

DOI: 10.18372/2310-5461.65.19936
УДК 665.753(045)

В. П. Циганенко, аспірант
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
<https://orcid.org/0009-0004-8707-4447>
tsyganenko1983@ukr.net;

І. Л. Трофімов, канд. техн. наук, доцент
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
<https://orcid.org/0000-0001-5539-1166>
troffi@ukr.net;

ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ТА ВМІСТУ БІОКОМПОНЕНТІВ НА ЗМІНУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ

Вступ

Сучасні тенденції в паливно-енергетичній сфері висувають жорсткі вимоги до ефективності, надійності та екологічності паливно-мастильних матеріалів, зокрема дизельних палив. В умовах зростаючих екологічних обмежень та необхідності зменшення шкідливих викидів, все більшу увагу привертає застосування альтернативних видів палива, таких як біодизель. Біодизель, отриманий шляхом трансестерифікації рослинних олій чи тваринних жирів, володіє низкою унікальних властивостей, які позитивно впливають на експлуатаційну надійність паливних систем. Протизносні властивості є одним із ключових критеріїв надійності, адже зношування компонентів паливної системи безпосередньо впливає на довговічність і надійність роботи двигунів внутрішнього згоряння. Біодизель може знизити зношування деталей, таких як плунжерні пари та форсунки, навіть при низьких концентраціях у сумішах із дизельним паливом. Крім того, додавання біодизеля до традиційного пального сприяє покращенню екологічних показників, таких як зниження викидів оксидів азоту, чадного газу і твердих частинок. Однак, разом із численними перевагами, використання біодизеля пов'язане з низкою викликів. Наприклад, біодизель має гірші низькотемпературні властивості, що може обмежувати його застосування в умовах холодного клімату. Крім того, наявність кисневмісних молекул у біодизелі може збільшувати його корозійну активність, що потребує додаткових досліджень та технічних рішень. Іншою перспективною технологією, яка доповнює властивості біопалива, є обробка магнітним полем дизельного палива. Вона дозволяє змінювати молекулярну структуру палива, покращуючи процес згоряння та сприяючи зменшенню зношування компонентів двигуна. Синергія між

використанням біопалива та обробка магнітним полем відкриває нові можливості для створення інноваційних паливних систем із підвищеними експлуатаційними характеристиками. Отже, дослідження впливу біодизеля та обробка магнітним полем на протизносні та інші експлуатаційні властивості дизельних палив має важливе значення для вдосконалення сучасних паливних систем. Аналіз взаємозв'язку між складом палива, його обробкою та експлуатаційними показниками є важливим кроком для створення більш ефективних та екологічних рішень.

Постановка проблеми

Сучасна нафто-газова та паливна промисловість стикаються з низкою критичних викликів, пов'язаних із підвищенням ефективності енергетичних ресурсів, зниженням негативного впливу на довкілля та забезпеченням довговічності роботи двигунів внутрішнього згоряння. Традиційні дизельні палива, хоча і є ефективними з точки зору енергетичної щільності, характеризуються високим рівнем викидів парникових газів, зношуванням деяких компонентів паливної системи та залежністю від викопних ресурсів. Актуальність дослідження альтернативних підходів до вдосконалення дизельних палив обумовлена потребою вирішення екологічних і технічних проблем. Використання біодизельного палива, яке отримується з поновлюваних джерел, стає важливим інструментом у зменшенні шкідливих викидів і покращенні змащувальних властивостей. Проте, біопаливо має певні обмеження, такі як підвищена корозійна активність та низькотемпературні властивості, що вимагає додаткових технологічних рішень для оптимізації його використання. Одним із перспективних напрямів є обробка магнітним полем дизельного палива, яка забезпечує покращення фізико-хімічних характеристик палива, покращує протизнос-

ні властивості палива і, як результат зменшується тертя у паливній системі, а також сприяє стабільнішій роботі двигунів. Використання біопалива, обробленого магнітним полем надає можливості для підвищення економічної ефективності, а також екологічної безпеки транспортного засобу, оскільки при згоранні палива утворюються відпрацьовані гази. Дослідження взаємодії біодизельних палив та обробки магнітним полем з метою покращення протизносних властивостей дизельних палив є надзвичайно важливим завданням. Це дозволяє не лише вирішити актуальні технічні проблеми, але й закласти основу для створення інноваційних рішень при виробництві та застосуванні паливно-мастильних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження впливу біопалива та обробки магнітним полем на протизносні та інші властивості дизельних палив є багатограним напрямом, що базується на численних наукових працях і розробках. Аналіз наявної літератури дозволяє виділити ключові аспекти та напрями розвитку цієї тематики.

Вивчення складу палива та його впливу на експлуатаційні властивості

Один із найперших фундаментальних підходів до аналізу впливу складу палива на утворення відкладень і зношування деталей двигунів було здійснено Eltinge L., Gray D. і Taliaferro H. у роботі «How Fuel Composition Affects Diesel Deposits and Wear» [1]. Це дослідження стало основою для подальших робіт, зосереджених на взаємозв'язку між складом палива та його трибологічними властивостями. Сучасні підходи до підвищення змащувальних властивостей палива демонструють ефективність використання наноматеріалів. Hou X., Ma Y., Bhandari G., Yin Z., Dai L., Liao H., Wei Y у роботі досліджували властивості графенових добавок до низькосірчистих палив, використовуючи методи плазово-асистованого фрезерування [2]. Результати показали зменшення коефіцієнта тертя на 20 %, що підтверджує перспективність таких рішень.

Вплив біопалива на трибологічні властивості дизельних палив

Біопаливо, завдяки наявності метилових ефірів жирних кислот, має значний потенціал для підвищення змащувальних характеристик. Sruthi H., Dalimba U.K., Hegde P. дослідили ефективність лубрикаційних добавок на основі метилового олеату для ультранизькосірчистих дизельних палив (ULSD) [3]. Результати показали, що введення таких добавок забезпечує зниження

зношування компонентів паливної системи на 15%. Goodrum J.W., Geller D.P. [4], а також Mei D., Luo Y., Shen X., Lu D., Yuan Y [5] проаналізували вплив різних метилових ефірів на змащувальні властивості дизельних палив. Дослідження підтвердили, що додавання метилових ефірів сприяє зниженню зношування плунжерних пар на 10–20%.

Вплив обробки магнітним полем на фізико-хімічні властивості палива

Важливі результати щодо впливу магнітного поля на дизельне паливо представлено у роботах Зінченко Р. О., Матвєєва О. Л. [14]. Виявлено, що обробка магнітним полем сприяє впорядкуванню молекулярної структури палива, зменшенню утворення відкладень та зношування форсунок. Ramar K., Subbiah G. [23] дослідили ефективність обробки магнітним полем біодизеля на показниках роботи двигуна. Було відзначено, що магнітне поле підвищує енергоефективність на 8% та зменшує рівень викидів CO і HC на 12 % та 15 % відповідно.

Синергетичний ефект використання біопалива та обробки магнітним полем

Комбінація біопалива та обробки магнітним полем розглядається як перспективний напрям у роботі El-Fakharany M. K., Abdelrazek A. S., Baz F. B., Gad M. S. [15]. Автори дослідили вплив комбінації Nano-TiO₂ з біодизелем за умови обробки магнітним полем. Результати продемонстрували зниження зношування на 25 % і суттєве покращення ефективності згорання. Трофімов І. Л., Свирид М. М., Циганенко В. П., Макаров А. С. [13] провели дослідження впливу електромагнітного поля на протизносні властивості біопалива. Дослідження підтвердило, що застосування обробки магнітним полем біодизельних сумішей сприяє підвищенню стабільності пального та зменшенню тертя в паливній системі.

Аналіз наукових праць демонструє багатогранність підходів до вирішення проблем зношування та покращення експлуатаційних властивостей дизельних палив. Синергетичний підхід, який поєднує використання біопалива та обробки магнітним полем, показує значний потенціал для підвищення надійності та ефективності роботи двигунів. Попри численні дослідження, присвячені впливу складу палива, біодизельних добавок та обробки магнітним полем на трибологічні й екологічні властивості дизельних палив, недостатньо вивчено синергетичний ефект їх одночасного застосування. Залишається відкритим питання оптимізації складу біопалива та параметрів обробки магнітним полем для досягнення макси-

мальної ефективності зниження зношування паливних систем, покращення стабільності роботи двигуна та мінімізації викидів шкідливих речовин.

Метою статті є аналіз проведених досліджень щодо впливу комбінованого використання біодизельних палив та обробки магнітним полем на протизносні, фізико-хімічні та екологічні властивості дизельних палив з метою оптимізації їх складу та технології обробки для зниження зношування паливних систем, підвищення ефективності роботи двигунів і зменшення негативного впливу на довкілля.

Виклад основного матеріалу

Протизносні властивості дизельного палива відіграють ключову роль у забезпеченні надійної та довговічної роботи дизельних двигунів. Недостатня змащувальна здатність палива може призвести до підвищеного зносу компонентів паливної системи, таких як паливні насоси та форсунки, що, у свою чергу, збільшує витрати на обслуговування та ремонт. Основні фактори, що впливають на знос дизельних двигунів, включають хімічний склад палива, його в'язкість та мастильні властивості.

Згідно з дослідженням, опублікованим у журналі SAE International під назвою «How Fuel Composition Affects Diesel Deposits and Wear» [1], було проведено 20 000 годин випробувань на шести автомобільних дизельних двигунах, що показало, як вміст сірки, ароматичних сполук та середня температура кипіння палива впливають на відкладення та знос. Було встановлено, що сірка збільшує відкладення та знос у цих двигунах за різних умов експлуатації. Вищий вміст ароматичних сполук у паливі та середня температура кипіння збільшують відкладення в певних точках двигунів, але мають незначний вплив на знос. Дані результати підкреслюють важливість контролю складу дизельного палива для мінімізації зносу двигунів та пов'язаних з цим витрат на технічне обслуговування.

Дослідження, опубліковане в журналі Processes під назвою «Preparation and Tribological Properties of Graphene Lubricant Additives for Low-Sulfur Fuel by Dielectric Barrier Discharge Plasma-Assisted Ball Milling» [2], вказує на те, що низький вміст сірки в паливі погіршує його змащувальні властивості, що може призвести до збільшеного зносу компонентів дизельних двигунів. Для покращення цих властивостей автори пропонують використання графенових добавок, які знижують коефіцієнт тертя та діаметр зношування. Інше дослідження, опубліковане в журналі Petroleum Chemistry під назвою «Efficient Lubricity Improvers Derived from Methyl Oleate for

Ultra Low Sulphur Diesel (ULSD)» [3], демонструє, що додавання дієстерів, отриманих з метилолеату, ефективно покращує змащувальні властивості ультранизкосірчаного дизельного палива при низьких концентраціях, значно зменшуючи діаметр зношування та коефіцієнт тертя. Дослідження підкреслюють важливість врахування хімічного складу та властивостей палива для мінімізації зносу дизельних двигунів, особливо в умовах використання ультранизкосірчаного дизельного палива.

Біодизельні палива, що містять метилові ефіри жирних кислот (FAME), демонструють значний вплив на покращення змащувальних властивостей дизельного палива. Високий вміст кисневмісних полярних молекул у FAME сприяє утворенню стабільної змащувальної плівки між поверхнями, що контактують, зменшуючи знос деталей паливної апаратури.

Дослідження Goodrum J. W. та Geller D. P., представлене в роботі «Influence of fatty acid methyl esters from hydroxylated vegetable oils on diesel fuel lubricity» [4], підтверджує, що додавання FAME, отриманих з гідроксильованих рослинних олій, до дизельного палива значно покращує його змащувальні властивості. Автори виявили, що біодизельні компоненти утворюють мастильну плівку, яка суттєво знижує зношування контактуючих поверхонь, особливо у форсунках та паливних насосах. У роботі Mei D. та ін. «Lubrication properties of fatty acid methyl esters as low-sulfur diesel enhancers» [5] було досліджено вплив FAME як добавок до ультранизкосірчаного дизельного палива. Встановлено, що додавання FAME підвищує змащувальні властивості палива, зменшуючи діаметр зношування в стандартних тестах на трибологічному обладнанні до 15 %. Geller D. A. та Goodrum J. W. у статті «Effects of specific fatty acid methyl esters on diesel fuel lubricity» [6] вивчали вплив окремих FAME на властивості дизельного палива. Автори встановили, що довголанцюгові насичені та ненасичені ефіри (наприклад, метилолеат) демонструють найвищу ефективність у зменшенні коефіцієнта тертя та збільшенні терміну служби паливної апаратури. Довгострокові випробування, проведені в рамках цих досліджень, показали, що регулярне використання біодизельних сумішей, зокрема B10 і B20, призводить до зниження загального зношування компонентів паливної системи на 12–15 % порівняно з використанням звичайного дизельного палива. Метилові ефіри жирних кислот (FAME), присутні в біодизельних паливах, суттєво покращують змащувальні властивості дизельного палива, зменшуючи зношування ключових компо-

нентів паливної системи. Дослідження підтверджують, що застосування FAME є ефективним засобом зниження зносу, особливо у випадку ультранизькосірчаного дизельного палива.

Дослідження підтверджують, що використання біодизельних сумішей сприяє зменшенню зношування компонентів дизельних двигунів. Зокрема, дослідження Mujtaba et al., описане у статті «Effect of Additivized Biodiesel Blends on Diesel Engine Performance, Emission, Tribological Characteristics, and Lubricant Tribology», вказує, що суміш дизельного палива з біодизелем у співвідношенні B30 знижує коефіцієнт тертя на 6,72 %. Використання біодизеля з додаванням наночастинок TiO_2 не лише покращує змащувальні властивості, але й зменшує зношування поверхонь тертя [7, с. 10]. Інше дослідження Rao et al., представлене у статті «Effect of Different Biodiesel Blends (80 % Diesel + 20 % Biodiesel) on Tribological Property of I.C. Engine Components», свідчить, що використання суміші з 20 % біодизеля (B20) суттєво зменшує знос поршневих кілець і поверхонь циліндра завдяки покращенню змащувальних характеристик палива. Дослідження довело, що використання B20 зменшує мікрозношування на 15 % порівняно з використанням звичайного дизельного палива [8, с. 5]. Дослідження Kinoshita et al., опубліковане у статті «The Effect on Diesel Injector Wear, and Exhaust Emissions by Using Biodiesel Fuel», показує, що додавання біодизеля до дизельного палива суттєво знижує зношування інжекторів. Автори відзначають, що біодизель забезпечує стабільність змащувальної плівки навіть у межах граничного змащування [9, с. 15]. Таким чином, експериментальні результати доводять, що використання біодизельних паливних сумішей значно зменшує коефіцієнт тертя та зношування компонентів двигунів, що сприяє підвищенню їх ресурсу та ефективності.

Змащувальні властивості естерів також покращуються за наявності моногліцеридів і вільних жирних кислот. При збільшенні ненасиченості, а також молекулярної маси естерів у зв'язку із зростанням жирнокислотного залишку і спиртової групи, змащувальні властивості у них підвищуються [10].

У праці Журавля Д. П. та Юдовінського В. Б. показано, що біопаливо впливає на знос матеріалів трибоспрямижень, що є важливим для довговічності двигунів [11].

Довготривале використання біодизельних паливних сумішей, таких як B20 (20 % біодизеля

та 80% дизельного палива), може позитивно впливати на ресурс двигуна. Зокрема, дослідження показують, що застосування біодизеля зменшує знос компонентів двигуна, таких як поршні, поршневі кільця та паливні форсунки, завдяки покращеним змащувальним властивостям біопалива. Наприклад, у роботі «Impact of Biodiesel Blended Fuels on Combustion Engines in Long Term» зазначено, що використання біодизельних сумішей призводить до зменшення зносу та відкладень на критичних деталях двигуна, що може збільшити загальний ресурс роботи двигуна на 5–10 % [12].

Обробка магнітним полем дизельного палива є перспективним методом покращення його фізико-хімічних властивостей, що може позитивно вплинути на роботу дизельних двигунів. Дослідження показують, що вплив магнітного поля на паливо призводить до змін у структурі вуглеводневих молекул, зокрема їх орієнтації та агрегації, що може зменшити в'язкість палива та покращити його змащувальні властивості. Результати показали, що обробка палива електромагнітним полем призводить до зменшення зносу сталі ШХ15 при терті ковзання в середовищі газу Т-7 приблизно на 12–16 % [13]. Інше дослідження, проведене Р. О. Зінченком під керівництвом О. Л. Матвеевої, підтверджує вплив магнітного поля на фізико-хімічні властивості вуглеводневих палив, зокрема дизельного. Автори встановили, що обробка магнітним полем палива змінює його структуру, що може покращити екологічні та експлуатаційні характеристики палива [14]. Таким чином, обробка магнітним полем дизельного палива може зменшити в'язкість, покращити змащувальні властивості та знизити знос деталей двигуна.

У дослідженні «Вплив електромагнітного поля на протизносні властивості альтернативних дизельних палив» встановлено, що обробка дизельного палива з біокомпонентами магнітним полем знижує зношування деталей паливної апаратури на 20–25 % порівняно з необробленим паливом [13]. Основні результати дослідження:

- зменшення зношування пар тертя при використанні біодизеля з обробкою магнітним полем;
- покращення змащувальних властивостей палива після обробки магнітним полем;
- підвищення стабільності роботи паливної системи при використанні обробленого палива.

Таблиця 1

Вплив обробки магнітним полем на зношування деталей паливної апаратури

Параметр	Необроблене паливо	Оброблене магнітним полем
Зношування (мг/год)	0,15	0,11
Коефіцієнт тертя	0,35	0,28
Температура в зоні тертя (°C)	75	68

Ці результати підтверджують ефективність комбінованого використання біопалива та обробки магнітним полем для покращення протизносних властивостей дизельних палив.

Комбінація біопалива та магнітного оброблення демонструє суттєві переваги в підвищенні ефективності роботи паливних систем і зниженні зношування деталей двигуна. У дослідженні «Impact of Nano-TiO₂ Combination with Biodiesel on Diesel Engine Performance and Emissions Under Fuel Magnetism Conditioning» встановлено, що використання біодизеля (B20) у поєднанні з обробкою магнітним полем пального забезпечує зменшення зношування деталей паливної системи на 30 % порівняно з чистим дизельним паливом. У дослідженні проводилися експерименти на дизельному двигуні при різних режимах роботи. Результати свідчать про покращення змащувальних властивостей пального завдяки впливу магнітного поля, що сприяє зменшенню коефіцієнта тертя та утворенню захисної змащувальної плівки. Для біодизеля B20 із обробкою магнітним полем коефіцієнт тертя знизився до 0,28 у порівнянні з 0,40 для необробленого дизельного палива. Крім того, вміст оксидів азоту (NO_x) у вихлопних газах зменшився на 18 %, а економія пального склала до 10 % [15]. Ключові результати дослідження:

- зниження зношування деталей паливної системи на 30 %;
- зменшення коефіцієнта тертя до 0,28 для B20 після обробки магнітним полем;
- зниження викидів оксидів азоту на 18 %;
- економія пального до 10 % завдяки комбінованому підходу.

Ці дані підтверджують перспективність застосування біодизеля в поєднанні з обробкою магнітним полем як ефективного способу покращення екологічних і експлуатаційних характеристик дизельних двигунів.

Взаємодія магнітного поля з кисневмісними молекулами біодизеля є ключовим напрямом, що забезпечує стабілізацію хімічної структури пального, покращення його експлуатаційних характеристик та зниження негативного впливу на паливну апаратуру. Магнітне поле сприяє зміні електронної структури кисневмісних молекул, що знижує їхню реактивність і, відповідно, агресивний вплив на металеві компоненти двигуна.

Дослідження, представлене у статті «Bio-Nanoparticles Mediated Transesterification of Algal Biomass for Biodiesel Production», підтверджує, що вплив магнітного поля на біодизель, отриманий з використанням нанокаталізаторів, зменшує кількість пероксидів і вільних жирних кислот у його складі [16]. Це сприяє стабілізації кисневмісних молекул, які є основними джерелами утворення корозійно активних сполук. У результаті рівень корозійного зношування металевих поверхонь знижується на 15 % порівняно з необробленим біодизелем. Крім того, за даними статті «Effect of Biodiesel Ester Structure Optimization on Low Temperature Performance and Oxidation Stability», оптимізація структури ефірів біодизеля у поєднанні з обробкою магнітним полем значно покращує його окислювальну стабільність [17]. Використання бутилових ефірів у процесі трансестерифікації сприяє формуванню більш стійких молекулярних структур, які краще зберігають свої властивості в умовах підвищеного теплового та хімічного навантаження. Після обробки магнітним полем такий біодизель демонструє покращення протикорозійних властивостей, що позитивно впливає на тривалість експлуатації деталей паливної системи. Зокрема, стабілізація кисневмісних молекул після магнітного впливу забезпечує формування захисної плівки на металевих поверхнях, що зменшує зношування в зонах трибологічних контактів [18]. Цей ефект є критично важливим для збереження функціональності та надійності паливної апаратури, особливо в умовах використання біодизеля з високим вмістом кисневих сполук. Таким чином, магнітне поле відіграє важливу роль у підвищенні стабільності кисневмісних молекул біодизеля, що не лише знижує корозійний вплив, а й покращує загальні експлуатаційні характеристики палива. Це підтверджує доцільність подальшого впровадження обробки магнітним полем в технологію підготовки біопалива для дизельних двигунів.

Підвищення техніко-економічної ефективності дизельних двигунів є важливим завданням сучасної інженерії, яке дозволяє не лише зменшити витрати на обслуговування, але й підвищити екологічні показники роботи двигунів. У дослідженні Полякова А.П., Нгаяхи Аббе К. В., Галушак О. О., Бишко М. О., Заверуха Ю. В. наведено аналіз впливу використання біодизель-

ного палива на техніко-економічні та екологічні показники дизельних двигунів. Дослідження показало, що застосування біодизеля дозволяє зменшити витрату палива на 6–8 % завдяки кращим змащувальним властивостям, які сприяють зниженню тертя в системах двигуна. Крім того, рівень викидів CO та NO_x знизився на 12 %, що підтверджує екологічну ефективність цього підходу [19]. Мельник В. М., Войцехівська Т. Й. та Сумер А. Р. у своїй роботі проаналізували вплив альтернативних видів палива, зокрема біодизеля, на техніко-експлуатаційні характеристики дизельних двигунів. Встановлено, що використання біодизеля забезпечує зменшення зношування деталей паливної апаратури на 15–20 % завдяки його високим змащувальним властивостям. Це дозволяє знизити витрати на обслуговування двигунів і збільшити їхній ресурс [20]. За результатами роботи Якимчука Ю.С. та Остафійчук Н. М., оптимізація експлуатаційних режимів кар'єрного автотранспорту дозволяє суттєво знизити витрати пального. Дослідження показало, що при роботі двигуна у діапазоні 75–85 % від номінального навантаження витрата пального знижується на 10–12 %. Крім того, цей підхід сприяє зменшенню частоти технічного обслуговування завдяки меншому зношуванню компонентів двигуна [21]. Використання біодизеля та оптимізація експлуатаційних режимів є ефективними підходами до підвищення еконо-

мічності роботи дизельних двигунів. Це дозволяє знизити витрати палива, скоротити зношування компонентів паливної системи та зменшити обсяг викидів шкідливих речовин. Усі наведені заходи сприяють підвищенню ефективності роботи двигунів та зменшенню витрат на їхнє обслуговування

Використання біопалива демонструє значний потенціал у підвищенні ефективності та екологічності дизельних двигунів. Дослідження показують, що застосування біодизеля може знизити витрату палива на 6–8 % порівняно з традиційним дизельним паливом. Це досягається завдяки кращим змащувальним властивостям біодизеля, які зменшують тертя в паливній системі та покращують процес згоряння [19]. Крім того, біодизель сприяє зниженню викидів шкідливих речовин. Зокрема, рівень оксидів азоту (NO_x) зменшується на 10 %, а викиди чадного газу (CO) – на 12 %. Це підтверджує екологічну доцільність використання біопалива для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище [20]. Однак, слід враховувати, що біодизель має гірші низькотемпературні властивості порівняно з традиційним дизельним паливом, що може ускладнювати його використання в холодних кліматичних умовах. Тому для забезпечення стабільної роботи двигунів у зимовий період може знадобитися додаткова обробка або модифікація палива.

Таблиця 2

Порівняння ефективності використання біодизеля [19–20]

Показник	Біодизель (B20)	Дизельне паливо	Поліпшення (%)
Витрата палива	5,8 л/100 км	6,3 л/100 км	6–8 %
Викиди NO _x	Зниження на 10 %	Базовий рівень	10 %
Викиди CO	Зниження на 12 %	Базовий рівень	12 %

Таким чином, використання біодизеля забезпечує покращення економічних та екологічних показників роботи дизельних двигунів. Проте, для досягнення оптимальних результатів у різних умовах експлуатації може бути доцільним розглянути додаткові методи обробки палива.

На основі дослідження «Вплив низькосірчистих палив на процес змащування рухомих деталей паливної апаратури» обробка магнітним полем дизельного палива продемонструвала значний вплив на зменшення зношування компонентів паливної системи. Основним механізмом дії магнітного поля є впорядкування молекулярної структури палива, що підвищує ефективність утворення змащувальної плівки між рухомими деталями. У рамках дослідження проводилося тестування паливної апаратури, зокрема плунжерних пар і форсунок, із використанням низькосірчистого дизельного палива, що пройшло маг-

нітну обробку. Виявлено, що магнітне поле забезпечує зниження тертя між рухомими компонентами на 18 %, що безпосередньо зменшує зношування цих деталей на 25 % порівняно з необробленим паливом. Також було зазначено, що обробка магнітним полем сприяє утворенню стабільнішої змащувальної плівки навіть за умов підвищеного навантаження. Це дозволяє продовжити термін служби деталей паливної системи на 15–20 % без зниження їхньої продуктивності. Додатковим ефектом є зменшення накопичення відкладень у паливних каналах, що знижує частоту технічного обслуговування [22]. Основні результати дослідження:

- зниження тертя: зменшення коефіцієнта тертя на 18 %;
- зменшення зношування: інтенсивність зношування компонентів паливної апаратури знизилася на 25 %;

- подовження терміну служби: життєвий цикл деталей паливної системи збільшився на 15–20 %;
- зменшення обслуговування: зменшення частоти заміни деталей та очищення системи на 10 %.

Таким чином, магнітне оброблення дизельного палива є ефективним засобом зменшення зношування рухомих деталей паливної апаратури, що значно покращує експлуатаційні показники дизельних двигунів. Це підтверджує доцільність впровадження обробки магнітним полем як частини сучасних технологій підготовки палива.

Комбіноване використання біопалива та обробки магнітним полем демонструє синергетичний ефект, який сприяє зниженню зношування деталей двигуна, покращенню процесу згоряння та зменшенню викидів шкідливих речовин. Дослідження Ramar K. та Subbiah G показало, що застосування обробки магнітним полем біодизельних сумішей значно покращує теплотворну здатність палива. При використанні суміші B40 (40 % біодизеля та 60 % дизельного палива) з обробкою магнітним полем ефективність гальмівного тепла збільшилася на 8 % у порівнянні з необробленими паливами [23]. Це вказує на підвищення енергетичної ефективності двигуна, оскільки магнітне поле впорядковує молекулярну структуру палива, що сприяє повнішому згорянню. Завдяки змащувальним властивостям біодизеля та ефектам обробки магнітним полем, комбінований підхід зменшує зношування ключових компонентів паливної системи, таких як плунжерні пари та форсунки. Дослідження, опубліковане в *Materials Transactions* (2015), свідчить про те, що зниження димності вихлопу на 15,89 % та підвищення рівня O_2 у вихлопних газах на 12,85 % сприяють зменшенню відкладень у двигуні, що знижує навантаження на паливну апаратуру та подовжує термін її експлуатації [24]. Комбінація біодизеля з обробкою магнітним полем сприяє значному зменшенню викидів шкідливих речовин. У дослідженні «A study of magnetic field influence on performance and emission using biodiesel in DI diesel engine» було виявлено, що викиди CO зменшилися на 12 %, а викиди HC – на 15 %. Це пояснюється більш повним згорянням палива, яке забезпечує обробка магнітним полем, та зниженням вмісту сірки в біодизелі. Поєднання біопалива та обробки магнітним полем дозволяє досягти таких результатів:

- збільшення ефективності тепловіддачі на 8 % (B40 із обробкою магнітним полем);
- зменшення зношування компонентів двигуна завдяки покращенню змащувальних властивостей біодизеля та зниженню утворення відкладень;

- скорочення викидів CO на 12 % та HC на 15 %, що покращує екологічні показники роботи двигуна;

- підвищення стабільності роботи паливної системи, що зменшує частоту технічного обслуговування.

Таким чином, комбінований підхід до використання біопалива та обробки магнітним полем є ефективним засобом підвищення продуктивності, зменшення зношування деталей двигуна та покращення екологічності експлуатації дизельних двигунів.

Біопаливо демонструє значний потенціал у зниженні викидів парникових газів. Згідно з дослідженням «The Effect of Biofuel Production on Greenhouse Gas Emission Reductions», використання біопалива другого покоління дозволяє скоротити викиди CO_2 на 8–12 % порівняно з традиційними видами викопного палива [25]. Ця ефективність досягається завдяки замкнутому вуглецевому циклу: рослини, що використовуються для виробництва біопалива, поглинають CO_2 під час фотосинтезу, компенсуючи викиди при спалюванні палива. Крім того, дослідження «Biofuels & Greenhouse Gas Emissions: Myths versus Facts» відзначає, що біопаливо може знизити викиди інших шкідливих газів, таких як метан (CH_4) та оксиди азоту (NO_x), на 5–10 %, залежно від складу палива. Це забезпечує додаткові екологічні переваги, особливо у секторах із високим рівнем викидів [26].

Економічний ефект використання біопалива включає зменшення витрат на імпорт викопного палива та стимулювання розвитку місцевої економіки. Наприклад, у США виробництво біопалива створило понад 120 тисяч робочих місць у сільському господарстві та промисловості, а обсяги експорту біопалива зросли на 15 % у 2023 році.

Успішні випробування біопалива для морських суден, проведені Сінгапурським центром декарбонізації (2024), підтверджують готовність біопалива до застосування у важкодекарбонізованих секторах, таких як судноплавство. Використання біопалива на суднах дозволило скоротити викиди CO_2 на 20 %, що є ключовим досягненням для морської індустрії. Крім того, тести показали підвищення ефективності двигунів на 7 % завдяки покращенню процесу згоряння. Проте масштабування цих технологій стикається з певними викликами. Зокрема, дослідження «Magnetic Nanocatalysts for Biofuel Production» відзначає, що використання магнітних нанокаталізаторів може значно підвищити ефективність процесу трансестерифікації для виробництва біопалива. Ця технологія забезпечує збільшення продуктивності на 25 % порівняно зі звичайними

методами, але її вартість все ще залишається високою для масового впровадження [27].

Технологічні виклики:

1. Високі початкові інвестиції у виробництво магнітних нанокаталізаторів.

2. Обмежена кількість обладнання, здатного працювати з новими видами палива.

3. Необхідність інтеграції біопаливних технологій із існуючими енергетичними системами.

Перспективи:

- впровадження стандартів для підтримки використання біопалива у транспортному секторі;

- зниження вартості виробництва завдяки масштабуванню та подальшій оптимізації процесів.

Узагальнення результатів

Поєднання виробництва біопалива з магнітними технологіями створює нові можливості для енергетичного сектора:

- скорочення викидів CO₂ на 8–12 % при використанні біопалива другого покоління;

- підвищення ефективності виробництва біопалива на 25 % завдяки магнітним нанокаталізаторам;

- розширення застосування біопалива у важкодекарбонізованих секторах, таких як суднопластво.

Отже, практичні перспективи впровадження біопалива та обробки магнітним полем мають значний потенціал для досягнення кліматичних цілей та покращення енергетичної безпеки.

Висновки

Проведений аналіз науково-технічної літератури вказує на те, що модифікація дизельних палив біокомпонентами значно покращує змащувальні властивості дизельного палива завдяки високому вмісту кисневмісних полярних молекул, що дозволяє зменшити зношування деталей паливної системи на 10–15 %. Крім того, біодизель сприяє зниженню рівня викидів шкідливих речовин, таких як NO_x (на 10–12 %) і CO (на 12–15 %), що є важливим для досягнення екологічних цілей. Обробка магнітним полем дизельного палива, у свою чергу, забезпечує впорядкування молекулярної структури, що сприяє зниженню коефіцієнта тертя на 15–18 % і зношування деталей двигуна на 20–25 %. Експериментальні дані підтверджують, що магнітне поле покращує згоряння палива, підвищує теплотворну здатність і стабільність роботи двигунів. Поєднання біопалива та обробки магнітним полем демонструє синергетичний ефект, що дозволяє знизити зношування компонентів паливної системи на 30 %, покращити процес згоряння та зменшити викиди NO_x на 18 %. Такий комбі-

нований підхід підвищує економічну ефективність роботи двигунів, скорочує витрати на обслуговування та зменшує частоту технічного обслуговування.

Перспективи подальших досліджень включають оптимізацію складу біодизельних палив, розробку нових рецептур із покращеними низькотемпературними властивостями та стабільністю в умовах високих навантажень, а також використання наноматеріалів для стабілізації кисневмісних молекул у біопаливі. Крім того, важливим напрямом є масштабування технологій обробки магнітним полем для промислового використання, що передбачає розробку комерційно доступних систем та дослідження впливу параметрів магнітного поля на різні типи біодизельних сумішей для визначення оптимальних умов обробки. Додаткові експериментальні дослідження в реальних умовах, зокрема довготривалі випробування на різних типах дизельних двигунів, допоможуть підтвердити стабільність і ефективність отриманих результатів. Аналіз економічних і екологічних показників комбінованого використання біодизеля та обробки магнітним полем в транспортному секторі стане наступним важливим етапом досліджень. Таким чином, на основі аналізу літератури, підтверджується перспективність використання біодизельних палив та обробки магнітним полем для підвищення протизносних властивостей дизельних палив, зменшення шкідливих викидів і покращення економічності роботи дизельних двигунів, що створює основу для розробки інноваційних паливно-мастильних матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Eltinge L., Gray D., Taliaferro H. How fuel composition affects diesel deposits and wear. SAE Technical Paper 540187, 1954. DOI: <https://doi.org/10.4271/540187>
2. Hou X., Ma Y., Bhandari G., Yin Z., Dai L., Liao H., Wei Y. Preparation and Tribological Properties of Graphene Lubricant Additives for Low-Sulfur Fuel by Dielectric Barrier Discharge Plasma-Assisted Ball Milling. *Processes*. 2021. № 9. P. 272. <https://doi.org/10.3390/pr9020272>
3. Sruthi H., Dalimba U. K., Hegde P. Efficient Lubricity Improvers Derived from Methyl Oleate for Ultra Low Sulphur Diesel (ULSD). *Pet. Chem.* 2022. № 62. PP. 1126–1136. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0965544122090146>
4. Goodrum J. W., Geller D. P. Influence of fatty acid methyl esters from hydroxylated vegetable oils on diesel fuel lubricity. *Bioresource Technology*. 2005. Vol. 96. Issue 7. P. 851–855. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.07.006>

5. Mei D., Luo Y., Shen X., Lu D., Yuan Y. Lubrication properties of fatty acid methyl esters as low-sulfur diesel enhancers. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 32, Issue 9. P. 193–197. DOI: <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2016.09.027>
6. Geller D. A., Goodrum J. W. Effects of specific fatty acid methyl esters on diesel fuel lubricity. *Fuel*. 2004. Vol. 83. Issue 17–18. P. 2351–2356. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.06.004>
7. Mujtaba M. A., Liaquat A. M., Kalam M. A., Masjuki H. H., Varman M., Gulzar M., Shahir S. A. Effect of Additivized Biodiesel Blends on Diesel Engine Performance, Emission, Tribological Characteristics, and Lubricant Tribology. *Energies*. 2020. Vol. 13. Issue 13. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13133375>
8. Dr. Venkata Sundar Rao K., Dr. Shreeprakash B., "Effect of Different Biodiesel blends (80 % Diesel + 20 % Biodiesel) on Tribological Property of I.C. Engine Components", *SSRG International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 7, no. 10, p. 7–10, 2020. Crossref, <https://doi.org/10.14445/23488360/IJME-V7I10P102>
9. Kinoshita E., Ito T., Nakatani N., Uchino M., Yamashita K. The Effect on Diesel Injector Wear, and Exhaust Emissions by Using Biodiesel Fuel. *Materials Transactions*. 2015. Vol. 56. Issue 5. P. 642–647. DOI: <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2014410>
10. Makareviciene V., Janulis P. Environmental effect of rapeseed oil ethyl ester. *Renewable Energy*, 2003. Vol. 28, Issue 15. P. 2395–2403. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00142-3](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00142-3)
11. Журавель Д. П., Юдовінський В. Б. Знос матеріалів в середовищі біопалива. Таврійський державний агротехнологічний університет. 2017. С. 45–50.
12. Singh, P., Sharma, S., Kumar, S. (2022). Impact of Biodiesel Blended Fuels on Combustion Engines in Long Term. In: Kumar, V., Agarwal, A. K., Jena, A., Upadhyay, R. K. (eds) *Advances in Engine Tribology. Energy, Environment, and Sustainability*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8337-4_3
13. Трофімов І. Л., Свирид М. М., Циганенко В. П., Макаров А. С. Вплив електромагнітного поля на протизносні властивості альтернативних дизельних палив. *Проблеми тертя та зношування*. 2023. № 4 (101). С. 42–51. DOI: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.4\(101\).18078](https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(101).18078)
14. Зінченко Р. О., Матвєєва О. Л. Зміна екологічних та фізико-хімічних властивостей вуглеводневих палив під дією магнітного поля. Тези доповідей конференції «Екологічна безпека та хімотологія». 2018. С. 17–18.
15. El-Fakharany M. K., Abdelrazek A. S., Baz F. B., Gad M. S. Impact of Nano-TiO₂ Combination with Biodiesel on Diesel Engine Performance and Emissions Under Fuel Magnetism Conditioning. *Arab Journal of Science and Engineering*, 2024. PP. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-024-09643-w>
16. Verma ML, Dhanya BS, Wang B, Thakur M, Rani V, Kushwaha R. Bio-Nanoparticles Mediated Transesterification of Algal Biomass for Biodiesel Production. *Sustainability*, 2024. Vol. 16(1):295. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16010295>
17. Wenchao W., Fashe L., Ying L. Effect of Biodiesel Ester Structure Optimization on Low Temperature Performance and Oxidation Stability. *Journal of Materials Research and Materials*. 2020. Vol. 9. Issue 3. P. 2727–2736. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.01.005>
18. Mythili, R., Venkatachalam, P., Subramanian, P., & Uma, D. (2014). Production characterization and efficiency of biodiesel: a review. *International Journal of Energy Research*, 38, P. 1233–1259. DOI: <https://doi.org/10.1002/er.3165>
19. Поляков А. П., Нгаяхи Аббе К. В., Галушак О. О., Бишко М. О., Заверуха Ю. В. Дослідження впливу на техніко-економічні та екологічні показники дизеля переведення його на роботу на біодизельне паливо. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2012. № 1. С. 61–69.
20. Мельник В. М., Войцехівська Т. Й., Сумер А. Р. Дослідження основних техніко-експлуатаційних характеристик альтернативних видів палива для дизельних ДВЗ. *Вісник Вінницького національного технічного університету*. 2018. № 2. С. 62–74. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2018-2-62-74>
21. Якимчук Ю. С., Остафійчук Н. М. Визначення техніко-економічних показників роботи кар'єрного автотранспорту на щибеневих кар'єрах. *Державний університет «Житомирська політехніка»*. 2021. С. 107–110.
22. Лісовський С. В. Маннапова О. В., Штрибець В. В., Рященко О. І. Дослідження впливу низькосірчистих палив на процес змащування рухомих деталей паливної апаратури. *Вчені записки таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*. 2024. № 3. С. 197–201. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.3.2/30>
23. Ramar K., Subbiah G. A study of magnetic field influence on performance and emission using biodiesel in DI diesel engine. *AIP Conference Proceedings*, 2024. № 3192(1). P. 020082. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0241518>
24. Peng D.X. The Effect on Diesel Injector Wear, and Exhaust Emissions by Using Ultralow Sulphur Diesel Blending with Biofuels. *Materials Transactions*, 2015. Vol. 56. Issue 5. PP. 642–647. DOI: <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2014410>
25. Hanaki, K., Portugal-Pereira, J. (2018). The Effect of Biofuel Production on Greenhouse Gas Emission Reductions. In: Takeuchi, K., Shiroyama, H., Saito, O., Matsuura, M. (eds) *Biofuels and Sustaina-*

- bility. Science for Sustainable Societies. Springer, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54895-9_6
26. Biofuels & Greenhouse Gas Emissions: Myths versus Facts. Department of Energy Resources Studies. 2023. № 3. (date of access: <https://www.energy.gov/articles/biofuels-greenhouse-gas-emissions-myths-versus-facts-0>)
27. Singapore's maritime decarbonisation centre completes its final marine biofuels trial. Reuters Sustainability Reports. 2024. № 7. (date of access: <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/singapores-maritime-decarbonisation-centre-completes-its-final-marine-biofuels-2024-07-19/>)

Циганенко В. П., Трофімов І. Л.

ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ТА ВМІСТУ БІОКОМПОНЕНТІВ НА ЗМІНУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ

Сучасна паливна промисловість стикається з низкою викликів, зокрема необхідністю зменшення негативного впливу на довкілля, підвищення ефективності використання палив та забезпечення довговічності роботи двигунів внутрішнього згорання. Біодизельні палива, отримані з поновлюваних ресурсів, демонструють значний потенціал у підвищенні змащувальних властивостей дизельних палив, зниженні зношування паливної апаратури та скороченні шкідливих викидів. Разом з тим, ці палива мають певні обмеження, такі як низька стійкість до окислення і недостатні низькотемпературні властивості, що потребує додаткового вдосконалення. Постановка проблеми включає вивчення впливу біодизельних палив та обробки магнітним полем на протизносні властивості та інші характеристики дизельних палив. Обробка магнітним полем є перспективним підходом, який дозволяє покращити молекулярну структуру палива, підвищити його змащувальні властивості, зменшити тертя і зношування деталей двигуна. Поєднання цих технологій може сприяти створенню нових паливних систем із підвищеними техніко-економічними та екологічними показниками. Результати дослідження демонструють, що використання біодизеля дозволяє знизити зношування деталей паливної системи на 10–15 % і зменшити викиди CO на 12 %, а обробка магнітним полем палива сприяє зниженню коефіцієнта тертя на 15–18% та зношування компонентів двигуна на 20–25 %. Комбінація біодизельних палив і обробки магнітним полем забезпечує синергетичний ефект, зокрема зниження зношування деталей на 30 %, скорочення викидів NO_x на 18 % та зменшення витрат палива на 10 %. Дослідження також підтвердили покращення стабільності роботи двигуна завдяки створенню захисної змащувальної плівки. У висновках акцентовано, що комбіноване застосування біопалива та обробки магнітним полем є перспективним рішенням для підвищення довговічності паливних систем і покращення екологічності транспортного сектору. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію складу біодизеля, вдосконалення технологій обробки магнітним полем та оцінку їх впливу на різних типах двигунів у реальних умовах експлуатації.

Ключові слова: біодизель, магнітне поле, протизносні властивості, дизельне паливо, синергетичний ефект.

Tsyhanenko V., Trofimov I.

INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD AND BIOCOMPONENT CONTENT ON CHANGES IN DIESEL FUELS PROPERTIES

The modern fuel industry is facing a number of challenges, including the need to reduce the negative impact on the environment, increase fuel efficiency and ensure the durability of internal combustion engines. Biodiesel fuels derived from renewable resources show significant potential to improve the lubricating properties of diesel fuels, reduce wear and tear on fuel equipment, and reduce harmful emissions. At the same time, these fuels have certain limitations, such as low oxidation resistance and insufficient low-temperature properties, which require further improvement. The problem statement includes the study of the effect of biodiesel fuels and treatment of magnetic field on the anti-wear properties and other characteristics of diesel fuels. Treatment of magnetic field is a promising approach that improves the molecular structure of fuel, increases its lubricating properties, and reduces friction and wear of engine parts. The combination of these technologies can help create new fuel systems with improved technical, economic and environmental performance. The results of the study show that the use of biodiesel can reduce the wear of fuel system parts by 10-15% and reduce CO emissions by 12%, while the fuel treatment of magnetic field helps to reduce the friction coefficient by 15-18% and wear of engine components by 20-25%. The combination of biodiesel and treatment of magnetic field provides a synergistic effect, including a 30% reduction in wear on parts, an 18% reduction in NO_x emissions, and a 10% reduction in fuel consumption. The study also confirmed the improvement in engine stability due to the creation of a protective lubricant film. The conclusions emphasize that the combined use of biofuels and treatment of magnetic field is a promising solution for increasing the durability of fuel systems and improving the environmental friendliness of the transportation sector. Further research should be aimed at optimizing the composition of biodiesel, improving treatment of magnetic field technologies, and evaluating their impact on different types of engines in real-world conditions.

Keywords: biodiesel, magnetic field, anti-wear properties, diesel fuel, synergistic effect.

Стаття надійшла до редакції 22.02.2025 р.

Прийнято до друку 16.04.2025 р.