

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.3(96).16834

В. І. КУБІЧ¹, О. Г. ЧЕРНЕТА², Д. Ю. МИМОХОД¹¹Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна²Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна

ВПЛИВ ПРИМУСОВО ЗІСТАРЕНИХ МОТОРНИХ ОЛИВ НА ТРИБОЛОГІЧНИЙ СТАН МОДЕЛЬНОГО ТРИБОЗ'ЄДНАННЯ

Наведено результати триботехнічних випробувань мастильних утворень, які формувалися в умовах подачі моторних олив AZMOL 15W40 CI-4/SL, EVO 5W40 SN/CF та за її відсутністю на поверхнях тертя елементів модельного трибоз'єднання «рухомий диск – нерухома колодка» для трибосистеми матеріалів «40X-AO20-1». При цьому зразки моторних олив були попередньо примусово піддані взаємодії з картерними газами двигуна ВА3-21011 з різною інтенсивністю прориву через зазор ЦПГ ДВЗ. На підставі побудованих закономірностей зміни динамічного коефіцієнта тертя при ступінчастому навантаженні та відносної температури за часом випробувань встановлено, що в умовах відсутності підживлення зон тертя мінеральна моторна олива зі зміненими експлуатаційними показниками погіршує трибологічний стан досліджуваної системи матеріалів, а синтетична олива, навпаки, поліпшує.

Ключові слова: моторна олива, картерні гази, динамічний коефіцієнт тертя, температура, нормальне навантаження, час випробувань.

Вступ. Довговічність трибоз'єднань ДВЗ обумовлюється рядом факторів, одним із яких є здатність компонентів моторних олив формувати на робочих поверхнях деталей мастильні утворення, які забезпечують відсутність патологічних руйнувань їх поверхневих шарів. Особливо це актуально, коли має місце порушення режимів мащення, наприклад, при пуску ДВЗ на робочих режимах, але при зменшенні кінематичної в'язкості моторних олив [1]. На якість формування мастильних утворень впливає як початковий стан товарних моторних олив, так і змінений стан за значеннями їх експлуатаційних параметрів: кінематична в'язкість, кислотне число (КЧ), лужне число (ЛЧ) тощо. Останні змінюються як за рахунок процесів, що мають місце в трибоз'єднаннях ДВЗ, наприклад, в підшипниках ковзання колінчастого валу, так і за рахунок хіміко-механічної взаємодії з газами, що прориваються через трибоз'єднання деталей ЦПГ, тобто з картерними газами (КГ). Особливо це важливо, коли прорив відпрацьованих газів перевищує допустиму межу та інтенсивність взаємодії з моторною оливою катастрофічно підвищується. З цього витікає прояв більшої «внутрішньої оливної небезпеки», зниження екологічних та економічних показників роботи ДВЗ у цілому.

Аналіз публікацій та постановка мети досліджень. Питанням оцінки змін експлуатаційних показників моторних олив та їх впливам на технічний стан ДВЗ у цілому приділяється значна увага, про що свідчать наукові публікації багатьох дослідників [2-5].

Цим питанням також присвячені наукові праці [6,7], однак в них вже пов'язуються процеси параметрів стану картерних газів у ДВЗ зі змінами властивостей моторних олив за різними основами. При цьому в роботі [6] за результатами експериментальних досліджень з фізичним моделюванням прискореного аерування (зістарення моторної оливи за значеннями експлуатаційних параметрів) проб моторних олив отримано закономірності зміни

запропонованого комплексного критерію E_M для моторних олив AZMOL 15W40 CI-4/SL, EVO 10W40 SM/CF, EVO 5W40 SN/CF від збільшення прориву відпрацьовуваних газів. Однак питання щодо визначення впливу хімотологічного стану отриманих мірних об'ємів моторних олив на характеристики тертя та зношування у модельних зразках матеріалів деталей, наприклад, групи колінчастого валу двигуна остаеться відкритими. Це дослідження являє собою розвиток наукового напрямлення, що позначено в роботі [6].

Метою роботи є визначення закономірностей зміни трибологічного стану трибоз'єднання «диск, що обертається-колодка» при фізичному моделюванні навантаження на мастильні утворення, що створюються на поверхнях тертя з моторних олив, які попередньою були піддані взаємодії з картерними газами.

Методика проведення досліджень. Фізичне моделювання навантаження на мастильні утворення, які формувались при терті, здійснювалось у відповідності з методикою, наведеною у роботі [8]. При цьому створювались умови взаємодії металевих поверхонь через шари моторної оливи, які формувались на поверхнях тертя диску, що обертався, та нерухомої колодки. По-перше, проводилось припрацювання моторної оливи. Мала місце періодична подача оливи в зону тертя, що у наступному визначало характеристику припрацювання елементів трибоз'єднання, рис. 1 а. Як видно з рис. 1 а біля зони тертя при обертанні диска постійно утримується капля моторної оливи визначеного об'єму. При додаванні свіжої порції оливи спостерігалось зливання деякого об'єму оливи та відтворення нового сталого об'єму, який надійно утримувався біля зони та створював середовище підживлення зони тертя. По-друге, визначалась несуча здатність утворених припрацюванням мастильних шарів при відсутності підживлення зони тертя оливою, рис. 1 б. Як видно з рис. 1 б, біля зони тертя відсутня капля моторної оливи, і працює тільки деяка кількість оливи, яка тонким шаром укриває диск при його обертанні.

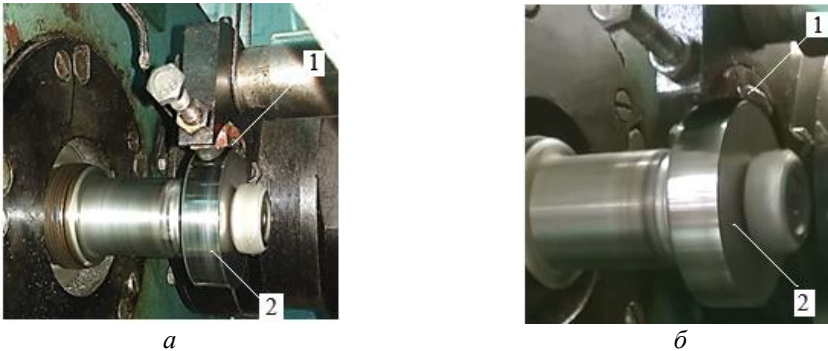


Рис. 1. Контакт елементів модельного трибоз'єднання «диск, що обертається - нерухома колодка», яке встановлено на машині тертя СМЦ-2:

а – при терті з подачею оливи; б – при відсутності подачі оливи; 1 – колодка; 2 – диск

Частота обертання диску складала 300 хв^{-1} , що відносно відтворювало швидкісний режим взаємодії трибоз'єднань колінчастого валу ДВЗ при його пуску. Навантаження та розвантаження контакту з подачею оливи здійснювалось ступінчасто з нормальними зусиллями 25 Н, 70 Н, 140 Н, 160 Н, 210 Н, 250 Н, 300 Н кожні 3 хв. При відсутності подачі оливи навантаження та розвантаження контакту з подачею оливи здійснювалось ступінчасто з нормальними зусиллями

45 Н, 140 Н, 160 Н, 210 Н, 250 Н, 300 Н, 340 Н, 210 Н, 250 Н, 390 Н, 430 Н, 470 Н, 570 Н, 620 Н, 670 Н, 720 Н кожні 3 хв. Такій підхід обумовлювався, по-перше, намаганням відтворити значення можливої результуючої сили, яка навантажує підшипники колінчастого валу ДВЗ при його пуску, та, по-друге, намаганням не пропустити момент порушення несучої здатності мастильних утворень.

Диск був виготовлений з легованої сталі 40Х із зовнішнім діаметром $d = 50$ мм і шириною $b = 10$ мм. Після кожного дослідження його робоча поверхня шліфувалась до шорсткості $R_a = 0,08$ мкм та оброблялась бензин-калоша. Зразки колодки розміром 20×13 мм виготовлялись з натурних вкладишів колінчастого валу двигуна ЗМЗ-402, антифрикційний шар вкладишів – зі сплаву алюмінію з оловом АО20-1 ГОСТ 14113-78. У тілі колодок виконується свердління діаметром 1,2 мм із тильного боку максимально наближеного до контактної поверхні. В це свердління вставляється спайка термопари ТР-01А з діапазоном температур, що вимірюються: $-18 \sim 712$ °С.

Випробуванням були піддані моторні оливи, вихідні дані яких наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідні експлуатаційні параметри досліджуваних олив

Марка моторної оливи	Параметр				
	γ_{100} , мм ² /с	γ_{40} , мм ² /с	ІВ	ЛЧ	КЧ
AZMOL 15W40 CI-4/SL, еталон	14,96	106,7	146	10,17	2,64
AZMOL 15W40 CI-4/SL, оброблено КГ при 9,5 кгс/см ² на протязі 4,5 хв	14,89	114,28	135	10,14	2,75
AZMOL 15W40 CI-4/SL, оброблено КГ при 9,0 кгс/см ² на протязі 4,5 хв	13,82	105,4	132	10,08	3,95
EVO 5W40 SN/CF, еталон	13,74	82,32	172	9,18	2,65
EVO 5W40 SN/CF, оброблено КГ при 9,5 кгс/см ² на протязі 4,5 хв	13,36	84,41	160	9,05	4,03
EVO 5W40 SN/CF, оброблено КГ при 9,5 кгс/см ² на протязі 4,5 хв	12,78	74,17	174	8,79	4,75

Кількість дослідів для кожної з проб моторних олив, які наведені у таблиці 1, склало $n = 3$.

Момент тертя відповідно до навантаження в контактї та геометричними розмірами ролика перераховується в коефіцієнт тертя, $\Delta 0,003$, за формулою:

$$f = \frac{M_t}{Pr} \quad (1)$$

де M_t – момент тертя, Н·м, у відповідності з тарувальними графіками: l ділення сітки поля трибограм – $0,18 \pm 0,001$ Нм; r – радіус диска, м.

Результати дослідження та їх обговорення. В результаті обробки отриманих трибограм за допомогою додатка Microsoft Excel Worksheet побудовані графічні закономірності зміни динамічного коефіцієнта тертя та відносного температурного стану рухомого контакту.

Трибологічний стан модельного трибоз'єднання, що випробувалось на мінеральній моторній оливі AZMOL 15W40 CI-4/SL

Закономірності зміни динамічного коефіцієнта тертя наведено на рис. 2, температурного стану на рис. 3.

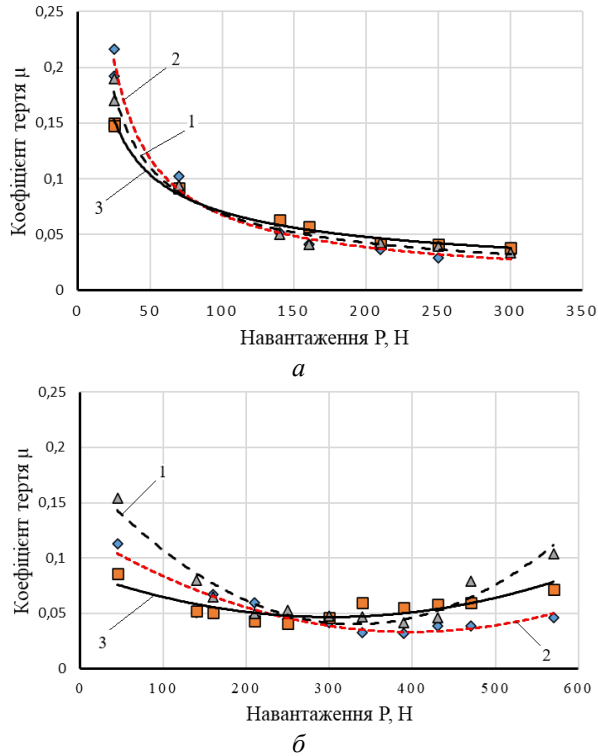


Рис. 2. Залежність динамічного коефіцієнта тертя від навантаження при випробуванні моторної оливи AZMOL 15W40 CI-4/SL: *a* – при терті з подачею оливи; *б* – при відсутності подачі оливи: 1 – оброблено КГ при $p = 9,0 \text{ кгс/см}^2$; 2 – сталон; 3 – оброблено КГ при $p = 9,5 \text{ кгс/см}^2$

Аналіз побудованих графічних залежностей вказує на наступне.

На етапі моделювання припрацювання оливи до поверхонь тертя у трибоз'єднання вихід на сталий режим тертя не спостерігався, тобто, стабілізація динамічного коефіцієнта тертя не наступала, але мала місце тенденція до цього. Про це свідчили:

- апроксимовані степеневу функцією графічні залежності коефіцієнта тертя від навантаження рис. 1, *a* поз. 1-3 з достатньо високою величиною достовірності – (0,98-0,99);

- апроксимовані поліноміальною функцією графічні залежності відносної температури рис. 3, *a* поз. 1-3 також з достатньо високою величиною достовірності – (0,98-0,99).

Починаючи з навантаження у 150 Н характер зменшення коефіцієнта тертя майже однаковий, його значення знаходяться у межах 0,05-0,03, а температурний стан обумовлювався температурами від 40 °С до 50 °С. Це свідчить про прояв в кінці першого етапу режиму граничного мащення, на який змінені експлуатаційні показники моторних оливи особливо не впливають.

Однак на етапі моделювання порушення несучої здатності утворених припрацюванням мастильних шарів виявлені відмінності.

По-перше, мають місце тенденції на зміну характеру прояву здатності сформованих мастильних шарів чинити опір зближенню поверхонь тертя одну до одної. Це пояснюється тим, що спочатку коефіцієнт тертя зменшується, а потім збільшується.

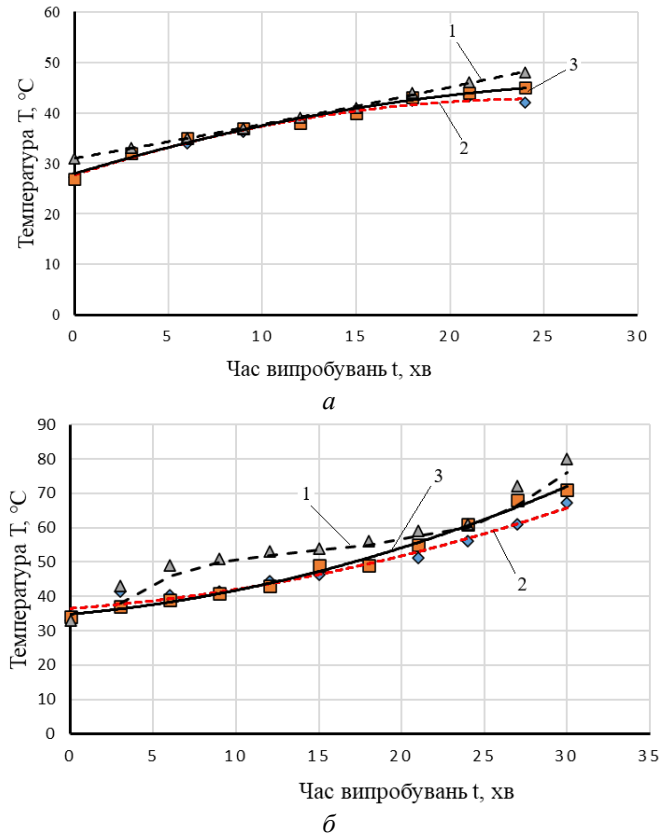


Рис.3. Зміна відносного температурного стану в зоні тертя за часом випробувань при випробуванні моторної оливи AZMOL 15W40 CI-4/SL:

a – при терті з подачею оливи; b – при відсутності подачі оливи: 1 – оброблено КГ при $p = 9,0 \text{ кг/см}^2$; 2 – еталон; 3 – оброблено КГ при $p = 9,5 \text{ кг/см}^2$

По-друге, діапазони навантажень при яких мали місце мінімальні значення коефіцієнта тертя зменшуються та зсуваються у бік малих навантажень з втрачанням експлуатаційних властивостей мінеральної оливи. Так, для еталонної оливи коефіцієнт тертя склав $\mu = 0,03-0,035$ при навантаженнях $P = 300-400 \text{ Н}$. Для оливи, яка була насичена картерними газами при $p = 9,5 \text{ кг/см}^2$ коефіцієнт тертя склав $\mu = 0,035-0,04$ при навантаженнях $P = 230-330 \text{ Н}$. А для оливи, яка була насичена картерними газами при $p = 9,0 \text{ кг/см}^2$ коефіцієнт тертя склав $\mu = 0,035-0,04$ при навантаженнях $P = 280-330 \text{ Н}$. Збільшення коефіцієнта тертя склало 14%.

По-третє, швидкість збільшення коефіцієнта тертя починаючи з його мінімального значення збільшується з зменшенням експлуатаційних показників оливи. Так, для еталонної оливи швидкість збільшення коефіцієнта тертя починаючи з навантаження $P = 400 \text{ Н}$ склала $v_t^{\mu} = 0,83 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1} \cdot \text{Н}^{-1}$. Для оливи, яка була насичена картерними газами при $p = 9,5 \text{ кг/см}^2$ швидкість збільшення коефіцієнта тертя починаючи з навантаження $P = 330 \text{ Н}$ склала $v_t^{\mu} = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1} \cdot \text{Н}^{-1}$. Проте для оливи, яка була насичена картерними газами при $p = 9,0 \text{ кг/см}^2$ швидкість збільшення коефіцієнта тертя починаючи з навантаження $P = 360 \text{ Н}$ склала $v_t^{\mu} = 3,05 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1} \cdot \text{Н}^{-1}$.

В четвертих, температурний стан контактної взаємодії через працюючі мастильні шари не стабілізувався. На протязі другого етапу випробувань відносна

температура постійно зростала, та на кінці часу випробувань середня температура складала 72-75°C. Однак швидкості зміни температури за ділянками графіків мали різні значення. Так, для еталонної оливи швидкість збільшення температури напочатку випробувань складала $v_1^T=0,0064 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{c}^{-1}$, а з 17 хв вона збільшилась до $v_2^T=0,031 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{c}^{-1}$. Для оливи, яка була насичена картерними газами при $p = 9,5 \text{ кгс/см}^2$ швидкість збільшення температури напочатку випробувань складала $v_1^T=0,0064 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{c}^{-1}$, а з 13 хв вона збільшилась до $v_2^T=0,059 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{c}^{-1}$. А для оливи, яка була насичена картерними газами при $p = 9,0 \text{ кгс/см}^2$ швидкість збільшення температури до 7 хв складала $v_1^T=0,016 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{c}^{-1}$, далі вона зменшилась до $v_2^T=0,012 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{c}^{-1}$, а з 23 хв знов збільшилась до $v_3^T=0,05 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{c}^{-1}$. Така температурна поведінка фрикційного контакту пояснюється деякою схильністю мастильних шарів накопичувати температурне навантаження і не виходити на режим свого руйнування та обумовлювати сталий трибологічний стан досліджуваного модельного трибоз'єднання у визначений час.

Про наведене свідчили:

– апроксимовані поліноміальною функцією графічні залежності коефіцієнта тертя від навантаження, рис. 2, б поз. 1-3 з високою величиною достовірності – (0,73-0,91);

– апроксимовані поліноміальною функцією графічні залежності відносної температури в зоні тертя, рис. 3, б поз. 1-3 також з достатньо високою величиною достовірності – (0,98-0,99).

В цілому слід відмітити, що позначені вище сталі значення коефіцієнта тертя, що супроводжувались збільшенням температури свідчать про те, що мастильні утворення без підживлення компонентами оливи можуть деякий час працювати та обумовлювати граничний режим мащення.

Таким чином, в умовах відсутності підживлення зон тертя мінеральна моторна олива зі зміненими експлуатаційними показниками внаслідок її взаємодії з картерними газами погіршує трибологічний стан досліджуваних модельних трибоз'єднань.

Трибологічний стан модельного трибоз'єднання, що випробувалось на мінеральній моторній оливі EVO 5W40 SN/CF

Закономірності зміни динамічного коефіцієнта тертя наведено на рис.4, температурного стану на рис.5.

Аналіз побудованих графічних залежностей вказує на наступне.

На етапі моделювання припрацювання оливи до поверхонь тертя у трибоз'єднання вихід на сталий режим тертя не спостерігався, тобто явна стабілізація динамічного коефіцієнта тертя не наступала, але мала місце тенденція до цього. Про це свідчили:

– апроксимовані степеневою функцією графічні залежності коефіцієнта тертя від навантаження рис. 4, а поз. 1-3 з достатньо високою величиною достовірності – (0,91-0,98);

– апроксимовані поліноміальною функцією графічні залежності відносної температури рис. 5, а поз. 1-3 також з достатньо високою величиною достовірності – (0,93-0,99).

Починаючи з навантаження у 150 Н характер зменшення коефіцієнта тертя майже однаковий, його значення знаходяться у межах 0,04-0,03, а температурний стан обумовлювався температурами від 35 °C до 40 °C.

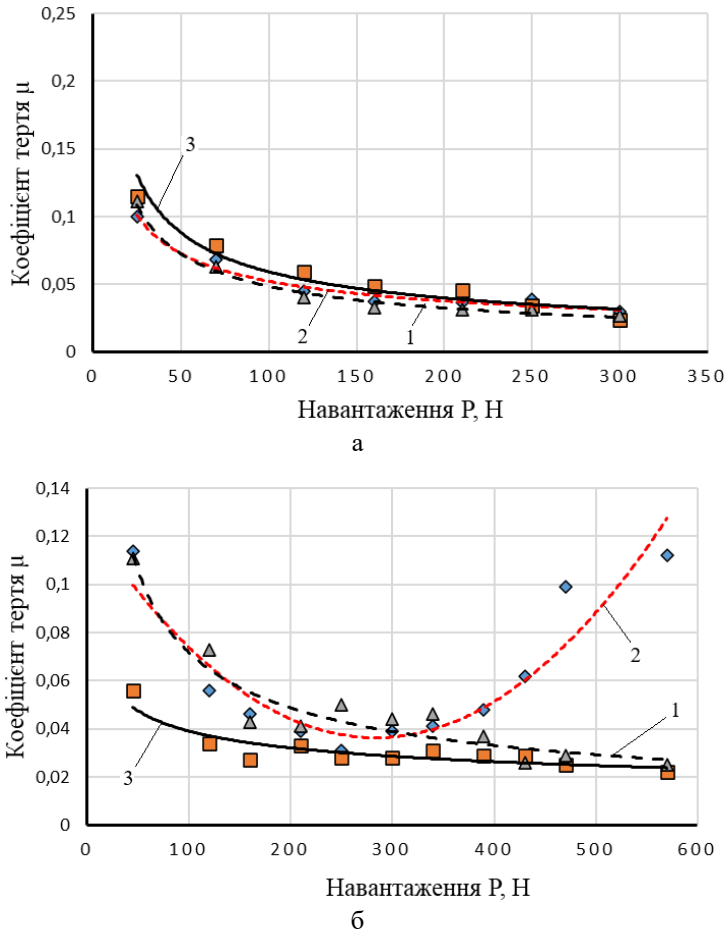


Рис. 4. Залежність динамічного коефіцієнта тертя від навантаження при випробуванні моторної оливи EVO 5W40 SN/CF: *a* – при терті з подачею оливи; *b* – при відсутності подачі оливи: 1 – оброблено КГ при $p = 9,0 \text{ кгс/см}^2$; 2 – еталон; 3 – оброблено КГ при $p = 9,5 \text{ кгс/см}^2$

Це свідчить про прояв в кінці першого етапу режиму граничного мащення, на який змінені експлуатаційні показники моторних оливи особливо не впливають. У порівнянні з моторною оливою AZMOL 15W40 CI-4/SL слід відмітити зниження коефіцієнта тертя наприкінці першого етапу на 20% та температури на 12-20%. Це свідчить про менші термомеханічні напруження, які виникали у мастильних шарах.

Однак на етапі моделювання порушення несучої здатності утворених припрацюванням мастильних шарів виявлені відмінності як серед зразків оливи EVO 5W30 SN/CF, так і у порівнянні з моторною оливою AZMOL 15W40 CI-4/SL.

По-перше, мала місце тенденція на зміну характеру прояву здатності сформованих мастильних шарів чинити опір зближенню поверхонь тертя одну до одної тільки для еталонного зразка оливи EVO 5W30. Це пояснюється тим, що спочатку коефіцієнт тертя зменшується, а потім збільшується, рис. 4, *b* поз. 2. Для зразків, що піддані взаємодії з КГ, коефіцієнт тертя зменшувався на протязі всього етапу випробувань та мали місце його неоднакові швидкості змінення та поточні значення, рис. 4, *b* поз. 1, 3.

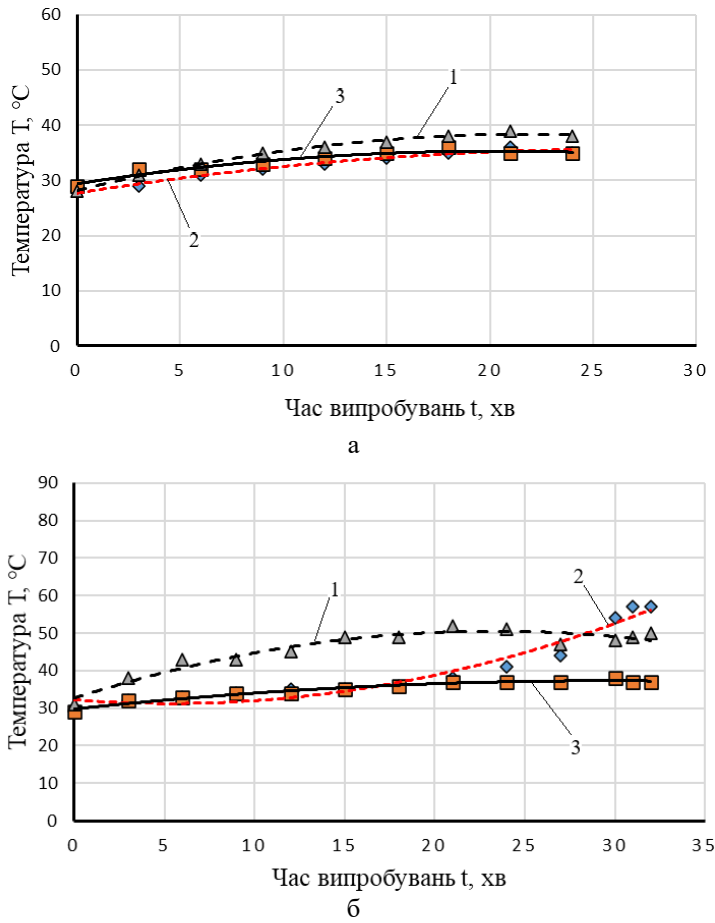


Рис. 5. Зміна відносного температурного стану в зоні тертя за часом випробувань при випробуванні моторної оливи EVO 5W40 SN/CF:

a – при терті з подачею оливи; *б* – при відсутності подачі оливи: 1 – оброблено КГ при $p=9,0 \text{ кгс/см}^2$; 2 – еталон; 3 – оброблено КГ при $p=9,5 \text{ кгс/см}^2$

По-друге, діапазон навантажень для еталонного зразка EVO 5W30, при яких мав місце мінімальний коефіцієнт тертя $\mu = 0,04$ зменшився у порівнянні з еталонним зразком AZMOL 15W40 до $\Delta P = 50 \text{ Н}$ і склав $P = 250\text{-}300 \text{ Н}$, рис. 4, б поз. 2. При цьому збільшення коефіцієнта тертя на 20% до $\mu=0,038\text{-}0,042$ у порівнянні з $\mu = 0,03\text{-}0,035$ (рис.2 б поз.2) для оливи AZMOL 15W40 свідчить про більшу механічну напруженість контакту через остаточні мастильні утворення, які сформувалися з синтетичних компонентів. Це підтверджується також:

- збільшенням швидкості зміни коефіцієнта тертя до $v_t^H=2,05 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1} \cdot \text{Н}^{-1}$, що у 2,4 рази вище, ніж у еталонного зразка оливи AZMOL 15W40;
- різким збільшенням швидкості зміни температури починаючи з 15 хв випробувань, $v_0^T=0,018 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{с}^{-1}$.

По-третє, швидкість зменшення коефіцієнта тертя для зразків, що взаємодіяли з КГ різних інтенсивностей насичення, мала суперечливі прояви. Так, для зразків, які були насичені картерними газами при $p = 9,0 \text{ кгс/см}^2$, тобто з більшою насиченістю швидкість зменшення коефіцієнта тертя починаючи з навантаження $P = 350 \text{ Н}$ склала $v_t^H=0,95 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1} \cdot \text{Н}^{-1}$. Для оливи, яка була насичена

КГ при $p = 9,5 \text{ кгс/см}^2$, тобто з меншою насиченістю швидкість збільшення зменшення тертя починаючи з навантаження $P = 350 \text{ Н}$ склала $v_t^m = 0,42 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1} \cdot \text{Н}^{-1}$, що у два рази менше, ніж для зразків з більшою насиченістю. Такий прояв мастильної здатності вказує на можливість зміни механізму насичення компонентів синтетичної оливи вуглеводними сполуками із складу КГ та можливості створення полімолекулярних тонких мастильних шарів підвищеної несучої здатності, що не спостерігалось для мінеральної оливи. При цьому, надійна несуча здатність шарів у досліджуваному діапазоні навантажень від $P_1 = 300 \text{ Н}$ до $P_2 = 600 \text{ Н}$ супроводжується граничним мащенням з низьким коефіцієнтом тертя $\mu = 0,04-0,025$. За параметрами створеного механічного тиску у зоні тертя діапазон контактних тисків у наведеному випадку склав від $9,7 \text{ МПа}$ до $18,4 \text{ МПа}$ для оливи з меншою інтенсивністю насичення КГ, та від $7,7 \text{ МПа}$ до $14,6 \text{ МПа}$ з більшою інтенсивністю насичення КГ.

В четвертих, температурний стан контактної взаємодії через працюючі мастильні шари за винятком еталонних зразків стабілізувався починаючи з 20 хв випробувань. При цьому, для зразків з меншою інтенсивністю насичення КГ температура сталого стану склала $T = 38 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$, а для зразків з більшою інтенсивністю насичення КГ, температура сталого стану склала $T = 50 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Така температурна поведінка фрикційного контакту пояснюється створенням термодинамічних умов для рівноважного стану мастильних шарів накопичувати, передавати та розсіювати температурне навантаження і не виходити на режим свого руйнування та обумовлювати сталий трибологічний стан досліджуваного модельного трибоз'єднання у визначений час.

Про наведене свідчили:

– апроксимовані, графічні, залежність коефіцієнта тертя від навантаження поліноміальною функцією, рис. 4, б поз. 2 з достовірністю – $0,82$; та статечною функцією, рис. 4, б поз. 1, 3 з достовірностями – $0,76$ і $0,87$ відповідно;

– апроксимовані поліноміальною функцією графічні залежності відносної температури в зоні тертя, рис. 5, б поз. 1-3 з достатньо високою величиною достовірності – $(0,93-0,96)$.

В цілому слід відмітити, що виявлена та позначена динаміка змін значень динамічного коефіцієнта тертя та температурного стану контакту через мастильні шари, що створенні тертям з присутністю компонентів КГ вказує на їх здатність у визначеному діапазоні навантажень працювати та обумовлювати граничний режим мащення.

Таким чином, в умовах відсутності підпитки зон тертя синтетична моторна олива зі зміненими експлуатаційними показниками внаслідок її взаємодії з картерними газами поліпшує трибологічний стан досліджуваних модельних трибоз'єднань.

На підставі зважування зразків-колодок за результатами двох етапів випробувань, визначені їх середні зноси Δm , які приведені до площ тертя S_T на шляху тертя L_T за час випробувань. Загальний шлях тертя у кожному досліді при частоті обертання диска 300 хв^{-1} склав $L_T = 2638 \text{ м}$, час випробувань склав 56 хв . Данні наведені у таблиці 2.

Аналіз даних, наведених у табл.2 вказує на наступне. За загальним циклом випробувань запропонована до використання приведена інтенсивність зношування I_T^m сплаву АО20-1 при збільшенні в $1,26$ та в $1,33$ (відносно нормативного значення $p = 12 \text{ кгс/см}^2$) разів інтенсивності прориву газів за

параметром тиску на такти стискування з мінеральною оливою збільшується в 1,9 і 3,2 разів відповідно. В той же час, з синтетичною оливою приведена інтенсивність зношування зменшується в 1,15 разі. У цілому приведена інтенсивність зношування сплаву АО20-1 при застосуванні синтетичної оливи примусово зістареної картерними газами з критичною інтенсивністю прориву газів (прорив газів при тиску стискання у циліндрі $p = 9,0 \text{ кгс/см}^2$) у 1,7 разі менше ніж для мінеральної оливи. Однак при $p = 9,5 \text{ кгс/см}^2$ приведені інтенсивності зношування порівняно рівні. Отримані данні пояснюються складністю протікання хіміко-механічних процесів адгезійної взаємодії між компонентами моторних олив та хімічними елементами антифрикційного сплаву АО20-1.

Таблиця 2

Данні по зношуванню зразків-колодок при терті з моторними оливами

Марка моторної оливи	Параметр		
	Δm , мг	S_r , мм ²	$I_L^m \cdot 10^{-6}$ мг/мм ² ·хв·м ⁻¹
AZMOL 15W40 CI-4/SL, еталон	39±18	45 ±3	5,87
AZMOL 15W40 CI-4/SL, оброблено КГ при 9,5 кгс/см ² на протязі 4,5 хв	94±15	58±2	10,97
AZMOL 15W40 CI-4/SL, оброблено КГ при 9,0 кгс/см ² на протязі 4,5 хв	128±15	46±1	18,8
EVO 5W30 SN/CF, еталон	86±18	47±2	12,38
EVO 5W30 SN/CF, оброблено КГ при 9,5 кгс/см ² на протязі 4,5 хв	54±14	31±3	11,79
EVO 5W30 SN/CF, оброблено КГ при 9,0 кгс/см ² на протязі 4,5 хв	62±14	39±5	10,76

Висновки. Запропоновані підходи до фізичного моделювання навантаження на мастильні утворення з моторних олив в системі конструкційних матеріалів «40X-АО20-1» дозволили:

– по-перше, встановити графічні закономірності зміни динамічного коефіцієнта тертя від ступінчастого нормального навантаження, відносного температурного стану контакту через мастильні утворення, напрямок та характер зміни приведеної інтенсивності зношування антифрикційного шару зі сплаву АО20-1;

– по-друге, оцінити трибологічний стан модельного трибоз'єднання при частковому відтворенні швидкісного та силового режиму взаємодії поверхонь тертя підшипників ковзання колінчастого валу бензинового ДВЗ при зміні експлуатаційних параметрів досліджуваних моторних олив.

Отримані результати представляються значущими для розробки рекомендацій для забезпечення експлуатаційної надійності бензинових ДВЗ на етапах втрачання ресурсу до капітального ремонту.

Список літератури

1. Слинко Г.І. Вплив навантаження бензинового чотиритактового двигуна на критерій мащення шатунного підшипника колінчастого валу /Г.І. Слинко, В.І. Кубіч, В.І. Бокарев// Вісник двигунобудування. Запоріжжя, АО «Мотор Сич». Т.1. 2019. с.18-28

2. Кичкинаев М.А., Каримов А.А., Азизов Ш.А. Обоснования сроков службы моторных масел на автомобилях SHACMAN в условиях эксплуатации в Узбекистане. International Conference on Innovations in Applied Sciences, Education and Humanities. Hosted from Barcelona, Spain. July 31st 2022. С.35-39. <https://conferencea.org>

3. Корчак В.О., Гринишин О. Б., Червінський Т.І. Зміна складу та властивостей мінеральної моторної оливи після її експлуатації. Науковий вісник НЛТУ України, Том 27 №6 (2017). С.93-97
4. Корнеев С.В., Пашукевич С.В., Тришкин А.О., Буравкин А.В. Изменение характеристик моторных масел в газопоршневых двигателях большой мощности. Вестник СибАДИ, выпуск 4-5 (56-57), 2017. С.36-42
5. Григоров А. Б. Рациональное использование моторных масел: монография / А.Б. Григоров, И.С. Наглюк. Харьков: НТУ ХПИ, 20012. 183 с.
6. Кубич В.І. Експлуатаційні показники моторних оливи при моделюванні взаємодії з картерними газами ДВЗ/ В.І. Кубич, О.Г. Чернета, Д.Е. Дрібас// Проблеми тертя та зношування в машинах. Київ, НАУ. №4 (89), 2020. с.12-23
7. Кубич В.І. Комплексний критерій оцінки експлуатаційного стану моторного масла. В.І. Кубич, О.Г. Чернета/ Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування: СЕУТТОО-2020. Матеріали 11 - ї між нар. наук.-практ. конфер., 8 – 10 вересня 2020 року. Херсон: Херсонська державна морська академія. С.46-50
8. Кубич В.І. Коэффициент трения триад «45XH2MFA - Lukoil-Super - AO20-1», «12X2H4 - Lukoil-Super - AO20-1» в условиях ступенчатого нагружения /В.И. Кубич// Проблеми тертя та зношування №61. - 2013.- С.37-45

Поступила в редакцію 29.08.2022.

Кубич Вадим Іванович – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Автомобілі» Національного університету «Запорізька політехніка», schmirung@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6230-9263>.

Чернета Олег Георгійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і автомобільного господарства Дніпровського державного технічного університету, м. Кам'янське, Україна, ocherneta@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3871-6923>.

Мимоход Дмитро Юрійович – здобувач вищої освіти за ступеням «магістр» кафедри «Автомобілі» Національного університету «Запорізька політехніка», hapiston123@gmail.com.

V. I. KUBICH, O.G. CHERNETA, D.YU. MIMOHOД

THE INFLUENCE OF FORCED AGED ENGINE OILS ON THE TRIBOLOGICAL CONDITION OF THE MODEL TRIBOUNIT

The results of tribotechnical tests of lubricating formations, which were formed under the conditions of supply of motor oils AZMOL 15W40 CI-4/SL, EVO 5W40 SN/CF and its absence on the friction surfaces of the elements of the model tribojoint "moving disc - fixed pad" for the tribosystem of materials "40X-AO20-1", are given. At the same time, the motor oil samples were previously forcibly subjected to interaction with the crankcase gases of the VAZ-21011 engine with different intensity of breakthrough through the CPG gap of the internal combustion engine. On the basis of the established regularities of the change in the dynamic coefficient of friction under step loading and the relative temperature during the tests, it was established that in the absence of lubrication of the friction zones, mineral motor oil with changed performance indicators worsens the tribological condition of the studied system of materials, while synthetic oil, on the contrary, improves it. It was determined that, according to the general cycle of tests, the wear intensity of the AO20-1 alloy is increased by 1.26 and 1.33 (relative to the normative value of $p=12 \text{ kgf/cm}^2$) times when the intensity of gas breakthrough is increased by the pressure parameter per compression stroke, with mineral oil it increases by 1.89 and 3.2 times, respectively. At the same time, with synthetic oil, the wear intensity is reduced by 1.15 times. In general, the wear intensity of the AO20-1 alloy proposed for use when using synthetic oil forcibly aged by crankcase gases with the critical intensity of gas breakthrough is 1.7 times less than for mineral oil. However, at $p = 9.5 \text{ kgf/cm}^2$, the given wear intensities are relatively equal. The obtained data are explained by the complexity of the flow of chemical-mechanical processes of adhesive interaction between the components of motor oils and the chemical elements of the AO20-1 antifriction alloy. The obtained results are significant for the development of recommendations for ensuring the operational reliability of gasoline internal combustion engines at the stages of resource loss before overhaul.

Key words: Engine oil, Crankcase gases, Dynamic coefficient of friction, Temperature, normal load, Test time

References

1. Slin'ko G.I. Vpliv navantazhennya benzinovogo chotiritaktogo dviguna na kriterij mashchennya shatunного pidshipnika kolinchastogo valu /G.I. Slin'ko, V.I. Kubich, V.I. Bokarev// Visnik dvigunobuduvannya. Zaporizhzhya, AO «Motor Sich». T.1. 2019. s.18-28
2. Kichkinaev M.A., Karimov A.A., Azizov SH.A. Obosnovaniya srokov sluzhby motornih masel na avtomobilyah SHACMAN v usloviyah ekspluatacii v Uzbekistane. International Conference on Innovations in Applied Sciences, Education and Humanities. Hosted from Barcelona, Spain. July 31st 2022. S.35-39. <https://conferencea.org>
3. Korchak V.O., Grinishin O. B., CHervinskij T.I. Zmina skladu ta vlastivostej mineral'noi motornoї olivi pislya її ekspluatacii. Naukovij visnik NLTU Ukraїni, Tom 27 №6 (2017). S.93-97
4. Korneev S.V., Pashukevich S.V., Trishkin A.O., Buravkin A.V. Izmenenie harakteristik motornyh masel v gazopornhnyh dvigatelyah bol'shoj moshchnosti. Vestnik SibADI, vypusk 4-5 (56-57), 2017. S.36-42
5. Grigorov A. B. Racional'noe ispol'zovanie motornyh masel: monografiya / A.B. Grigorov, I.S. Naglyuk. Har'kov: NTU HPI, 20012. 183 s.
6. Kubich V.I. Ekspluatacijni pokazniki motornih oliv pri modelyuvanni vzaemodii z karternimi gazami DVZ/ V.I. Kubich, O.G. Cherneteta, D.E. Dribas// Problemi tertya ta znoshuvannya v mashinah. Kiїv, NAU. №4 (89). 2020. s.12-23
7. Kubich V.I. Kompleksnyj kriterij ocenki ekspluatacionnogo sostoyaniya motornogo masla. V.I. Kubich, O.G. Cherneteta/ Suchasni energetichni ustanovki na transporti, tekhnologii ta obladnannya dlya ih obslugovuvannya: SEUTTOO-2020. Materiali 11 - i mizh nar. nauk.-prakt. konfer., 8 – 10 veresnya 2020 roku. Herson: Herson's'ka derzhavna mors'ka akademiya. S.46-50
8. Kubich V.I. Koefficient treniya triad «45HN2MFA - Lukoil-Super - AO20-1», «12H2N4 - Lukoil-Super - AO20-1» v usloviyah stupenchatogo nagruzheniya /V.I. Kubich// Problemi tertya ta znoshuvannya №61. - 2013.- S.37-45.