який встановлений між бензиновим насосом і карбюратором.

Догляд за фільтром-відстійником полягає в систематичному спуску води та бруду через зливну пробку, а також у періодичній розбиранні фільтруючого елемента.

Для промивання елемента необхідно відвернути болт на кришці фільтра та зняти корпус із фільтруючим елементом. При складанні фільтра слідкуйте за цілісністю прокладки між корпусом та кришкою.

При розбиранні фільтра тонкого очищення палива спочатку треба знімати склянку-відстійник, а потім з особливою обережністю керамічний елемент. Промивають фільтруючий елемент у бензині. При складанні необхідно стежити за цілісністю прокладок між фільтруючим елементом та кришкою, а також між склянкою та кришкою [6].

1.2 Вплив показників палива на роботу паливної системи.

Для збереження необхідної роботи двигуна потрібен певний порядок виробітку палива з баку, для чого систему обладнають спеціальною автоматикою. Роботу паливної системи вважають надійною, якщо вона за всіх умов експлуатації може забезпечувати двигуни паливом з необхідною витратою та порядком його виробітку [42].

Паливна система ПА включає різні агрегати і деталі (протекторні і металеві баки, підкачувальні насоси, фільтри тонкого і грубого очищення, датчики витрати, регулювання і вимірювання кількості паливної суміші, теплообмінники, трубопроводи, арматура). Ця система відноситься до життєво важливих, тому всі її елементи повинні надійно працювати весь період експлуатації. Властивості палива, що є робочим середовищем, надають певний вплив на систему, викликаючи виникнення відмов та дефектів деяких деталей та елементів, знижуючи надійність роботи.

Негативний вплив властивостей палива пов'язаний переважно з неконтрольованими змінами його складу та властивостей, що відбуваються під впливом змінних умов експлуатації, головним чином, тиску та температури. Ступінь охолодження палива на кожному типі двигуна залежить від ряду факторів, основними з яких є: температура навколишнього повітря;

компонування та конструктивне виконання паливних баків; швидкість, початкова температура та обсяг баків; умови тепловідведення [13].

Швидкість та глибина охолодження залежать від теплопровідності палива. Температура палива у баках під час роботи і пори року змінюється (рис. 1.12). На дизельному двигуні в зимній час температура палива може знижуватися до мінус 26°C. Зниження температури може призвести до зміни фазового стану палива, тобто до появи кристалічної фази та аморфної маси. Зміна фазового стану може призвести до погіршення прокачування, тобто рухливості, палива, що забезпечує певну швидкість руху по паливній системі. Зміна фазового стану у поєднанні з неминучим зростанням в'язкості може спричинити зниження подачі насосів, збільшення гідравлічних опорів, забиття фільтрів тонкого очищення. Падіння зовнішнього тиску може спричинити нестійку роботу насосів через появу в паливі газової фази. При експлуатації паливної системи виникають різні порушення в її роботі, обумовлені закупоркою каналок і пор фільтрів опадами, обмерзанням сіток фільтрів переохолодженою водою, що знижують подачу палива в двигун. Крім зазначених, іноді виникають дефекти, спричинені, наприклад, корозією металевих паливних баків, руйнуванням протекторних баків відстійною водою, старінням ущільнювальних гумових матеріалів.

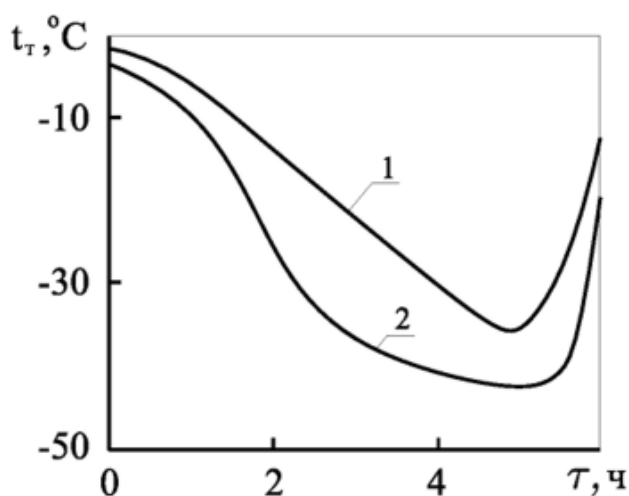


Рис. 1.12. - Залежність температури палива t_r у баку (1) та зміна від пори року (охолодження) (2).

Необхідно відшукати відповідні умови експлуатації та конструктивні рішення, а також склад палива, за яких негативний вплив його властивостей на паливну систему виключається. Це може бути досягнуто на підставі вивчення фізико-хімічних процесів, що протікають у паливі при використанні його в системах, забезпечуючи відповідність експлуатаційних властивостей палив умовам їх роботи [33].

Форсунок - це ключова деталь дизельного двигуна, від правильної роботи яких залежить стабільна робота двигуна. Основним завданням форсунок є подача палива в камеру згорання, а також його точне дозування та розпилення. Ремонт або заміна форсунок, як правило, обходиться власнику великої суми грошей.

Якісне дизельне паливо завжди є запорукою відсутності поломок у паливній системі. Крім палива є ще ряд інших причин, що впливають на паливну систему.

Основні причини поломки форсунок:

1. Неякісне паливо.
2. Вихід з ладу ПНВТ або насоса підкачування палива.
3. Несвоєчасна заміна паливних фільтрів.
4. Неправильне встановлення форсунок.
5. Природний знос [21].

У цій статті докладно зупинимося на, мабуть, головну причину поломки форсунок – неякісне дизельне паливо. Розглянемо, як окремо кожен чинник поганого палива впливає форсунок і паливну систему загалом. Наявність бруду та пилу в дизельному паливі. Попадання в паливо навіть дрібнодисперсних частинок бруду та пилу здатне вивести форсунок з ладу.

Тверді частинки забивають сопла розпилювача та залишають на ньому мікро-подряпини. Також бруд порушує щільність посадки голки в сидло розпилювача або призводить до її заклинювання. Це, у свою чергу, погіршує розпилення палива та сприяє утворенню лаків та нагару на форсунках.

Наявність у паливі води навіть у невеликих кількостях призводить до нерівномірного розпилення палива, і, як наслідок, утворення шламів, які засмічують форсунки, паливопроводи та плунжери ПНВТ. Взимку через утворення кристалів льоду може припинитися подача палива у двигун. В результаті, деталі не отримують мастила і металева стружка, що утворилася, або пил засмітить форсунки.

Парафіновий осад у дизельному паливі. При використанні палива з парафіновим осадом засмічується фільтр і знижується або зовсім припиняється надходження палива. Як описано вище в ситуації з наявністю води, деталі не отримують мастила, утворюється металева стружка, яка забиває сопла форсунок і пошкоджує ПНВТ. В результаті термін служби форсунок знижується. Показники зольності та коксування.

Вміст активних та неактивних сірчистих сполук. Перевищення показників зольності та коксування в ДП призводить до високого нагароутворення та передчасного виходу форсунок з ладу. Допустимий вміст золи в дизельному паливі – 0,01 – 0,02%. На утворення відкладень також впливає показник вмісту сірки. Чим він вищий, тим більше нагару та шламів утворюється на елементах паливної системи.

Ключові параметри, що впливають на потужність двигуна:

1. Фракційний склад (90-360).
2. В'язкість.
3. Коксування [2].

Цінність дизельного палива визначається як один із факторів його витрачання на 100 км. Певні висновки щодо витрати на 100 км можна зробити за фракційним складом. Температура кипіння 50% палива визначає наявність пускових фракцій, а 96% палива - повноту згоряння та схильність до нагароутворення.

Якщо в дизельному паливі багато легких вуглеводнів, то порушується процес згоряння (різко наростає тиск на градус кута повороту коленвала).

Тяжке, з високою температурою кипіння, паливо при розпилюванні утворює більші краплі, погіршується якість горючої суміші, підвищується витрата палива. При значному обтяженні палива суттєво збільшується коксування розпилювачів форсунок, зростає кількість нагару у зоні циліндро-поршневої групи. Сучасні форсовані дизелі можуть надійно працювати лише з паливі нормованого фракційного складу: $t_{\text{кип}} = 340^{\circ} \dots 360^{\circ}$. З (залежно від марки ДП). Встановлено, що за рахунок збільшення температури кінця кипіння з 360° до 380°C , ресурси дизельного палива можуть бути збільшені на 3 - 4%. Розширення фракційного складу, тобто. відбір дизельних палив в інтервалі температур від 106° до 380° .

Знижене цетанове число негативно позначиться також на пускових властивостях палива, але цю обставину можна знехтувати, оскільки вирішальне значення при пуску двигуна має не цетанове число, а фракційний склад дизельного палива.

При експлуатації двигунів у зимовий час застосовують паливо, що википає в межах $140^{\circ} - 340^{\circ}\text{C}$, а в літній час - в межах $170^{\circ} - 360^{\circ}\text{C}$. Такий фракційний склад дизельного палива за правильно відрегульованої системи живлення забезпечує повне згоряння палива та м'яку роботу сучасних швидкохідних дизелів [50].

При полегшенні палива погіршується пуск дизелів, оскільки легкі фракції мають найгіршу порівняно з важкими фракціями самозаймистість. Тому пускові властивості дизельних палив для автомобілів певною мірою визначає температура википання 50% палива. Температура википання 96% палива регламентує вміст у паливі найбільш важких фракцій, збільшення яких погіршує сумішоутворення, знижує економічність, підвищує нагароутворення та димність газів, що відпрацювали.

При надлишку легких фракцій горіння супроводжується стуками, а при надлишку важких - димленням і забрудненням двигуна [24].

Пускові властивості дизельних палив певною мірою характеризує лише температура википання 50% (про.) палива. Застосування дуже легких палив за низьких температур повітря не полегшує, а навпаки, ускладнює пуск двигуна. Справа в тому, що на випаровування великої кількості легких фракцій палива витрачається тепло, внаслідок чого знижується температура в кінці стиснення і швидкість протікання перед-полум'яних реакцій зменшується.

Для дизеля качан кипіння не нижче 60°C, тобто нижче починають утворюватися повітряні пробки.

Полегшення фракційного складу, тобто зниження температури початку перегонки і 10% википання, а також зниження температури перегонки 96%, крім жорсткої роботи двигуна ускладнює його пуск і прогрів через збільшення теплоти випаровування паливо-повітряної суміші, зниження температури в камері згоряння та зростання періоду затримки займання легких вуглеводів проти важкими [2].

Ускладнення фракційного складу, тобто підвищення температури википання 90 % і 96 %, призводить до неповного випаровування палива в процесі сумішоутворення, і зниження теплоти згоряння важких вуглеводнів порівняно з легень, і погіршення економічності двигуна. Незгорілі важкі фракції палива, стікаючи по стінках циліндра, змивають олію та збільшують зношування циліндро-поршневої групи, а також викликають розрідження олії в картері двигуна. Тяжкі фракції дизельного палива позитивно впливають на його займистість за рахунок зниження температури самозаймання нестабільних важких вуглеводнів.

Фракційний склад дизельних палив має важливе значення для роботи дизеля. При збільшенні вмісту легких фракцій у дизельному паливі підвищується критичний тиск займання робочої суміші, з'являються стукіт у циліндрах і розріджується олія. Надто важкі фракції згоряють неповно і збільшують відкладення нагару в камері згоряння. Газойлеві фракції прямої перегонки парафіністих нафт мають високі цетанові числа, згоряють у дизелі

плавно, без стуків і є гарним паливом для швидкохідних дизелів. Фракції ж вторинного походження, що містять значну кількість ароматичних та олефінових вуглеводнів, мають низькі цетанові числа, згоряють у дизелі зі стуком та дають велике відкладення нагару на поршнях, клапанах та стінках камери згоряння двигуна. Тому газойлі, одержувані при вторинні процеси переробки нафти, в чистому вигляді у швидкохідних дизелях не застосовують, їх у невеликих кількостях (до 20%) додають до дизельних палив прямої перегонки [6].

Температура перегонки 50% палива характеризує рівномірність розподілу вуглеводнів, що повністю випаровуються в процесі сумішоутворення. випаровування окремих крапель палива та неповноти їх згоряння; при цьому потужність і економічність двигуна знижуються, збільшуються відкладення нагару в камері згоряння, димність і токсичність газів, що відпрацювали [8].

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРУВАННЯ ТА РОБОТИ ПАЛИВНИХ ФІЛЬТРІВ

2.1. Наявність домішок у дизельному паливі

Дизельне паливо надходить на склад залізничними та автомобільними паливними цистернами.

Середні концентрації забруднюючих речовин у літніх пробах становлять 0,0028 та 0,0032 %, а вологість – 0,0022 та 0,0026 %.

Розмір частинок забруднень досягає 40...50 мкм і в окремих випадках перевищує 50 мкм. Загальна кількість частинок на 1 мл палива становить 28 000. У осаді вміст води і забруднення досягає 260 тис. на мілілітр.

Влітку забруднення дизельного палива, викликане відкладенням в нафтобаку зменшуються на 0,0020%, а шлам складає 0,2820%.

Вміст вологи майже не залежить від способу доставки. Паливо, що містить 0,0016% забруднюючих речовин, заливається в паливний бак автомобіля через розподільний стояк [12].

Взимку рівень забруднюючих речовин у дизельному паливі в баку залишається на колишньому рівні. Проте спостерігається незначне збільшення вмісту паливної води.

Влітку вологість забруднення палива на залізничних та автомобільних нафтобазах становить 6,82...7,82%, а зольність – 72,08...78,20%.

Вологість змінюється в залежності від атмосферного тиску і температури, коли вода переходить у розчинений стан. Інші елементи в забруднювачах присутні в дуже малих кількостях.

Забруднення дизельного палива від середньої проби резервуарів-сховищ має приблизно однакову вологість 6,80 % і зольність 68,12 %. Через

відкладення продуктів корозії та деяких продуктів атмосферного пилу вологість забруднення стояка становить 6,42 %, а зольність – 66,18 % [12].

Зразки із залізничних резервуарів містять значно меншу кількість частинок, до 20 мкм, з розмірами 40...50 мкм. У той же час в осаді міститься велика кількість забруднюючих речовин, до 200 ... 500, в осаді є сліди води, а також довгасті частинки, джерело яких пов'язане з ущільненнями і рослинними решітками.

На зразку бензобака автомобіля картина приблизно схожа. Проте мул з великих груп не містить забруднювачів, оскільки інтенсивне змішування та транспортування не дозволяють їм утворитися.

У середній пробі цистерни нафтобази відстоювання через велике забруднення частинками було менше, ніж у пробі залізничної цистерни.

У осаді містяться крупнодисперсні забруднювачі – продукти корозії резервуарів-накопичувачів, і навіть великі згустки, які є результатом агломерації забруднюючих речовин під впливом адсорбційної здатності великих крапель води. Існують також довгасті частинки, появу яких можна пояснити наявністю високого вмісту поверхнево-активних речовин і домішок мінерального та природного походження. У деяких випадках за участю води і поверхнево-активних речовин виникають комплекси, що утримують разом велику кількість частинок у вигляді желеподібних агрегатів [13].

Витрата палива у загальних витратах на експлуатацію автомобілів становлять 18...20 %, у зв'язку з чим його економне витрачання – одна з умов зниження вартості автомобільних перевезень. З іншого боку, дизельні палива, що є нині основним паливом для автомобілів, потреба у яких безупинно зростає.

2.2. Теоретичне обґрунтування конструкції фільтрів дизельного палива в системах живлення

Вдосконалення очищення дизельного палива повинно включати: розробку ефективного повітряного фільтра для очищення повітря, що надходить у паливний бак; створення пристосувань підвищення ефективності гравітаційної очистки палива баку; збільшення ресурсу роботи фільтра тонкого очищення та надання йому функцій водовідділювача. Вирішення зазначених завдань вимагає дослідження процесів, що визначають загальну кількість і гранометричний склад твердих забруднень, а також вміст емульсійної води в дизельному паливі. Ці показники забрудненості палива є вихідними даними при розробці математичних та фізичних моделей функціонування пристроїв для забезпечення чистоти палива в системі живлення дизелів. Після 1-ої заправки концентрація забруднень у баку дорівнюватиме:

$$C_{3i} = C_B \frac{V_0}{V_6} \ln \left(1 + \frac{V_6}{V_0} + \frac{V_6^2}{V_0^2} + \dots + \frac{V_6^{i-2}}{V_0^{i-2}} \right) + C_{3т} \quad (2.1)$$

де C_{3i} - сумарна кількість забруднень у паливному дозарі, г; $C_{3т}$ - концентрація забруднень у паливі, що заправляється, г/л; C_B - концентрація забруднень у повітрі, г/л; V_6 - об'єм бака, л; V_0 - залишок палива в баку, л.

Оскільки величина $\frac{V_0}{V_6} < 1$, при $i \rightarrow \infty \frac{V_6^i}{V_0^i} \rightarrow 0$, і при досить великій кількості заправок вираз (2.1) набуде вигляду:

$$C_{3i} = \ln \frac{V_6}{V_0} \frac{V_0}{V_6 - V_0} C_B + C_{3т} \quad (2.2)$$

Оскільки зазвичай відношення $\frac{V_0}{V_6} = 0,1 \dots 0,2$, забрудненість палива досягає граничного значення через 2 ... 3 заправки. Аналіз цих залежностей підтверджує намічені шляхи зниження забрудненості палива у системі харчування дизеля.

Розглянутий механізм зміни забрудненості палива в баку справедливий для дизелів із тупиковою або замкнутою схемами системи живлення, а при проточній схемі надлишкове паливо, що не потрапило в камеру згорання, зливається у паливний бак. При цьому розрахунок засміченості фільтра тонкого очищення за формулою (2.2) дасть трохи завищені значення, проте доцільно приймати цей показник із запасом [9].

Волога, що потрапляє в дизельне паливо, має переважно атмосферне походження і спочатку знаходиться у атмосфері у вигляді водяних парів чи опадів. Кількість водяної пари, що надходять у бак в результаті витрати палива при роботі двигуна, можна визначити з виразів:

$$G_{\text{ВбД}} = 0,001 V_{\text{Д}} C_{\text{В}} , \quad (2.3)$$

де $G_{\text{ВбД}}$ – маса атмосферної вологи, що потрапила в бак при великому диханні, кг; $V_{\text{Д}} = V_{\text{б}} - V_{\text{Т}} = g_{\text{с}} p_{\text{Т}} \tau$ - обсяг витраченого двигуном палива, м; $g_{\text{с}}$ - секундна витрата палива, г/с; $p_{\text{Т}}$ - щільність палива, кг/м³; τ - тривалість роботи двигуна, с; $C_{\text{В}}$ – абсолютна вологість повітря під час роботи двигуна, г/м³.

Цей вираз справедливий для випадку, коли газовий простір бака безпосередньо з'єднується з атмосферою, а пружністю парів палива можна знехтувати. Якщо паливний бак обладнаний дихальним клапаном, вологе повітря надходить у нього у разі виникнення вакууму. Зробимо припущення, що це процес підпорядковується закону Бойля-Маріотта, тобто. протікає при постійній температурі, і справедливе рівняння:

$$P_{\text{а}} V_{\text{Возд}} = V_{\text{б}} V_{\text{Т}} = (P_{\text{а}} - P_{\text{КВ}} - P_{\text{у}}) V_{\text{Т}} , \quad (2.4)$$

де $P_{\text{а}}$ та $P_{\text{б}}$ - відповідно атмосферний тиск і тиск у баку після відкриття клапана, Па; $P_{\text{КВ}}$ та $P_{\text{у}}$ - відповідно тиск відкриття клапана та пружність парів палива, Па; $V_{\text{Возд}}$ та $V_{\text{Т}}$ - відповідно обсяг повітря, що надійшло в бак, і обсяг палива, виданого з нього, м³ .

Звідси

$$V_{\text{возд}} = \frac{P_a - P_{KB} - P_y}{P_a} V_n. \quad (2.5)$$

Кількість атмосферної вологи, що надходить у бак при видачі з нього палива, визначається з виразу:

$$G_{\text{вбд}} = \frac{0,001 V_n}{P_a} P_6 C_B, \quad (2.6)$$

де $P_6 = P_a - P_{KB} - P_y$ тиск у баку, Па.

Аналогічним шляхом, користуючись рівнянням газового стану та законом Дальтона, можна визначити кількість вологи, що надходить у вакууму через зменшення обсягу палива та зниження пружності його парів.

Крім попадання парів вологи в газовий простір паливного бака з атмосферним повітрям при спрацьовуванні дихального клапана, волога може надходити в бак також у вигляді атмосферних опадів за наявності зазорів у його горловині при встановленні в ній роздавального крана, а також при розгерметизації бака для огляду та технічного обслуговування. Сумарна кількість вологи, що потрапила в паливний бак, становить:

$$G_B = G_{\text{вбд}} + G_{\text{вз}} + G_{\text{впор}} + G_{\text{вкон}}, \quad (2.7)$$

де $G_{\text{вз}} = \frac{2\pi R \delta D_{oc} P_B}{1000}$ - кількість вологи, що потрапила через зазори, кг;

$G_{\text{впор}} = 0,001 V_6 C_{\text{впор}}$ - кількість вологи, що надійшла в порожній бак, при його розгерметизації для внутрішнього огляду, зачистки тощо, кг;

$G_{\text{вкон}} = 0,001 V_{\text{смк}} (C_{\text{впор}} - C_{\text{внал}})$ кількість вологи, що сконденсувалася на внутрішніх поверхнях порожнього бака при зниженні температури, кг;

R - радіус горловини, м; $\delta = R - R_K$ - середня величина зазору, м;

R_K - радіус патрубку роздавального крана, м;

$D_{oc} = \frac{G_r \tau_3}{\tau_{oc}}$ кількість опадів, мм;

G_r - середня норма опадів даної території, мм/рік; τ_3 - сумарна тривалість

заправок, год/день; τ_{oc} - середня тривалість опадів даної території, год/рік; ρ_v - щільність води, кг/м³; $C_{ВПОР} - C_{ВНАЛ}$ - відповідно абсолютна вологість повітря, що надходить у порожній бак і витісняється з бака при наливі в нього дизельного палива, г/м³ [11].

З цієї кількості частина вологи розчиниться в дизельному паливі, частина її утворює з ним емульсію, а частина залишиться у газовому просторі бака у вигляді парової фази. Розчинність води у нафтопродуктах невелика і для дизельного палива ДЛ коливається від 0,0021 % за - 10 °С до 0,0104 % за 30 °С, тому видаляти з дизельного палива розчинену воду недоцільно. В основному волога знаходиться в дизельному паливі у вигляді мікрокрапель, утворюючи емульсійну воду, що знаходиться в динамічній рівновазі з розчиненою в паливі водою.

З часом мікро-краплі води можуть укрупнюватися і, беручи в облогу, утворювати на дні ємності шар відстійної (підтоварної) води, яка також знаходиться у динамічній рівновазі з розчиненою у продукті водою, а також частково емульгується назад у паливо при транспортній трясці. Процес утворення підтоварної води в баку залежатиме від кількості та розміру мікрокрапель води, диспергованих у дизельному паливі. Об'єм підтоварної води, що утворилася в паливному баку за деякий проміжок часу:

$$V_{отс} = \frac{K\pi}{2g} \frac{N\mu_n V_n \tau d_k}{\rho_v - \rho_{п}} \frac{2\mu_{п} + 3\mu_{в}}{\mu_{п} + \mu_{в}}, \quad (2.8)$$

де $V_{отс}$ - обсяг підтоварної води, м³; N - кількість мікрокрапель води в одиниці об'єму палива у початковий період, шт./ м³; V_n - обсяг палива в баку, м³; τ - тривалість осадження мікрокраплі води, с, K - коефіцієнт перемішування.

Даний вираз носить оцінний характер через труднощі визначення кількості крапель у паливі та їх розміру. Інші закономірності, що описують механізм обведення дизельного палива атмосферною вологою, також дають неповну картину цього процесу і вимагають коригування за допомогою

експериментальних даних.

Максимальну сумарну кількість вологи, здатну перебувати у паливі у вільному стані, можна визначити, використовуючи вираз:

$$G_{CB\ max} = 0,001 \left[V_B \frac{P_a - P_{KB}}{P_a} C_B - \rho_{\Pi} C V_{OCT} + 2\pi R \delta D_{OC} \rho_B + (V_{\Pi} + V_{OCT})(C_{впор} - C_{нал}) \right], \quad (2.9)$$

де $G_{CB\ max}$ - максимальна кількість вільної води у дизельному паливі, кг;
 ρ_{Π} - щільність дизельного палива, кг/м³; $V_{OCT} = V_6 - V_{\Pi}$ - кількість дизельного палива, що залишилося в баку після роботи двигуна, м³ .

Цією кількістю вільної води слід задаватись при розрахунку засобів для зневоднення дизельного палива під час експлуатації сільськогосподарської техніки [27].

Оскільки значна кількість атмосферного пилу та вологи потрапляє в паливні баки дизелів, разом із повітрям, що надходить туди в процесі експлуатації, найбільш ефективним методом його очищення є фільтрування. Встановлено, що формування пилового осаду на волокнах перегородки, що фільтрує, при швидкості повітряного потоку 1 м/с відбувається з утворенням локальних бічних наростів, спрямованих під кутом 110...120° до осі потоку (рис. 2.1). Це свідчить про переважне відкладення пилу на поверхні перегородки, в лобовій частині її волокон і про відсутність необхідності використання в аналізованих умовах об'ємних фільтрів.



Рис. 2.1 - Схема утворення шару пилу при дії адгезії до волокон пористої перегородки: 1 – частки пилу; 2 - осад; 3 - волокно

У міру накопичення осаду пористість середовища зменшується, що перешкоджає вільному проходженню повітря, і виникає необхідність видалення цього осаду. Для регенерації пористих перегородок ефективно їхнє вібраційне очищення, яке доцільно застосовувати при регенерації повітряних фільтрів, встановлених на паливних баках дизелів [43].

Фільтраційні методи зневоднення повітря відрізняються від аналогічних методів його очищення від твердих частинок. Гідрофобна пориста перегородка пропускає повітря, але є непроникною для крапельної вологи, що міститься в ньому, яка залишається на поверхні цієї перегородки. Затримка перегородкою крапельної вологи відбувається за рахунок адгезійних процесів. При взаємодії мікрокраплі води з пористою перегородкою на вирішальній ролі грають величина поверхневого натягу на кордонах розділу фаз та крайовий кут змочування поверхні рідиною (рис. 2.2).

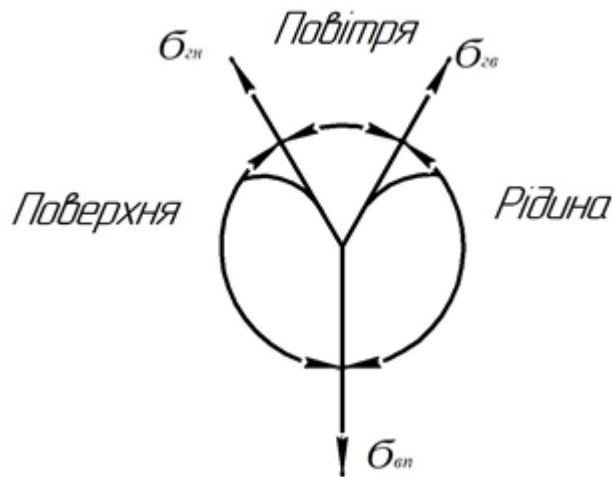


Рис.2.2. - Схема адгезійної взаємодії на межах трифазної системи
«повітря-водаперегородка»

В умовах рівноваги системи «повітряна вода-перегородка» взаємодія її складових частин описується рівнянням:

$$\cos \theta = - \frac{\sigma_{\text{вп}} + \sigma_{\text{рп}} \cos \alpha}{\sigma_{\text{гв}}} \quad (2.10)$$

Де $\sigma_{\text{вп}}$, $\sigma_{\text{рп}}$ і $\sigma_{\text{гв}}$ - відповідно поверхневий натяг на межах розділу «вода-пергородка», «газ (повітря)-пергородка» та «газ-вода» Н/м; $\cos \theta$ – крайовий кут змочування, град; α - угод кривизни пергородки, град.

Продавлювання крапель води через пори гідрофобної пергородки відбувається лише за досягненні деякого критичного тиску, створюваного потоком повітря, яке можна знайти з виразу:

$$\sigma_{\text{вп}} l_n = (\sigma_{\text{рп}} - \sigma_{\text{гв}} \cos \theta) l_n = P_{\text{кр}} S_{\text{п}}, \quad (2.11)$$

де l_n - довжина лінії контакту по периметру пори, м; $P_{\text{кр}}$ - критичний тиск. Па; $S_{\text{п}}$ - площа поперечного перерізу пори, м³.

Звідси величина критичного тиску для пори круглого перерізу:

$$P_{\text{кр}} = \frac{4\sigma_{\text{вп}}}{d_u} \quad (2.12)$$

де d_u - діаметр пори, м.

Недоліком використання гідрофобних перегородок є блокування мікрокраплями води доби перегородки, що перешкоджає проходженню через них повітря, що очищається. Видаляти мікрокраплі води з поверхні пористої перегородки, як і пилового осаду, можна шляхом вібраційного очищення цієї поверхні. При цьому нераціонально застосовувати додаткові пристрої, так як сам двигун внутрішнього згоряння є джерелом пружних коливань від вібрації в широкому спектрі частот. Ефективність вібраційного очищення пористої перегородки залежить від частоти та амплітуди її коливань. Частота коливань повітряного фільтра дорівнюватиме частоті коливань паливного бака, на якому він встановлений, але амплітуда коливань цього бака, жорстко змонтованого на рамі мобільного автомобіля, має обмежені значення. Величину цього параметра можна збільшити, використовуючи явище резонансу, для чого слід встановити фільтр на циліндричній пружині стиснення, характеристики якої повинні задовольняти умови:

$$\Omega = \omega_0 , \quad (2.13)$$

де Ω – частота коливань паливного бака, Гц; $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ – власна частота коливань повітряного фільтра, Гц; k - жорсткість пружини; m - маса повітряного фільтра, г.

Вираз (2.13) є умовою резонансу. Тоді рівняння для знаходження необхідної жорсткості пружини матиме вигляд:

$$k = \Omega^2 m. \quad (2.14)$$

Чистоту палива в баку можна суттєво підвищити за рахунок гравітаційного осадження забруднень, що містяться в ньому, прискоривши цей процес шляхом забору палива з верхніх шарів баку за допомогою плаваючих приймальних пристроїв, в які спочатку потрапляють тільки досить дрібні частки та краплі води, але у міру зниження рівня палива в баку можуть потрапити і не успішніше осісти великі забруднення. Для підвищення

ефективності гравітаційного очищення палива в баку плаваючий приймальний пристрій доцільно оснастити тонкошаровим динамічним відстійником, виконаним у вигляді пакета конічних тарілок [42].

У міжтарільчатому просторі динамічного відстійника потік палива здійснює плоскопаралельний рух, а тверді частинки переміщуються під впливом гідродинамічної сили потоку, спрямованої паралельно конічній утворюючої тарілок, і об'ємної сили, що є різницею гравітаційної та архімедової сил, спрямованої вертикально вниз. Осадження частки відбувається за спільного впливу зазначених сил. За швидкість частки під дією гідродинамічної сили потоку приймаємо середню швидкість потоку у найменшому перерізі міжтарільчатого простору, тобто. на виході з цього простору:

$$F_{\text{пот}} = \frac{\varphi}{4} \rho \pi d_{\text{ч}}^2 w_{\text{пот}}^2 \quad (2.15)$$

$$F_{\text{пр}} = p_T g \left(\frac{p_{\text{ч}}}{p_T} - 1 \right) \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} \sin \alpha \quad (2.16)$$

$$F_c = f(F_g - F_{\text{п}}) \quad (2.17)$$

де $F_{\text{пот}}$, $F_{\text{пр}}$, F_c - відповідно гідродинамічна сила потоку, поздовжня складова гравітаційної сили та сила опору руху частинки, Н; $F_g = \left(\frac{p_{\text{ч}}}{p_T} - 1 \right) \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} \cos \alpha$ - нормальна складова гравітаційної сили, Н; $F_{\text{п}}$ - лобова підйомна сила, Н; $f = 0,7-0,8$ – коефіцієнт тертя; $w_{\text{пот}} = 4W_{\text{пот}} \frac{d_{\text{ч}}}{\delta}$ - швидкість в околицях осілої частинки м/с.

Якщо не враховувати вплив на частинку лобової підйомної сили, що має малу величину, то умова скочування осаджених частинок вздовж утворює тарілки і подальше відведення їх з поверхні тарілки відбудеться за умови:

$$F_{\text{пр}} \geq F_{\text{пот}} + F_c. \quad (2.18)$$

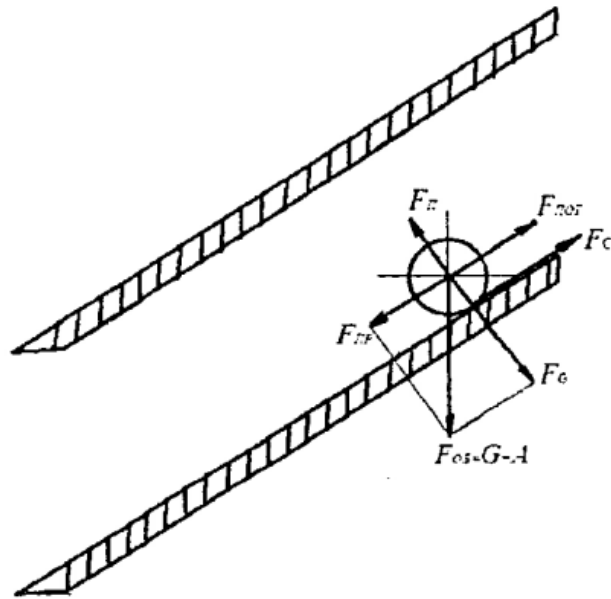


Рис. 2.3 - Схема сил, що впливають на тверду частинку після її осадження на поверхню тарілки

Механізм осадження мікрокрапель води на поверхню тарілки та видалення їх із цієї поверхні має особливості: під час розгляду взаємодії сил після осадження краплі необхідно враховувати розтікання краплі поверхнею тарілки, залежить від крайового кута змочування (рис. 2.4)

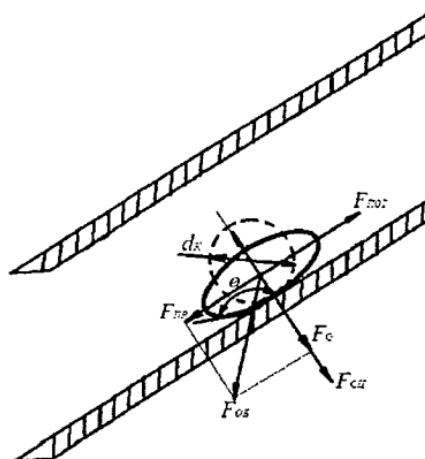


Рис. 2.4. - Схема сил, що впливають на краплю води після її осадження на поверхню тарілки

У цьому випадку сумарне опір скочування краплі по поверхні тарілки

зросте на силу зчеплення краплі з цією поверхнею, а вираз (2.18) прийме вигляд:

$$F_{\text{ПР}} \geq F_{\text{ПОТ}} + F_{\text{С}} + F_{\text{СЦ}} \quad (2.19)$$

Сила зчеплення краплі із поверхнею тарілки, спрямована перпендикулярно цій поверхні, для обмежено розчинних один в інші рідини, якими є вода та паливо, може бути приблизно знайдена з виразу:

$$F_{\text{СЦ}} = (1 - \cos \theta) b_{\text{В-Т}} l, \quad (2.20)$$

де $b_{\text{В-Т}}$ - поверхневий натяг на межі «вода-паливо», Н/м; l - довжина лінії дотику краплі з тарілкою після розтікання, м.

У міру злиття крапель при взаємному дотику відбувається їх укрупнення та скочування з поверхні тарілки відповідно до виразу (2.20), оскільки ліва частина цього виразу збільшується у міру зростання маси краплі. Встановлено, що цей процес відбувається за умови, якщо кут нахилу тарілки буде не менше, ніж визначається за формулою:

$$\alpha = \arctg f. \quad (2.21)$$

При коефіцієнті тертя $f = 0,75$ кут нахилу тарілок $\alpha = 37^\circ$, тобто скочування краплі з тарілки при меншому куті її нахилу неможливе.

Оптимізам конструкції пристрою для тонкого очищення дизельного палива в системі живлення дизеля полягає в суміщенні операцій з видалення з палива твердих частинок, затримки мікрокрапель емульсійної води та їх відведення з робочої зони фільтра з використанням гідродинамічного ефекту.

Частка забруднень, що переміщається в потоці палива, бере участь у двох рухах: уздовж поверхні пористої перегородки та паралельно осі горизонтально розташованих пір цієї перегородки. Вертикальний рух частинки відбувається при спільному впливі сили, прикладеної з боку потоку, і об'ємної сили, що є різницею гравітаційної та архімедової сил. Вертикальна швидкість частки під дією сили потоку визначається з виразу

$$F_{\text{пот}} = \frac{\varphi}{4} p_{\text{ч}} \pi d_{\text{ч}}^2 W_{\text{пот}}^2 \quad (2.22)$$

а швидкість частинки під впливом об'ємної сили - з рівняння:

$$\frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} (p_{\text{ч}} - p_m) = \varphi \frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{8} W_{\text{ос}}^2 p_m, \quad (2.23)$$

де p_m і $p_{\text{ч}}$ відповідно щільність продукту і частинки, г/м^3 ; $F_{\text{пот}}$ - сила покладена до частки з боку потоку. Н; φ - коефіцієнт лобового опору руху частинки; $V_{\text{пот}}$ і $V_{\text{ос}}$ - відповідно швидкість частки під дією сили потоку і швидкість її осадження під впливом об'ємної сили, м/с .

Після перетворень знаходимо сумарну поздовжню швидкість частки:

$$W_{\text{пр}} = W_{\text{пот}} + W_{\text{ос}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{пр}}}{\varphi p_{\text{ч}}}} + \sqrt{\frac{4}{3} \frac{d_{\text{ч}} g (p_{\text{ч}} - p_m)}{\varphi p_{\text{ч}}}} = \sqrt{\frac{3 \Delta P_{\text{пр}} + 4 d_{\text{ч}} g (p_{\text{ч}} - p_m)}{3 \varphi p_{\text{ч}}}} \quad (2.24)$$

Приймаємо коефіцієнт лобового опору $\varphi = 0,1$.

Горизонтальний рух частинки відбувається під впливом перепаду тиску на пористій перегородці, при цьому її швидкість приймаємо рівною парової швидкості потоку палива [50].

Для забезпечення рівномірної подачі палива на робочу поверхню пористої перегородки та однакового тиску на вході по всій її висоті фільтруючий елемент має форму усіченого конуса, що забезпечує змінну ширину його внутрішньої порожнини та сталість порової (істинної) швидкості потоку палива по всій поверхні перегородки.

Порова швидкість дорівнюватиме :

$$W_{\text{пор}} = \frac{K_{\Pi} \Delta P_{\text{фе}}}{\mu R_{\text{BH}} \Pi' \ln \frac{R_{\text{BH}}}{R_{\text{H}}}}, \quad (2.25)$$

де $K_{\Pi} = \frac{\pi d_{\Pi}^2 N}{128}$ - ефект проникності матеріалу, м^2 ; $\Delta P_{\text{фе}}$ - перепад тиску на фільтруючому елементі, Па ; μ - динамічна в'язкість продукту, Па/с ; $\Pi' = \frac{S_{\Pi}}{S_{\text{фе}}}$ - розквіт пористої перегородки; $R_{\text{BH}} = \frac{D_{\text{BH}} + d_{\text{BH}}}{4}$ і $R_{\text{H}} = \frac{D_{\text{H}} + d_{\text{H}}}{4}$ - відповідно

середні внутрішній та зовнішній радіуси фільтруючого елемента, м; $S_{\phi e}$ і S_{π} - відповідно площа робочої поверхні фільтруючого елемента і площа поперечного перерізу всіх його пір, m^2 . D_{BH} і D_H - внутрішній і зовнішній діаметр меншої основи усіченої конічної перегородки, м; d_{BH} і d_H - внутрішній і зовнішній діаметри меншої основи усіченої конічної перегородки, м, N - кількість пір на одиницю поверхні, шт/ m^2 ; $\Pi = \frac{V_{\pi}}{V_{\phi}}$ - пористість перегородки; $V_{\phi e}$ і V_{π} - відповідно обсяг фільтруючого елемента та обсяг його пір, m^3 .

Виразивши величину провітності через розмір пір та їх кількість на одиницю поверхні $\Pi' = \frac{\pi}{4S_{\phi e}} d_{\pi}^2 N$, маємо:

$$W_{\text{пор}} = \frac{d_{\pi}^2 \Delta p}{256 \mu R_{BH} \ln \frac{R_{BH}}{R_H}} \quad (2.26)$$

Прикладемо отримані з виразів (2.24) та (2.26) швидкості до центру тяжкості частинки. Якщо вектор суми цих швидкостей у момент зіткнення, то частка не увійде в пору, а інакше частка потрапить всередину пористої перегородки [42].

При очищенні дизельного палива фільтруванням із застосуванням гідродинамічного ефекту потоком палива разом із твердими частинками з робочої поверхні пористої перегородки буде видалятися деяка кількість мікрокрапель води, проте процес зневоднення дизельного палива за допомогою гідрофобної перегородки відбувається головним чином за рахунок взаємодії цих крапель з перегородкою в рідкому середовищі.

При заповненні пор водовідштовхувальної перегородки продуктом, що очищається, дизельним паливом, на їх поверхні утворюється рідинна плівка яка, пропускаючи паливо, перешкоджає проходженню через перегородку мікрокапель води. Щоб продавити краплю води через пору, треба попередньо втіснити плівку палива з її поверхні, виконавши роботу, рівну роботі адгезії, витраченої на змочування паливом поверхні пори, яка описується:

$$A_{\text{адг}} = (P_{\text{кр}} - P_I) S_n L_H \quad (2.27)$$

Де $P_{\text{кр}} - P_I$ - відповідно тиск, необхідне продавлювання краплі води через пору, заповнену паливом, і порожню, Па; S_n - площа поперечного перерізу пори, м²; L_H - довжина пори, м.

У процесі гідродинамічного фільтрування деяка частина палива разом із забрудненнями, що не потрапили в пори перегородки, скидатиметься з внутрішньої порожнини фільтруючого елемента і відводитиметься назад у паливний бак. Для очищення цього палива, що містить підвищену концентрацію забруднень, слугує динамічний відстійник [22].

2.3 Визначення витрати палива двигуном

Індивідуальні критерії доступного споживання палива використовуються автотранспортними підприємствами. Вони є основою, яку зазвичай використовують водії та ферми, що працюють на конкретних автомобілях.

Групові (планові) специфікації використовуються для планування витрат і оцінки паливної ефективності загальної транспортної роботи в економіці, області, республіці, міністерствах (тобто плани всіх рівнів).

Для бортових вантажівок і автопоїздів у тонно-кілометрах окремі норми витрати палива включають лінійні нормативи на 100 кілометрів і 2,0-літрові та 1,3-літрові транспортні робочі норми для автомобілів з карбюраторними двигунами, 100 літрів на тонно-кілометрів для автомобілів з дизельним двигуном (за нормальних дорожніх і кліматичних умов) [15].

Відповідно до цього загальну нормативну витрату палива Q_n конкретним автомобілем розраховують за лінійною нормою на пробіг L та нормою на транспортну роботу P за формулами:

$$Q_n = Q_n + Q_m \pm Q_y$$

$$Q_n = H_l \cdot L / 100 + H_m \cdot P / 100 \pm (Q_n + Q_m) \Sigma \Delta y / 100 \quad (2.28)$$

де Q_n – нормативна витрата палива на пробіг, л;

Q_m - нормативна витрата палива на транспортну роботу, л;

Q_y - Збільшення або зниження нормативної витрати палива на особливі умови роботи, л;

H_l - Лінійна норма витрати палива, л/100 км;

H_T - норма витрати на транспортну роботу, л/100 ткм;

$\Sigma\Delta y$ - сумарне збільшення чи зниження нормативної витрати палива на особливі умови роботи, %:

$$\Sigma\Delta y = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_n \quad (2.29)$$

Обсяг виконаної транспортної роботи (ткм) дорівнює:

$$P = G_{zp} \cdot L_2 \quad (2.30)$$

де G_{zp} - маса вантажу, т;

L_2 - Пробіг з вантажем, км.

Для вантажних автомобілів-самоскидів норма витрати пального складається з норми на пробіг автомобіля та норми на кожну їздку з вантажем, встановлену у розмірі 0,25 л для всіх моделей автомобілів-самоскидів (для нормальних кліматичних та дорожніх умов). Загальну нормативну витрату палива для автомобілів самоскидів розраховують за формулами:

$$Q_{o.n.} = Q_n + Q_e;$$

$$Q_{o.n.} = H_l \cdot L / 100 + H_e n \quad (2.31)$$

де Q_e , H_e - відповідно додаткова кількість та норма витрати палива на кожну їздку з вантажем, л;

n - кількість виїздів із вантажем.

Норми на 100 км пробігу, затвердженої для базової моделі, збільшеної або зменшеної на 2 л для автомобілів з карбюраторними двигунами та на 1,3 л - для автомобілів із дизельними двигунами на кожну тонну перевищення або зниження ваги спеціалізованого автомобіля проти базового [15].

У тих випадках, коли на шасі бортових автомобілів встановлено спеціальне обладнання, яке не дозволяє автомобілю проводити транспортну роботу, норма витрати пального складається з:

- норми витрати палива на пересування, виходячи з лінійних норм і надбавок на перевищення власної маси;

- норми витрати палива на роботу спеціального обладнання.

Для автомобілів з причепами (за відсутності норм) на кожну тону власної маси причепа норму витрати пального збільшують: з карбюраторними двигунами – на 2 л, з дизельними - на 1,3 л.

Таким чином, основну нормовану витрату палива визначають за індивідуальними нормами, які складені для кожного конкретного автомобіля або автопоїзда при русі в заданому стані в літній час по дорозі з удосконаленим покриттям, прокладеною в рівнинно-горбистій місцевості, при довжині їздки. 20 км. Однак ці норми не враховують низку експлуатаційних та природно-кліматичних факторів, що впливають на витрату палива при автоперевезеннях. Ці відхилення від зазначених вище умов експлуатації враховуються відповідними надбавками, які встановлюють у відсотках нормованого палива [16].

Норми витрати рідкого палива для автомобілів можуть бути збільшені або зменшені в залежності від пори року, кліматичних, дорожніх та інших умов.

Керівникам автотранспортних підприємств та господарств надається право збільшувати норми витрати пального на 10%:

- для автомобілів, умови, роботи яких у межах населеного пункту вимагають частих зупинок (перевезення товарів, вивіз сміття та інших.);

- при перевезенні вантажів, що вимагають знижених швидкостей руху;

- при постійній роботі автомобілів біля підприємств і цехів;

- для автомобілів (крім автомобілів УАЗ), використання яких допускається з погодинною оплатою.

Для нових автомобілів, що вийшли з капітального ремонту, при пробігу першої тисячі кілометрів норма витрати палива може бути збільшена до 5%.

При роботі в кар'єрах у важких дорожніх умовах, а також на полі норма витрати палива на автомобіль може бути збільшена до 20%, а при навчальній їзді – 25% [12].

На внутрішньогаражні роз'їзди та технічні потреби (технічні огляди, регулювальні роботи, приробіток деталей після ремонту та ін.) дозволяється витратити до 0,5% палива від загальної кількості, споживаного автомобілями господарства.

При вантажно-розвантажувальних роботах, де за умовами протипожежної безпеки забороняється зупиняти двигун (нафтосклади, спецсклади та ін.), на одну годину простою автомобіля встановлюють додаткову витрату палива виходячи з норми витрати на 5 км пробігу.

Норми витрати палива знижуються під час роботи автомобілів на позаміських дорогах із вдосконаленим покриттям до 15 %.

Слід зазначити, що з роботи за умов, які вимагають збільшення чи зниження норм, норму витрати палива слід змінювати однаково, як у пробіг, і на транспортну роботу [17].

При визначенні ефективності використання палива фактичні витрати його зіставляють з нормативним. Фактичний витрата палива Q_f - це витрата палива конкретним автомобілем (автопоїздом) і під час транспортної роботи у заданих умовах.

РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ФІЛЬТРА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

3.1. Методичне забезпечення проведення експериментальних досліджень

Наведено методики дослідження фактичної забрудненості обводненості дизельного палива в умовах експлуатації (гранулометричного складу та масового вмісту, присутніх у ньому механічних частинок та емульсійної води), визначалася шляхом статистичної обробки результатів аналізу проб палива, відібраних з роздавальних кранів засобів заправки та паливних баків транспортних та сільськогосподарських машин при заправних операціях та при роботі двигуна.

Для дослідження ефективності очищення повітря, що надходить у паливний бак, від атмосферного пилу і крапельної вологи був розроблений стенд, що включають ємність, що моделює паливний бак, встановлені на ній повітряний фільтр та пристрій для створення в ній вакууму, вібраційний пристрій, що імітує вібрацію бака під час руху мобільної машини, ферозольну камеру, оснащену пиледозатором, конфузорно-дифузорним розпилювачем, диспергатором крапельної вологи та осьовим вентилятором, а також компресор з ресивером, систему повітроводів, диференціальні манометри та пробовідбірники.

При перевірці ефективності застосування пристрою для зниження забрудненості палива, що надходить з бака в систему живлення дизеля, досліджувався вміст твердих забруднень та вільної води у паливному баку за відсутності та за наявності зазначеного пристрою [29].

Для експериментальної перевірки закономірностей осадження твердих частинок і мікрокрапель вільної води змонтована лабораторна установка, що включає циліндричний посуд, обладнаний пробовідбірними трубками і

кранами, шестеренний насос і систему трубопровідних комунікацій з запірною арматурою, а також мірний циліндр, ємність для ємність для приготування водної емульсії, з диспергатором.

За основу прийнято системний підхід, згідно з яким модернізація паливних систем машин, що працюють у будь-яких кліматичних умовах, повинна включати традиційну, але більш ефективну підсистему очищення палива від механічних домішок і води, а також додаткову підсистему керованого підігріву палива, що включається і регулюється у випадку експлуатації машин за знижених температур. Економічно доцільно, щоб один із елементів підсистеми очищення палива також виконував функції нагрівача палива. Запропонована модернізація типової паливної системи демонструється схемою на рис. 3.1.

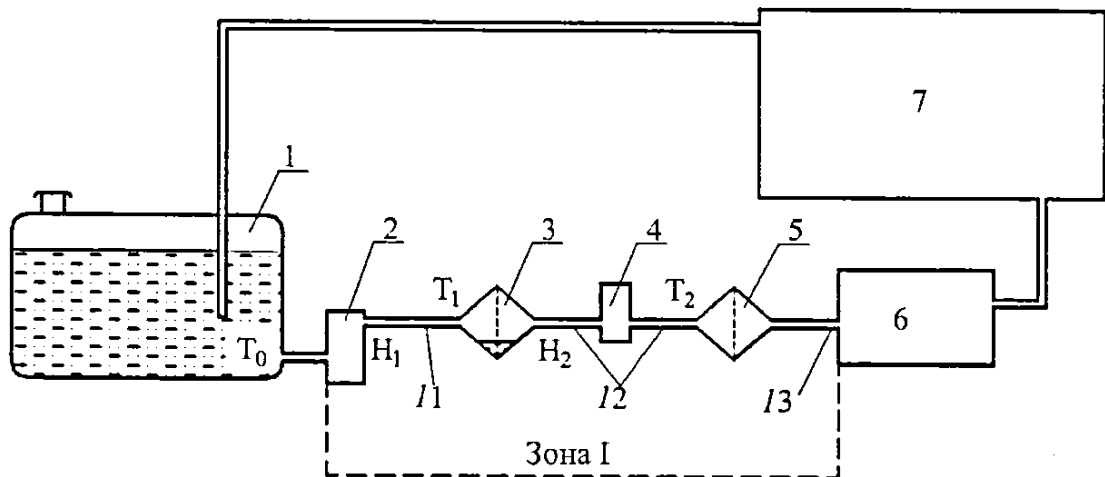


Рис. 3.1. Схема модернізованої паливної системи:

1 – паливний бак; 2 - попередній підігрівач; 3 - фільтр грубої очистки (ФГО) нової конструкції; 4 - паливопідкачувальний насос; 5 - штатний фільтр тонкого очищення (ФТО); 6 - паливний насос високого тиску; 7 – двигун;
 I_1 , I_2 , I_3 - сполучні трубопроводи; H_1 , H_2 - нагрівачі

Для керованого додаткового підігріву палива за негативних температур навколишнього середовища встановлюється попередній нагрівач палива на виході з паливного бака, а також вторинний нагрівач палива у фільтрі грубої очистки. Електричні нагрівачі живляться від бортової системи

електропостачання машини. Їхні потужності можуть регулюватися в залежності від суворості зимової експлуатації машин. Для аналізованої модернізації запропонована конструкція фільтра грубого очищення палива та навивного фільтроелементу до нього, що володіє керованою ефективністю якості очищення палива та підвищеним ресурсом до заміни за рахунок керованої пористості фільтроматеріалу шляхом його цілеспрямованого обтиснення. Цим забезпечується рівномірне зменшення пористості у напрямі потоку палива та, як наслідок, підвищення його ресурсу до заміни.

Загальний вигляд фільтра та фільтроелементу показані на (рис. 3.2). Важливою особливістю є те, що фільтроелемент одночасно виконує функції нагрівача палива, а корпус – функції гравітаційного відстійника механічних домішок та води [20].

3.2 Експериментальні дослідження пристроїв для забезпечення чистоти дизельного палива в системах живлення двигуном.

Проведено дослідження фактичної забрудненості та обводненості дизельного палива при експлуатації мобільної техніки, що показали, що вміст твердих частинок у паливі після заправки бака становить середньому 0,009 % (мас.), а процесі експлуатації сягає 0,015 %. Вміст емульсійної води в баку становить у середньому 0,035% (мас.).

Лабораторні дослідження фільтра для очищення атмосферного повітря, що надходить у паливний бак, показали, що тонкість очищення цього пристрою дорівнює 15...20 мкм, коефіцієнт проскоку пилу - 0,65, ефективність вологовідділення - близько 60%, а вібраційний вплив збільшує ресурс його роботи в 35-40 рази.

При лабораторних дослідженнях пристроїв для зниження забрудненості дизельного палива, що надходить з бака в систему живлення двигуна, випробовувалися плаваючий паливозабірник і тарілчастий динамічний

відстійник які спочатку досліджувалися диференційовано, а потім в комплексі при їх спільному застосуванні. Отримані результати свідчать про ефективність відстоювання палива від механічних частинок, як у стаціонарних умовах, так і при імітації транспортної тряски та зниження рівня палива в баку: протягом 30 хв масове вміст забруднення у верхніх шарах палива знизилося в 5-7 разів у порівнянні з початковими, а розміри частинок не перевищили 15 мкм. Однак при перемішуванні палива в модельній ємності забруднення розподіляються практично рівномірно за її обсягом. Дані, отримані при очищенні дизельного палива від емульсійної води відстоюванням, показують, що і цей процес протікає аналогічно розглянутому при очищенні палива від механічних забруднень [41].

Наведені результати показують, що очищення дизельного палива відстоюванням ефективно в стаціонарних умовах і при впливі транспортної тряски, тому слід використовувати плаваючий паливоприймач, але при перемішуванні палива в модельній ємності його забір з верхніх шарів неефективний, доцільно застосовувати тарільчастий динамічний відстійник. Встановлено, що при цьому максимальна ефективність (тонкість – 30 мкм, повнота – 25 % для твердого забруднення та 70 % для води) досягається при конусності тарілок 45° та зазорі між ними 5 мм.

Дослідження фільтрів топкоюю очищення систем живлення дизелів показали, то застосування дрібнопористих гідрофобних матеріалів, що володіють фільтраційними і вологовідділяючими властивостями, при використанні гідродинамічного ефекту дозволяє забезпечити тонкість очищення з мкм, повноту водовідділення довести до 100%, а ресурс роботи фільтра збільшити.

При випробуваннях додаткового пристрою (тарільчастого відстійника), призначеного для часткового очищення палива, що скидається з фільтра тонкого очищення, встановлено, що тонкість очищення цього палива склала 25...30 мкм, вміст у ньому твердих забруднень - 0,029%, а емульсійної води -

0,040% [11].

3.3. Експериментальний фільтр для очищення біодизельного палива

Феромагнітний фільтр з комбінованим фільтруючим елементом містить корпус 10 (рисунок 3.3) з механічним фільтруючим елементом 8, притиснутим до ущільнювальним гумовим кільцям 7 і 9 пружиною 12, кришку 1 з виступом 11, вхідним Б і вихідним каналами А. У вхідному радіальному каналі на виступі кришки встановлений закріплений пластиною 5 магнітний елемент 3, нижня частина 6 якого має Г-подібну форму.

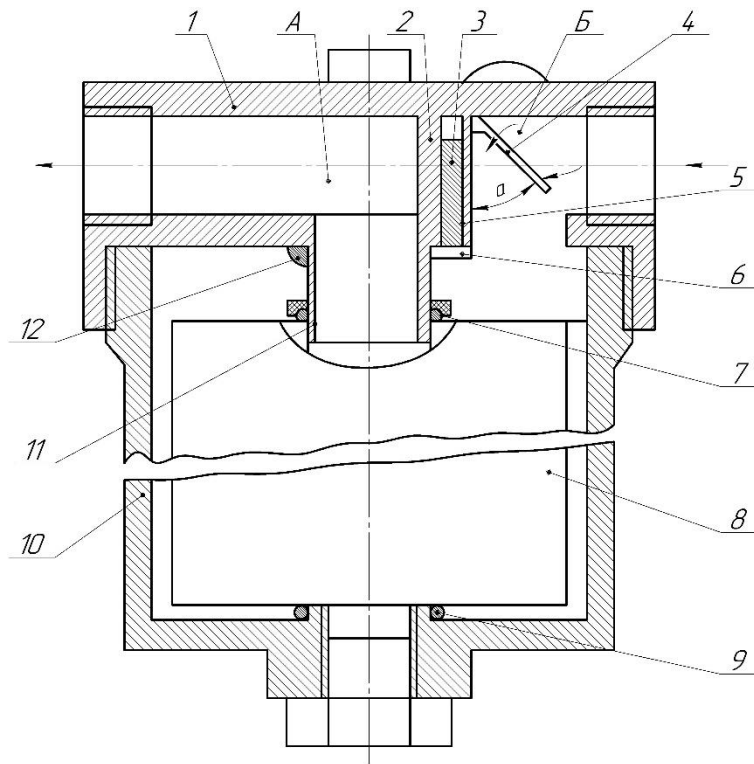


Рис. 3.2. Комбінований фільтр [32].

Верхня частина пластини 4 вигнута під гострим кутом α , причому її відігнутий кінець звернений у бік вхідного каналу Б з перетином його горизонтальною площиною, проведеної через вісь вхідного каналу. Відігнутий кінець пластини виконаний у вигляді пелюсток трапецеїдальної форми, більша

основа яких звернена у бік магнітного елемента, а менша - у бік каналу Б. Площа поперечного перерізу пелюсток відігнутого кінця пластини значно менше площі поперечного перерізу радіального вхідного каналу Б [14].

Магнітний фільтр із комбінованим фільтруючим елементом відрізняється простотою обслуговування. При проходженні палива через магнітний елемент і змінний елемент, що фільтрує, паливо отримує два ступені очищення.

При мінімальних витратах часу та засобів, запропонований фільтр може бути використаний у системах живлення різних дизельних та карбюраторних двигунів.

На рис. 3.3 графічно представлена залежність (9), яка рекомендована як номограма для оптимізації конструктивного параметра (1 за максимальним ресурсом фільтроелементу після перевірки розглянутої моделі фільтроелементу фубою очищення палива на адекватність.

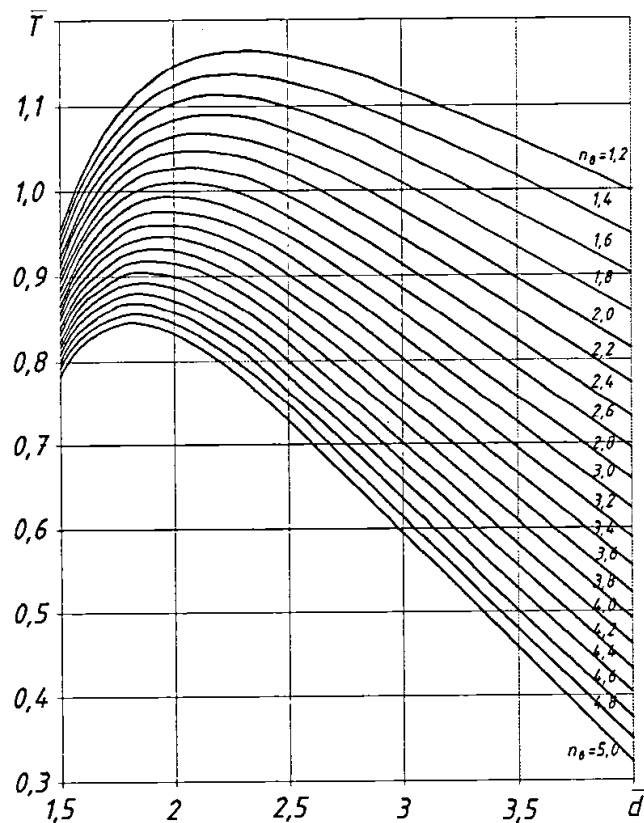


Рис. 3.3. Номограма вибору конструктивного параметра d_1 при заданому значенні n_b

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Реалізація результатів досліджень та оцінка їх техніко-економічної ефективності

Експлуатаційні випробування розроблених пристроїв проводилися при їх установці в системі живлення трактора МТЗ-80, що експлуатується під час проведення робіт на території паливо-заправного комплексу. Паралельно експлуатувався трактор тієї ж марки, укомплектований штатним обладнанням.

Для диференційованої оцінки ефективності використання повітря та палива додатково проведено стендові випробування цього пристрою. У цьому повнота очищення становила 28 %, а водовідділення - 61 %.

Результати випробувань показують, що розроблений пристрій істотно знижує забрудненість палива, що надходить з бака, дозволяючи домогтися підвищення його чистоти в 5 - 7 разів. Ресурсні випробування пристроїв тонкого очищення палива показали, що ресурс роботи пропонованого пристрою перевищує відповідний показник серійного фільтра грубого очищення більш ніж 2,5 рази.

Перевірялася також ефективність протиточного промивання фільтраційної вологовідділюючої перегородки, що дозволяє значно відновити пропускну здатність пристрою (після промивання ресурс знизився на 7%). Техніко-економічна оцінка результатів досліджень проводилася шляхом порівняння із зарубіжними зразками світового рівня.

Розроблений пристрій за своїми експлуатаційними та цінovими показниками відповідає світовому технічному рівню, а за тонкістю очищення та ефективності вологовидалення дещо переверщує аналогічні зарубіжні зразки [15].

4.2. Результати моделювання роботи штатного та модернізованого фільтра

Результати теплових випробувань паливної системи трактора МТЗ-80 з керованою підсистемою підігріву палива (рис. 4.1) показали задовільну збіжність розрахунку процесу розігріву палива за формулами (1) та (2) та експерименту.

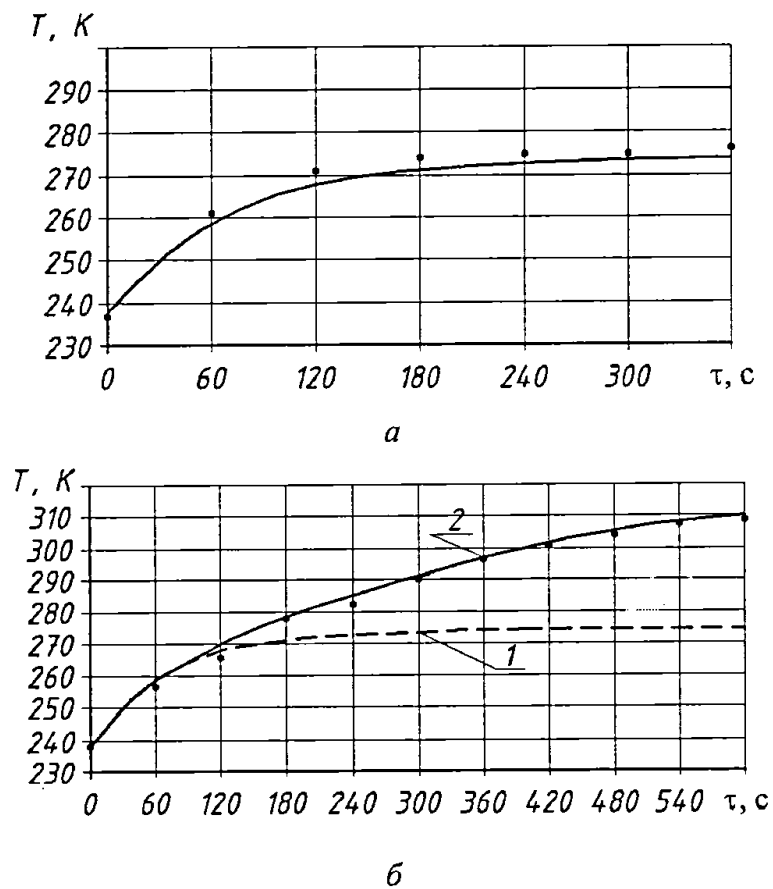


Рис. 4.1. Крива розігріву палива у фільтрі грубого очищення: а - попередній підігрівач, б - фільтр грубого очищення (1 - попередній підігрівач; 2 - фільтр грубого очищення); точки – дослідні дані; крива - розрахункові значення (1,2)

Визначено проникність $K_0 = 96,78 \cdot 10^{-12}$ і пористість $P_0 = 0,96$ фільтроматеріалу, що рекомендується для фільтра грубого очищення палива, що має здатність змінювати пористість структури в залежності від ступеня її

обтиснення n . Експериментальні залежності $K=f(n)$ і $P_0=f(n)$ адекватно описуються кривими на рис. 4.2. Встановлено розподіл часу матеріалу за розмірами, числові характеристики якого представлені в табл. 4.1. Ці характеристики відповідають результатам випробувань інших відомих фільтроматеріалів, які застосовуються для паливних фільтрів.

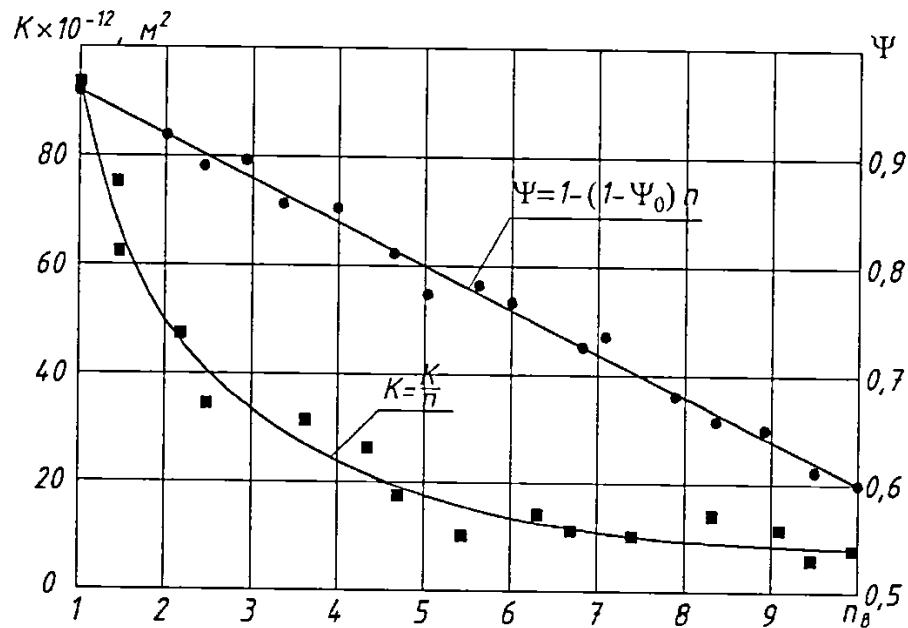


Рис. 4.2. Експериментальні та розрахункові залежності проникності та пористості від ступеня обтиснення фільтроматеріалу

Таблиця 4.1 Числові характеристики розподілу порів за розмірами фільтроматеріалу в залежності від ступеня обтиснення

Характеристики	Вільний стан	Ступінь стискання, n						
		1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Математичне очікування, мкм	134,4	72,2	51	42	35,7	34	31,5	30
Середньоквадратичне відхилення, мкм	56,3	28,3	21	20	21	20	18,5	13,2
Коефіцієнт варіації	0,42	0,39	0,41	0,47	0,58	0,59	0,59	0,54

Отримана (рис. 4.3) експериментальна залежність мінімального 95% очищення палива від ступеня обтиснення для застосовуваного

фільтроматеріалу.

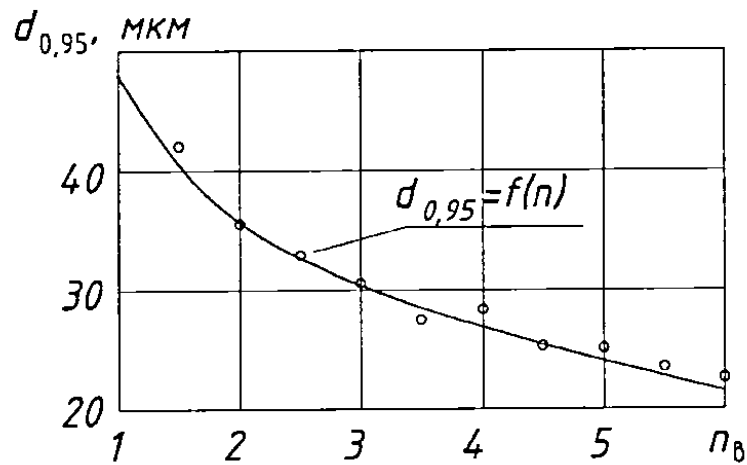


Рис. 4.3. Експериментальна залежність номінальної тонкості очищення палива від ступеня обтиснення фільтроматеріалу

Гідравлічні випробування проводились на дизельному паливі та біопаливі у лабораторних умовах за позитивної температури.

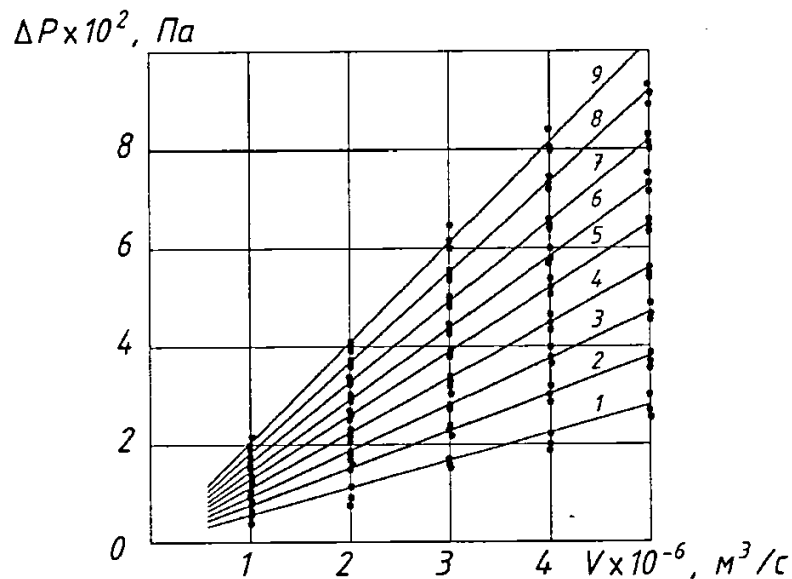


Рис. 4.4 - Експериментальні та розрахункові гідравлічні характеристики дослідних фільтроелементів: 1 - вільний стан; 2 - $n = 1,5$; 5 - $n = 2,0$; 4 - $n = 2,5$; 5 - $n = 3,0$; 6 - $n = 3,5$; 7 - $n = 4,0$; 8 - $n = 4,5$; 9 - $n = 5,0$

Порівняльні експлуатаційні випробування мобільних машин на базі тракторів МТЗ-80 проводилися з метою оцінки впливу запропонованої

модернізації паливних систем машин на забрудненість палива в баках машин та безвідмовність паливних систем. Випробування проводилися у літній та зимовий періоди експлуатації машин.

Експеримент виконувався за методикою, викладеною в розділі 3. Математична обробка експериментальної вибірки залежності перепаду тиску ΔP від напрацювання тракторів дозволила отримати ресурсну криву (рис. 4.5), адекватно описувану загальною залежністю (2.8). Очевидно, що перепад тиску палива, що проходить через необжятий фільтроматеріал, становить 0,29 кПа, що відповідає раніше наведеним результатам.

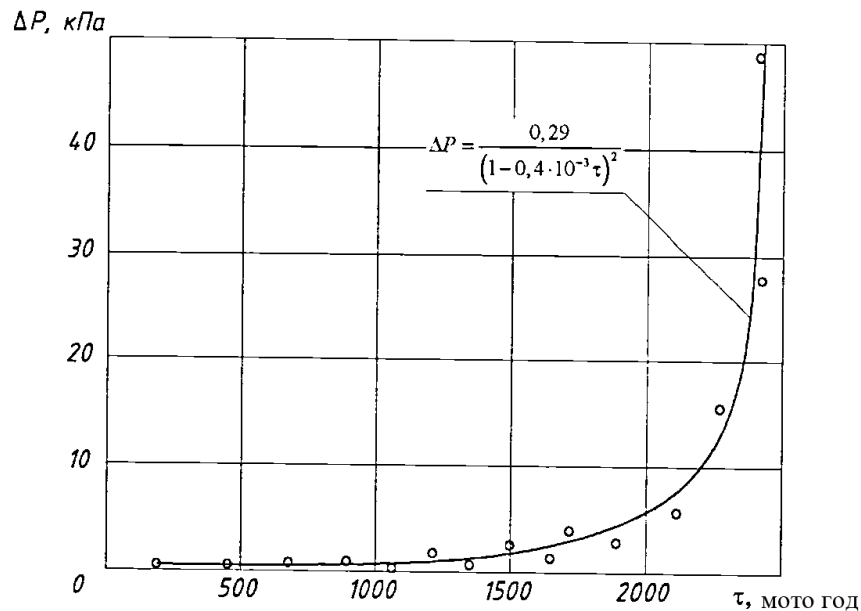


Рис. 4.5 - Ресурсна характеристика фільтроелементу грубого очищення

З рис. 4.5 також видно, що різкий перепад тиску на фільтрі настає при напрацюванні тракторів більше 2000 мотогодин. Однак і в цьому випадку напрацювання паливної системи до обслуговування при допустимому перепаді тиску може бути значно вище нормативної (960 мотогодин), але не більше 2500 мотогодин. Штатні паливні системи не мають засобів підігріву палива та оснащені фільтрами грубого очищення (ФГО) у вигляді гравітаційних відстійників. Модернізовані паливні системи оснащені підсистемами підігріву, що керуються і фільтрами грубого очищення з

фільтроелементами нової конструкції, що зумовлюють номінальну тонкість очищення $0,95 = 30...35$ мкм. Порівняльні випробування проводилися в одних і тих же експлуатаційних умовах протягом календарного року. Вплив запропонованої модернізації паливних систем на вміст забруднень у вигляді механічних домішок та води у паливних баках ашин показано в табл. 4.2 [28].

Таблиця 4.2 Порівняльна характеристика палива підконтрольних тракторів МТЗ-80 зі штатними та модернізованими фільтрами грубого очищення палива

№ п/п	Показники	Середня температура повітря $T = 20.5$ °С				Середня температура повітря $T_B = -31$ °С			
		Забрудненість палива							
		Штатний фільтр	Модернізований ФГО при різній ступені обжаття, n			Штатний фільтр грубої очистки	Модернізований ФГО при різній ступені стиску, n		
2,0	3,0		4,5	2,0	3,0		4,5		
1	Вміст забруднень, % мас	0,0059	0,0058	0,0029	0,0020	0,0044	0,0035	0,0025	0,0015
2	Розмірна група, мкм	Вміст частинок забруднень в розмірній групі k , шт/мл							
2.1	1...10	18962	15225	13975	10533	14550	12799	10382	7004
2.2	11...20	11227	8880	6235	3241	7945	7115	5219	3270
2.3	21...30	4922	3775	1023	138	2398	1262	444	238
2.4	31...40	634	327	176	10	615	253	150	5
2.5	41...50	271	124	30	-	68	40	7	—
2.6	більше 50	88	30	7	-	-	12	—	—
3	Всього	36104	28334	21456	14024	24218	21499	16202	10480
4	Вміст води, %	0,0247	0,016	0,014	0,014	0,032	0,026	0,021	0,019

Напрацювання елементів паливної системи до відмови - величина випадкова, момент появи і значення якої заздалегідь передбачити неможливо. Тому, як і будь-яка випадкова величина - напрацювання цілком може характеризуватись законом її розподілу. За різними джерелами розподіл напрацювання машин та їх систем близько чи однозначно відповідає нормальному закону, що неодноразово доведено за критерієм згоди Пірсона [9].

Результати розрахунків наочно представлені на схемі (рис. 4.6) обробки інформації щодо відмов нагнітальної пари паливної системи. Використовувалися стандартні методики з теорії ймовірності та математичної статистики. В інтервалі напрацювання від Про до 2000 мотогодин відмовить 77...87 % елементів паливної системи у штатному виконанні та 60...69 % у модернізованому виконанні, що свідчить про підвищення надійності на 1,3...1,4%.

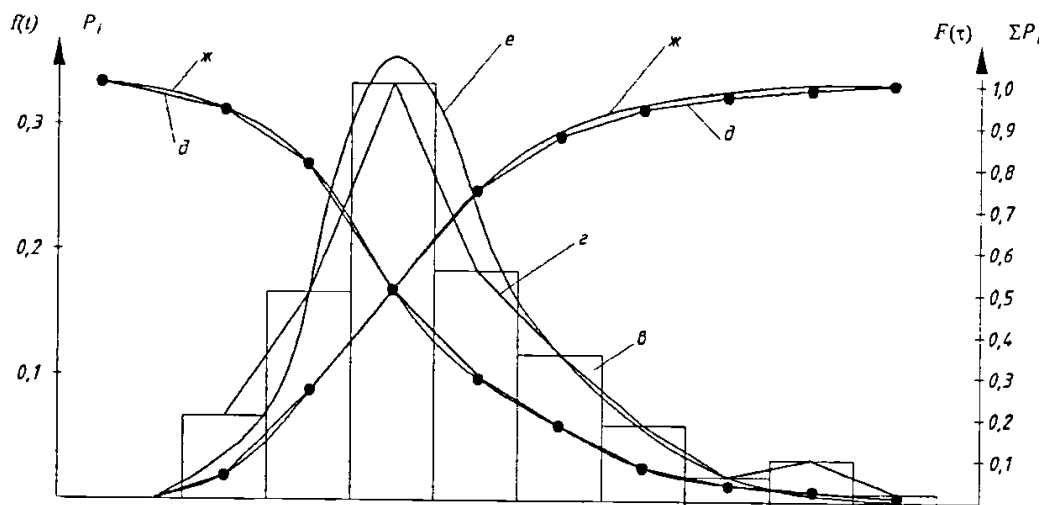


Рис. 4.6 - Схема обробки інформації про показники надійності

Встановлено, що модернізація паливних систем машин, що реалізується, знижує загальну забрудненість палива в 1,3...2,0 раза, води - в 1,74 раза, надійність систем за критерієм безвідмовності підвищується в 2,07...2,09 разів [14].

4.3. Результати моделювання роботи двигуна Д-240 з використання запропонованого фільтра

Проводимо порівняння швидкості витікання дизельного палива та біопалива з використанням модернізованого фільтра при використанні комп'ютерної програми DIESEL-RK.

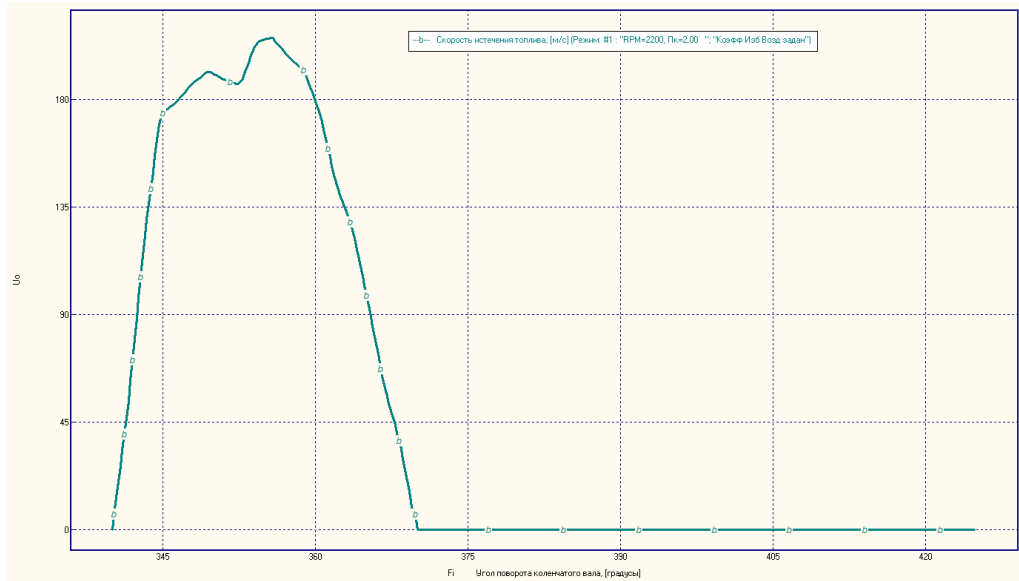


Рис. 4.7 - Швидкість витікання дизельного палива з використанням розробленого фільтра

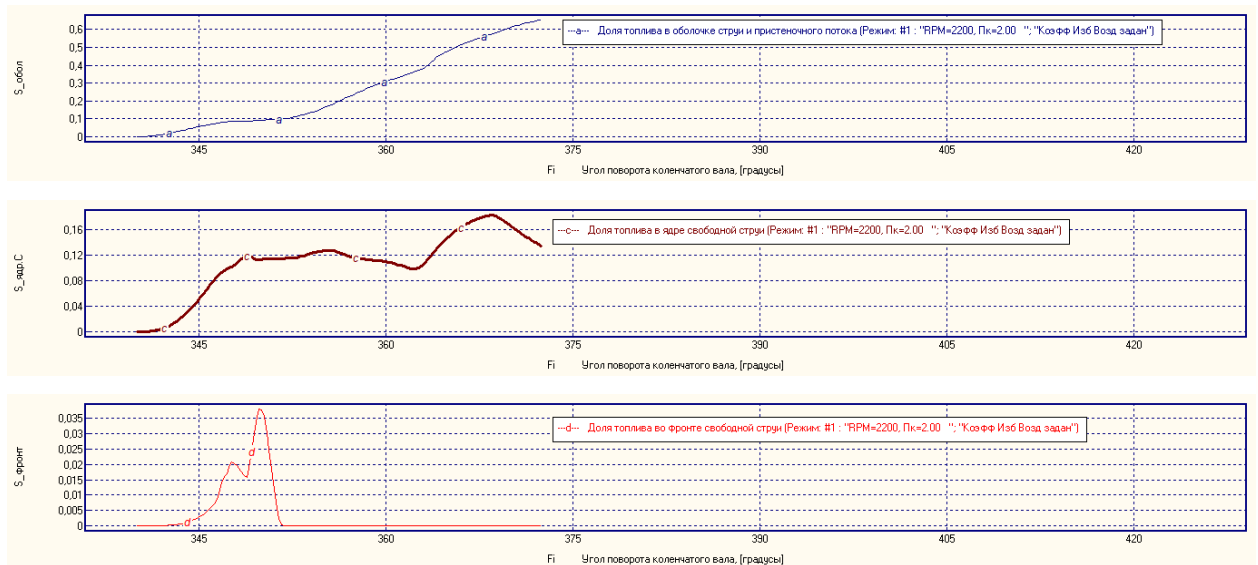




Рис. 4.8 - Масова частка у струї дизельного палива з використанням розробленого фільтра

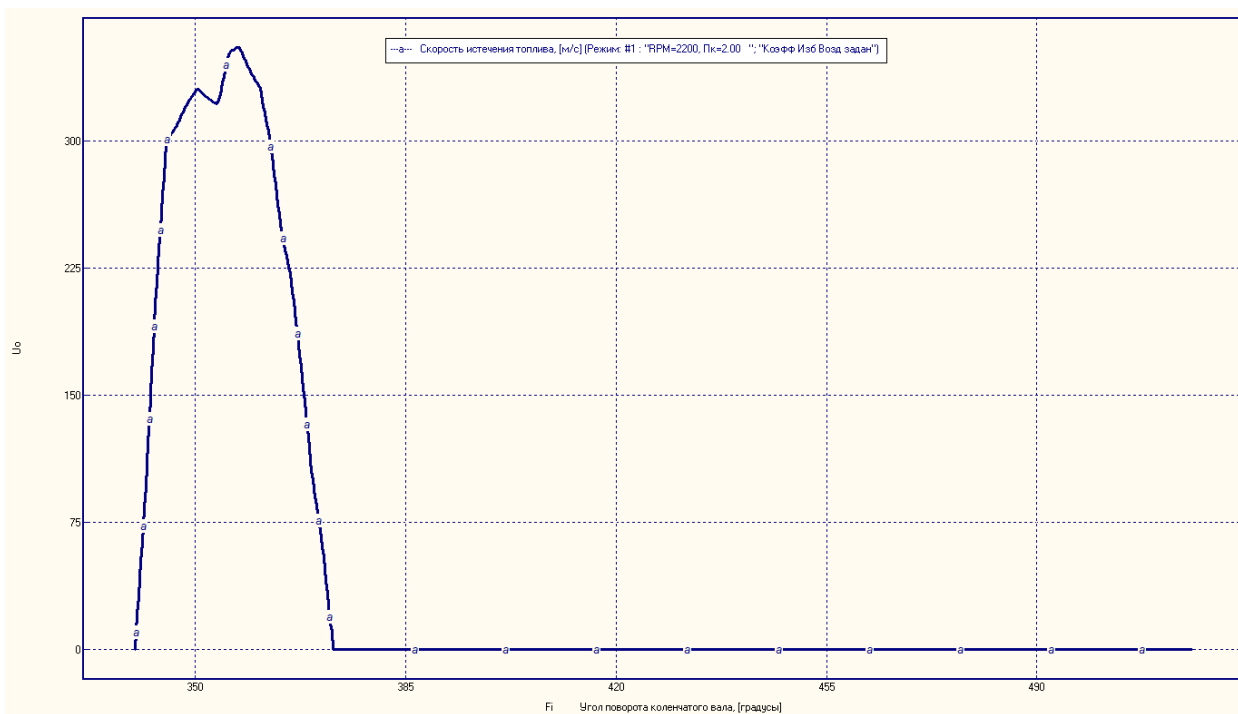


Рис. 4.9. Швидкість витікання біодизельного палива з використанням розробленого фільтра

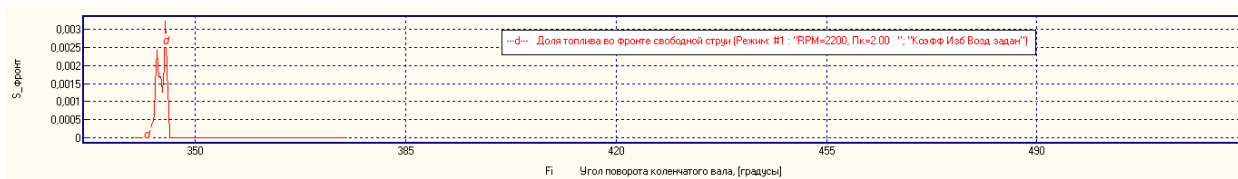




Рис. 4.8. Масова частка у струї біодизельного палива з використанням розробленого фільтра

Відомі дослідження вказують на те, що потужність двигуна під час роботи на номінальному режимі з використанням біопалива зменшується на 6% - 8% але це за рахунок відмінності фізико-хімічних показників палива. Водночас споживання палива зросло приблизно на 5-8%, результат збільшення діаметра крапель та зменшення кута розпилу [36].

ВИСНОВКИ

Фактична забрудненість дизельного палива за всіма стадіями його життєвого циклу від нафтопереробного підприємства до камери згоряння дизеля - значно перевищує вимоги, які у нормативнотехнічної документації. Негативний вплив забруднення на паливну апаратуру та інші агрегати двигуна проявляється у підвищеному зносі сполучених деталей, закупорці отворів тощо, що скорочує ресурс роботи вузлів системи живлення, призводить до її відмов, наднормативної витрати палива, до забруднення навколишнього середовища токсичними речовинами.

Для підвищення ефективності очищення та зневоднення дизельного палива при експлуатації мобільної техніки досліджено механізм забруднення та обводнення дизельного палива в баках мобільних машин, розроблено математичні моделі цих процесів та визначено шляхи вдосконалення системи очищення дизельного палива, що включають: розробку ефективного фільтра для очищення палива, створення пристрою підвищення ефективності гравітаційної чистки палива в баку; підвищення експлуатаційних показників фільтра грубого очищення - дисперсності фільтрування, ресурсу роботи, а також надання пристрою функцій вологовідділювача.

Розроблено фізичні моделі очищення палива, що надходить у паливну систему, запропоновано принципову схему фільтра, обґрунтовано доцільність його вібраційного очищення та знайдено розрахункові залежності для її здійснення.

Дано математичний опис процесів осадження твердих частинок та мікрокрапель води в паливному баку, та обґрунтовано використання фільтра. Розглянуто механізми затримки твердих забруднень та емульсійної води динамічним відстійником, та показано доцільність його застосування спільно з плаваючим паливозабірником.

Запропоновано математичні та фізичні моделі механізму тонкого очищення та зневоднення палива в системах живлення дизелів за допомогою

гідрофобних пористих перегородок з металевої сітки з фторопластовим покриттям, обґрунтовано конструкцію пристрою для здійснення цих операцій, що включає гідродинамічний фільтр та тарілчастий відстійник для очищення частини палива.

Розроблено методики експериментального дослідження, що включають вивчення фактичної забрудненості дизельного палива на різних етапах його життєвого циклу, процесів очищення повітря, що надходить у паливний бак, підвищення чистоти палива, що надходить з баку, тонкого очищення палива в системі живлення дизеля, спроектовані та виготовлені експериментальні установки.

Досліджено фактичну забрудненість та обводненість дизельного палива при експлуатації мобільної техніки, що досягають у баку відповідно 0,0015 та 0,0035 % (мас.). Показано, що застосування повітряного фільтра забезпечує тонкість очищення 15...20 мкм, а застосування вібраційного очищення фільтра збільшує ресурс роботи 3,5 -4 рази. При відстоюванні палива в баку масовий вміст забруднення в його верхніх шарах знизився в 5-7 разів у порівнянні з початковим.

Дослідження фільтра тонкого очищення показали, що застосування дрібнопористих гідрофобних матеріалів з метатлічної сітки з фторопластовим покриттям, що володіють фільтраційними та вологовідділяючими властивостями, при використанні гідродинамічного ефекту дозволяє забезпечити тонкість очищення 3 мкм, повноту водовідділення довести до 100%, і збільшити ресурс роботи фільтра в 3,7 рази, а зістикований з ним тарілчастий відстійник забезпечує тонкість очищення палива, що скидається з фільтра, 25...30 мкм.

В результаті проведених досліджень розроблені конструкції пристроїв для забезпечення чистоти дизельного палива в системі живлення, що включають фільтр, плаваючий паливозабірник з динамічним тарілчастим

відстійником і гідродинамічний фільтр тонкого очищення палива в системі живлення дизеля.

Експлуатаційні випробування цих пристроїв показали їхню високу ефективність. Проведена техніко-економічна оцінка показує, що розроблені пристрої за своїми експлуатаційними та ціновими показниками відповідають світовому технічному рівню, а за тонкістю очищення та ефективності вловлювання дещо перевершують аналогічні зарубіжні зразки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Калетнік Г.М. Біопалива: ефективність їх виробництва та споживання в АПК України: навч. посібник. К: Аграрна наука, 2010. 327 с.
2. Семенов В.Г. Україна без нафти: стан і перспективи розвитку виробництва та застосування екологічно чистого біодизельного палива. *Наука та інновації*. 2008. Т.4. № 1. С. 81 - 86.
3. Калетнік Г. М. Диверсифікація розвитку виробництва біопалив – основа забезпечення продовольчої, енергетичної, економічної та екологічної безпеки України. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 11. С. 169-176.
4. Гунько І.В., П'ясецький А.А., Бурлака С.А. Система паливоподачі дизельного двигуна з електронним регулюванням складу дозованої паливної суміші. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. №2 (97). С.47-51.
5. Рябошапка В.Б. Дослідження впливу кута випередження подачі на експлуатаційні показники роботи дизеля при переведенні його на біодизельне паливо. *Науково-технічний прогрес у розвитку машин і засобів механізації сільського господарства: матеріали науково-технічної конференції, м. Вінниця*. 2008. 4 с.
6. Мельник В. М., Войцехівська Т. Й., Сумер А. Р. Дослідження основних техніко-експлуатаційних характеристик альтернативних видів палива для дизельних ДВЗ. *Машинобудування та транспорт*. 2018. № 2. С. 1-13.
7. Гунько І.В., Бурлака С.А., Єленич А.П. Оцінка екологічності нафтового палива та біопалива з використанням методології повного життєвого циклу. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. Том 2. № 6 (267). С. 246–249.
8. Калетнік Г. М. Розвиток ринку біопалив в Україні: монографія. Київ: Аграрна наука, 2008. С. 227.

9. British Petroleum. Statistical Review of World Energy. Approximate conversion factors. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-approximate-conversion-factors.pdf> (дата звернення 12.09.2018).

10. Гунько І.В., Галушак О.О., Бурлака С.А. Визначення факторів впливу біопалива на глобальні зміни клімату. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. №3 (102). С. 90–97.

11. Анісімов В.Ф., Рябошапка В.Б., П'ясецький А.А. Рекомендації керівникам підрозділів АПК та інженерам сільськогосподарського виробництва щодо використання біодизельного палива в умовах сільськогосподарського виробництва. *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки*. Вінниця. 2014. Випуск 2 (85). С. 200-203.

12. Семенов В.Г. Біодизельне паливо для України. *Вісник Національної академії наук України*. 2007. № 4. С. 18-22.

13. Анісімов В.Ф., Яцковський В.І., Музичук В.І., Рябошапка В.Б., П'ясецький А.А. Зменшення впливу фізико-хімічних і біологічних особливостей біопалива на якість роботи двигуна. *Вібрації в техніці та технологіях*. №2(62). Вінниця 2011. С. 114-119.

14. Mahmudul H. M., Hagos F. Y., Mamat R., Adam A.A., Ishak W.F.W., Alenezi R. Production characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. № 72. Pp 497–509.

15. Калетнік Г.М., Климчук О.В. Екологічна енергетика – основа розвитку економіки держави. *Збалансоване природокористування*. Науково-практичний журнал. 2013. № 23. С. 14-17.

16. Мельник І. І., Сапсай В. І., Барабаш Г. І., Зубко В. М., Чуба В. В. Математична модель визначення оптимального складу агрегатів у рослинництві. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2011. Вип. 41(1). С. 272-278.

17. Малаков О.І., Бурлака С.А., Михальова Ю.О. Математичне моделювання та основи конструювання вібраційних змішувачів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. № 5 (277). С. 30-33.
18. Дишлюк С.М. Світові тенденції виробництва олійних культур та перспективи використання біодизеля. *Економіка АПК*. 2008. № 1. С. 145-150.
19. Рябошапка В.Б. Обґрунтування експлуатаційно-технологічних параметрів роботи орних машинно-тракторних агрегатів при використанні біодизельного палива: дис. канд. технічних наук: 05.05.11. Вінниця, 2016. 198 с.
20. Рябошапка В.Б. Розрахунок та порівняння кривих тепловиділення тракторного дизеля при роботі на дизельному паливі та біопаливі за допомогою нової математичної моделі. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. № 3 (92). Вінниця. 2015. С 89 - 94.
21. Пьядичев Э.В. Методика расчета теоретических циклов и обработка индикаторных диаграмм. *Двигателестроение*. №7. Л.: ТАДИ. 1989. С. 19-25.
22. Галушак О.О. Поліпшення показників автомобіля шляхом впливу на робочі процеси дизеля при роботі на суміші палив: дис. канд. техн. наук: 05.22.02. Вінниця, 2017. 178 с.
23. Бурлака С.А. Удосконалення системи живлення дизельного двигуна для роботи на біопаливі та його сумішах. *Science, society, education: topical issues and development prospects: Abstracts of VI international scientific and practical conference, Kharkiv, Ukraine, 10-12 may 2020 p.* 2020. С. 205-212.
24. L. Raslavičius, Ž. Bazaras. The analysis of the motor characteristics of D–RME–E fuel blend during on-field tests. *Transport*. №24(3). Vilnius, Vilniaus gedimino technikos universitetas Academia Scientiarum Lithuaniae:, 2009. P. 187-191.
25. Грабар І. Г., Колодницька Р. В., Семенов В. Г. Біопалива на основі олій для дизельних двигунів: монографія. Житомир: ЖДТУ, 2011. 152 с.

26. Система живлення дизельного двигуна з електронним регулюванням складу суміші: Пат. 125234, МПК F02M, 37/00. № 201705789; заявл. 12.06.2017; опубл. 10.05.2018, Бюл. № 9. 4 с.

27. Бурлака С.А. Оцінка викидів автотранспорту на основі моделі GREET. *Наука III тисячоліття: пошуки, проблеми, перспективи розвитку* : IV міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., м. Бердянськ, 22-23 квіт. 2020 р. 2020. С. 171—172.

28. Семенов В.Г., Рябошапка В.Б. Про можливості використання біодизельного палива в сільському господарстві. *Сучасні проблеми землеробської механіки*: матеріали XIII міжнародної наукової конференції, Вінниця. 2012. С. 36 - 37.

29. Анисимов В.Ф., Серeda Л.П., Рябошапка В.Б. Исследование возможности использования биотоплива в автотракторных дизелях. *Вібрації в техніці та технологіях*. №3(45). Вінниця. 2006. С. 20 - 25.

30. Гунько І.В., Бурлака С.А. Математичне моделювання роботи системи живлення дизельного двигуна працюючого на біопаливі з дросельним регулюванням складу паливної суміші. *The scientific heritage*. 2020. № 50. С. 34-38.

31. Калетнік Г.М., Шаргородський С.А., Браніцький Ю.Ю. Розробка кінематичної схеми причіпного комбайна для збирання енергетичної верби. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. № 3 (102). С. 11- 21.

32. S. Shargorodsky, V. Turych, N. Veselovska, V. Rutkevveh. Investigation of the process of thread extrusion using the ultrasound. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. № 6/1 (97). 2017. Pp. 60 - 68

33. Smailys V., Senčila V., Marchenko A., Prochorenko A., Osetrov A., Bereišienė K. Assessment of chemotological properties and problems of practical implementation of vegetable oils derived fuels. *Jura Ir Aplinka*. 2004. № 2(11). P. 65-75.

34. Бурлака С.А. Розробка змішувача біодизельного палива та моделюванням процесу змішування. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1 (11). С. 11-17.

35. Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник. К.: Вища освіта, 2005. 446 с.

36. Barabash V. M., Abiev R. Sh., Kulov N. N. Theory and Practice of Mixing: A Review. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2018, Volume 52, Issue 4, pp. 473-487.

37. Symak D., Gumnitsky J., Atamaniuk V., Nagurskyu O. Investigation of physical dissolution of benzoic acid polydisperse mixture. *Chemistry and Chemical Technology*. 2017. Volume 11. Issue 4. Pp. 469–474.

38. Блезнюк В.М., Козаченко О.В., Блезнюк О.В. Практикум з технічної експлуатації і обслуговування машин. Харків: ХНТУСГ, 2006.

39. Кутьков Г.М., Сидоров М.В. Тяговый расчет трактора тягово-энергетической концепции. *Тракторы и сельхозмашины*. 2012. № 4. С. 13-18.

40. Лебедев А.Т., Лебедев С.А., Погорілий В.В. Енергозберігаючий режим руху тракторного агрегату на гоні. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Випуск 107 «Механізація сільськогосподарського виробництва». 2011. Том 2. С. 5-11.

41. Бурлака С.А., Явдик В.В., Єленич А.П. Методи досліджень та способи оцінки впливу палив з відновлюваних ресурсів на роботу дизельного двигуна. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. №2 (271). С. 212–220.

42. Семенов В. Г., Зінченко О. А. Визначення хімічного складу альтернативних палив рослинного походження методом газорідинної хроматографії. *Збірник наукових праць. ХарДАЗТ*, 2002. Вип. 52. С. 66-74.

43. Анісімов В. Ф., Яцковський В. І., П'ясецький А. А. Рябошапка В. Б. Напрямки створення багатопаливних двигунів на базі дизельного циклу. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2011. №2 (32). С. 100-105.

44. Анісімов В. Ф., П'ясецький А. А. Випробування автотракторних дизельних двигунів внутрішнього згорання. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Трактори і автомобілі” для студентів факультету механізації сільського господарства спеціальності 6.100102 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва». Вінниця: ВНАУ. 2013.

45. Семенов В. Біодизельне паливо для України. *Вісник Національної академії наук України*. 2007. № 4. С. 18-22.

46. Семенов В.Г., Васильєв І.П., Атамась А.І. Показники дизеля під час роботи на біодизельних паливах рослинного та тваринного походження. *Вісник Кремен. держ. політ. університету ім. Кременчук: КДПУ ім. М. Остроградського*, 2009. № 2 (55). Т. 1. С. 78 – 81.

47. Поляков А.П., Галушак О.О. Математична модель системи «Двигун –система живлення сумішшю дизельного та біодизельного палив». *Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ"* Луцьк, 2014. Випуск № 45. С. 438-443.

48. Murugesan A., Subramanian R., Nedunchezian N. Biodiesel as an alternative fuel for diesel engines. *Renew sust energy rev*. 2009. P. 653-662.

49. Музичук В.І., Нахайчук О.В., Комаха В.П. Визначення змісту і об'єму робіт при технічному сервісі. *Зб.наук.пр. ВНАУ. Серія: Технічні науки*. Вінниця: ВНАУ, 2012. № 11 (65). С. 242–247.

50. Серєда Л.П., Холодюк О. В., Григоришен В. М. Методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт з дисципліни “Система машина-поле” для студентів за напрямом підготовки 6.100102 – “Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва” факультету механізації

сільського господарства стаціонарного, заочного і дистанційного навчання. Вінниця: ВНАУ, 2013.

51. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 1966. V. 6. № 1. P. 34-40.

52. Артёмов М.П. Вплив динаміки машинно-тракторних агрегатів на їх функціональну стабільність. *Збірник наукових праць ВНАУ*. Випуск №7. Серія: Технічні науки. Машиновикористання у рослинництві та тваринництві. Вінниця. 2011. С. 5 - 10.

53. Анісімов В. Ф., П'ясецький А. А., Рябошапка В. Б. Розрахунок і побудова тягової характеристики трактора та динамічної характеристики автомобіля. Методичні вказівки до виконання курсової роботи студентами спеціальності 6.100102 "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва. Вінниця: ВНАУ, 2010.

54. Бурлака С.А. Робота двигуна Д-240 при використанні біопалива обробленого ультразвуком. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: VIII міжнародна науково-практична інтернет-конференція, м. Вінниця 14-15 квітня 2020 р. 2020. С. 71-74.

55. Бурлака С.А. Вплив емульгованих палив на характеристики розпилення. *Інноваційні розробки в аграрній сфері*: Міжнародна науково-практична конференції «Молодь і технічний прогрес в АПВ». м. Харків. 7-8 травня 2020 р. 2020. С. 4-6.

56. Гунько І.В., Ярощук Р.О., Бурлака С.А. Вибір оптимальної методики покращення складу сумішевого біопалива з рослинних олій. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. №4. С. 123–127.

57. Бурлака С.А. Використання екологічних показників дизельних двигунів для визначення їх технічного стану. *Сучасний рух науки*: X міжнародна науково-практична інтернет-конференція, м. Дніпро. 2-3 квітня 2020 р. 2020. С. 174-178.

ДОДАТКИ

Додаток А

Технічні характеристики експериментального обладнання та засобів

Таблиця А.1 – Основні технічні дані стенда КИ – 5542 ГОСНИТИ

№	Показник	Одиниця виміру	Норма
1.	Електромашини: а) тип б) марка в) потужність г) синхронна частота обертання ротора	кВт об/хв	балансирна, асинхронна з фазовим ротором 4АНК 37 1000
2.	Діапазон регулювання частоти обертання ротора електромашини: а) в режимі двигуна б) в режимі генератора	об/хв	500 - 950 1100 - 2000
3.	Вимірювання частоти обертання ротора: а) границі вимірювання	об/хв	тракторний тахоспідометр 0 - 2500
4.	Вимірювання витрати палива а) інтервал зважування б) допустима похибка	г г	вага циферблатна 100 - 2500 +/- 2,5
5.	Найбільша гальмівна потужність стенда при 2000 об/хв	к.с.	100
6.	Регульовальний реостат а) ємкість баку	л	рідинний з охолодженням проточною водою, 300л
7.	Номинальний вимірювальний крутний момент	кГс·м	40
8.	Силувимірювальний механізм а) тип б) границі показів за шкалою циферблата в) ціна мінімальної поділки шкали г) границя відносної похибки д) розрахункове плече	кГс кГс % мм	Маятниковий 0 - 60, 0 - 40 0,25 +/-1 716,2
9.	Мережа живлення: а) напруга (лінійна) б) число фаз в) частота струму	В Гц	380 3 50

Таблиця А.2 – Опис периферійних пристроїв, що входять у стандартну комплектацію стенду «Дельфін – 1М»

Найменування	№ позиції	Тип, марка, розмірність вимірювальної величини	Призначення	Кількість (шт.)
Датчики вібрацій	I	АВС-134-01	Ультразвук	2
		АВС-117-04 № 10 (3020 м/с ²) № 03 (2670 м/с ²)	ВЧ-вібрація	2
		АНС-114-02 № 8 (475м/с ²) № 2 (490 м/с ²)	НЧ-вібрація	2
Датчики тиску	II	МД 15ТС	Компресія бензинових двигунів	1
		МД150ТС	Компресія дизельних двигунів	1
		Адаптер пульсацій тиску ЛХ-611М	Пульсації тиску ПНВТ	1
		Подовжувач датчиків тиску МД		1
		Датчик мікрофонний в горловину	Пульсація звукова (жовтий)	1
		Датчик мікрофонний в випускн трубу	Пульсація звукова (синій)	1
Адаптери електричні	III	Адаптер 12 В		4
		Адаптер 24 В		1
		Адаптер 12 В ємнісний	антишум	1
		Адаптер 12 В контактний	Перевірка зімкн.\розімкн.	1
		Адаптер λ-зонду		1
	III-1	Адаптер “Мінус” котушки контактний	Перевірка запалювання	2
		Адаптер “Мінус” котушки безконтактний		1
		Адаптер “прив’язки”	Прив’язка до 1-го циліндра	1
		Струмові кліщі		1
		Термопара	Вимірювання температури	1
Кабельна продукція	IV	Провід заземлення 7м+3м	БЕ-авто	1
		Перемичка заземлення	Кузов-двигун	1
		Кабель зв’язку -20м.	БЕ-компьютер	1
		Подовжувачі каналів		4
		Допоміжні деталі	комплект	1
Перехідники	V		Датчиків тиску і пульсації	16
Хвилепроводи ультразвукові	V		УЗ-датчики	4

Таблиця А.3 – Технічна характеристика вимірювального модуля ZET 210 стандартної комплектації

Найменування параметру	Значення параметру, розмірність
Загальна технічна характеристика	
Цифровий порт входу/виходу	8 біт
Тип логіки цифрового порту	3,3В TTL
Живлення	+5 В від інтерфейса High Speed USB 2.0 (HS USB 2.0)
Споживана потужність	1,0 Вт – в автономному режимі 2,5 Вт – від шини USB
Вага	0,2 кг
Габарити	35x91x111 мм
Аналоговий вхід	
Кількість вхідних каналів	8 диференційних або 16 синфазних
Частота перетворення	до 400 кГц
Кількість розрядів АЦП	16
Максимальна вхідна напруга	± 7 В
Динамічний діапазон	84 дБ
Вхідний опір	2 кОм
Захист входів при ввімкненому живленні	± 30 В
Захист входів при вимкненому живленні	± 30 В
Міжканальне проникнення*	-72 дБ
Аналоговий вихід	
Кількість вихідних каналів	2
Частота перетворення	до 500 кГц
Максимальна вихідна напруга	$\pm 2,5$ В
Максимальний вихідний струм	10 мА
Кількість розрядів ЦАП	14

* заміряється між двома каналами при подачі на вхід одного із каналів синусоїдального сигналу з частотою 1 кГц і амплітудою 1 В, закороченому вході іншого каналу і сумарною частотою дискретизації по всім каналам, не більше 300 кГц

Таблиця А.4 – Жирно-кислотний склад та основні хімічні показники
метилових ефірі суміші рапсової та соняшnikової олій

№ п/ п	Назва кислот та хімічних елементів метилового ефіру МЕРСО	Ліпідний номер	Хімічна формула	Молекуляр на маса, кг/кмоль	Моляр на маса, кг/кмол ь	Вміст (доля), %
1	Пальмітинова (гексадеканова)	C16:O	C16H32O2	256,4268		8,6895
2	Стеаринова (октадеканова)	C18:O	C18H36O2	284,4804		5,5875
3	Олеїнова	C18:1n9	C18H34O2	282,4646		25,8774
4	Лінолева (октадієнова)	C18:2n9,12	C18H32O2	280,4488		57,6309
5	Ліноленова	C18:3n9,12, 15	C18H30O2	278,433		0,476
6	Докозанова (бегенова)	C22:O	C22H44O2	340,5876		1,3051
7	Тетракозанова (гігноцеринова)	C24:O	C24H48O2	368,6412		0,4337
8	Суміш кислот		C17,9H33 O2	280,2663577		100,0001
9	Вуглець		C	215,050397	12,011	76,731
10	Водень		H	33,21792876	1,0079	11,852
11	Кисень		O	31,998832	15,9994	11,417
						100,000
						29

Таблиця А.5 – Коротка технічна характеристика дизеля Д-240

№ п/п	Найменування параметру двигуна, розмірність	Значення параметру
1	Тип	Безкомпресорний з безпосереднім впорскуванням
2	Розміщення та кількість циліндрів	P4
3	Діаметр циліндру	110
4	Хід поршня, мм	125
5	Геометрична ступінь стиску	16
6	Номінальна потужність, кВт	55,16 ^{+3,68}
7	Номінальна частота обертання, хв ⁻¹	2200 ⁺⁴⁰ ₋₂₅
8	Максимальна частота обертання на холостому ході, хв ⁻¹	2280 – 2385
9	Мінімальна частота обертання на холостому ході (не більше), хв ⁻¹	600
10	Максимальний крутний момент, Н·м	274,6
11	Питома витрата палива, г/кВт·год	222,36 – 258,4
12	Порядок роботи циліндрів	1 – 3 – 4 – 2
13	Система мащення	Комбінована
14	Система охолодження	Рідинна замкнута з примусовою циркуляцією охолоджувальної рідини
15	Кут випередження подачі палива, °п.к.в.	25 – 27
16	Фази газорозподілу: - відкриття впускного клапана до ВМТ, °п.к.в. - закриття впускного клапана після НМТ, °п.к.в. - відкриття випускного клапана до НМТ, °п.к.в. - закриття випускного клапана після ВМТ, °п.к.в.	16 46 56 18
17	Поршні з камерою згорання ЦНИДИ діаметром, мм	38
18	Паливний насос УТН-5 - діаметр плунжера, мм - хід плунжера, мм	8,5 8
19	Форсунки ФД-22: - кількість отворів розпилювача - діаметр отвору розпилювача, мм - ефективний прохідний переріз розпилювачів, мм ² - тиск початку підйому голки форсунки, МПа	5 0,32 – 0,34 0,24 – 0,28 17,5 ⁺⁵
20	Повітроочисник	Двохступінчастий: - перша ступінь – відцентрове очищення з автоматичним викиданням пилу - друга ступінь – масляно-інерційного контактного типу з капроновим фільтрувальним елементом змінної щільності
21	Вага двигуна, кг	430

Таблиця А.6 – Коротка технічна характеристика трактора МТЗ-80

№ п/п	Найменування параметру двигуна, розмірність		Значення параметру	
1	Тип трактора		Колісний універсально-просапний тягового класу 14 кН	
2	Марка та модель трактора		“Беларусь” МТЗ-80	
3	Кількість передач вперед/назад		18/4	
4	Теоретична швидкість руху при радіусі кочення заднього колеса 730 мм, км/год	мінімальна	1,89	
		максимальна	33,38	
5	Габаритні розміри трактора (номінальні), мм	довжина (по кінцям поздовжніх тяг)	3815	
		ширина (по кінцям півосей задніх коліс, що виступають)	1970	
		висота	по облицюванню	1615
по кабіні	2470			
6	Поздовжня база трактора, мм		2370	
7	Коля трактора, мм		Регульована, в межах 1200 – 1800 по передніх і 1350 – 1800 по задніх колесах	
8	Дорожній просвіт при радіусі кочення 730, мм	під переднім мостом	650	
		під заднім мостом	470	
9	Радіус повороту по поздовжній осі трактора з пригальмовуванням внутрішнього колеса, м		2,5	
10	Маса трактора, кг	конструктивна (з кабіною без допоміжного обладнання, індивідуального комплексу запасних частин, додаткових деталей та вантажів на колесах)	3000	
		заводська (без допоміжного обладнання, індивідуального комплексу запасних частин, додаткових деталей, без палива в баках і води в радіаторі, з кабіною і вантажами на колесах)	3300	
11	Розміри шин	передніх коліс	200 – 508 (7,5 – 20)	
		задніх коліс	330 – 965 (13,6/12 – 38)	
			420 – 762 (18,4/15 – 30)	
		240 – 1067 (9,5/9 – 42)		
12	Тиск повітря в шинах, кг/см ²	передніх коліс	1,5 – 2,5 в залежності від навантаження	
		задніх коліс (для шин: 330 – 965 (13,6/12 – 38), 420 – 762 (18,4/15 – 30))	1,0 – 1,4 в залежності від навантаження	
13	Марка двигуна		Д-240	
14	Тип та передаточне число головної передачі		Конічна зі спіральними зуб'ями, 3,42	
15	Тип та передаточне число кінцевої передачі		Циліндрична одноступінчаста, 5,308	
16	Тип гідросистеми робочого обладнання		Універсальна, роздільно-агрегатна зі збільшувачем зчпної ваги з силовим (позиційним) регулятором	
17	Марка розподільника гідросистеми	з силовим регулятором	P75-B3BP	
		без силового регулятора	P75-B3B	
18	Марка насоса гідросистеми		НШ-32К	
19	Спосіб приєднання сільськогосподарських знарядь		трьохточковий	
20	Вантажопідйомність гідросистеми	номінальна	800 кг при вильоті центра ваги відносно осі задніх коліс не більше 1500 мм	
		максимальна	2000 кг на шарнірах поздовжніх тяг при встановленні розкосів на додаткові отвори в поздовжніх тягах	
21	Швидкість обертання вала відбору потужності (при частоті обертання колінчастого вала 2100 об/хв)	незалежного двохшвидкісного для ступенів, об/хв	I	548
			II	1013
		синхронного, об/метр шляху		3,5
22	Кількість тип та вага баластних вантажів		Легкознімні, 10 шт по 20 кг	