

УДК 621.831.004.55

Ю. М. ТЕРЕЩЕНКО, І. В. МОРОЗОВА

Національний авіаційний університет, Київ

## ВПЛИВ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНОЇ ДІЇ НА ПРОТИЗНОШУВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ПАЛЬНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

*Досліджено спосіб електрофізичної дії на протизношувальні властивості пально-мастильних матеріалів для збільшення надійності і ресурсу роботи теплових двигунів. Проаналізовано перебіг фізичних і хімічних процесів, які відбуваються при використанні даного способу. Визначено збільшення і зниження зношування сталі при магнітному впливі в середовищі палива та масла.*

**Ключові слова:** протизношувальні властивості пально-мастильних матеріалів, зношування сталі ШХ15, магнітне поле, електрофізична дія, електромагнітна енергія.

**Вступ.** Близько 80% всіх відмов техніки відбувається внаслідок поверхневого руйнування і є результатом зношування їхніх тертьових сполучень. Технічно й економічно важлива проблема тертя, що змазує дії і зношування ставиться до числа найбільш великих і складних проблем техніки.

Класифікація відмов і несправностей теплових двигунів показує, що однієї із причин підвищеного зношування сполучених деталей, обумовленим тертям ковзання, є незадовільні протизношувальні властивості пально-мастильних матеріалів. Одним зі шляхів збільшення надійності і ресурсу роботи теплових двигунів досягається поліпшенням властивостей, що змазують, застосовуваних експлуатаційних матеріалів.

**Постановка завдання.** Сучасна паливна апаратура має велику кількість різних по призначенню і конструкції золотникових і плунжерних пар, які здійснюють автоматичне регулювання подачі палива у двигун. Виготовляють їх з легированих сталей високої твердості, таких як: ШХ15, ХВГ, Х12М і ін. Аналіз відмов свідчить, що однієї з основних причин виходу з ладу паливної апаратури є підвищене зношування прецизійних пар, де паливо є середовищем, що змазує.

Проведено експерименти по вивченню способу електрофізичної дії на протизношувальні властивості авіаційного палива. Дослідження проводили на зразках гідроочищеного палива Т-8У і прямогонного ТС-1 в умовах тертя ковзання на лабораторній установці. Були досліджені протизношувальні властивості палив при трьох видах впливу. У першому випадку паливо піддавали впливу магнітного поля двох постійних магнітів, розташованих послідовно і напруженістю магнітних полів, рівної 340 кА/м і 156 кА/м відповідно. Швидкість прокачування палива визначали по максимальному сигналу абсорбції, після чого генератори високої і низькою частот виключали. В інших двох випадках на паливо впливали електрофізичним способом, тобто вплив на паливо відбувалося в тих же постійних магнітних полях при включених генераторах. При цьому відбувалося поглинання електромагнітної енергії коливального контуру системою ядерних спинів водню, тобто відбувалася інверсія і спостерігався сигнал абсорбції. Швидкість плинуну палива контролювали по максимуму сигналу абсорбції. У третьому

випадку додатково включили генератор нутації й у поле постійного магніту 156 кА/м спостерігали сигнал емісії, що означало віддачу зеємановської енергії системою ядерних спинів водню коливальному контуру.

Матеріалом для пари тертя служила високоякісна легована сталь зі стабільною структурою типу сталі ШХ15. Заготівлі зі сталі ШХ15 піддавали термообробці, що забезпечує твердість робочих поверхонь  $KPC = 58-62$ . Результати експериментів представлені на рис. 1 і рис. 2.

Як видно з рисунків, вплив на авіаційні палива постійного магнітного поля приводить до зменшення зношування сталі ШХ15 при терті ковзання в середовищі палива Т-8В приблизно на 12 – 16%, а в паливі ТС-1 на 10 – 14%, що відповідає показнику протизношувальних властивостей відповідно до  $DO \approx 119\%$  і  $DO \approx 116\%$ .

Застосування способу електрофізичної дії (ЕФД) при сигналі абсорбції ще більше поліпшує протизношувальні властивості палив і зменшує зношування контактуючих поверхонь сталі в паливі Т-8В на 26 – 30%. ( $K_{T-8B} \approx 144\%$ ) і в паливі ТС-1 на 34–38% ( $K_{ТС-1} \approx 164\%$ ). При способі електрофізичної дії, але при одержанні сигналу емісії протизношувальні властивості палив погіршуються, що приводить до збільшення зношування зразків сталі в товарних паливах на 16 – 20%, показник протизношувальних властивостей палив при цьому зменшується і дорівнює  $K_e \approx 84 - 86\%$ . Відзначено також, що погіршення протизношувальних властивостей палив приводить до схоплювання 30% зразків тертя при дослідженні ефекту нутації.

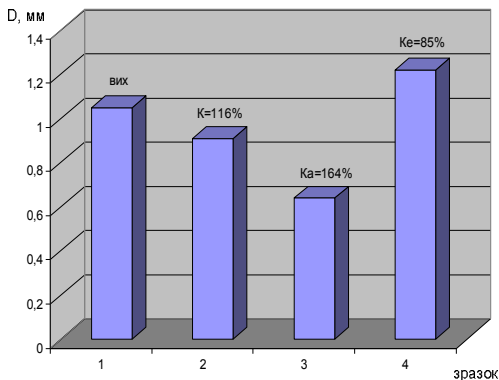


Рис. 1. Протизношувальні властивості товарного гасу Т-8В.

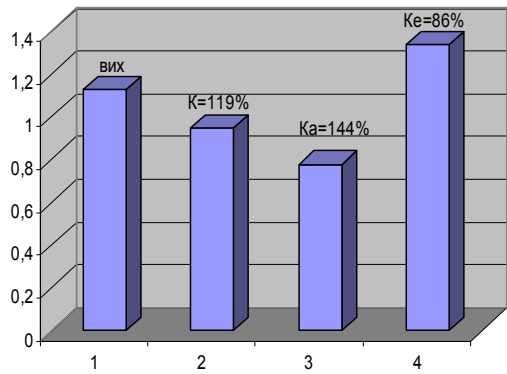


Рис. 2. Протизношувальні властивості товарного гасу ТС-1

Для підвищення вірогідності визначення зношування сталі ШХ15 при терті ковзання був застосований метод емісійної спектроскопії, що дозволяє визначати продукти зношування в вуглеводневому середовищі, що спалюється у вольтової дузі змінного струму. Метод має високу чутливість і дозволяє визначати в паливі зміст всіх металів. Одночасно, визначення хімічного складу проводили маспектроскопічним і хроматографічним методами. Дослідженню піддавали товарний гас ТС-1 до і після випробувань на лабораторній установці по визначенню протизношувальних властивостей палив.

Результати досліджень показали відсутність заліза у вихідному зразку гасу. У зразку палива після наробітку, але без попередньої електрофізичної дії, виявлено заліза – 0,00048% ваги, а в зразку палива, що перед наробітком був підда-

ний електрофізичної дії, зміст заліза був у два рази менше – 0,00024% . Результати хімічного складу палива ТС-1 до і після випробувань наведені в таблиці.

При розгляді отриманих результатів статистично оброблених матеріалів серії досвідів можна побачити певний зв'язок між протизношувальними властивостями і складом товарного гасу. Після електрофізичної дії і наробітки палива в чотири рази збільшився зміст смолистих сполук, на ~23% зменшився зміст кисневих сполук і на ~25% сірчисті. Зниження змісту заліза у два рази свідчить про зменшення зношування тертьових поверхонь деталей зі сталі ШХ15. Все це в комплексі говорить про поліпшення протизношувальних властивостей товарного гасу, а отже й про можливість збільшення критичного навантаження.

Дизельні палива також як і авіаційне паливо є мастильним матеріалом для деталей, що рухаються, паливної апаратури, що труться пар плунжерних паливних насосів, а насоси високого тиску – це основний і самий складний агрегат паливоподаючої системи дизелів.

Дослідження протизношувальних властивостей дизельних палив Л-0,2-40 і Л-0,5-40 проводили в умовах тертя ковзання при односпрямованому лінійному контакті при фіксованих зовнішніх умовах. Підготовка робочої поверхні зразка і диска зі сталі ШХ15 здійснювали на притиральних плитах алмазною пастою до чистоти відповідної 0,160 – 0,040 мкм.

Таблиця

**Хімічний склад палива ТС-1 до і після електрофізичної дії**

| Найменування показників | Вихідне паливо, % | Паливо після наробітку |              |
|-------------------------|-------------------|------------------------|--------------|
|                         |                   | До ЕФД, %              | Після ЕФД, % |
| Зміст вуглеводнів:      |                   |                        |              |
| – парафінових сполук    | 52,50             | 52,80                  | 52,73        |
| – нафтових сполук       | 32,10             | 31,75                  | 31,52        |
| – ароматичних сполук    | 13,50             | 13,35                  | 13,52        |
| Зміст смолистих сполук  | –                 | 0,006                  | 0,024        |
| Зміст сірки             | 0,45              | 0,37                   | 0,27         |
| Зміст кисневих сполук   | 0,075             | 0,35                   | 0,27         |
| Зміст азотистих сполук  | 1,2               | 1                      | 1,1          |
| Зміст води              | 0,0035            | 0,017                  | 0,018        |

Результати випробувань наведені на рис. 3, з якого видно, що застосування дизельного палива з підвищеним змістом сірки 0,5%, сприяє збільшенню зношування на 40-50% у порівнянні з випробуванням у паливі з меншою кількістю сірки – 0,2%, тобто зі збільшенням змісту сірки і сірчистих сполук у дизельних паливах їх протизношувальні властивості погіршуються.

Електрофізична дія (сигнал абсорбції) на дизельні палива з різним змістом сірки приводить до зниження зношування пари тертя зі сталі ШХ15 у дизельному паливі Л-0,2-40 на 42 – 46%, а в паливі Л-0,5-40 на 34 – 38%, тобто електрофізична дія сприяє поліпшенню протизношувальних властивостей дизельних палив і показники відповідно рівні  $K_{0,2} \approx 181\%$  і  $K_{0,5} \approx 162\%$ .

Одночасно були проведені дослідження кислотності даного дизельного палива методом поступового додавання розчину їдкого кали відомої концентрації до певної кількості палива доти, поки всі кислоти не будуть нейтралізовані.

Експеримент показав, що після електрофізичної дії на дизельне паливо відбувається підвищення кислотності палива з 1,70 мг КОН/100 мол до 2,21 мг КОН/100 мол, тобто зміст органічних кислот у паливі збільшується на 25 – 30%. Це у свою чергу також приводить до зменшення зношування або підвищення кислотності дизельного палива в межах припустимих стандартом, сприяє поліпшенню його протизношувальних властивостей.

При електрофізичної дії (сигнал емісії) на дизельні палива зношування пари тертя збільшується на 10 – 15%, тобто протизношувальні властивості дизельного палива погіршуються і показник  $K_{\Sigma} \approx 87 - 91\%$ .

Результати дослідження протизношувальних властивостей реактивного і дизельного палив показують, що електрофізична дія, з одержанням сигналу абсорбції, на палива приводить до зниження величини зношування, а отже, до поліпшення протизношувальних властивостей палив.

Як було сказано електрофізична дія на вуглеводневе палива при підвищенні температури палива, сприяє збільшенню швидкості окислювання вуглеводнів, утворенню смолистих сполук і інших процесів, які приводять до хімічної зміни складу палив. Всі ці процеси відбуваються при активній взаємодії діаманітного середовища і парамагнітного кисню з утворенням продуктів окислювання. Продукти окислювання по своїй природі представляють поверхнево-активні речовини і володіють змащувальним ефектом.

Крім того, вуглеводні, що є носіями природної присадки – молекулярного кисню, активно беруть участь у процесі граничного тертя. Тому утворення окисних плівок у зоні тертя відбувається як сполучений процес окислювання металу і вуглеводень. При цьому важливе значення мають три фактори: окисна активність середовища, окислюваність вуглеводнів і умови переносу молекулярного кисню до зон тертя. У результаті можна сказати, що зношування пари тертя знижується через зменшення концентрації розчиненого кисню, що витрачається на окислювання рідкого середовища і виникнення граничних плівок із продуктів окислювання.

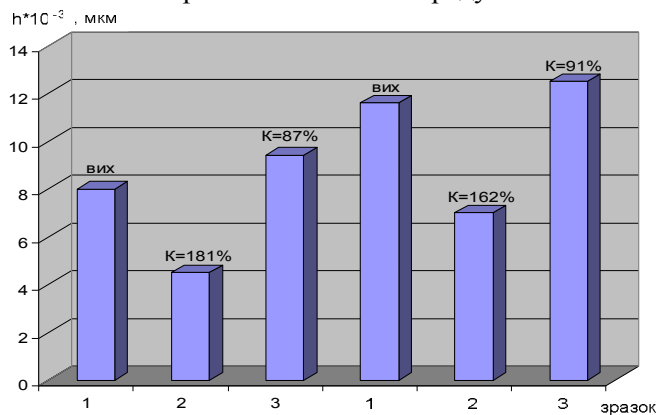


Рис. 3. Протизношувальні властивості дизельних палив Л-0,2-40 і Л-0,5-40.

Збільшення зношування металу після електрофізичної дії з одержанням сигналу емісії, тобто зменшенням «енергозапаса» вуглеводневої системи, пояснюється, очевидно, зменшенням окисної активності вуглеводневого середовища за рахунок зміни взаємодії з парамагнітним киснем і збільшенням концентрації розчиненого кисню в зоні тертя. Інакше кажучи, при надлишку кисню в зоні тертя

процес окислювання металу йде до утворення кінцевих продуктів. Товсті плівки суміші окислів мають невисоку міцність, вони тендітні і руйнуються під дією сил тертя. Надалі процес окислювання повторюється і спостерігається інтенсивне зношування і значні коливання сили тертя. У низькомолекулярних вуглеводневих рідинах надлишок кисню в зоні тертя приводить до яскраво вираженого схоплювання (до 30% випробувань) тертьових поверхонь.

При вивченні протизношувальних властивостей палив виявлене явище, що характеризується «ефектом післядії», тобто збереженням певних властивостей поверхнею, захищеною плівкою, металу протягом тривалого часу після виводу палива, підданого електрофізичній дії, із системи. «Ефект післядії» зберігається тривалий час, від декількох днів до декількох тижнів, витримує вплив високих температур до 773 К, електромагнітне випромінювання високої частоти і дія різних розчинників.

Мастильна здатність при граничному режимі змащення залежить від складних фізичних і хімічних процесів, що протікають на поверхні поділу фаз тверде тіло – мастильний матеріал. Вона визначається утворенням граничного шару і взаємодією активних компонентів змащення на поверхню металів.

Дослідження показали, що після електрофізичної дії на масло МС-8п постійним магнітним полем зношування пари тертя зі сталі ШХ15 в умовах тертя ковзання зменшується в 2,0–2,5 рази ( $K \approx 244\%$ ). Вплив на масло способом електрофізичної дії приводить до зменшення зношування в 3,0–3,5 рази ( $K \approx 423\%$ ) (рис. 4). Ці результати підтверджують більшу ефективність електрофізичної дії на протизношувальні властивості масла МС-8п, тобто поліпшення його здатності запобігати зношування поверхонь тертя в умовах стійкої граничної плівки масла в області окисного зношування.

Одночасно із цим установлене збільшення осьового навантаження схоплювання на 20% і зменшення температури масла і зразка на 25–30%. Відзначено зменшення моменту тертя на 12–16%.

Електрофізична дія енергетично сприяє утворенню поверхнево-активних речовин, які мають підвищену здатність, що змазує, тобто електрофізична дія у присутності розчиненого кисню ініціює процеси на межі поділу метал – мастильне середовище з утворенням тонкоплівкового об'єкта, що сприяє зниженню зношування сталі.

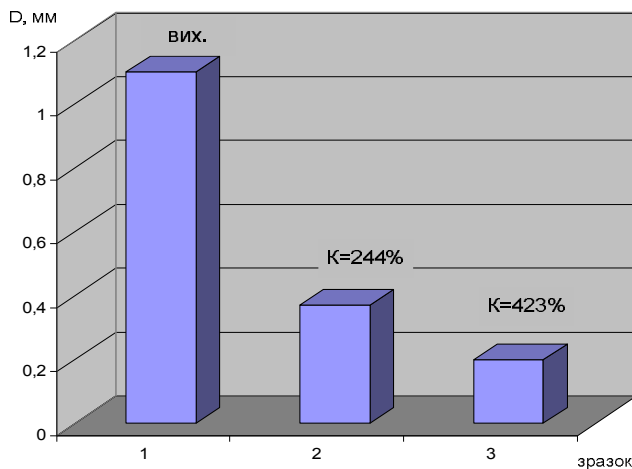


Рис. 4. Протизношувальні властивості мастила МС-8п

**Висновки.** Проведені дослідження свідчать про те, що пально-мастильні матеріали, піддані електрофізичній дії мають кращі протизношувальні властивості. При використанні способу електрофізичної дії з одержанням сигналу абсорбції відбувається більше ефективно зменшення зношування сталі ШХ15 у досліджуваних паливах та маслі у порівнянні з впливом постійного магнітного поля. Крім того, максимальний ефект впливу виходить при максимальному сигналі ядерної абсорбції, що можливо тільки при резонансній частоті змінного електромагнітного поля. Резонансна частота коливального контуру повинна бути дорівнює частоті прецесії ядер водню в даному постійному магнітному полі. Відхід від резонансної частоти істотно знижує ефективність впливу на пально-мастильні матеріали, тобто не відбувається зміни заселеності спінових рівнів ядер за рахунок поглинання енергії електромагнітного поля коливального контуру. Це говорить про якісну взаємодію електрофізичної дії з вуглеводневою речовиною.

#### Список літератури

1. Браун Э. Д. Трение, знос и смазка. / Э. Д. Браун, Э. М. Берлинер, А. В. Чичинадзе – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
2. Вонсовский С.В. Магнетизм микрочастиц / С.В. Вонсовский – М.: Наука, 1973. – 279 с.
3. Варенич И. А. Исследование противоизносных свойств трансмиссионного масла ТМ-3-9БР / И. А. Варенич, Е. И. Станюк, М. А. Тини // Трение и износ. 2005 г., том 26, № 3. – С. 225–231.
4. Сликтер Ч. М. Основы теории магнитного резонанса. / Ч. М. Сликтер – М.: Мир, 1981. – 478 с.
5. Шец С. П. Критерий работоспособности магнитожидкостного смазочного материала в трибосопряжениях подшипниковых узлов / С. П. Шец // Вентник Брянского государственного технического университета. Брянск.: Брянск ГПУ. №1.(29), 2011. С. 44-46.

Стаття надійшла до редакції 19.05.2016

*YU. TERESCHENKO, I. MOROZOVA*

#### INFLUENCE OF ELECTRO-PHISICAL PROCESSING ON THE HEAT ENGINES FUEL AND LUBRICATE MATERIALS ANTI-WEAR PROPERTIES

There was studied the way of electro-physical processing influence on the fuel and lubricate materials anti-wear properties for improving the heat engine reliability and life time. Physical and chemical processes that occur while using this method were analyzed. Steel wear degree increase and decrease due to magnetic influence in the fuels and lubricants was determined.

**Key words:** anti-wear properties of fuel and lubricate materials, ШХ15steel wear, magnetic field, electro-physical influence, electromagnetic energy.

**Терещенко Юрій Матвійович** – д-р техн. наук, професор кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету.

**Морозова Ірина Володимирівна** – доцент кафедри електроніки Національного авіаційного університету, iramoro@ukr.net.