



Дмитриченко М. Ф.,  
Білякович О. М.,  
Глухонець А. О.,  
Міняйло К. М.

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ЗМІНИ ТОВЩИНИ МАСТИЛЬНОГО ШАРУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД МАТЕРІАЛУ ПАР ТЕРТЯ

В роботі представлені результати дослідження впливу твердості матеріалу зразків на кінетику зміни товщини мастильного шару. Встановлено, що зменшення твердості контактних поверхонь призводить до домінування в контакті еластогідродинамічних чинників, при чому відпрацьований зразок оливи характеризується більш інтенсивним початковим формуванням граничної плівки в порівнянні з товарним зразком.

**Ключові слова:** олива, мастильний шар, в'язкість, граничний шар.

### 1. Вступ

Підраховано, що матеріальні втрати від тертя і зносу в розвинених державах досягають 4...5 % національного доходу, а подолання опору тертя поглинає в усьому світі 20...25 % енергії, яка виробляється протягом року [1]. Жорсткість режимів експлуатації (підвищення температури, навантаження, швидкості переміщення, ресурсу роботи і т. д.) сучасних транспортних засобів та промислового обладнання вимагає поліпшення якості мастильних матеріалів і насамперед їх змащувальної дії [2]. Використання олив, які не відповідають вимогам експлуатації, призводить до зменшення надійності техніки, але в той же час, застосування олив з необґрунтованим запасом якості призводить до нераціональної витрати останніх. Тому проблема їх раціонального використання та оптимального підбору для конкретних трибосистем завжди залишається актуальною.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Питанню дослідження впливу твердості металу на ефективність мащення в контакті, триботехнічні властивості мастильних матеріалів присвячені роботи багатьох провідних вчених: Венцеля Є. С., Гаркунова Д. Н., Дмитриченка М. Ф., Мнацаканова Р. Г., Мікосянчик О. О., Біляковича О. М., та ін. З робіт [3, 4] відомо, що старіння оливи при експлуатації є результатом полімеризації окремих складових її компонентів, що призводить до підвищення концентрації смол, асфальтенів, карбонів та карбоїдів, які представляють собою мілкодисперсну колоїдну систему, яка характеризується високою полярною та адсорбційною активністю.

### 3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — синтетична трансмісійна олива ATF (товарний зразок та відпрацьований зразок 45 тис. км).

Мета дослідження — проведення досліджень щодо встановлення ефективності мащення, закономірностей

утворення граничних мастильних плівок в залежності від матеріалу пар тертя.

Задачі дослідження — встановити залежності зміни ефективної в'язкості від підвищення навантаження, від впливу матеріалу пар тертя, від стану мастильного матеріалу, який використовується.

### 4. Результати досліджень кінетики зміни товщини мастильного шару при використанні пар тертя сталей 40X та ШХ-15

Випробовування проводили на роликах, які виготовлені зі сталі 40X (HRC = 40) та сталі ШХ-15 (HRC = 60) при навантаженнях  $\sigma_{\max} = 450, 570$  та  $680$  МПа. Початкова об'ємна температура оливи складала  $18^\circ\text{C}$ .

При змащуванні сталі 40X товарною оливою ATF встановлено, що приріст товщини мастильного шару при страгуванні, незалежно від навантаження, забезпечує реалізацію в контакті гідродинамічного режиму мащення. В середньому, стала товщина мастильного шару після  $N = 1000$  циклів наробітки при  $\sigma_{\max} 570$  та  $680$  МПа становить відповідно 6,5 та 9 мкм.

Встановлено підвищення ефективності мащення товарної оливи в період пуску при зростанні навантаження, що обумовлено інтенсифікацією утворення граничних адсорбційних граничних шарів на контактних поверхнях внаслідок збільшення адсорбційної здатності поверхневих шарів металу при домінуванні пластичної складової компоненти [5].

При змащуванні сталі 40X відпрацьованою оливою ATF встановлено підвищення несучої здатності масляної плівки в контакті в період пуску, незалежно від навантаження.

Підвищення навантаження обумовлює зростання деформаційних змін в приповерхневих шарах металу, що призводить до активації поверхневих структур сталі, наслідком чого є утворення стабільних граничних шарів мастильного матеріалу на контактних поверхнях — при напруженні  $N \geq 900$  циклів для  $\sigma_{\max} 570$  МПа та  $N \geq 1250$  циклів для  $\sigma_{\max} 680$  МПа відбувається адаптація граничних плівок, підвищується сила адсорбційної

взаємодії компонентів оливи з поверхневими шарами металу, що свідчить про зміну природи граничних шарів – утворення граничних шарів не адсорбційної природи [6], внаслідок чого знижується імовірність стирання та деструкції плівок під дією знакозмінних дотичних напружень.

Аналіз здатності мастильного матеріалу утворювати на контактних поверхнях захисні граничні адсорбційні шари, показав, що відпрацьована олива характеризується більш інтенсивним початковим формуванням граничної плівки (при  $N > 100$  циклів), що обумовлено, імовірно, збільшенням поверхнево-активних речовин, які є продуктами окислювально-полімеризаційних реакцій при експлуатації оливи [6, 7].

Встановлено, що зменшення твердості контактних поверхонь призводить до домінування в контакті еластогідродинамічних чинників, незважаючи на високий розрахунковий критерій режиму мащення  $\lambda = 8-10$ , що ставить недоцільність порівняння загальної товщини мастильного шару, яка формується в контакті при використанні сталей ШХ-15 та 40Х, внаслідок реалізації різних механізмів формування несучого шару гідродинамічної та еластогідродинамічної природи між поверхнями зі сталі ШХ-15 та сталі 40Х відповідно.

Підтвердженням даного припущення щодо домінування різних механізмів в контакті при утворенні товщини мастильного шару на матеріалах, які відрізняються за твердістю, свідчить, на думку авторів статті, наступна кінетика зміни товщини плівки при використанні відпрацьованої оливи. В процесі експлуатації оливи ATF її кінематична в'язкість знизилась на 22 %, відповідно при змащуванні контактних поверхонь оливою з меншою в'язкістю, товщина мастильного шару теж буде зменшуватись. Однак, зменшення товщини плівки при пуску, в середньому, на 5 % встановлено в 50 % циклів лише при застосуванні сталі ШХ-15, для сталі 40Х даний параметр підвищується, в середньому, на 20 %, в порівнянні з товщиною мастильного шару, сформованого при використанні товарної оливи.

Така кінетика зміни  $h_{\text{заг}}$  обумовлена реологічними особливостями оливи в контакті: ефективна в'язкість відпрацьованої оливи знижується на 7 % в контакті при використанні сталі ШХ-15 та підвищується на 15 % при застосуванні сталі 40Х (рис. 1).

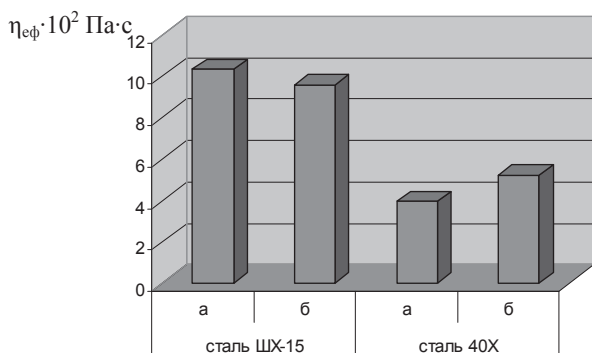


Рис. 1. Ефективна в'язкість товарної (а) та відпрацьованої (б) оливи в контакті при наробітці  $N > 1400$  циклів

Діаметрально протилежна зміна ефективної в'язкості оливи при змащуванні різних марок сталі обумовлено ступенем активації поверхневих шарів металу та проявом

адсорбційних ефектів на контактних поверхнях: при використанні твердої сталі ШХ-15 не встановлено адаптації граничних шарів до знакозмінних навантажень, отже сформована товщина мастильного шару складається з вільних компонентів об'ємної смектичної фази (в'язкість якої зменшилась у відпрацьованій оливі, в порівнянні з товарною) [8, 9], тоді як при використанні сталі 40Х граничні шари адаптуються до несталіх умов роботи, отже сформований мастильний шар вміщує щільно структурований прошарок негідродинамічної природи, який і підвищує ефективну в'язкість в контакті [10].

## 5. Висновки

В результаті проведених досліджень:

1. Встановлено, що на несучу здатність масляної плівки в контакті впливають як реологічні характеристики оливи, так і безрозмірний параметр матеріалу, який залежить від п'єзокоефіцієнта в'язкості оливи.
2. Зафіксовано підвищення ефективної в'язкості оливи в контакті на 15 % при адаптації граничних шарів.
3. Встановлено підвищення несучої здатності відпрацьованої оливи, в порівнянні з товарною оливою, для сталі 40Х (товщина мастильного шару зростає на 20 %), незважаючи на зниження її кінематичної в'язкості на 22 %.
4. Визначено, що інтенсивна пластична деформація менш твердого матеріалу сталі 40Х в моменти зриву мастильного шару на початковому етапі припрацювання забезпечує прискорення адсорбційних процесів в поверхневих шарах металу та зниження ступеня стирання утворених граничних шарів, на більш твердій поверхні сталі ШХ-15 не встановлено стабільного формування граничних плівок.

## Література

1. Гаркунов, Д. Н. Триботехника (знос и безизносность) [Текст]: учеб. / Д. Н. Гаркунов. – 4-е изд., переработ. и доп. – М.: МСХА, 2001. – 616 с.
2. Ahu Fahriye Acar. Effects of variations in alloy content and machining parameters on the strength of the intermetallic bonding between diesel piston and ring carrier [Text] / Ahu Fahriye Acar, Fahrettin Ozturk, Mustafa Bayrak // Materials and technology. – 2010. – Vol. 44, № 6. – P. 391–395.
3. Петрусевич, А. И. Роль гидродинамической масляной пленки в стойкости и долговечности поверхностей деталей машин [Текст] / А. И. Петрусевич // Вестник машиностроения. – 1963. – № 1. – С. 20–26.
4. Грубин, А. Н. Основы гидродинамической теории смазки тяжело нагруженных криволинейных поверхностей [Текст] / А. Н. Грубин. – М.: Машгиз, 1949. – Кн. 33. – 150 с.
5. Гормаков, А. Н. Исследование триботехнических характеристик материалов [Текст]: уч.-метод. пос. / А. Н. Гормаков. – Томск: ТПУ, 2005. – 21 с.
6. Алехин, В. П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материала [Текст] / В. П. Алехин. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
7. Demkin, N. B. Plastic contact under high normal pressure [Text] / N. B. Demkin, V. V. Izmailov // Wear. – 1975. – Vol. 31, № 2. – P. 391–402. doi:10.1016/0043-1648(75)90172-6
8. Макардл, К. Жидкокристаллические полимеры с боковыми мезогенными группами [Текст]: пер. с англ. / под ред. К. Макардла. – М.: Мир, 1992. – 567 с.
9. Польцер, Г. Основы трения и изнашивания [Текст]: пер. с нем. / Г. Польцер, Ф. Майсенер; пер. О. Н. Озерского; под ред. М. Н. Добычина. – М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.
10. Андреев, А. В. Передача трением [Текст] / А. В. Андреев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 176 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТОЛЩИНЫ МАСЛЯНОГО СЛОЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАТЕРИАЛА ПАР ТРЕНИЯ**

В работе представлены результаты исследования влияния твердости материала образцов на кинетику изменения толщины смазочного слоя. Установлено, что уменьшение твердости контактных поверхностей приводит к доминированию в контакте эластогидродинамических факторов, причем отработанный образец масла характеризуется более интенсивным начальным формированием предельной пленки по сравнению с товарным образцом.

**Ключевые слова:** масло, смазочный слой, вязкость, граничный слой.

*Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, ректор, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua.*

*Білякович Олег Миколайович, кандидат технічних наук, професор, кафедра технологій аеропортів, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.*

*Глухонець Андрій Олексійович, асистент, кафедра екології та безпеки життєдіяльності, Національний транспортний університет, Київ, Україна.*

*Миняйло Костянтин Миколайович, аспірант, кафедра виробництва, ремонту та матеріалознавства, Національний транспортний університет, Київ, Україна.*

*Дмитриченко Николай Федорович, доктор технических наук, профессор, ректор, Национальный транспортный университет, Киев, Украина.*

*Бильякович Олег Николаевич, кандидат технических наук, профессор, кафедра технологий аэропортов, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.*

*Глухонец Андрей Алексеевич, ассистент, кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности, Национальный транспортный университет, Киев, Украина.*

*Миняйло Константин Николаевич, аспирант, кафедра производства, ремонта и материаловедения, Национальный транспортный университет, Киев, Украина.*

*Dmitrichenko Nikolay, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua.*

*Bilyakovich Oleg, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.*

*Gluhonets Andrey, National Transport University, Kyiv, Ukraine.*

*Minyaylo Konstantin, National Transport University, Kyiv, Ukraine.*

УДК 622.245.3

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.55851

**Івасів В. М.,  
Гриджук Я. С.,  
Гриців В. В.,  
Юрич Л. Р.**

## ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ БУРИЛЬНИХ КОЛОН

В статті проведений критичний огляд досліджень, які спрямовані на розв'язання проблеми забезпечення експлуатаційної надійності елементів бурильних колон. Зроблено висновки про недосконалість запропонованих методів прогнозування їх довговічності та оцінки залишкового ресурсу. Відзначено необхідність розроблення методу, який би дозволяв не тільки максимально оперативно оцінювати фактичні навантаження і ризики відмов її елементів, а й забезпечував експлуатаційну надійність бурильної колони.

**Ключові слова:** компоновка низу бурильної колони, надійність, довговічність, ресурс.

### 1. Вступ

На сьогодні розвиток нафтогазовидобувної промисловості характеризується зростанням об'ємів буріння похило-скерованих та горизонтальних свердловин [1–3]. Не є виключенням у даному аспекті і Україна. При чому споруджуються як нові свердловини, так і проводять зарізання додаткових бокових стволів у свердловинах старого фонду, які вважалися нерентабельними та низькодебітними. Проведення таких робіт підвищує вимоги до надійності обладнання в цілому і бурильної колони (БК) зокрема.

Проблема забезпечення надійної експлуатації бурильної колони залишається актуальною, оскільки показники надійності суттєво залежать не лише від конструкції і технології виготовлення елементів колони, але й від діючих навантажень. Рівень навантажень, що діють на елементи бурильної колони у свердловині, визначається станом стовбура свердловини, інтенсивністю його викривлення, властивостями пробурюваних порід, режимом буріння тощо. Особливої актуальності

проблема набуває в складних геологічних та технічних умовах буріння.

Аналіз сучасного стану досліджень, пов'язаних з забезпеченням експлуатаційної надійності елементів бурильної колони, дасть змогу комплексно оцінити проблему та запропонувати нові шляхи її вирішення.

### 2. Аналіз літературних робіт та постановка проблеми

Як показує практика бурових робіт регулярно виникають різного роду нестандартні ситуації, які утруднюють, а іноді і унеможливають їх ведення. В тому числі відбуваються руйнування елементів БК [4, 5], які складають приблизно четверту частину від усіх аварій. Зокрема аналіз аварійності на площах БУ «Укрбургаз» показав наступний розподіл аварій, що пов'язані з елементами бурильної колони (табл. 1).

Головним чинником, який обмежує довговічність елементів БК, є їх складний напружений стан. Він визначається дією цілого ряду різноманітних детермінованих