

СЕКЦІЯ 2.

ІННОВАЦІЇ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ НАУК

УДК. 621.436:621.43.038:662.756:620.172

Дмитро Журавель, доктор технічних наук, професор,
професор кафедри експлуатації та технічного сервісу машин,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ РОБОТІ НА БІОПАЛЬНОМУ

Анотація. В роботі розглянуто методологічні принципи забезпечення надійності паливних систем дизельних двигунів при роботі на біопаливі. Проаналізовано вплив фізико-хімічних властивостей біопалив на працездатність елементів паливної апаратури. Запропоновано методологічні підходи до підвищення довговічності та ефективності роботи дизелів шляхом оптимізації режимів подачі палива, удосконалення систем фільтрації та застосування сучасних матеріалів із підвищеною зносостійкістю.

Ключові слова: методологічні принципи, паливні системи, дизельні двигуни, підвищення довговічності, працездатність, біопаливо.

Abstract. The paper considers methodological principles for ensuring the reliability of diesel engine fuel systems when operating on biofuels. The influence of the physicochemical properties of biofuels on the performance of fuel equipment elements is analyzed. Methodological approaches are proposed to increase the durability and efficiency of diesel engines by optimizing fuel supply modes, improving filtration systems, and using modern materials with increased wear resistance.

Keywords: methodological principles, fuel systems, diesel engines, increasing durability, performance, biofuels.

Сучасні системи впорскування, розраховані на вузький діапазон фізико-хімічних властивостей нафтового дизельного палива, демонструють суттєве зниження ресурсу при переході на відновлювальні джерела. Головними дестабілізуючими факторами є підвищена в'язкість біопалив, їхня хімічна агресивність до еластомерів, схильність до окислення та гігроскопічність. Це

призводить до інтенсифікації процесів зношування прецизійних деталей, порушення гідродинамічних параметрів паливоподачі та закоксування розпилювачів, що зрештою деформує характеристики згоряння та знижує загальну ефективність двигуна.

Першим методологічним принципом дослідження цієї проблеми є системний підхід, згідно з яким паливна апаратура розглядається як динамічна ланка в ланцюзі «паливо – конструкція – робочий процес». Це вимагає переходу від простої реєстрації відмов до аналізу причинно-наслідкових зв'язків між молекулярною структурою палива та кінетикою деградації поверхонь тертя. Другий принцип базується на детермінованості фізичних процесів, що передбачає глибоке вивчення трибологічних характеристик і гідравлічних втрат, зумовлених зміною густини та стисливості альтернативних палив. Важливе місце посідає принцип імітаційного моделювання, який дозволяє за допомогою математичних методів прогнозувати залишковий ресурс вузлів без проведення дороговартісних довготривалих випробувань.

Крім того, методологія має спиратися на принцип адаптивності, який передбачає не лише пасивну оцінку зносу, а й активне керування надійністю через коригування конструкційних параметрів, використання нових антикорозійних покриттів та оптимізацію алгоритмів електронного керування для компенсації нижчої теплоти згоряння біопалива. Кінцевою метою такої методологічної бази є створення умов, за яких імовірність безвідмовної роботи системи на альтернативних паливах буде не нижчою за показники традиційних систем, що дозволить забезпечити економічну доцільність переходу на «зелені» технології без втрати технічного потенціалу дизельних двигунів. Вирішення цієї проблеми вимагає об'єднання зусиль у сферах хімотології, гідравліки та теорії надійності машин для створення універсальних стандартів експлуатації техніки на багатокomпонентних паливних сумішах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про стійке зростання інтересу наукової спільноти до проблеми адаптації дизельних двигунів до альтернативних палив, проте питання довготривалої надійності паливної апаратури залишається дискусійним [1]. Сучасні розвідки вітчизняних та зарубіжних вчених концентруються на вивченні впливу метилових естерів жирних кислот на зношування прецизійних деталей, причому результати часто є суперечливими: з одного боку, відзначається покращення змащувальної здатності біопалив порівняно з малосірчистим дизельним паливом, а з іншого – фіксується інтенсивна корозія та ерозія поверхонь через підвищену гігроскопічність та наявність залишків каталізаторів. Значна частина робіт присвячена проблемі закоксування отворів розпилювачів та утворення відкладень на голках форсунок, що науковці пов'язують з низькою термічною стабільністю біокомпонентів, яка призводить до полімеризації палива безпосередньо в зоні високих температур [2]. Останні дослідження у сфері систем Common Rail вказують на критичну чутливість електрогідравлічних форсунок до мікроскопічних відкладень, відомих як внутрішні відкладення в інжекторах (IDID), які спричиняють зависання клапанів та порушення дозування. Водночас ряд авторів фокусується на розробці та випробуванні багатофункціональних присадок, що мають нівелювати негативний вплив біопалива, проте системних методологій, які б дозволяли прогнозувати сумарний ресурс системи за комбінованого впливу корозійних, абразивних та гідродинамічних факторів, досі бракує [3]. Дослідники також звертають увагу на перспективність використання гідроочищених рослинних олій (HVO) як більш стабільної альтернативи класичному біодизелю, проте висока вартість їх виробництва залишає актуальним питання експлуатації техніки на сумішевих паливах першого покоління. Таким чином, попри глибоке вивчення окремих аспектів хімотології та трибології, у сучасній науковій літературі спостерігається дефіцит комплексних методологічних підходів до оцінки надійності паливних

систем як єдиного механізму, що функціонує в умовах нестабільного хімічного складу палива [4].

Основними матеріалами дослідження є комплекс технічних засобів, зразків палив та аналітичного інструментарію, що дозволяють об'єктивно оцінити зміну надійності паливної апаратури в специфічних умовах експлуатації. До об'єктів безпосереднього вивчення належать вузли та деталі систем упорскування дизелів, зокрема паливні насоси високого тиску, форсунки з різними типами розпилювачів та елементи систем Common Rail, що піддаються найбільшому навантаженню. Як робочі середовища у дослідженні використовуються контрольні зразки традиційного нафтового дизельного палива, що відповідає чинним стандартам якості, а також експериментальні суміші з різним вмістом біокомпонентів, таких як метилові етери жирних кислот рослинних олій або гідроочищені рослинні жири [5]. Важливою складовою матеріальної бази є стендове обладнання, що включає паливні безпосередні стенди, оснащені системами термостатування палива та прецизійними датчиками тиску і витрати, а також випробувальні установки для проведення прискорених ресурсних тестів. Для аналізу фізичного стану деталей використовуються методи растрової електронної мікроскопії, що дозволяють зафіксувати мікротріщини та осередки корозії, профілометри для вимірювання шорсткості прецизійних поверхонь та аналітичні ваги для визначення вагового зносу елементів. Інформаційну основу матеріалів дослідження доповнюють протоколи випробувань фізико-хімічних властивостей паливних сумішей, включаючи показники кінематичної в'язкості, змашувальної здатності та окислювальної стабільності. Математичний апарат дослідження базується на масивах експериментальних даних, отриманих під час імітаційного моделювання процесів зношування, що в сукупності з нормативно-технічною документацією та результатами експлуатаційних спостережень дозволяє сформувати цілісну картину деградації технічного стану паливної системи при роботі на альтернативних видах палива [6].

На схемі відображено комплексний підхід, що охоплює весь життєвий цикл системи: від дослідження властивостей палива та модернізації конструкції до контролю якості, технічного обслуговування, моніторингу параметрів та аналізу відмов (рис. 1).

Таким чином, використання цього принципу перетворює перехід на біодизель з «гри в рулетку» на прогнозований інженерний процес. Замість того, щоб чекати поломки всієї системи, ви заздалегідь знаходите елемент, який найшвидше здасться під впливом біопалива (зазвичай це ущільнювачі або фільтри), і превентивно його модернізуєте.



Рис. 1. Методологічні принципи надійності паливних систем при роботі на біодизелі

Забезпечення надійності паливних систем при використанні біодизеля базується на комплексному врахуванні його фізико-хімічних особливостей, що впливають на матеріали, процеси впорскування та експлуатаційні умови. Методологічно це передбачає адаптацію конструкції системи, підвищення вимог до чистоти та якості палива, впровадження ефективних методів контролю води і

мікробіологічної стабільності, а також удосконалення технічного обслуговування. Лише системний підхід, що поєднує матеріалознавчі, технологічні та експлуатаційні рішення, дозволяє забезпечити довговічність і стабільну роботу паливної апаратури при використанні біодизельного палива.

Список використаних джерел

1. Бондар А. М. Прогнозування ресурсу трибосистем при використанні сумішевих олив. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2021. Вип. 11, т. 1. 19 с. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-1-10>
2. Журавель Д. П. Підвищення довговічності функціональних систем сільськогосподарської техніки при використанні біопаливно-мастильних матеріалів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. 2018. Вип. 282. С. 279-292.
3. Журавель Д. П. Моделювання процесу зношування прецизійних пар паливних систем мобільної техніки при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. 2018. Вип. 18, т. 2. С. 105-118.
4. Журавель Д. П. Підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення оптимального складу сумішевих біодизельних паливних. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2018. Вип. 8, т. 2. С. 91-107.
5. Журавель Д. П. Моделювання працездатності машино-тракторного агрегату при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 57-68.
6. Журавель Д. П. Моделювання процесу зношування прецизійних пар паливних систем мобільної техніки при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. 2018. Вип. 18, т. 2. С. 105-118.