

І.А.Кравець<sup>1</sup>, д-р.техн.наук, І.Л.Трофімов<sup>2</sup>, О.Д.Коваль<sup>3</sup>, канд.техн.наук

1- Національний університет оборони України, м.Київ, Україна

2- Національний авіаційний університет, м.Київ, Україна

3- НТУ України «Київський політехнічний інститут», м.Київ, Україна

## ЗМІНА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНИХ ОЛИВ У ПРОЦЕСІ ЇХ РОБОТИ

*Как известно автомобильные масла работают в тяжелых условиях, испытывая высокие нагрузки при высоких температурах. Цель данной работы заключалась в установлении закономерностей влияния наработки моторных и трансмиссионных масел на их противоизносные и реологические свойства. Экспериментально исследованы вышеприведенные свойства для товарных и наработанных в двигателе внутреннего сгорания масел. Испытания наработанных масел позволили обнаружить снижение их противоизносных свойств, а также тот факт, что с повышением температуры аномалии вязкости масел становятся более выраженными, при этом реологические свойства остались неизменными.*

*As known, motor-car oils work in difficult terms, assuming the large loadings at high temperatures. The purpose of this work consisted in establishment conformities to the law of influence work of motor and transmission oils on their antiwear and reological properties. These properties are experimentally investigational for a commodity and produced in an engine internal combustion oils. The tests of the produced oils allowed to set the decline of their antiwear properties, and also that with the increase of temperature anomaly of viscosity oils stand more expressed, but reological properties did not almost change.*

На сьогодні велика увага приділяється розробці нових високотехнологічних мастильних матеріалів (ММ) і технічних рідин шляхом створення присадок, синтетичних, напівсинтетичних олиव, а також мастильних композицій на основі рослинних олій.

Найважливішими факторами, що визначають експлуатаційну надійність та термін експлуатації деталей, що працюють в умовах тертя, є властивості ММ та стан їх робочих поверхонь. Відновлення зношених поверхонь, повернення їм необхідних експлуатаційних властивостей, а також подовження терміну експлуатації мастильних середовищ (МС), є важливими задачами сучасної трибології та ремонтного виробництва.

Вимоги до сучасних олив їх властивостей та режимів роботи в різних умовах визначають необхідність підвищення триботехнічних властивостей існуючих ММ, пошуку нових напрямів і методів створення МС для вузлів тертя машин і механізмів. У зв'язку з цим дослідження впливу напрацювання моторних олив на їх протизносні і реологічні властивості є актуальним. Також ці дослідження допоможуть вирішувати задачі щодо підвищення експлуатаційних властивостей олив, які є одним з пріоритетних напрямів забезпечення надійності роботи технологічних систем [1].

**Мета роботи** – встановлення закономірностей впливу напрацювання моторних олив на їх протизносні та реологічні властивості.

**Об'єктом дослідження** був процес спрацювання експлуатаційних властивостей моторних олив.

**Предмет дослідження** склали закономірності впливу напрацювання (старіння) моторних олив на їх реологічні властивості та величину зношування контактуючих поверхонь в умовах граничного тертя ковзання.

Об'єктами експериментальних випробувань були обрані оливи М-20/5040 «Азмол», 15W-40 «Lotos», ТАД-17И «Кременчуг», 15W-40 «Лада-Люкс», 20W-50 «Океан-Люкс», 10W-40 «ВАМП», дизель «Лада-Люкс». Протизносні і реологічні властивості вибраних олив досліджували «до» та «після» напрацювання в двигуні автомобіля 100 мотогодин, ТАД-17И після напрацювання в редукторі 50 мотогодин.

Випробування протизносних властивостей МС проводили на приладі тертя типу «ПТ-4Ц» (рис. 1). Прилад тертя виготовлено за схемою «циліндр – площина» з трибоконтактом по твірній циліндра, матеріал зразків «сталь 9ХС– латунь ЛС59-1». Прилад призначений для визначення триботехнічних властивостей матеріалів, покриттів та малов'язких рідинних середовищ.

До обертально рухомого контрзразка-циліндра прижмається плоский зразок з заданим нормальним навантаженням у визначеному рідкому середовищі. У результаті тертя робоча

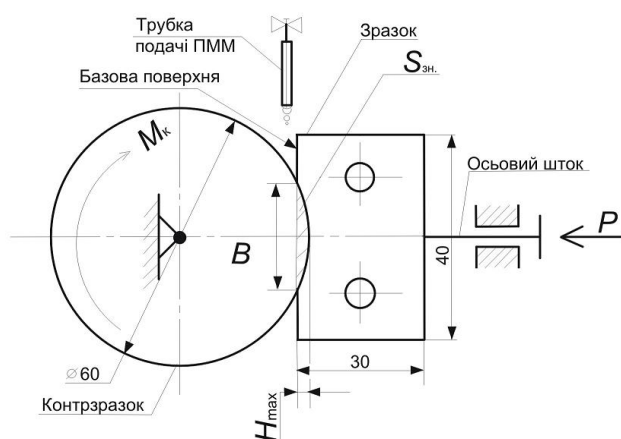


Рис. 1. Схема випробувань протизносних властивостей ПММ, реалізована на приладі тертя «ПТ-4Ц»

поверхня зразка зношується і утворюється вироблення у вигляді сегментної лунки. Після випробування на зразку вимірюються геометричні розміри вироблення і розраховуються параметри лінійної та об'ємної інтенсивності зношування. Робочу поверхню контрзразка, який виконує відносний обертальний рух, діаметром 60 мм і шириною 10 мм виготовлено із сталі 9ХС та загартовано до твердості HRC 62. Робочу поверхню нерухомого плоского зразка, довжиною 40мм, шириною 30мм та товщиною 3мм виготовлено із латуні ЛС59-1. Нормальне навантаження  $P$ , залежно від навантаження пари тертя може становити 0,25...100 кг. Вузли навантаження важільного типу. В якості приводу був використаний електродвигун змінного струму.

Зразок, контрзразок, емність для досліджуваної оливи та всі деталі кріплення перед початком проведення випробувань для очистки поверхонь від залишків продуктів механічної обробки та МС промивалися ацетоном і сушилися.

Методика експерименту включає три етапи випробування ПММ. Перший – етап припрацювання пар тертя, шлях тертя складає 1000м. З метою постійної відтворюваності процесу, припрацювання виконується тільки у базових МС. Другий та третій – етапи напрацювання пар тертя у встановленому режимі, необхідні для дослідження протизносних і антифрикційних властивостей МС, шлях тертя становить відповідно 2000 м та 4000 м після процесу припрацювання. Кожну експериментальну точку отримано як середнє значення від трьох випробувань зразків на тертя та зношування за однакових умов проведення експерименту з подальшим заміром величини зношування. Критерієм зношування було прийнято величину об'ємного зношування  $H_V$  ( $\text{м}^3$ ) дослідного зразка, яку отримували за рахунок добутку площі зношування  $S_{\text{зн.}}$  ( $\text{м}^2$ ) на товщину зразка (0,003м). Для розрахунку площі зношування  $S_{\text{зн.}}$  на яку контргіло заглиблювалося в досліджуваний зразок відносно базової поверхні у процесі спрацювання матеріалу, знаходили глибини доріжок тертя на нерухомому зразку шляхом їх вимірювання на профілографі-профілометрі ПП-1К. З метою спрощення розрахунку площі зношування було розроблено комп'ютерну програму на мові програмування «Builder 6, C++». Результати основних експериментів оброблено на комп'ютері та викладено у виді графіків (рис. 2 та рис. 3).

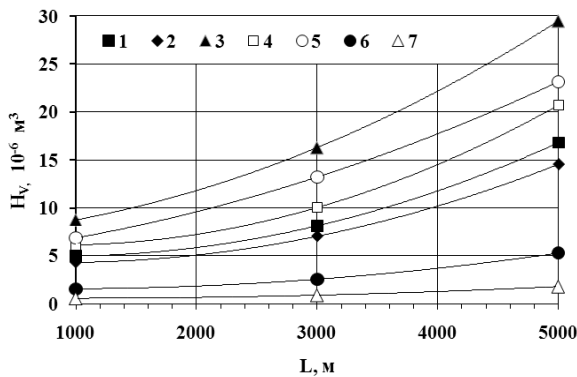


Рис. 2. Залежність величини об'ємного зношування від шляху тертя під час дослідження протизносних властивостей оливи у стані поставки: 1 – М-20/5040 «Азмол»; 2 – 15W-40 «Lotos»; 3 – ТАД-17и «Кременчуг»; 4–15W-40 «Лада-Люкс»; 5 – 20W-50 «Океан-Люкс»; 6–10W-40 «ВМП»; 7 – дизель «Лада-Люкс»

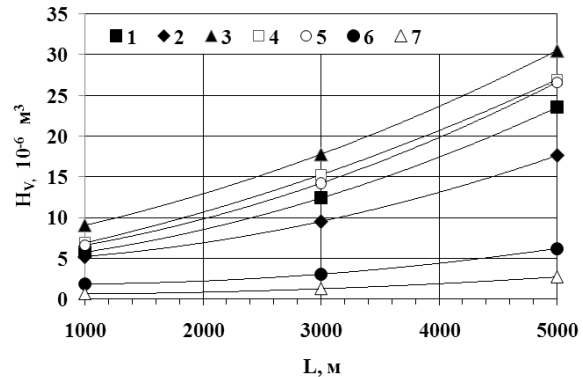


Рис. 3. Залежність величини об'ємного зношування від шляху тертя під час дослідження протизносних властивостей оливи після наробітку у двигуні внутрішнього згорання у 100 мотогодин: 1 – М-20/5040 «Азмол»; 2 – 15W-40 «Lotos»; 3 – ТАД-17и «Кременчуг» (50 мотогодин); 4–15W-40 «Лада-Люкс»; 5 – 20W-50 «Океан-Люкс»; 6–10W-40 «ВМП»; 7 – дизель «Лада-Люкс»

Залежність величини об'ємного зношування від шляху тертя під час дослідження протизносних властивостей оливи показує, що за однакового часу роботи оливи у двигуні внутрішнього згорання (100 мотогодин) величина зношування зразків напрацьованих у різних сортах оливи – різна. Для зразків напрацьованих у оливі М-20/5040 після напрацювання величина зношування була у 1,6 більшою за зразки, що були напрацьовані у базовій оливі (рис. 2 та рис. 3). Відповідно для зразків напрацьованих у оливах 15W-40 «Lotos» – більшою у 1,2; ТАД-17и «Кременчуг» (50 мотогодин) – більшою у 1,15; 15W-40 «Лада-Люкс» – більшою у 1,3; 20W-50 «Океан-Люкс» – більшою у 1,2; 10W-40 «ВМП» – більшою у 1,1; дизель «Лада-Люкс» – більшою у 1,5.

Як відомо, технічні оливи мають відповідати певним властивостям, серед яких основними є експлуатаційні, фізичні (теплові), екологічні й реологічні, які у свою чергу пов'язані з в'язкістю, в'язкісно-температурними, релаксаційними, адгезійними та іншими характеристиками оливи [3]. Автомобільні оливи, залежно від умов експлуатації, ділять на моторні, трансмісійні й гідравлічні. Оливи можуть мати відмінність у молекулярній будові своєї основи. Синтетичні оливи "створюються" із заданими експлуатаційними властивостями і відрізняються від мінеральних більш високою хімічною й термічною стабільністю, а також текучістю й проникаючою спроможністю, тобто при роботі із синтетичними оливами не повинно відбуватися яких-небудь хімічних перетворень в широкому діапазоні температур.

В'язкість оливи в процесі експлуатації має залежати від температури, тиску та градієнту швидкості, а в разі ньютонівської рідини тільки від температури й тиску, тобто  $\mu = f(T, p)$ .

Можна вважати, що реологічні властивості рідин, що використовують для змащування, багато в чому мають впливати на зносостійкість вузлів тертя. Для системи змащування «циліндр-площина» (рис. 1) коефіцієнт тертя  $C_{\text{терт}}$  можна визначити за формулою [3]

$$C_{\text{терт}} = 0,76 (\mu u L / N)^{0,5},$$

де  $u$  - швидкість;  $L$  - довжина поверхні;  $N$  - зусилля, що діє на поверхні, тобто є функцією в'язкості  $\mu$ .

Наприклад, сила тертя, що діє в підшипнику ковзання, у першому наближенні може бути визначена по формулі Петрова [4]

$$F = \frac{M_{\text{терт}}}{R_1} = \mu \frac{SU}{h + \frac{\mu}{C_{f1}} + \frac{\mu}{C_{f2}}},$$

де  $M_{\text{терт}}$  - момент тертя;  $\mu$  - коефіцієнт динамічної в'язкості;  $S = 2\pi R_1 H$  - повна поверхня контакту з оливою;  $U_1 = \omega_1 R_1$  - окружна швидкість;  $h = R_2 - R_1$  - відстань між циліндричними поверхнями.

Слід зазначити, що дана формула була отримана для ньютонівської рідини за умови, що  $\mu = \text{const}$ . Якщо олива не є ньютонівською рідиною, необхідно корегування розрахункових формул. З метою з'ясування доцільності такого корегування були проведені дослідження реологічних характеристик вищезазначених олив.

Реологічні дослідження, виконувались на ротаційному віскозиметрі Реотест 2.1 з вимірювальним пристроєм типу «циліндр – циліндр» у діапазоні градієнтів швидкостей 16...1320  $\text{c}^{-1}$ . Побудова реологічних кривих у логарифмічній системі координат, дозволяє визначати реологічні константи в законі Освальда-де-Віля

$$\tau = k\dot{\gamma}^n,$$

де  $k$  - міра консистенції рідини;  $n$  - показник ступеня, який характеризує неньютонівські властивості рідини.

Результати реологічних досліджень, проведених для деяких автомобільних олив, показали, що реологічні властивості цих олив близькі до ньютонівських [5]. Наприклад, у олив Yukoil SAE 10W-40, 10W-40 «ВМП», «Лада-Люкс» Дизель SAE 10W-40, «Лада-Люкс» SAE 15W-40 при підвищенні температури починають проявлятися псевдопластичні властивості (помітно зменшується показник ступеня  $n$ ), тобто, ці оливи втрачають ньютонівські властивості при високих температурах. Отже у цих олив в'язкість є функцією не тільки температури, але й градієнта швидкості, тобто в'язкість даних олив може змінюватися при зміні частоти обертання валу.

Беручи до уваги вищезазначене, цікаво було визначити вплив напрацювання оливи на її реологічні властивості, тобто визначити чи змінюються реологічні константи оливи під час роботи у двигуні. Слід зазначити, що зміна хімічного складу не вивчалась. Побудова реологічних кривих базових олив та олив після напрацювання у логарифмічних координатах дозволила визначити реологічні константи при різних температурах. Результати реологічних досліджень у графічному виді наведені на рис. 4-7.

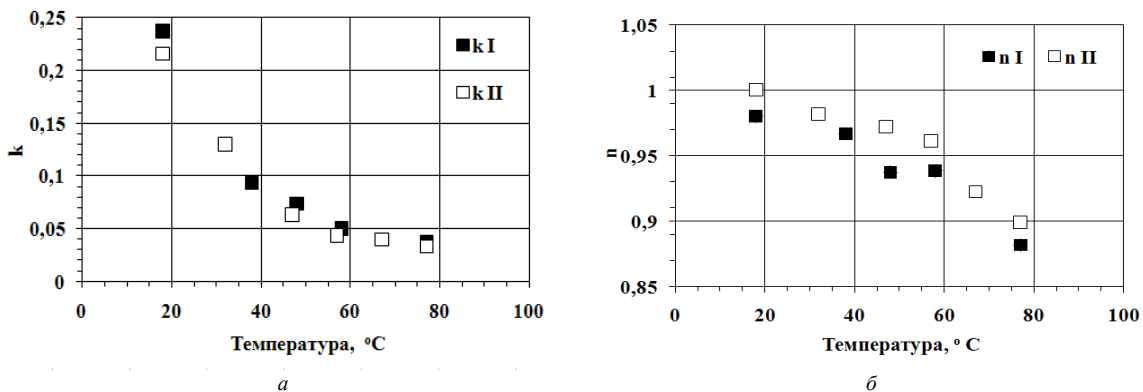


Рис. 4. Залежність реологічної константи  $k$  (а) та показника степені  $n$  (б) від температури для оливи М-20/5040 «Азмол»: I – базова (у стані поставки) олива; II – олива після пробігу у 8000км

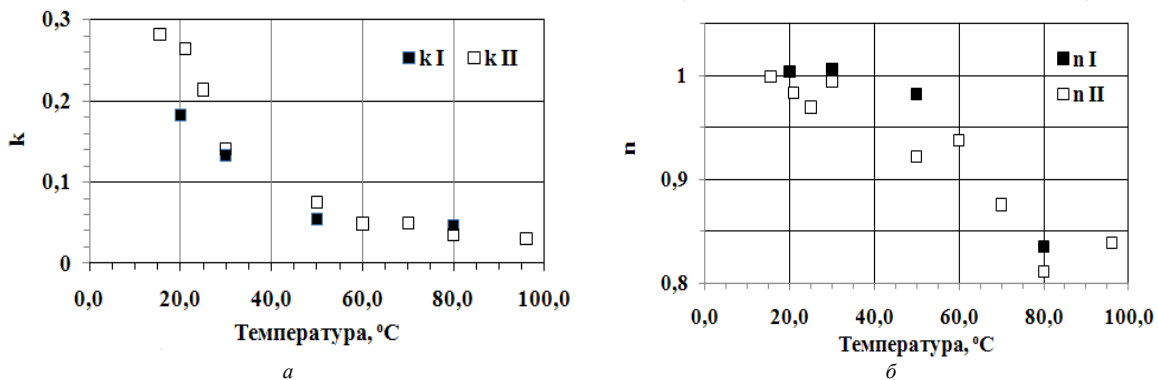


Рис. 5. Залежність реологічної константи  $k$  (а) та показника степені  $n$  (б) від температури для оливи 15W-40 «Лада-Люкс»: I – базова (у стані поставки) олива; II – олива після пробігу у 5000км

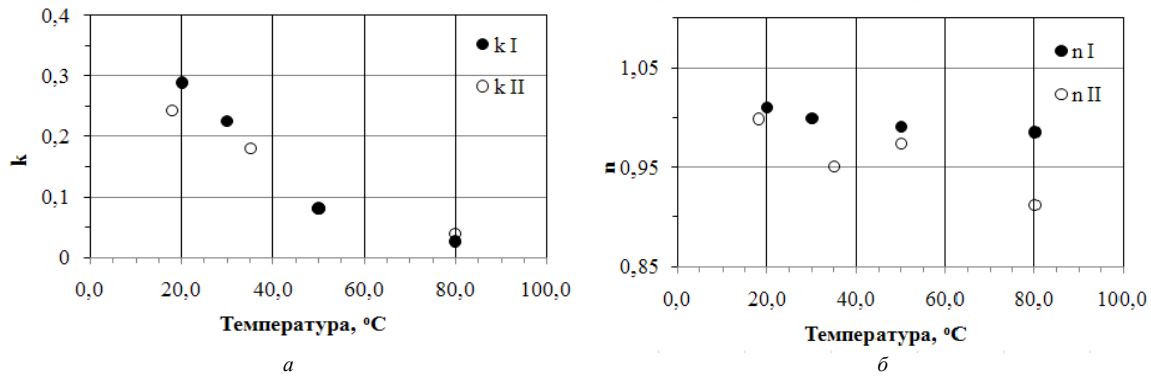


Рис. 6. Залежність реологічної константи  $k$  (а) та показника степені  $n$  (б) від температури для оливи 20W-50 «Океан-Люкс»: I – базова (у стані поставки) олива; II – олива після пробігу у 5000км

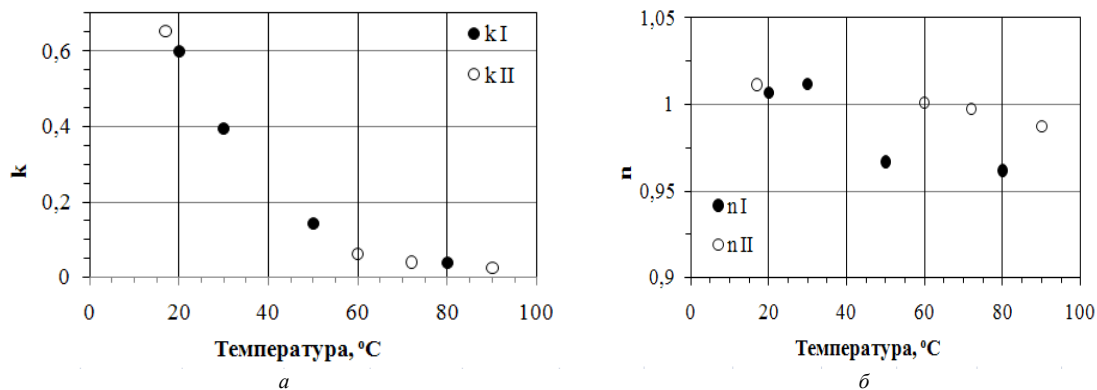


Рис. 7. Залежність реологічної константи  $k$  (а) та показника степені  $n$  (б) від температури для оливи ТАД-17и: I – базова (у стані поставки) олива; II – олива після напрацювання 50 мотогодин

Аналіз результатів реологічних досліджень показав, що всі досліджувані оливи проявляють аномалії в'язкості. При температурі 20°C оливи мають ньютонівські властивості ( $n \approx 1$ ), а з підвищенням температури в оливах починають проявлятися псевдопластичні властивості ( $n < 1$ ). При цьому слід звернути увагу, що реологічні властивості оливи після «пробігу» майже не відрізняються від властивостей базових оливи.

#### Висновки.

Величина об'ємного зношування зразків напрацьованих у оливах з наробітком в двигуні внутрішнього згорання порівняно з напрацьованими у базових оливах становить відповідно для: М-20/5040 «Азмол» – більшою у 1,6 рази; 15W-40 «Lotos» – більшою у 1,2 рази; ТАД-17и «Кременчуг» (50 мотогодин) – більшою у 1,15 рази; 15W-40 «Лада-Люкс» – більшою у 1,3 рази; 20W-50 «Океан-Люкс» – більшою у 1,2 рази; 10W-40 «ВАМП» – більшою у 1,1 рази; дизель «Лада-Люкс» – більшою у 1,5 рази.

У процесі триботехнічних випробувань оливи після їх напрацювання у двигуні автомобіля встановлено, що величина зношування на 5000 м випробувального шляху тертя для оливи 15W-40 «Lotos» є у 1,6 меншою чим для оливи М-20/5040 «Азмол».

З підвищенням температури аномалії в'язкості оливи стають більш вираженими, але реологічні властивості досліджуваних оливи після напрацювання майже не змінились порівняно.

#### Список літератури

1. Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.П. Лышков, О.В. Соловьев, А.А. Тропина. – Харьков: НТУУ „ХПИ“, 2006. – 544 с.
  2. Евдокимов А.Ю. Смазочные материалы и проблемы экологии / А.Ю.Евдокимов, И.Г.Фукс, Т. Н.Шабалина, Л. Н.Багдасаров -М.: ГУП Издательство «Нефть и газ», 2000. –424 с.
  3. Чихос Х. Системный анализ в триботехнике - М., Мир, 1982, –352с.
  4. Войтов В.А. Принципы конструктивной износостойкости узлов трения гидромашин/ В.А.Войтов, О.М.Яхно, Ф.Х.Аби Сааб. – К., Віпол, 1999, –192с.
- Реологические особенности автомобильных масел/Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт, Машиностроение /Д.Н.Кашуба, А.Д.Коваль, Б.О.Яхно –К.: НТУУ «КПИ», 2010, 59, стр.79-82.