

**Мікосянчик О.О.,\***  
**Мнацаканов Р.Г.,\***  
**Лопата В.М.,\*\***  
**Калініченко В.І.\*\*\***

\* Національний авіаційний університет,

\*\* Національний технічний університет  
України «КП»,

\*\*\* Інститут проблем міцності

ім. Г.С. Писаренка НАН України,

м. Київ, Україна

**E-mail:** oksana.mikos@bk.ru

## ЗМАЩУВАЛЬНА ДІЯ ОЛИВ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСАХ В УМОВАХ ПРИПРАЦЮВАННЯ

УДК 621.891

В роботі представлена методика припрацювання контактних поверхонь в нестационарних умовах тертя (режим пуск - зупинка), за якою можливо більш достовірно та точно оцінити завершення етапу припрацювання. При використанні мінеральних та синтетичних оливи кінцевий термін припрацювання сталі визначався за кінетикою зміни основних триботехнічних характеристик контакту: оцінка фізико - механічних властивостей поверхневих шарів матеріалу контактних поверхонь за кінетикою зміни питомої роботи тертя, антифрикційних характеристик контакту за кінетикою зміни моменту тертя та змащувальних і полімеризаційних властивостей мастильного матеріалу за кінетикою формування товщини мастильного шару.

**Ключові слова:** припрацювання, товщина мастильного шару, граничні адсорбційні шари, реологічні властивості, коефіцієнт тертя.

### Актуальність задачі

Довговічність і навантажувальна здатність трибомеханічних систем сучасних механізмів та машин може бути значно підвищена шляхом їх попереднього припрацювання, в результаті якого змінюються шорсткість, фактична площа контакту і, відповідно, величина діючих напруг. Однак припрацювання полягає не тільки у формуванні специфічного шару поверхонь [1], зміні його фізико-хімічних властивостей, що проявляється у зміні перерахованих вище показників, але і в не менш важливому процесі формування самого мастильного шару, що розділяє поверхні тертя [2, 3].

### Огляд публікацій

Існує багато класичних сучасних методик припрацювання контактних поверхонь.

Відомий спосіб припрацювання кінематичних пар тертя ковзання [4], згідно з яким припрацювання кінематичних пар відбувається в середовищі мінеральної оливи з присадками поверхнево-активних речовин в режимі пуск-зупинка за два періоди, один з яких реалізується при навантаженні 15 - 20 % від заданого протягом 1 - 2 хвилин, другий – при заданому навантаженні протягом 2 - 3 хвилин. Однак, недоліками даного способу є: фіксована тривалість періодів припрацювання, незалежно від типу матеріалу контактних поверхонь; відсутність реєстрації триботехнічних параметрів, за кінетикою зміни яких можливо прогнозувати умови досягнення експлуатаційних характеристик контактних поверхонь в період припрацювання.

В роботі [5] розглянуто методику припрацювання поверхонь тертя під навантаженням. Згідно з даною методикою, дослідні зразки, які працюють в умовах ковзання та кочення з проковзуванням (до 15 %), поступово навантажують протягом рівних проміжків циклів навантаження тривалістю 15 хвилин, а закінчення періоду припрацювання на кожній ланці навантаження безперервно та автоматично фіксують за стабілізацією моменту тертя, температур поверхонь тертя та сумарного зносу дослідних зразків, температури мастильного матеріалу.

Кінцевий термін припрацювання зазвичай закінчується стабілізацією значень коефіцієнта тертя і зносу. Необхідно відзначити, що тільки змащувальна дія визначає сприятливий перебіг припрацювання [6]. Причому процес припрацювання буде протікати успішно в тому випадку, коли він закінчиться утворенням несучого мастильного шару певної товщини і структури, оптимальної мікрогеометрії контакту, які забезпечать задовільну зносостійкість припрацьованих поверхонь тертя, а, отже, і їх довговічність. У ході припрацювання слід підтримувати необхідний режим мастильної дії за допомогою контролю товщини мастильного шару, яка виключала б можливість виникнення схоплювання (заїдання).

Роль процесу утворення мастильного шару, як основного еластогідродинамічного і граничного аспекту, враховується мало і, безумовно, представляє безперечний інтерес для підвищення надійності та навантажувальної здатності сучасних машин.

## Методика та результати досліджень

Метою роботи є підвищення достовірності результатів визначення кінцевого терміну припрацювання елементів трибоспряження за кінетикою зміни триботехнічних показників контакту.

Поставлена задача реалізується за рахунок того, що на ЕОМ в режимі реального часу роботи трибоелементів, навантажених заздалегідь обраним зусиллям, в умовах частих пусків - зупинок, тривалість яких визначається керуючим блоком, через визначені короткі рівні проміжки часу одночасно фіксуються момент тертя в контакті, частота обертання контактних поверхонь, питома робота тертя, температура мастильного матеріалу, товщина мастильного шару, а кінцевий час припрацювання визначається за умов досягнення сталих значень всіх показників, які реєструються, при максимальному моменті тертя в період пуску та стабілізації товщини граничних шарів мастильного матеріалу, утворених на активованих в процесі тертя контактних поверхнях, на зупинці [7].

Припрацювання пар тертя в нестационарних умовах роботи реалізується наступним чином. Матеріал дослідних зразків, швидкість обертання контактних поверхонь та умови їх відносного переміщення (ковзання, реверс, кочення з проковзуванням (від 0 до 100 %)), контактного навантаження, тип та температура мастильного матеріалу вибираються відповідно до експлуатаційних умов. Пару тертя навантажують заздалегідь обраним зусиллям, змащують досліджуванним мастильним матеріалом, задають відносне переміщення елементів трибоспряження шляхом програмування керуючим блоком частоти обертання кожного дослідного зразка, здійснюють тертя в режимі частих пусків - зупинок. Через 0,01 с від початку роботи, безперервно, на кожному циклі пуск-зупинка, реєструють момент тертя тензометричним методом, частоту обертання кожної контактної поверхні цифровим блоком, температуру мастильного матеріалу за допомогою термопари та товщину мастильного шару методом вимірювання падіння напруги в режимі нормального тліючого розряду[8]. За показниками вимірювання будують залежності моменту тертя (рис. 1, а), який різко зростає до максимуму в пусковий період з подальшим зниженням, коливанням та стабілізацією в кожному циклі напрацювання, частоти обертання контактних поверхонь (рис. 1, б), температури мастильного матеріалу та загальної товщини мастильного шару в період пуску і товщини граничних шарів мастильного матеріалу на зупинці (рис. 1, в). Розрахунок питомої роботи тертя проводять шляхом інтегрування площі, обмеженої кривою моменту тертя, та відповідного часу напрацювання при пуску, якому відповідає певна частота обертання контактних поверхонь, з урахуванням кінетичної енергії обертальних деталей (рис. 1, г). Період закінчення припрацювання визначається по одночасній стабілізації протягом 5 - 10 циклів наробітки максимального моменту тертя, питомої роботи тертя, температури мастильного матеріалу та загальної товщини мастильного шару ( $h_{заг}$ ), що відповідає часу  $t_1$  в пусковий період кожного циклу, та стабілізації товщини граничних шарів ( $h_{адс}$ ) мастильного матеріалу, що відповідає часу  $t_2$  в середній термін зупинки в кожному циклі (рис. 1).

Для оцінки ефективності припрацювання елементів трибоспряжень залежно від типу матеріалу пар тертя та мастильних матеріалів різного експлуатаційного призначення були обрані наступні умови: матеріал пар тертя – сталь 45 (HRC 38); мастильні матеріали – моторна мінеральна олива без присадок МС-20 (SAE - 50), дистильована олива з малосірчаної нафти селективного очищення I-40 (ISO VG 68) та синтетична поліальфаолефінова олива PAO-8 (ISO VG 68); об'ємна температура оливок 16 °C та 70 °C; контактне навантаження –  $\sigma_{max} = 400$  та 570 МПа; тривалість циклу – пуск – 4с, зупинка – 3,5с.

З підвищенням контактної напруги до 570 МПа, при об'ємній температурі оливок 16 °C досліджувані оливи характеризуються зменшенням основних параметрів ефективності змащувального процесу. Для мінеральних оливок встановлено переважання змішаного режиму мащення з домінуючим впливом граничного, а для синтетичної оливи PAO-8 характерний граничний режим мащення.

В умовах багатоциклічних дій на 20 % зростає частота руйнування адсорбційних шарів для МС-20, в порівнянні із ступенем їх руйнування при  $\sigma_{max} = 400$  МПа, проте, скорочується час адаптації - при  $N \geq 400$  формується стабільний граничний шар, що забезпечує ефективне мащення з переважанням гідродинамічного режиму (табл. 1). Реалізація цього механізму забезпечується за рахунок збільшення товщини адсорбційних шарів на 50 % і утворення хемосорбційних плівок ( $h_{con} = 0,057 - 0,354$  мкм).

Менш в'язка мінеральна олива I-40 по мірі напрацювання  $N \geq 440$  також формує стабільні адсорбційні шари, а на 70 % площі контакту утворюються самогенеруючі органічні плівки (СОП) або полімери тертя, товщина яких складає 0,014 - 0,048 мкм.

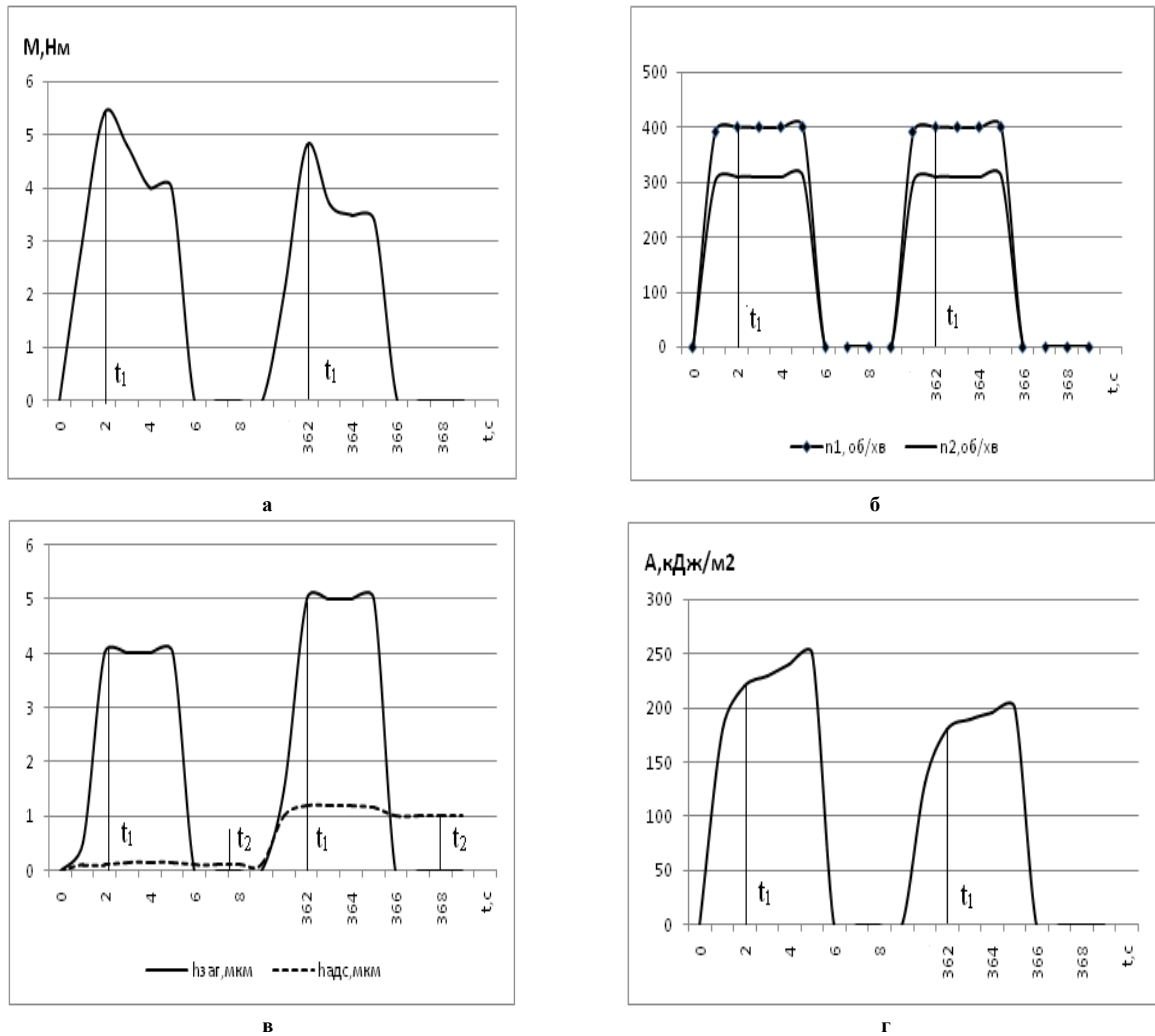


Рис. 1 – Залежність моменту тертя (а), частоти обертання дослідних зразків в умовах їх роботи кочення з проковзуванням (б), загальної товщини мастильного шару і товщини граничних шарів мастильного матеріалу (в), питомої роботи тертя (г) від часу роботи трибосистеми

Таблиця 1

**Зміна триботехнічних характеристик в умовах пуску для масла МС-20:**

$$\sigma = 570 \text{ МПа}, t = 16^\circ \text{C}$$

$$\sigma = 570 \text{ МПа}, t = 70^\circ \text{C}$$

$N$	$h_{адс},$ мкм	$h_{заг},$ мкм	$\eta_{еф} \cdot 10^2,$ Па · с	$\lambda$
2	0,002	2,002	19,822	1,820
40	0,001	2,001	17,364	1,819
80	0,113	2,113	15,750	2,150
112	0,001	2,001	13,134	1,819
117	0,243	2,243	14,725	2,551
160	0,150	2,150	14,116	2,269
195	0,114	2,114	13,877	2,151
275	0,000	2,000	11,570	1,818
401	0,014	2,014	9,635	1,860
442	0,263	2,263	10,823	2,299
487	1,432	3,432	16,411	6,058
565	0,412	2,412	11,541	4,763
638	0,971	2,971	14,216	3,031

$N$	$h_{адс},$ мкм	$h_{заг},$ мкм	$\eta_{еф} \cdot 10^2,$ Па · с	$\lambda$
2	0,171	0,871	9,012	1,500
40	0,000	0,900	9,313	1,510
80	0,002	0,902	8,916	1,509
112	0,043	0,943	8,183	1,621
117	0,094	0,994	8,626	1,789
160	0,041	0,941	6,176	1,638
195	0,001	0,901	5,613	1,510
275	0,570	1,470	8,504	3,239
401	0,282	1,182	6,049	2,030
442	0,713	1,613	8,613	3,738
487	0,041	0,941	4,816	1,638
565	0,480	1,380	9,057	2,960
638	0,332	1,232	6,304	2,522

З підвищенням навантаження для оливи РАО-8 спостерігається руйнування змащувальних адсорбційних шарів в 60 % циклів, адаптація граничного шару відбувається лише у міру напрацювання  $N \geq 530$ , а товщина СОП, в порівнянні з хемосорбційними шарами, сформованими оливою при  $\sigma_{\max} = 400$  МПа, зменшується на 70 % ( $h_{\text{con}} = 0,014 - 0,051$  мкм).

При збільшенні об'ємної температури оливи до 70 °С встановлено зменшення приросту товщини змащувального шару в період пуску для оливи МС-20, І-40 і РАО-8 відповідно на 40 % : 20 % : 20 %. Для мінеральної оливи МС-20 адаптація адсорбційного шару відбувається значно раніше, ніж при 16 °С, у міру напрацювання  $N \leq 250$ , а товщина хемосорбційних шарів зменшується на 20 % ( $h_{\text{con}} = 0,061 - 0,175$  мкм) (табл. 1).

Якісно інший процес змащувальної дії встановлений для оливи І-40. В несталому режимі роботи з підвищенням температури руйнування адсорбційних шарів збільшується в 2 рази, у міру напрацювання не зафіксовано адаптації граничних шарів. Слід зазначити, що товщина СОП збільшується на 40 % ( $h_{\text{con}} = 0,032 - 0,060$  мкм), але формування даного виду плівок відбувається лише на 20 % площі контакту.

Аналогічна змащувальна дія встановлена і для синтетичної оливи РАО-8 – в початковий період припрацювання при граничному режимі мащення не відбувається адаптації адсорбційних шарів, в подальшому товщина хемосорбційних плівок збільшується на 0,022 мкм, але формування СОП зафіксовано на 60 % площі поверхні контакту пар тертя.

В табл. 2 представлені остаточні терміни стабілізації антифрикційних та змащувальних властивостей контакту при припрацюванні елементів трибоспряження в середовищі мінеральних оливи МС-20 та І-40 і синтетичної оливи РАО-8.

Таблиця 2

#### Час стабілізації триботехнічних характеристик контакту при припрацюванні

Контактна напруга, МПа	Об'ємна температура оливи, °С	Мастильний матеріал		
		МС-20	І-40	РАО-8
400	16	470 циклів / 59 хв	500 циклів / 63 хв	350 циклів / 44 хв
	70	350 циклів / 44 хв	550 циклів / 69 хв	250 циклів / 31 хв
570	16	400 циклів / 50 хв	440 циклів / 55 хв	530 циклів / 66 хв
	70	250 циклів / 31 хв	-	-

Для більш в'язкої оливи МС-20 підвищення контактної навантаження, незалежно від температури оливи, скорочує термін припрацювання контактних поверхонь, в середньому, в 1,2 рази. Для менш в'язкої оливи І-40 аналогічне прискорення припрацювання встановлене лише при її об'ємній температурі 16 °С. Однак, для синтетичної оливи РАО-8 зростання тиску призводить до протилежного ефекту – термін припрацювання контактних поверхонь зростає в 1,5 рази при температурі оливи 70 °С не відбувається стабілізації триботехнічних характеристик контакту в досліджуваному інтервалі часу.

Вплив контактної навантаження, сумарної швидкості кочення і температури оливи на формування і адаптацію адсорбційних шарів, які суттєво впливають на тривалість припрацювання, повною мірою відображає кінетика зміни реологічних та антифрикційних характеристик оливи.

При контактній нарузі 570 МПа і об'ємній температурі оливи 16 °С реологічні характеристики досліджуваних мінеральних оливи істотно відрізняються від синтетичної РАО-8. Якщо для МС-20 і І-40 збільшення ефективної в'язкості в контакті ( $\eta_{\text{ef}}$ ) і напруги зсуву мастильного матеріалу ( $\tau$ ) складає, в середньому 68 %, то РАО-8 характеризується збільшенням  $\tau$  на 72 %, а зміни  $\eta_{\text{ef}}$  в контакті не встановлено, в порівнянні із  $\eta_{\text{ef}}$  і  $\tau$  при  $\sigma_{\max} = 400$  МПа.

Головним чинником, що впливає на реологічні властивості оливи, є приріст товщини змащувального шару при пуску із збільшенням частоти обертання. Для МС-20 цей параметр із збільшенням  $\sigma_{\max}$  до 570 МПа не змінюється, для І-40 зменшується на 20 %, а для РАО-8 - на 60 %. Внаслідок цього в 2,85 рази збільшується градієнт швидкості зсуву масляного шару ( $\gamma$ ) синтетичної оливи, що призводить до часткової деструкції молекул. Радикали, які утворюються, є джерелом формування граничної плівки, проте, при циклічному навантаженні, в результаті частих мікропластичних зсувів і дії знакозмінних дотичних напруг, збільшується час адаптації адсорбційних шарів і значно знижується товщина сформованих СОП (на 70 %). Проте, незважаючи на вищезгадані процеси, граничні адсорбційні шари обумовлюють зниження напруги зсуву масляного шару в 2 рази. У міру напрацювання  $N \geq 400$ , при адаптації граничного шару, зафіксовано значне підвищення антифрикційних властивостей – коефіцієнт тертя зменшується з 0,093 до 0,043 (рис. 2).

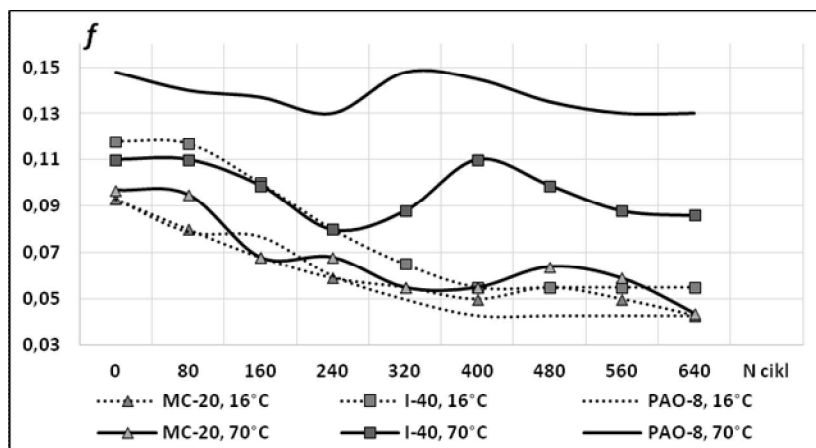


Рис. 2 – Зміна коефіцієнта тертя при припрацюванні контактних поверхонь в нестационарному режимі при  $\sigma_{\max}$  570 МПа

Для мінеральних оливи при багатоциклическому режимі навантаження, на наш погляд, реалізується інший механізм формування СОП. Інактивні вуглеводні парафінових, нафтових і ароматичних класів, потрапляючи в електричне поле поверхонь тертя, набувають певний дипольний момент, що прискорює модифікацію поверхонь металу внаслідок утворення на них смолоподібних продуктів органічного походження темно-коричневого кольору [9].

У роботі [10] встановлена інтенсифікація утворення СОП із збільшенням вмісту ароматичних з'єднань, а дослідженнями інших авторів [11] зафіксовано зростання товщини СОП з підвищенням молекулярної ваги парафінованого класу. МС-20 за фракційним складом, на відміну від І-40, містить парафінову фракцію з більшою молекулярною вагою вуглеводнів, на 10 % збільшується вміст ароматичних з'єднань і на 4 % смолоподібних компонентів [12]. При  $\sigma_{\max} = 570$  МПа,  $t = 16$  °С встановлено зростання товщини СОП мінеральними оливами на 70 %, що пов'язано з більш інтенсивною активацією металу поверхонь тертя з підвищенням навантаження. Слід зазначити, що формування хемосорбційних плівок оливою І-40 відбувається на 70 % поверхні тертя, що обумовлено як іншим вуглеводневим складом масляної фракції, так і меншою  $\eta_{ef}$  в контакті.

Тверді плівки, які характеризуються анізотропією механічних властивостей, проявляють низький опір до дії знакозмінних дотичних напруг - напруга зсуву масляного шару у міру напрацювання знижується в 2 рази, забезпечуючи значне зниження коефіцієнта тертя ( $f$ ). У міру адаптації граничних шарів встановлено зменшення  $f$  для МС-20 з 0,093 до 0,043, а для І-40 - з 0,118 до 0,055 (рис. 2).

Основним критерієм ефективності антифрикційних властивостей при  $\sigma_{\max} = 570$  МПа,  $t = 70$  °С є, на наш погляд, здатність оливи формувати хемосорбційні плівки на активованій поверхні металу. Так, для МС-20 зафіксовано прискорення адаптації граничних шарів (у міру напрацювання  $N \geq 250$ ) і формування СОП на всій площі контакту, що забезпечує зменшення напруги зсуву масляного шару в 2 рази. Із збільшенням температури до 70 °С товщина СОП зменшується на 20 %, в порівнянні з  $h_{con}$  при 16 °С, проте напруга зсуву масляного шару залишається стабільною.

Менш в'язкі оливи І-40 і РАО-8 в умовах динамічного навантаження не проявляють ефективної змащувальної дії при 70 °С - впродовж всього експерименту не встановлено адаптації адсорбційних шарів: товщина СОП збільшується на 40 %, але формування хемосорбційних плівок, стабільних до дії знакозмінних дотичних напруг, відбувається на 20 % площі контакту для І-40 і на 60 % поверхні для РАО-8.

У роботі [13] розглядається нестабільність мащення при граничному терті, пов'язана з руйнуванням плівки, обумовленим розплавленням її з підвищенням температури. Проте, критична температура дезорієнтації молекул оливи граничних шарів І-40 і РАО-8 становить 140 °С [11, 14], а наявність хрому в сталі ШХ-15, з якої виготовлена пара тертя, в основному, підвищує критичну температуру розпаду [13, 15]. Ми вважаємо, що руйнування хемосорбційних шарів відбувається в результаті інтенсивного стирання в режимі частих пусків-зупинок в результаті значного збільшення градієнта швидкості зсуву з підвищенням температури ( $\gamma$  підвищується в 2,5 рази для І-40 і в 4 рази для РАО-8), що призводить до дезорієнтації і десорбції молекул.

Встановлені високі експериментальні значення напруги зсуву масляного шару для оливи І-40 і РАО-8 обумовлені, імовірно, деформацією змащувальної плівки в результаті заклинювання між контактними поверхнями тертя при проковзуванні. Аналогічні результати про деформацію граничного шару представлені в роботі [16].

Таким чином, при десорбції граничного шару руйнуються хемосорбційні шари, внаслідок чого не забезпечується ефективної змащувальної дії оливами I-40 і РАО-8 в умовах динамічного навантаження при  $\sigma_{\max} = 570$  МПа,  $t = 70$  °С; домінує граничний режим мащення, що характеризується високими значеннями коефіцієнтів тертя впродовж всього експерименту, що унеможливило визначення кінцевого терміну припрацювання контактних поверхонь.

### Висновки

1. Встановлено, що для оливи МС-20, яка характеризується найбільшою в'язкістю, підвищення контактної навантаження, незалежно від температури оливи, скорочує термін припрацювання контактних поверхонь, в середньому, в 1,2 рази. Основним критерієм ефективності антифрикційних властивостей є здатність оливи формувати хемосорбційні плівки з низьким опором зсуву на активованій поверхні металу. Із збільшенням температури до 70 °С товщина полімерів тертя зменшується на 20 %, проте на пруга зсуву масляного шару залишається стабільною.

2. Олива I-40 характеризується прискоренням припрацювання при зростанні контактної навантаження лише при її об'ємній температурі 16 °С. При збільшенні температури не встановлено адаптації адсорбційних шарів: товщина СОП зростає на 40 %, але формування хемосорбційних плівок, стабільних до дії знакозмінних дотичних напруг, відбувається на 20 % площі контакту.

3. Для оливи РАО-8 зростання тиску та температури призводить до дестабілізації триботехнічних характеристик контакту внаслідок руйнування хемосорбційних шарів в результаті їх інтенсивного стирання в режимі частих пусків-зупинок за рахунок збільшення в 4 рази градієнта швидкості зсуву, що призводить до дезорієнтації і десорбції молекул, зростання коефіцієнту тертя, при цьому ефективного припрацювання пар тертя не встановлено.

### Література

1. Когаев В.П. Прочность и износостойкость деталей машин / В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов. – М.: Высшая школа – 1991 – 318 с.
2. Чумичев А.А. Ускорение процесса приработки пар трения металл – металл за счет использования состава на основе неорганического полимера: дис. на соискание ученой степени кандидата техн. наук: 05.02.04 / А.А. Чумичев. – К.: КИИГА, 1974. – 369 с.
3. Ciftan M., Saibel E. Chemostress effect in tribology // Running process in tribology. Editors Dowson D., Toylor C. M., Godet M., Berthe D. Guilford: Butterworth edition – 1981 – P. 3–5.
4. А.Т.Бородин Способ приработки кинематических пар трения скольжения/ А.Т. Бородин, И.Т. Бородин // Авторское свидетельство СССР № 527624, G 01 M 13/00 – бюллетень №33 – 1977 – 2 с.
5. Порохов В.С. Трибологические методы испытания масел и присадок / В.С. Порохов. – М.:Машиностроение. – 1983. – 183 с.
6. Дмитриченко Н.Ф. Смазочные процессы в условиях нестационарного трения /Н.Ф. Дмитриченко, Р.Г. Мнацаканов. – Житомир : ЖИТИ, 2002. – 308 с.
7. Мікосянчик О.О. Спосіб припрацювання пар тертя в нестационарних умовах роботи / О.О. Мікосянчик, Р.Г. Мнацаканов, М.С. Хімко // Патент України на корисну модель № 92071, G 01 N 3/56 – бюллетень №14. – 2014. – 3 с.
8. Райко М.В. Исследование смазочного действия нефтяных масел в условиях работы зубчатых передач: дис. на соискание ученой степени доктора техн. наук: 05.02.04 / М.В. Райко. – К.: КИИГА, 1974. – 369 с.
9. Черножуков Н.И. Технология переработки нефти и газа./ Под ред. А.А. Гуреева, Б.И. Бондаренко. – Часть 3, изд. 6. – М.: Химия, 1978. – 424 с.
10. Хайнике Г. Трибохимия / Г. Хайнике. – М.: Машгиз, 1987. – 533 с.
11. Кламанн Д. Смазки и родственные продукты / Д. Кламанн. – М.: Химия, 1988. – 487 с.
12. Лосиков Б.В. Нефтепродукты. Свойства, качество, применение: Справочник. / Под ред. Б.В. Лосикова. – М.: Химия, 1966. – 398 с.
13. Menter J. W. Physics of lubrication // British Journal of Applied Physics. – 1951. – Suppl., № 1. – P.52 – 54.
14. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам / А.М. Кулиев. – Л.: Химия, 1985. – 312 с.
15. Fote A.A., Slade R.A., Feuerstein S. Thermally induced migration of hydrocarbon oil // Transaction of the ASME Journal of Lubrication Technol. -1977. - April, №4. - P.158-162.
16. Bowden F. P., Tabor D. Friction and lubrication of solidsю. - Oxford, 1950. – 199p.

Поступила в редакцію 19.02.2016

Mikosyanchyk O.A., Mnatsakanov R.G., Lopata V.M, Kalinichenko V.I. **Oil lubricating effect in non-stationary processes and under breaking-in condition.**

The method of breaking-in of contact surfaces in the non-stationary modes of friction work (start-stop mode) was presented in this work. This method gives possibility more correctly and precisely estimate the ending of breaking-in phase. With the usage of mineral and synthetic oils the final term of steel breaking-in was determined by the kinetic change of main tribotechnical characteristics of contact: estimation of physical and mechanical properties of material surface layers of contact surfaces by the kinetic change of specific friction work, anti-frictional characteristics of contact by the kinetic change of friction moment, lubricating and polymerization properties of lubricant material by the kinetic of formation the thickness of lubricant material.

**Keywords:** breaking-in, thickness of lubricant layer, boundary absorption layers, rheological properties, friction coefficient.

### References

1. Kogaev V.P. Prochnost' i iznosostojkost' detalej mashin, M.: Vysshaja shkola, 1991, 318p.
2. Chumichev A.A. Uskorenie processa prirabotki par trenija metall – metall za schet ispol'zovanija sostava na osnove neorganicheskogo polimera: dis. na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehn. nauk: 05.02.04, K.: KIIGA, 1974, 369p.
3. Ciftan M., Saibel E. Chemostress effect in tribology. Running process in tribology. Editors Dowson D., Taylor C. M., Godet M., Berthe D. Guilford: Butterworth edition, 1981, P.3–5.
4. A.T.Borodin, I.T. Borodin Sposob prirabotki kinematicheskikh par trenija skol'zhenija. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR № 527624, G 01 M 13/00, bjulleten' №33, 1977, 2p.
5. Porohov V.S. Tribologicheskie metody ispytaniya masel i prisadok. M.: Mashinostroenie, 1983, 183p.
6. Dmitrichenko N.F., Mnacakanov R.G. Smazochnye processy v uslovijah nestacionarnogo trenija. Zhitomir: ZhITI, 2002, 308p.
7. Mikosjanchik O.O., Mnacakanov R.G., Himko M.S. Sposib pripracjuvannja par tertja v nestacionarnih umovah roboti. Patent Ukraïni na korisnu model' № 92071, G 01 N 3/56, bjuleten' №14, 2014, 3p.
8. Rajko M.V. Issledovanie smazochnogo dejstvija neftjanyh masel v uslovijah raboty zubchatyh peredach: dis. na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehn. nauk: 05.02.04, K.: KIIGA, 1974, 369 p.
9. Chernozhukov N.I., Pod red. A.A. Gureeva, B.I. Bondarenko. Tehnologija pererabotki nefi i gaza. Chast' 3, M.: Himija, 1978, 424 p.
10. Hajnike G. Tribohimija, M.: Mashgiz, 1987, 533 p.
11. Klamann D. Smazki i rodstvennye produkty, M.: Himija, 1988, 487p.
12. Losikov B.V. Nefteprodukty. Svoystva, kachestvo, primenenie: Spravochnik.. M.: Himija, 1966, 398p.
13. Menter J. W. Physics of lubrication. British Journal of Applied Phisics, 1951, Suppl., № 1, P.52 – 54.
14. Kuliev A.M. Himija i tehnologija prisadok k maslam i toplivam, L.: Himija, 1985, 312p.
15. Fote A.A., Slade R.A., Feuerstein S. Thermally induced migration of hydrocarbon oil // Transaction of the ASME Journal of Lubrication Technol. -1977. - April, №4. - P.158-162.
16. Bowden F. P., Tabor D. Friction and lubrication of solidsю. - Oxford, 1950. – 199p.