

УДК 621.891  
UDC 621.891

## РЕОЛОГІЧНІ СКЛАДОВІ ТОВЩИНИ ЕГД МАСТИЛЬНОГО ШАРУ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Міланенко О.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Білякович О.М., кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна

Савчук А.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Туриця Ю.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Лізанець В.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна

## RHEOLOGICAL COMPONENTS OF THICKNESS OF EHD LUBRICATING LAYER

Dmitrychenko N.F., Sh.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Milanenko A.A., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Bilyakovich O.N., Ph.D., National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Savchuk A.N., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Turitsa Y.A., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Lizanets V.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ТОЛЩИНЫ ЭГД СМАЗОЧНОГО СЛОЯ

Дмитриченко Н.Ф., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Міланенко А.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Білякович О.Н., кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина

Савчук А.Н., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Туриця Ю.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Лізанец В.И., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні оливи (моторні, трансмісійні тощо) – це мастильні основи (базова олива мінерального або синтетичного походження) з комплексом складових різного функціонального призначення. Фірми-виробники тримають у суворому секреті хімічний склад своїх складових, які використовуються для приготування «фірмових» олив. Однак, вибір мастильних матеріалів здійснюється насамперед за їхніми фізико-хімічними показниками і експлуатаційно-технічними властивостями. Вивченню даних питань присвячені праці таких вчених як *Gohar R, Лубрехт А., Дроздов Ю.М., Павлов В.Г., Пучков В.М. [1]*.

**Викладення невирішених питань.** В умовах ЕГД-мащення навантажених деталей трибомеханічних систем велике значення для техніки мащення мають в'язкісно-температурні та п'єзов'язкісні властивості (залежність в'язкості від тиску). Ці характеристики у даній роботі визначалися за допомогою проведених експериментальних вимірювань на спеціальній техніці.

Втрати між змащувальними поверхнями при відсутності змішаного тертя є наслідком тільки внутрішнього тертя в мастильному середовищі, тобто її в'язкості. Ступінь опору рідини течії оцінювався її динамічною в'язкістю, яка потрібна для розрахунку процесів змащування трибомеханічних систем.

**Постановка завдання.** Визначення динамічної в'язкості олив 15W-40, 15W-40 D, 15W-50, 20W-50, 10W-40, 5W-40, 80W-90, 75W-90 при температурі 20°C, в'язкісно-температурних залежностей олив, визначених за методом Уббелюде-Вальтера.

**Викладення основного матеріалу.** Вимірювання динамічної в'язкості  $\eta_0$  здійснювалося за допомогою ротаційного віскозиметра типу PEOTEST 2.1 з використанням коаксимально-циліндричного вимірювального пристрою.

Напруга зсуву  $\tau$  і швидкість зсуву  $D$  розраховувалися точно. Мали місце наступні співвідношення:

– Напруга зсуву  $\tau_r$ :

$$\tau_r = \frac{M}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot r^2}; \quad (1)$$

– Швидкість зсуву  $D_r$ :

$$D_r = \frac{2 \cdot \omega \cdot R^2}{R^2 - r^2}; \quad (2)$$

– Динамічна в'язкість  $\eta$ :

$$\eta = \frac{\tau_r}{D_r}. \quad (3)$$

При визначенні динамічної в'язкості ротаційні віскозиметри мали переваги, які полягали у тому, що вони дозволяли вимірювати в'язкість як функцію часу при постійній швидкості зсуву і визначати наявність гістерезису та пружнов'язкісних властивостей. Їхня перевага полягала також у роботі при атмосферному тиску.

Результати вимірювань  $\eta_0$  зведені в табл. 1. Вони показали, що всі оливи є ньютонівськими в діапазоні швидкостей зсуву від 0,02 ч  $1,3 \cdot 10^3 \text{ c}^{-1}$ , напруг зсуву 1,6 ч  $3 \cdot 10^3 \text{ Па}$  з похибкою менше 1 %.

Таблиця 1 Результати вимірювань динамічної в'язкості для восьми олив

Клас в'язкості за SAE	Динамічна в'язкість при 20 °С, $\eta_0$ , Па · с
15W-40	0,271
15W-40 D	0,264
15W-50	0,355
20W-50	0,416
10W-40	0,191
5W-40	0,183
80W-90	0,478
75W-90	0,244

В'язкісно-температурні характеристики є досить важливими критеріями при виборі і оцінюванні властивостей олив [2]. Особливо це має велике значення для мастильних матеріалів, які експлуатуються в широкому температурному діапазоні в умовах мастильного голодування (недостатнього мащення). Підвищення температури впливає на зниження ефективної в'язкості і тим самим призводить до зниження товщини мастильного шару. Ці процеси поглиблюються умовами мастильного голодування, які призводять до більш різкого зниження товщини і в результаті – до появи ділянок схоплювання.

Ступінь опору рідини течії під впливом гравітаційних сил оцінювався кінематичною в'язкістю  $\nu$  [3].

Кінематична в'язкість  $\nu$  мастильних матеріалів після всіх проведених вимірювань обчислювалася за формулою:

$$\nu = c \cdot t, \quad (4)$$

де  $c$  – постійна віскозиметра,  $\text{мм}^2/\text{с}^2$ ;  $t$  – середньоарифметичний час витікання мастильного матеріалу у віскозиметрі, сек.

На рис. 1 представлені в'язкісно-температурні залежності олив, визначені за методом Уббелюде-Вальтера [4] і представлені в логарифмічних координатах. Перевага цього методу полягає в можливості побудови повної залежності в'язкості від температури за даними тільки двох точок результатів вимірювань в'язкості при двох температурах, де між двома вимірюваннями різниця температур становить не менш 50 °С. Результати показують, що спостерігається неоднаковий нахил ідентичних за в'язкістю олив, що свідчить про різні в'язкісно-температурні властивості, які оцінюються індексом в'язкості.

Полога в'язкісно-температурна характеристика мінеральної оливи SAE15W-50 (див. рис. 1.) у порівнянні з мінеральною оливою SAE20W-50 має перевагу, яка полягає в можливості застосування менш в'язкої оливи, що сприяє зниженню витрат на власне тертя оливи при низьких температурах. Крім того, досягається більш легкий низькотемпературний запуск двигуна і забезпечується достатнє змащування при високих температурах. Введення в'язкісних складових у всесезонні оливи дозволяє використовувати одну оливу замість кількох різної в'язкості за класифікацією SAE, що поєднує в собі гарні пускові й антифрикційні властивості, притаманні низьков'язкісним оливам при низьких температурах і високі змащувальні властивості високов'язких олив при високих температурах.

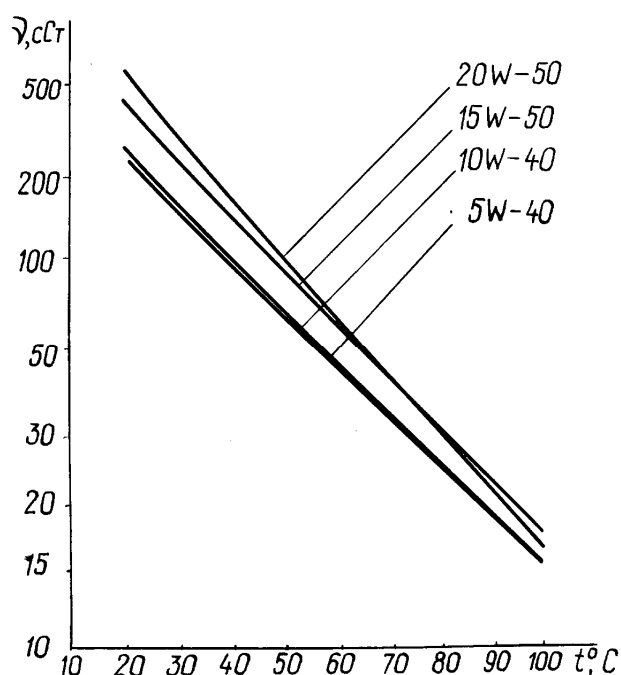


Рисунок 1 – В'язкісно-температурні характеристики різних олив, визначені за методом Уббелюде-Вальтера

Синтетична SAE5W-40 і напівсинтетична SAE10W-40 оливи завдяки високим в'язкісно-температурним характеристикам привертають увагу як оливи, що забезпечують найефективніші антифрикційні властивості при низьких температурах і змащувальні властивості при високих температурах. Особливо можна виділити оливи на прикладі всесезонних напівсинтетичних олив типу SAE 10W-40 і SAE 75W-90, які містять лише незначну кількість в'язкісних складових. Їхня в'язкість майже не змінюється під дією напруг зсуву. Дані оливи полегшують низькотемпературний запуск двигунів, що дозволяє заощаджувати паливо.

Велике значення для технології мащення навантажених деталей трибомеханічних систем мають умови утворення ЕГД-мастильного шару, за яких тиск істотно впливає на в'язкість мастильного матеріалу, так само як і на деформацію контактуючих тіл (форму плівки) [5]. В'язкість стисливих рідин збільшується одночасно із підвищенням тиску. Відносно низька стисливість мінеральних і синтетичних олив призводить до значного збільшення в'язкості при високих тисках. Отже, у точках, що піддаються навантаженню, ефективні в'язкості вище номінальних в'язкостей олив при рівних температурах [6].

Найбільш широко використовується експонентний закон залежності в'язкості від тиску, що описується залежністю Бартса [7]:

$$\eta_s = \eta_0 \cdot e^{\alpha \cdot P}, \quad (5)$$

де  $\eta_s$  – в'язкість при тиску  $P$ ;  $\eta_0$  – в'язкість при  $P = 0$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт залежності в'язкості від тиску (п'езов'язкісний коефіцієнт).

П'езов'язкісний коефіцієнт в цьому рівнянні перебуває в діапазоні  $0,01 < \alpha < 0,04 \text{ МПа}^{-1}$ . При  $\alpha = 0,02 \text{ МПа}^{-1}$  і тиску в плівці  $P = 50 \text{ МПа}$  в'язкість зростає в 2,7 раза. Якщо тиск досягає  $500 \text{ МПа}$ , то в'язкість зростатиме більш ніж у 4000 разів. Такий ріст в'язкості повністю змінює характер явищ, які протікають при невеликій зміні в'язкості. П'езов'язкісний коефіцієнт специфічний для даного продукту і залежить від структури оливи та змінюється при підвищенні тиску, а також зменшується при підвищенні температури.

Для практичних цілей, що імітують ефекти зміни температури і тиску, має перевагу метод визначення п'езов'язкісних коефіцієнтів за Роландсом, який представлений в роботі [8]. Залежність в'язкості від тиску описується рівнянням, аналогічним (5):

$$\eta_R = \eta_0 \cdot e^{\alpha^* \cdot P}, \quad (6)$$

де  $\eta_R$  – динамічна в'язкість при температурі плівки  $\theta$  й тиску  $P$ ;

$\alpha^*$  – п'езов'язкісний коефіцієнт, що є функцією  $P$  і  $\theta$ .

П'езов'язкісний коефіцієнт  $\alpha^*$  визначається з наступного рівняння:

$$\alpha^* \cdot P = [\ln(\eta_0) + 9,67] \cdot \left\{ \left( \frac{\theta - 138}{\theta_0 - 138} \right)^{-S_0} \cdot (1 + 5,1 \cdot 10^{-9} \cdot P)^Z - 1 \right\}, \quad (7)$$

де  $\theta_0$  – температура навколишнього середовища, близька до температури входу в контакт, К;  $\eta_0$  – динамічна в'язкість при  $P = 0$ , Па · с;  $Z$  і  $S_0$  – константи, які залежать від  $P$  і  $\theta$  відповідно.

Константи  $Z$  і  $S_0$  можуть бути знайдені за наступними співвідношеннями:

$$Z = \frac{\alpha}{5,1 \cdot 10^9 \cdot [\ln(\eta_0) + 9,67]}, \quad (8)$$

$$S_0 = \frac{\beta \cdot (\theta_0 - 138)}{\ln(\eta_0) + 9,67}, \quad (9)$$

де  $\beta$  і  $\alpha$  – термо- і п'езов'язкісні коефіцієнти.

Термов'язкісні  $\beta$  і  $\alpha$  п'езов'язкісні коефіцієнти були визначені за методикою [8] для високов'язкісної мінеральної оливи SAE 80W-90.

За результатами досліджень була побудована діаграма зміни співвідношень в'язкості (за Роландсом)  $\eta_R / \eta_0$  і зміни п'езов'язкісних коефіцієнтів  $\alpha^* / \alpha$  від тиску  $P$  (рис. 2).

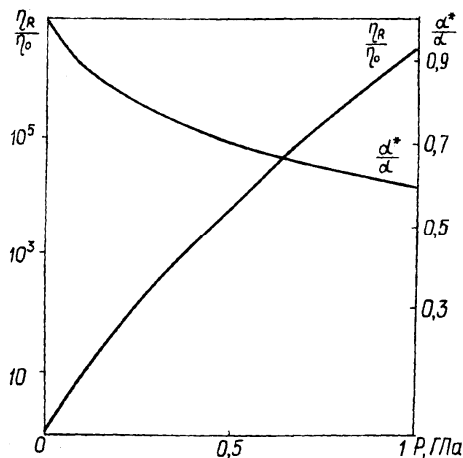


Рисунок 2 – Зміна співвідношення в'язкості (за Роландсом)  $\eta_R / \eta_0$  і п'езов'язкісних коефіцієнтів  $\alpha^* / \alpha$  від тиску  $P$  для високов'язкої мінеральної оливи SAE 80W-90

Із діаграми випливає, що при підвищенні тиску до 500 МПа, п'єзов'язкісний коефіцієнт для опорної оливи зменшується на 30 % ( $\alpha^* / \alpha = 0,7$ ), що призводить до підвищення в'язкості приблизно в 6300 разів.

**Висновок.** Таким чином, визначення основних фізико-хімічних характеристик олив (в'язкісних, в'язкісно-температурних і п'єзов'язкісних), дозволяє більш обґрунтовано диференціювати оливи за реологічною ознакою.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дроздов Ю.Н. Трение и износ в экстремальных условиях / Ю.Н.Дроздов, В.Г.Павлов, В.Н.Пучков. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
2. Нефтепродукты. Свойства, качество, применение: Справочник. / Под ред. Б.В.Лосикова. – М.: Химия, 1966. – 398 с.
3. ДСТУ ГОСТ 33-2003 (ИСО 3104-94). Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічно в'язкості – Взамен ГОСТ 33-2000; – К., 2003.
4. Кламанн Д. Смазки и родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты.: Пер. с англ. / Под ред. Ю.С. Заславского. – М.: Химия, 1988. – 488 с.
5. Коднир Д.С. Определение толщины смазочного слоя в контакте качения (применительно к подшипникам качения и зубчатым передачам) / Д.С. Коднир – КАИ им. С.П.Королева, Куйбышев, 1970. – 20 с.
6. Bartz W. Schmierungstechnik of Theorie und Praxis // Trans. ASLE. – 1977. – vol. 21. – P. 152-163.
7. Cameron A. The Principles of Lubrication / Longman. – London, 1966. – 591 p.
8. Gohar R. Elastohydrodynamics. – Ellis Horwood Ltd., Chichester, 1988. – 320 p.

#### REFERENCES

1. Drozdov Y.N., V.G.Pavlov, V.N.Puchkov. Friction and wear in extreme conditions. M. Mechanical Engineering. 1986. 224p. (Rus)
2. Petroleum products. Properties, quality, use Handbook. Ed. B.V.Losikova. Moscow: Chemistry, 1966. 398. (Rus)
3. DSTU GOST 33-2003 (ISO 3104-94). Oil. Transparent and opaque liquids. Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity. Instead GOST 33-2000. K, 2003. (Ukr)
4. Klamann D. Lubricants and related products. Synthesis. Properties. Application. International Standards. Translate from eng. Edited U.S.Zaslavskiy. M. Chemistry. 1988. 488 p. (Rus)
5. Kodnir DS Determination of film thickness in rolling contact (in relation to rolling bearings and gears) / DS Kodnir - KAI them. Korolev, Kuibyshev, 1970. 20 p. (Rus)
6. Bartz W. Schmierungstechnik of Theorie und Praxis. Trans. ASLE. 1977. Vol. 21. P. 152-163. (Eng)
7. Cameron A. The Principles of Lubrication. Longman. London, 1966. 591 p. (Eng)
8. Gohar R. Elastohydrodynamics. Ellis Horwood Ltd., Chichester, 1988. 320 p. (Eng)

#### РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Реологічні складові товщини ЕГД мастильного шару / М.Ф.Дмитриченко, О.А.Міланенко, О.М.Білякович, А.М.Савчук, Ю.О.Туриця, В.І.Лізанець // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Науковий журнал: в 2 ч. Ч. 1: Серія: „Технічні науки” – К. : НТУ, 2014. – Вип. 13.

В статті запропонована методика визначення п'єзов'язкісних коефіцієнтів, яка дозволяє більш обґрунтовано диференціювати оливи за реологічною ознакою й, в подальшому, уточнювати товщину мастильного шару за ЕГД-умов.

Об'єкт дослідження – мінеральні, полусинтетичні і синтетичні оливи широкого в'язкісного діапазону.

Мета роботи – визначення в'язкісно-температурних характеристик, співвідношення в'язкості (за Роландсом) і п'єзов'язкісних коефіцієнтів від тиску.

Метод дослідження – визначення кінематичної і динамічної в'язкості за допомогою капілярного і ротаційного віскозиметрів відповідно.

Велике значення для технології мащення навантажених деталей трибомеханічних систем мають умови утворення еластогідродинамічного (ЕГД) мастильного шару, за яких тиск істотно впливає на

в'язкість мастильного матеріалу, так само як і на деформацію контактуючих тіл (форму плівки). П'єзов'язкісний коефіцієнт специфічний для даного продукту і залежить від хімічної структури оливи та змінюється при підвищенні тиску, а також зменшується при підвищенні температури.

Для практичних цілей, що імітують ефекти зміни температури і тиску, має перевагу метод визначення п'єзокоефіцієнтів в'язкості за Роландсом. Термов'язкісні  $\beta$  і п'єзов'язкісні  $\alpha$  коефіцієнти були визначені за методикою для високов'язкісної мінеральної оливи SAE 80W-90, вибраної в якості опорної оливи. За результатами досліджень була побудована діаграма зміни співвідношень в'язкості (за Роландсом)  $\eta_R / \eta_0$  і зміни п'єзокоефіцієнтів в'язкості  $\alpha^* / \alpha$  від тиску P. За допомогою цієї діаграми було визначено, що при підвищенні тиску до 500 МПа, п'єзов'язкісний коефіцієнт для оливи SAE 80W-90 зменшується на 30 % ( $\alpha^* / \alpha = 0,7$ ), що призводить до підвищення в'язкості приблизно в 6300 разів.

Результати статті можуть бути упроваджені для уточнювання розрахунків визначення товщини мастильного шару за ЕГД-умов.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук оптимального хімічного складу широкого спектра олив, які експлуатуються у неконформних вузлах в ЕГД-режимі мащення.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** РЕОЛОГІЯ, ЕГД-УМОВИ, ЕГД МАСТИЛЬНИЙ ШАР, П'ЄЗОВ'ЯЗКІСНИЙ КОЕФІЦІЄНТ, ОЛИВА, КІНЕМАТИЧНА В'ЯЗКІСТЬ, ДИНАМІЧНА В'ЯЗКІСТЬ.

#### ABSTRACT

Dmitrichenko N.F., Milanenko A.A., Bilyakovich O.N., Savchuk A.N., Turitsa Y.A., Lizanets V.I. Rheological components of thickness of EHD lubricating layer. Management of projects, system analysis and logistics. Science journal: In Part 2. Part 1: Series: "Technical sciences" - Kyiv: NTU, 2014. - Vol. 13.

The paper proposes a method of determining the viscosity coefficients that allows a reasonably differentiate oil on the rheological characteristics and, subsequently, to specify the thickness of the lubricant layer in EHD conditions.

Object of research - mineral, semi-synthetic oils and a wide range of viscous.

Purpose - definition of viscosity-temperature characteristics, viscosity ratio (by Rolands) and viscosity coefficients of pressure.

Method study - definition of the kinematic and dynamic viscosity using capillary and rotational viscometer, respectively.

A large value for parts loaded lubrication technology systems have tribomechanics elastohydrodynamic formation conditions (EHD) lubrication layer under pressure which greatly influences the viscosity of the lubricant, as well as on the deformation of the contact solid (film shape). Viscous factor specific to the product and depends on the chemical structure and lubrication changes with increasing pressure and decreases with increasing temperature.

For practical purposes, simulating the effects of temperature and pressure, has the advantage of the method of determining the viscosity coefficient by Rolands. Thermo viscous  $\beta$  and  $\alpha$  viscous coefficients were determined by the method for highly viscous mineral oil SAE 80W-90, selected as the reference oil. According to the research was built diagram of the viscosity ratio (by Rolands)  $\eta_R / \eta_0$  and viscosity changes viscous coefficients  $\alpha^* / \alpha$  from the pressure P. With this diagram, it is determined that the pressure is raised to 500 MPa, viscous coefficient oil SAE 80W-90 decreased by 30% ( $\alpha^* / \alpha = 0,7$ ), which leads to increased viscosity of about 6300 times.

Our results can be introduced to clarify the calculations for determining the thickness of the lubricant layer in EHD conditions.

Assumptions about the development of the object of research - finding the optimal chemical composition of a wide range of oils, used in nonconforming nodes in EHD lubrication regime.

**KEYWORDS:** RHEOLOGY, EHD CONDITIONS EHD LUBRICANT LAYER, VISCOUS COEFFICIENT, OIL, KINEMATIC VISCOSITY, DYNAMIC VISCOSITY.

#### РЕФЕРАТ

Дмитриченко Н.Ф. Реологические составляющие толщины ЭГД смазочного слоя / Н.Ф.Дмитриченко, А.А.Миланенко, О.Н.Биллякович, А.Н.Савчук, Ю.А.Турица, В.И.Лизанец // Управление проектами, системный анализ и логистика. Научный журнал: в 2 ч. Ч. 1: Серия: „Технические науки” – К. : НТУ, 2014. – Вип. 13.

В статье предложена методика определения пьезовязкостных коэффициентов, которая позволяет более обоснованно дифференцировать масла по реологическим признакам и, в дальнейшем, уточнять толщину смазочного слоя при ЭГД-условиях.

Объект исследования - минеральные, полусинтетические и синтетические масла широкого вязкостного диапазона.

Цель работы - определение вязкостно-температурных характеристик, соотношения вязкости (по Роландсу) и пьезовязкостных коэффициентов от давления.

Метод исследования - определение кинематической и динамической вязкости с помощью капиллярного и ротационного вискозиметра соответственно.

Большое значение для технологии смазывания нагруженных деталей трибомеханических систем имеют условия образования эластогидродинамического (ЭГД) смазочного слоя, при которых давление существенно влияет на вязкость смазочного материала, так же как и на деформацию контактирующих тел (форму пленки). Пьезовязкостный коэффициент специфический для данного продукта и зависит от химической структуры смазки и изменяется при повышении давления, а также уменьшается при повышении температуры.

Для практических целей, имитирующих эффекты изменения температуры и давления, имеет преимущество метод определения пьезокоеэффициентов вязкости по Роландсу. Термовязкостные  $\beta$  и пьезовязкостные  $\alpha$  коэффициенты были определены по методике для высоковязкостного минерального масла SAE 80W-90, выбранного в качестве опорного масла. По результатам исследований была построена диаграмма изменения соотношений вязкости (по Роландсу)  $\eta_R/\eta_0$  и изменения пьезокоеэффициентов вязкости  $\alpha^*/\alpha$  от давления  $P$ . С помощью этой диаграммы было определено, что при повышении давления до 500 МПа, пьезовязкостный коэффициент для масла SAE 80W-90 уменьшается на 30% ( $\alpha^*/\alpha = 0,7$ ), что приводит к повышению вязкости примерно в 6300 раз.

Результаты статьи могут быть внедрены для уточнения расчетов определения толщины смазочного слоя при ЭГД-условиях.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования - поиск оптимального химического состава широкого спектра масел, эксплуатируемых в неконформных узлах в ЭГД-режиме смазки.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** РЕОЛОГИЯ, ЭГД-УСЛОВИЯ, ЭГД-СМАЗОЧНЫЙ СЛОЙ, ПЬЕЗОВЯЗКОСТНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ, МАСЛО, КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ, ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ.

#### АВТОРИ:

Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 318.

Міланенко Олександр Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: milanmasla@gmail.com, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к.102.

Білякович Олег Миколайович, кандидат технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, професор кафедри «Технологій аеропортів», e-mail: oleg65@voliacable.com, тел. (044)4067694, Україна, 03680, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1, к.1.409.

Савчук Анатолій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: tolik\_savchuk@bigmir.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к.102.

Туриця Юлія Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: yuliya\_tur@ukr.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к.102.

Лізанець Віталій Ігоревич, Національний транспортний університет, молодший науковий співробітник кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: lizanets\_vitaliy@ukr.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к.102.

#### AUTHOR:

Dmytrychenko Nikolay F., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, tel. (044)2808203, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 318.

Milanenکو Aleksandr A., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: milanmasla@gmail.com, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

Savchuk Anatoliy N, associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: tolik\_savchuk@bigmir.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

Bilyakovych Oleg N., associate professor, National Aviation University, associate professor department of technologies of air-ports, e-mail: oleg65@voliacable.com, tel. (044)4067694, Ukraine, 03680, Kyiv, b. Cosmonaut of Komarova, 1, of. 1.409.

Turitsa Yuliya A., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: : yuliya\_tur@ukr.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

Lizanets Vytaliy I., National Transport University, junior researcher department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: lizanets\_vitaliy@ukr.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

#### АВТОРЫ:

Дмитриченко Николай Федорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 318.

Миланенко Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: milanmasla@gmail.com, тел. (044)2801886, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к.102.

Биликович Олег Николаевич, кандидат технических, профессор, Национальный авиационный университет, профессор кафедры «Технологий аэропортов», e-mail: oleg65@voliacable.com, тел. (044)4067694, Украина, 03680, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1, к.1.409

Савчук Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: tolik\_savchuk@bigmir.net, тел. (044)2801886, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к.102.

Турица Юлия Александровна, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: yuliya\_tur@ukr.net, тел. (044)2801886, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к.102.

Лизанец Виталий Игоревич, Национальный транспортный университет, младший научный сотрудник кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: lizanets\_vitaliy@ukr.net, тел. (044)2801886, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к.102.

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Матейчик В.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Київ, Україна

Тамаргазін О.А., доктор технічних наук, Національний авіаційний університет, професор кафедри екології та технологій аеропортів, Київ, Україна

#### REVIEWER:

Mateychuk V.P., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, professor department of ecology and safety of vital functions, Kyiv, Ukraine

Tamargazin O.A., Ph.D., Engineering (Dr.), National Aviation University, professor department of Mateychuk V.P., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, professor department of ecology and safety of vital functions, Kyiv, Ukraine, Kyiv, Ukraine