

*О.Є. Якобчук, О.О. Мікосянчик, д.т.н.,  
Р.Г. Мнацаканов, д.т.н., А.М. Хімко, к.т.н.  
(Національний авіаційний університет, Україна)*

## **Методика оцінки триботехнічних властивостей авіаційної оливи ВО-12**

*Проведена оцінка якості авіаційної оливи з урахуванням її змащувальних, антифрикційних, реологічних та протизношувальних властивостей в фрикційному контакті в режимі on-line. Запропоновано застосування програмно-апаратного комплексу для оцінки експлуатаційних характеристик трибоелементів.*

### **Актуальність теми досліджень.**

Удосконалення контрольно-вимірювальних приладів і швидкий розвиток обчислювальної техніки забезпечують реальну можливість вперше досліджувати трибологічні процеси утворення дисипативних структур при терті на атомарному і молекулярному рівнях.

В роботі [1] запропоновано режими і умови проведення прискорених випробувань моторних олив в двигуні, які дозволяють в 8 разів скоротити час за оцінкою експлуатаційних властивостей олив, забезпечити високу надійність і достовірність результатів визначення мийно-диспергуючих і антинагарних властивостей при відбіркових і кваліфікаційних випробуваннях моторних олив, що розробляються для форсованих транспортних дизелів.

Лабораторна оцінка фізико-хімічних показників олив, протизносних і антифрикційних властивостей може підтвердити або спростувати рівень експлуатаційних властивостей, заявлених виробником. В роботі [2] на основі аналізу даних дослідно-промислових випробувань моторної оливи G-Profi MSI Plus показано, що досліджувана олива має достатній запас експлуатаційних властивостей по балансу кислотного та лужного числа, в'язкості, а це дозволяє говорити про можливість продовження міжсервісного інтервалу заміни моторної оливи при відповідному контролі експлуатаційних показників.

Таким чином, актуальним напрямком при впровадженні нових зразків мастильних матеріалів у виробництво є розробка алгоритму кваліфікаційних випробувань щодо визначення рівня експлуатаційних властивостей олив. При цьому обсяг методів оцінки якісних характеристик олив повинен включати як лабораторні дослідження, так і модельні дослідні стенди або установки.

В Україні ведуться розробки нових технічних умов на ряд авіаційних мастильних матеріалів. Одним з перспективних до виробництва і впровадження в експлуатацію є олива «Бора Б» ВО-12 виготовлена за ТУ У 19.2-38474081-017:2018 зі зм. 1 «Оливи трансмісійні «Бора Б»» та рекомендована в якості всесезонної оливи для використання в інтервалі температур навколишнього середовища від мінус 50 °С до 60 °С. [3].

Для авіаційних мастильних матеріалів вітчизняних виробників необхідно розробити заходи щодо впровадження оливи в експлуатацію, які спрямовані на

оцінку працездатності авіатехніки із застосуванням нової оливи, встановлення ресурсу і обмежень застосування. Після отримання позитивних результатів випробувань на всіх етапах нова марка оливи може бути вписана в керівництво по експлуатації.

**Об'єкти досліджень та умови експерименту.**

Мастильний матеріал: олива «Бора Б» ВО-12. Матеріал пар тертя: ролики зі сталі 40XH (HRC 38, Ra 0,34 мкм). Змащування контактних поверхонь здійснювалось шляхом занурення нижнього ролика в ванночку з мастильним матеріалом. Режим тертя: нестационарні умови – циклічність проведення в режимі пуск – стаціонарна робота – гальмування – зупинка. Максимальна частота обертів: для випереджаючої поверхні – 700 об/хв, для відстаючої поверхні – 500 об/хв. Проковзування – 30 %. Шлях тертя за один цикл: для випереджаючої поверхні – 91,845 м, для відстаючої поверхні – 62,8 м. Загальний шлях тертя: для випереджаючої поверхні – 9184,5 м, для відстаючої поверхні – 6280 м. Максимальне контактне навантаження по Герцу – 200 МПа. Кількість циклів в експерименті: 100 циклів (з 1-го по 45 цикл – температура оливи 20 0С, з 46 по 50 цикл – нагрівання оливи, з 51 по 100 цикл – температура оливи 100 0С). Тривалість циклу – 80 с.

**Результати експерименту та їх обговорення.**

Досліджувана олива «Бора Б» ВО-12 характеризується ефективними припрацьовуваними властивостями, зниження коефіцієнту тертя в 3 рази встановлено на 5-му циклі напрацювання. Встановлені високі антифрикційні властивості оливи в досліджуваному температурному діапазоні мастильного матеріалу (рис. 1). Підвищення коефіцієнта тертя на 45 – 52 циклах обумовлено зміною природи граничних шарів при підвищенні температури мастильного матеріалу.



Рис. 1. Кінетика зміни коефіцієнта тертя

Досліджувана олива «Бора Б» ВО-12 характеризується ефективними змащувальними властивостями як в період пуску, так і при максимальних досліджуваних обертах (рис. 2). При підвищенні температури в триботехнічному контакті спостерігається зниження товщини граничних адсорбційних шарів, що обумовлено зміною їх природи – граничні шари переважно фізичної природи змінюються граничними шарами хімічної природи, які характеризуються більш ефективними протизношувальними характеристиками. Зриву мастильного шару

при пуску та безпосереднього металевому контакту поверхню тертя не встановлено, в 2-3 % циклів встановлено напівсухий режим мащення.

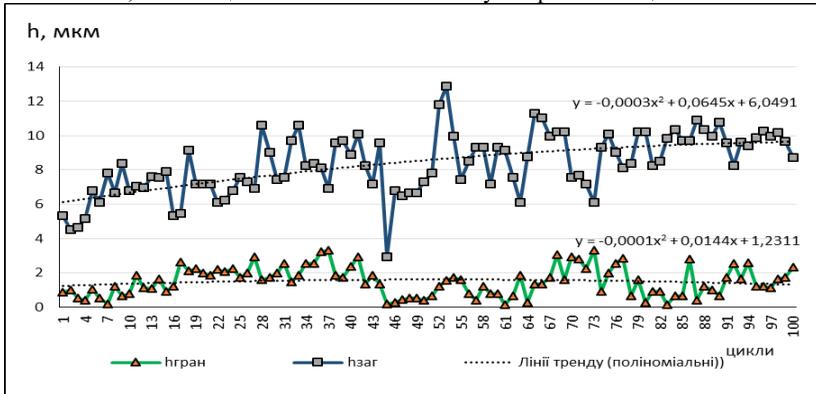


Рис. 2. Кінетика зміни товщини граничних адсорбційних шарів ( $h_{\text{гран}}$ ) та загальної товщини мастильного шару ( $h_{\text{заг}}$ ) в контактi при напрацюванні

При пуску, температура мастильного матеріалу 20 °С, переважає еластогідродинамічний режим мащення, при зростанні температури мастильного матеріалу до 100 °С домінує змішаний режим мащення, що свідчить про ефективні пускові властивості оливи «Бора Б» ВО-12. При максимальних обертах досліджуваних зразків домінує гідродинамічний режим мащення, незалежно від температури оливи, що свідчить про ефективне розділення контактних поверхонь внаслідок утворення мастильного шару.

Забезпечення гідродинамічного режиму мащення на максимальних обертах тривалості циклу, в умовах кочення з 30 % проковзуванням відбувається за рахунок високої несучої здатності мастильного матеріалу, формування в контактi гідро- та негідродинамічних складових товщини мастильного шару, які характеризуються низькими напруженнями зсуву на рівні, в середньому, 6,2 МПа.

Незважаючи на високі градієнти швидкості зсуву в контактi, від  $1,09 \cdot 10^3$  до  $3,47 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$ , які виникають при максимальній швидкості ковзання 0,71 м/с в умовах кочення з проковзування, мастильний матеріал характеризується ефективною в'язкістю на рівні, в середньому, 2627 Па·с. Це свідчить про стійкість компонентів оливи до деструкції в умовах зростання градієнту швидкості зсуву. Найбільше зниження ефективної в'язкості в контактi до 82 Па·с відбувається в умовах початкового підвищення температури оливи (45 – 50 цикли випробувань). Це обумовлено зміною природи граничних адсорбційних шарів, які характеризуються ефективною адаптацією в широкому діапазоні температур.

Параметр питомої роботи тертя характеризує енерговантаженість фрикційного контакту. Він залежить від типу мастильного матеріалу, матеріалу контактних поверхонь, умов роботи трибосистеми. Одержані експериментальні значення  $A_{\text{терт}}$  в діапазоні 144....3435 Дж/мм<sup>2</sup>

характеризують умови роботи трибосистеми з незначними енергетичними процесами (рис. 3).

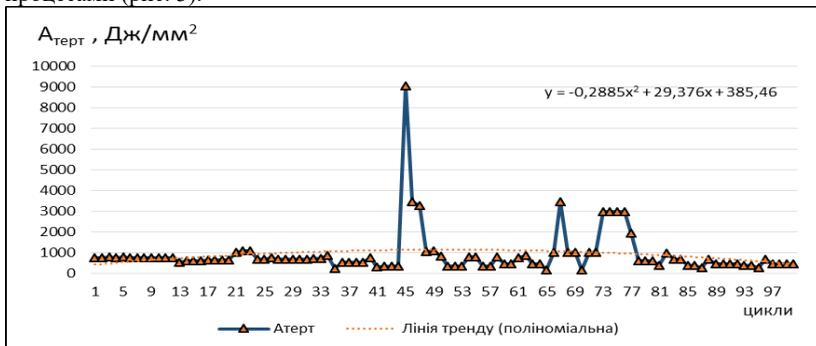


Рис. 2. Кінетика зміни питомої роботи тертя при напрацюванні

З підвищенням температури оливи з 20 до 100 °С питома робота тертя зростає, в середньому, в 1,2 рази, що свідчить про перехід трибосистеми в більш складні умови тертя. В початковий період підвищення температури мастильного матеріалу питома робота тертя зростає до 3400 – 9000 Дж/мм<sup>2</sup>. Однак, зриву мастильного шару не встановлено, досліджуваний мастильний матеріал за таких умов забезпечує реалізацію в контакті напівсухого режиму мащення з швидким переходом до гідродинамічного режиму мащення.

Загальний лінійний знос роликів зі сталі 40ХН становить 2,48 мкм (табл. 1). Знос відстаючої поверхні в 2,76 разів перевищує знос випереджаючої поверхні, що обумовлено, за теорією К.Т. Трубіна, зниженням межі витривалості відстаючої поверхні внаслідок зростання швидкості втомного руйнування в умовах різновекторного направлення сил тертя в контакті на випереджаючій та відстаючій поверхнях.

Таблиця 1

Протизношувальні характеристики

	Випереджаюча поверхня	Відстаюча поверхня
Лінійний знос, мкм	0,66	1,82
Інтенсивність зношування	$7,186 \cdot 10^{-11}$	$2,898 \cdot 10^{-10}$
Зносостійкість	$1,39 \cdot 10^{10}$	$3,45 \cdot 10^9$

Інтенсивність зношування як випереджаючої, так і відстаючої поверхонь характеризується низькими значеннями, що свідчить про високу зносостійкість контактних поверхонь та ефективні протизношувальні характеристики досліджуваної оливи.

Зниження мікротвердості сталі 40ХН після напрацювання 100 циклів встановлено в 1,56 та в 1,33 разів для випереджаючої та відстаючої поверхонь відповідно. Знеміцнення поверхневих шарів металу обумовлено проявом ефекту Ребіндера – адсорбційною пластифікацією твердих тіл під дією

поверхнево-активних речовин оливи. Товщина пластифікованого шару може складати до 0,1 мкм. Дане явище позитивно впливає на триботехнічні процеси в контакті, оскільки забезпечується зменшення поверхневої енергії контактних поверхонь при адсорбції активних компонентів присадки оливи та формуванні граничних адсорбційних шарів як фізичної, так і хімічної природи. Це призводить до підвищення зносостійкості контактних поверхонь за рахунок зниження опору поверхневого шару твердого тіла пластичному деформуванню, полегшення пластичного зсуву у зернах та виходу дислокацій на поверхню, утворення більш дрібнозернистої структури.

#### **Висновки.**

Таким чином, досліджувана олива «Бора Б» ВО-12 характеризується ефективними змащувальними, антифрикційними, протизношувальними та реологічними характеристиками в нестационарних умовах тертя в режимі кочення з проковзуванням (30 %). Проведена комплексна оцінка триботехнічних показників оливи дає можливість більш точно оцінити якість оливи та надати рекомендації щодо вибору мастильного матеріалу для конкретних вузлів тертя.

#### **Список літератури**

1. Бычков В.З., Грицюк А.В., Зайцев А.В., Клименко Н.В., Щербаненко Г.В. Метод ускоренной оценки моющих и антинагарных свойств моторных масел в двухтактном форсированном дизельном двигателе / Двигатели внутреннего сгорания. – 2005. - №1. С 118-121.
2. Корнеев С.В., Пашукевич С.В., Савоськин А.С., Ширлин И.И. Изменение характеристик моторного масла при эксплуатации двигателей cummins автобусного парка г. Омска / Вестник СибАДИ. – 2017. - № 2 (54). С. 66-69.
3. [https://bora.in.ua/ukraine\\_import/aviamasla/tsgip.html](https://bora.in.ua/ukraine_import/aviamasla/tsgip.html)