

УДК 621.891:621.43:629.33

## ВПЛИВ ГУСТИНИ ТА В'ЯЗКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНИХ ОЛИВ НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПАР ТЕРТЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

К.А. Зіборов<sup>1</sup>, В.В. Кривда<sup>2</sup>, І.Р. Андріюк<sup>3</sup>

<sup>1</sup>доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, декан ММФ, e-mail: [ziborov.k.a@nmu.one](mailto:ziborov.k.a@nmu.one)

<sup>2</sup>доцент кафедри автомобільного транспорту, e-mail: [krivda.v.v@nmu.one](mailto:krivda.v.v@nmu.one)

<sup>3</sup>магістр спеціальності 132

<sup>1, 2, 3</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Анотація.** У статті досліджено вплив густини та в'язкісних характеристик моторних олів на трибологічні параметри вузла тертя «шийка колінчастого валу – вкладиш підшипника ковзання». Розглянуто взаємозв'язок густини, динамічної в'язкості, коефіцієнта тертя та втрат потужності в умовах гідродинамічного мащення. Проведено порівняльний аналіз моторних олів SAE 5W-30, SAE 5W-40 та SAE 20W-30. Встановлено закономірності зміни трибологічних характеристик залежно від температури та густини оливи, а також обґрунтовано вплив матеріалів пари тертя на ресурс вузла.

*Ключові слова:* трибологія, моторна олива, густина, в'язкість, колінчастий вал, підшипник ковзання, знос, антифрикційні матеріали.

## EFFECT OF ENGINE OIL DENSITY AND VISCOSITY ON CRANKSHAFT TRIBOLOGY

Kirill Ziborov<sup>1</sup>, Vitaly Krivda<sup>2</sup>, Ilarion Andriiuk<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D., Associate Professor, Head of MCE Faculty, e-mail: [ziborov.k.a@nmu.one](mailto:ziborov.k.a@nmu.one)

<sup>2</sup> Ph.D., Associate Professor, Head of Motor Vehicle Transport Department, e-mail: [krivda.v.v@nmu.one](mailto:krivda.v.v@nmu.one)

<sup>3</sup> Student

<sup>1,2,3</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

**Abstract.** The paper investigates the influence of density and viscosity characteristics of engine oils on tribological parameters of the friction pair “crankshaft journal – bearing shell”. Relationships between density, dynamic viscosity, friction coefficient and power losses under hydrodynamic lubrication are analyzed. Comparative evaluation of SAE 5W-30, SAE 5W-40 and SAE 20W-30 oils was performed. Regularities of tribological behavior depending on temperature and oil density are established.

*Keywords:* tribology, engine oil, density, viscosity, crankshaft, plain bearing, wear, anti-friction materials.

**Вступ.** Підвищення надійності автомобільних двигунів безпосередньо пов'язане зі зниженням тертя та зношування у навантажених вузлах. Одним

із критичних елементів двигуна є корінний підшипник ковзання колінчастого валу, працездатність якого визначається характеристиками мастильного середовища та матеріалами контактної пари.

Традиційно головну увагу приділяють в'язкості моторної оливи, однак густина також впливає на умови формування мастильної плівки, гідродинамічні сили та енергетичні втрати. Це зумовлює необхідність комплексного дослідження густинно-в'язкісних характеристик у поєднанні з матеріалознавчим аналізом вузла.

*Актуальність дослідження.* Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення ресурсу та енергоефективності автомобільних двигунів шляхом оптимізації умов мащення у трибологічно навантажених вузлах. Особливо важливим є дослідження впливу густини моторної оливи, яка традиційно розглядається меншою мірою порівняно з в'язкістю, хоча істотно впливає на режими тертя та зношування.

**Мета роботи.** Аналіз впливу густини моторної оливи на трибологічні властивості пари тертя «шийка колінчастого валу – вкладиш» з урахуванням матеріалів контактного вузла, температурного режиму та енергетичних втрат на тертя.

*Для досягнення поставленої мети* необхідно проаналізувати матеріали пари тертя колінчастого валу та вкладиша, дослідити вплив густини й в'язкості моторних олів на коефіцієнт тертя, виконати порівняльну оцінку трибологічної ефективності олів різних класів, визначити вплив забруднення мастила на зношування, сформулювати рекомендації щодо підвищення ресурсу підшипникового вузла.

**Основна частина дослідження.** Матеріалами контактної пари у роботі прийнято сталь 40X для шийки колінчастого валу та вкладиш із антифрикційним шаром Al-Sn-Cu, що є типовим рішенням для сучасних ДВЗ. Таке поєднання забезпечує високу втомну міцність, добру припрацьовуваність і низький коефіцієнт тертя, рис. 1.

Дослідження забруднення оливи показало, що тверді домішки Fe, Al, Cu та SiO<sub>2</sub> підвищують коефіцієнт тертя й інтенсивність абразивного зношування.

Для аналізу впливу густини розглянуто оливи SAE 5W-30, SAE 5W-40, SAE 20W-30.

У діапазоні 80–100°C встановлено, зі зростанням температури в'язкість зменшується, зменшується коефіцієнт тертя, знижуються втрати потужності, рис.2, рис. 3.

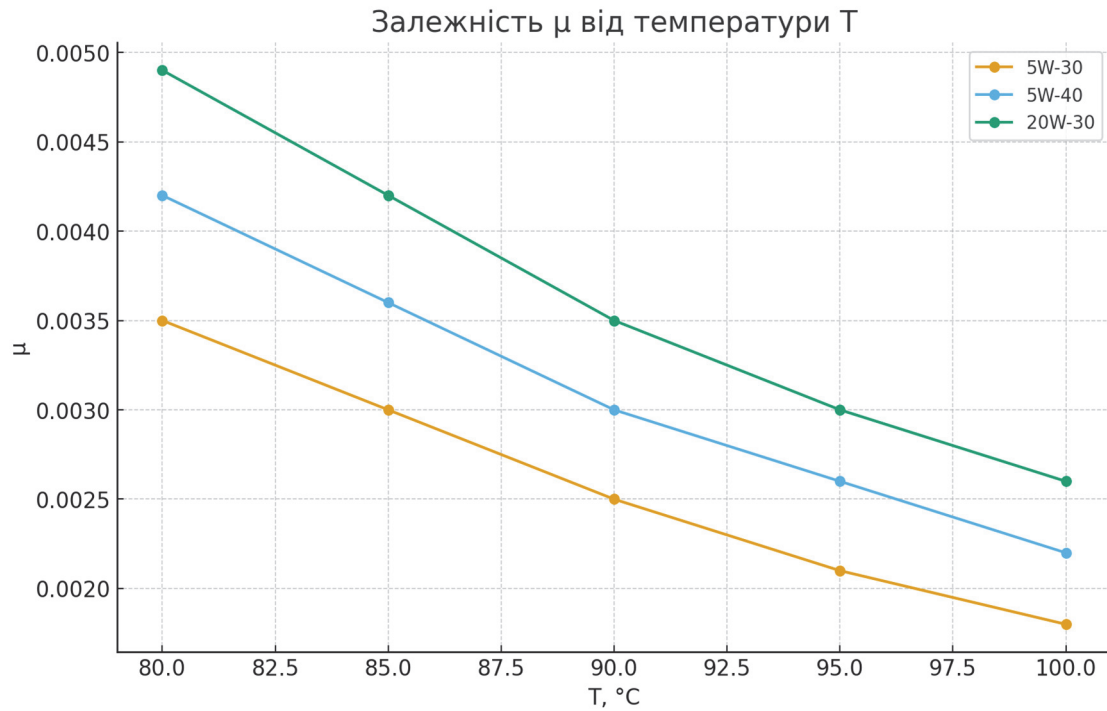


Рис.1. – Залежність коефіцієнта тертя  $\mu$  від температури  $T$  для різних олив

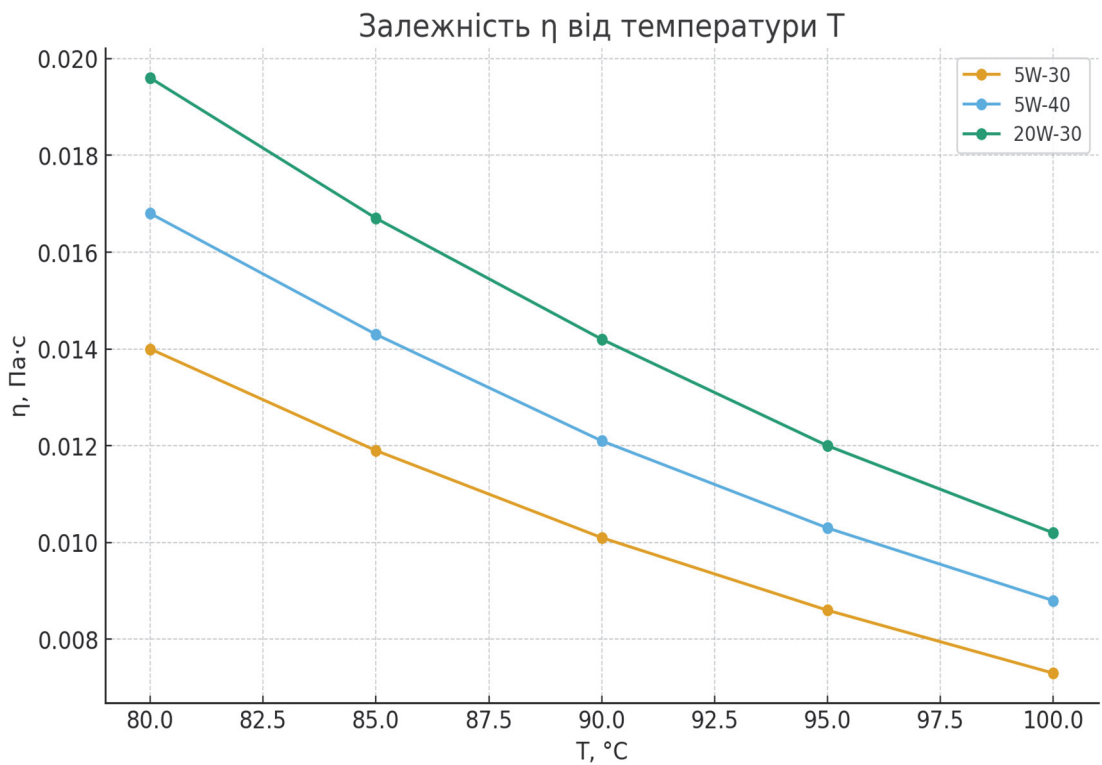


Рис.2. – Залежність динамічної в'язкості  $\eta$  від температури  $T$  для різних олив

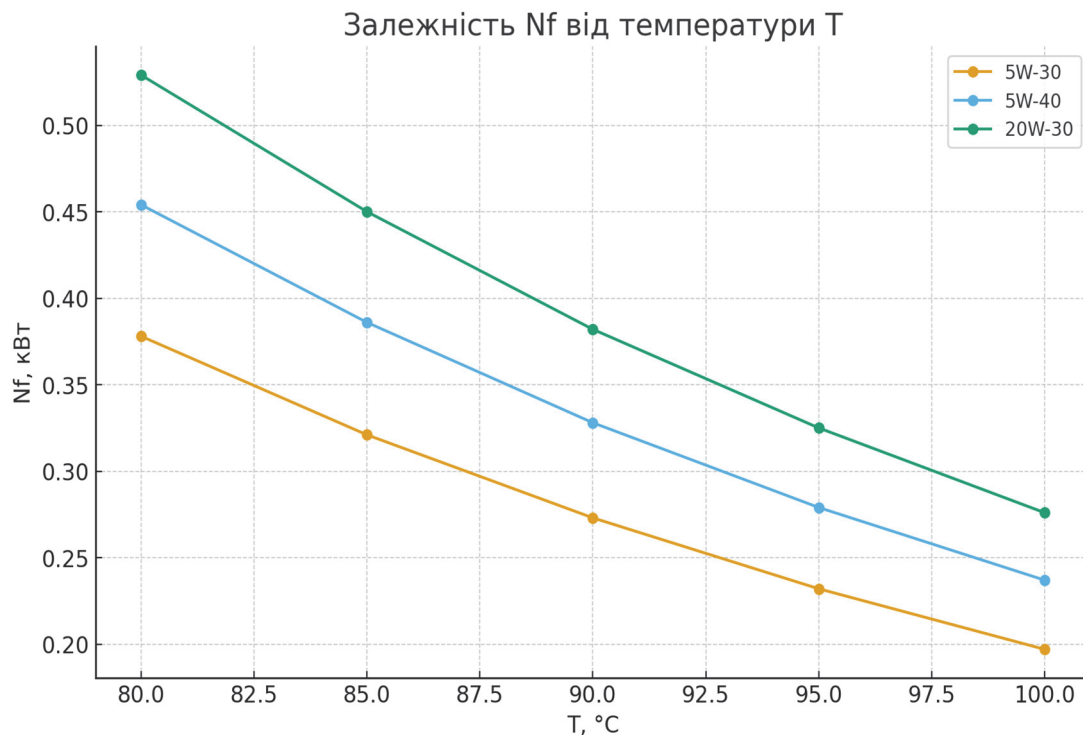


Рис.3. – Залежність втрат потужності на тертя  $N_f$  від температури  $T$  для різних олив

Отримані експериментальні та аналітичні дані свідчать про складний і взаємопов'язаний характер впливу густинно-в'язкісних характеристик моторних олив на умови гідродинамічного мащення у вузлі тертя «шийка колінчастого валу – вкладиш підшипника ковзання». Аналіз результатів підтверджує, що традиційний підхід до вибору моторних олив, який ґрунтується переважно на показниках в'язкості, є недостатнім без урахування густини як параметра, що визначає гідродинамічні сили в мастильному клині.

Зі зростанням температури від 80 до 100 °C для всіх досліджуваних олив спостерігається закономірне зниження динамічної в'язкості, що призводить до зменшення коефіцієнта тертя та втрат потужності на тертя. Водночас встановлено, що зниження в'язкості супроводжується зменшенням несучої здатності мастильної плівки, що може негативно впливати на довговічність вузла за високих навантажень. Це підтверджує необхідність компромісного вибору між мінімізацією енергетичних втрат і забезпеченням стабільного розділення контактних поверхонь.

Порівняльний аналіз показав, що SAE 5W-30 має мінімальні втрати на тертя, SAE 5W-40 забезпечує оптимальний баланс захисту й енергоефективності, SAE 20W-30 має вищу несучу здатність мастильної плівки, але більші втрати енергії.

Окремо встановлено, що матеріалознавча оптимізація антифрикційного шару Al-Sn-Cu та контроль чистоти мастильного середовища є важливими чинниками підвищення довговічності вузла.

*Практичне значення результатів.* Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання сформованих залежностей для обґрунтованого вибору моторних олів залежно від умов експлуатації двигуна. Отримані висновки можуть бути використані при оцінці ресурсу корінних підшипників, оптимізації режимів технічного обслуговування та уточненні критеріїв вибору олів за трибологічними показниками.

Для двигунів, що працюють у важких навантажувальних режимах, результати можуть бути використані при виборі олів із підвищеним запасом несучої здатності мастильної плівки, а для режимів, орієнтованих на енергоефективність – при обґрунтуванні малов'язких олів із мінімальними втратами на тертя.

**Висновки.** Встановлено суттєвий вплив густини моторної оливи на параметри гідродинамічного мащення та втрати на тертя. Показано закономірне зниження коефіцієнта тертя та енергетичних втрат із підвищенням температури. Визначено, що олива SAE 5W-40 забезпечує найбільш раціональний баланс трибологічних характеристик. Підтверджено суттєвий вплив забруднення мастила на інтенсивність зношування. Показано необхідність комплексного розгляду вибору оливи та матеріалів пари тертя для підвищення ресурсу ДВЗ. Подальші дослідження доцільно спрямувати на поглиблений аналіз антифрикційних матеріалів вкладишів типу Al-Sn-Cu, уточнення FEM-моделювання контактних напружень та дослідження впливу режимів навантаження на довговічність вузла тертя. Перспективним є також розвиток підходів до оптимізації густинно-в'язкісних характеристик олів з урахуванням реальних режимів роботи двигуна.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Hutchings, I. & Shipway, P.. (2017). Tribology: Friction and wear of engineering materials: Second Edition.
2. Stachowiak, G.W. & Batchelor, Andrew. (2013). Engineering Tribology: Fourth Edition. Engineering Tribology: Fourth Edition. 1-852.
3. Morris, Nick & Johns-Rahnejat, P.M. & Rahnejat, Homer. (2020). Tribology and Dowson. Lubricants. 8. 63. 10.3390/lubricants8060063.
4. Аулин В.В., Гриньків А.В. Теоретичне обґрунтування моментів контролю технічного стану систем та агрегатів власного транспорту. // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків: ДБТУ, 2017. – №8. – С. 9-20.
5. Гудз, Г & Герис, М & Коцюмбас, О & Осташук, М. (2022). Вплив показників оливи в автомобільному двигуні на температури вкладок підшипників колінчастого вала. Scientific Bulletin of UNFU. 32. 66-72. 10.36930/40320311.