

В начале 1990-х годов синтезированы новые углеродные образования: моно-и многослойные углеродные трубки. Многослойные нанотрубки можно представить как коаксиальные цилиндры, свернутые из графитовых сеток и вложенные один в другой. Расстояния между сетками равны 3,4 А, внутренний диаметр нанотрубок составляет 20–40 А, внешний несколько сотен ангстрем, длина ~ 1 мкм. Многослойные нанотрубки имеют диаметр ~ 10–20 А и длину до нескольких микрометров.

На основе фуллереносодержащих материалов (ФСМ) предложен новый класс антифрикционных, противоизносных и противозадирных присадок и добавок к маслам, консистентных и твердых масел. На Украинском рынке например, это НАНОПРОТЕК, Мегафорс, Атомарный Эсемблер. Эти добавки действительно содержат в себе фуллерен C<sub>60</sub> и фуллереновую сажу (содержание C<sub>60</sub> не менее 7%) и это является коммерческой тайной.

На основании испытаний был сделан вывод о том, что роль фуллерена сводится к инициации процессов трибополимеризации нафтяных и парафиновых олигомеров, содержащихся в минеральных маслах, и формирование защитной полимерной пленки на поверхности трения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ФУЛЛЕРЕНА, ТОЛЩИНА СМАЗОЧНОГО СЛОЯ, АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПРИСАДКИ.

УДК 621.891

## ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ТРИБОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ НЕДОСТАТНЬОГО МАЩЕННЯ ПРИ ЗРОСТАННІ ОБ'ЄМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук

Савчук А.М., кандидат технічних наук

Білякович О.М., кандидат технічних наук

Постановка проблеми. Якісними мастильними матеріалами вважаються ті, які мають невелику в'язкість при мінусових температурах і забезпечують добру текучість, мінімальне пускове зношування, а при високих робочих температурах мають високу в'язкість і ефективні змащувальні властивості [1]. Міжнародним показником в'язкісно – температурних властивостей мастильних матеріалів є індекс в'язкості – безрозмірна умовна величина, що характеризує ступінь зміни в'язкості зі зміною температури. Чим менше залежить в'язкість від температури, тим вищий індекс в'язкості [2].

Метою роботи являлось дослідження механізму мастильної дії та реологічних властивостей оливи в діапазоні температур 20 – 70 °С в умовах недостатнього мащення. Для змащування вузла тертя використовувалися наступні мастильні матеріали: трансмісійна олива ТАД–17і, універсальна моторно-трансмісійна олива ЄМТ–8, олива для автоматичних коробок передач (АКП), моторні оливи SAE15w40 та SAE10w40. Дослідження проводились при контактних напругах 251,5; 316,9; 362,7 МПа в умовах поступового збільшення сумарної швидкості кочення (від 0 до 3,3 м/с) з проковзуванням 15%. Товщина мастильного матеріалу визначалась методом оптичної інтерференції.

Результати досліджень. В умовах обмеженого мащення та зростання об'ємної температури від 20 °С до 70 °С встановлено зменшення несучої здатності трансмісійної оливи ТАД–17і, що проявляється в підвищенні сумарної швидкості кочення ( $V_{\Sigma k}$ ) (рис.1, рис.2), при якій реалізується початкове формування товщини мастильної плівки, що обумовлено зниженням в першу чергу кінематичної в'язкості мастильного матеріалу (рис.3). Для мастильного матеріалу АКП при 70°С встановлено формування мастильної плівки при  $V_{\Sigma k} = 0,26$  м/с, що на 25% швидше ніж при 20°С, дійсна товщина становить  $h_d = 1,28 \times 10^{-7}$  м (рис.2). Гідродинамічний режим мащення  $\lambda > 4$  зафіксований з підвищенням сумарної швидкості кочення до  $V_{\Sigma k} = 3,1$  м/с, при  $h_d = 4,25 \times 10^{-7}$  м (рис.2).

Застосовуючи в якості мастильного матеріалу мінеральну оливу SAE15w40 при 70°С встановлено, що мастильна плівка формується при  $V_{\Sigma k} = 0,112$  м/с, а це на 18% швидше, ніж при 20°С, дійсна товщина становить  $h_d = 1,23 \times 10^{-7}$  м (рис.2). Досягнувши сумарної швидкості кочення  $V_{\Sigma k} = 0,98$  м/с дійсна товщина мастильного шару складає  $h_d = 4,08 \times 10^{-7}$  м, що свідчить про реалізацію гідродинамічного режиму мащення  $\lambda > 4$ . Порівнюючи експериментальні результати даного мастильного матеріалу оливи SAE15w40 при 20°С і 70°С було встановлено, що гідродинамічний режим мащення при 70°С реалізується при однаковій товщині мастильної плівки  $h_d = 4,08 \times 10^{-7}$  м, але при сповільненні на 8% сумарної швидкості кочення.

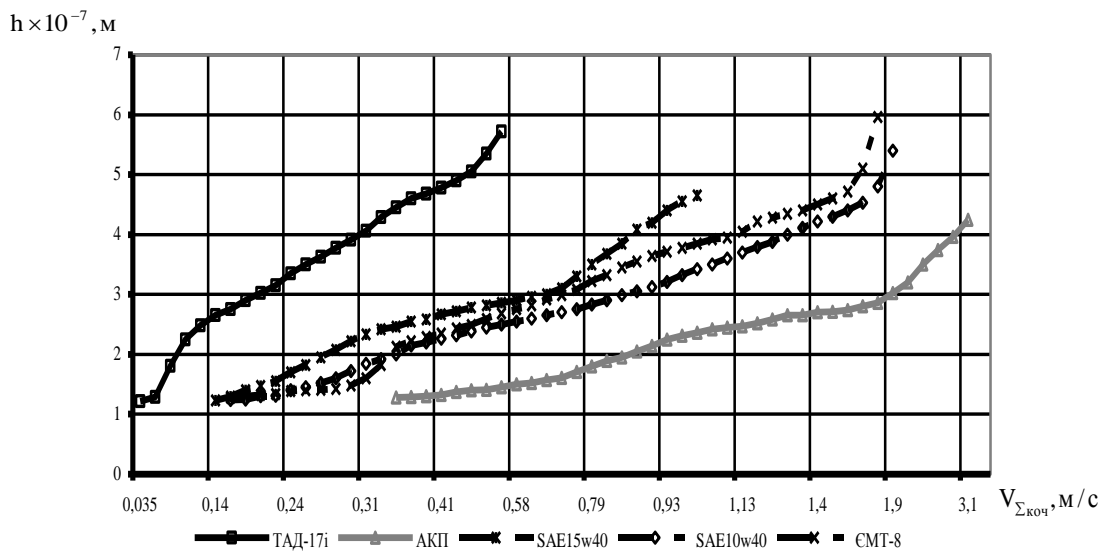


Рисунок 1.– Залежність товщини мастильного шару  $h$  від сумарної швидкості кочення  $V_{\Sigma\text{коч}}$  при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\sigma_{\text{max}} = 252\text{ МПа}$ )

Встановлено, що при  $70^{\circ}\text{C}$  формування товщини мастильного шару для напівсинтетичної оливи SAE10w40 відбувається при  $V_{\Sigma\text{к}}=0,12\text{ м/с}$ , що швидше на 25%, ніж при  $20^{\circ}\text{C}$  при однаковій дійсній товщині мастильної плівки  $h_{\text{д}}=1,24 \times 10^{-7}\text{ м}$  (рис.2). Гідродинамічний режим мащення  $\lambda > 4$  реалізується при  $V_{\Sigma\text{к}}=1,16\text{ м/с}$ , з дійсною товщиною мастильного шару  $h_{\text{д}}=4,11 \times 10^{-7}\text{ м}$  (рис.2), який домінує до  $V_{\Sigma\text{к}}=1,58\text{ м/с}$ . Прискорення реалізації гідродинамічного режиму за сумарною швидкістю кочення становить 13%, порівнюючи з реалізацією даного режиму при  $20^{\circ}\text{C}$ . Використовуючи в якості мастильного матеріалу універсальну оливу СМТ–8 при  $70^{\circ}\text{C}$  встановлено, що мастильна плівка формується при  $V_{\Sigma\text{к}}=0,15\text{ м/с}$ , що на 3% швидше, ніж при  $20^{\circ}\text{C}$ , з дійсною товщиною мастильної плівки  $h_{\text{д}}=1,27 \times 10^{-7}\text{ м}$  (рис.2). Досягнувши сумарної швидкості кочення  $V_{\Sigma\text{к}}=0,78\text{ м/с}$  встановлюється гідродинамічний режим мащення  $\lambda > 4$  при  $h_{\text{д}}=0,422 \times 10^{-6}\text{ м}$  (рис.2), який домінує до  $V_{\Sigma\text{к}}=0,94\text{ м/с}$ . Для даного мастильного матеріалу прискорення реалізації за швидкістю формування мастильної плівки для гідродинамічного режиму становить 33% відносно реалізації цього режиму при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

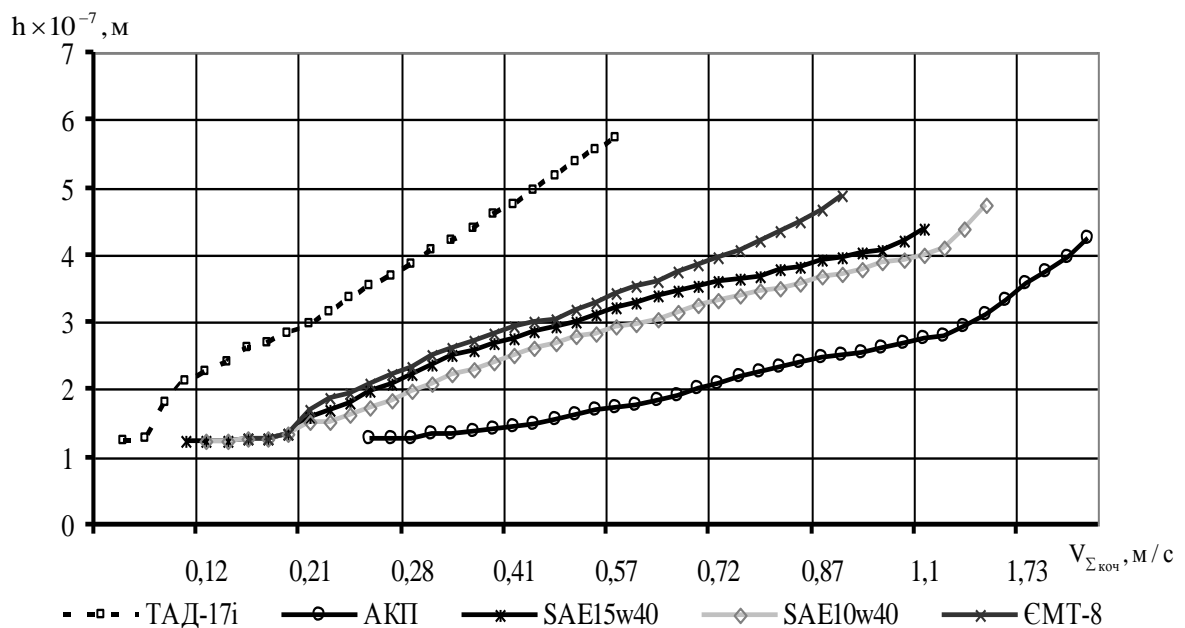


Рисунок 2.– Залежність товщини мастильного шару  $h$  від сумарної швидкості кочення  $V_{\Sigma\text{коч}}$  при  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\sigma_{\text{max}} = 252\text{ МПа}$ )

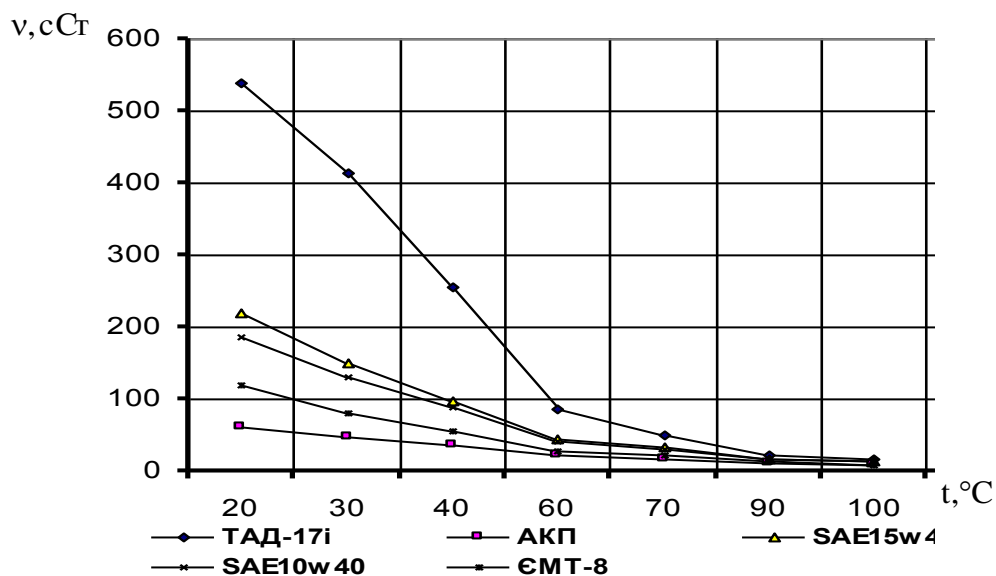


Рисунок 3. – В'язкісно – температурні характеристики мастильних матеріалів в лінійних координатах

При підвищенні  $\sigma_{\max}$  з 251,5 до 362,7 МПа при 70<sup>0</sup>С швидкість початку формування мастильної плівки для олив ТАД–17і, АКП, SAE15w40, SAE10w40 уповільнюється відповідно в 1,41 : 1,15 : 1,27: 1,33, а для ЄМТ–8 прискорюється в 1,36 рази (рис.4). Зростання контактної напруги призводить до уповільнення гідродинамічного режиму мащення для оливи ТАД–17і в 1,06 разів, прискорення реалізації даного режиму мащення для олив SAE10w40 і ЄМТ–8 відповідно в 1,33 : 1,39 рази.

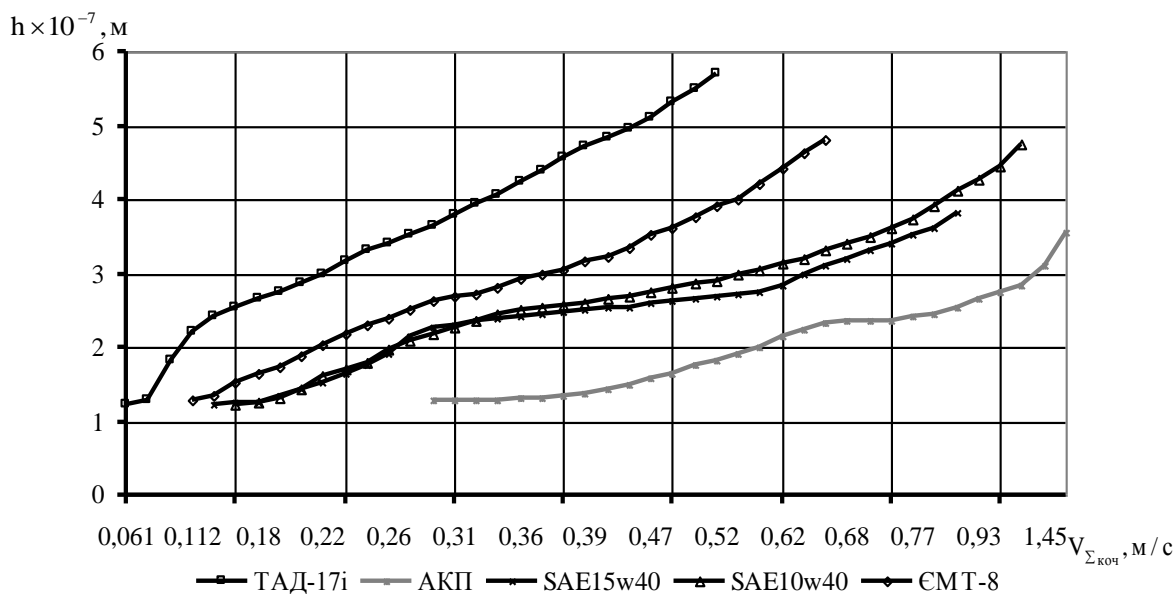


Рисунок 4.– Залежність товщини мастильного шару  $h$  від сумарної швидкості кочення  $V_{\Sigma\text{коч}}$  при 70 °С ( $\sigma_{\max}=362,7\text{МПа}$ )

При підвищенні  $\sigma_{\max}$  з 251,5 до 362,7 МПа ефективна в'язкість для олив ТАД – 17і, АКП, SAE15w40, SAE10w40 і ЄМТ – 8 збільшується відповідно в 1,25 : 1,14 : 1,13: 1,36: 1,02 рази при 70<sup>0</sup>С на початку формування мастильної плівки (рис.5).

Але незважаючи на такі зміни, в умовах наших експериментальних досліджень (недостатнє мащення), мастильний матеріал ТАД–17і, який характеризується вищою кінематичною в'язкістю при атмосферному тиску, з підвищенням температури, також характеризується найбільшою ефективною в'язкістю, в порівнянні з іншими дослідженими мастильними матеріалами і залишається найефективнішим за товщиною і швидкістю формування мастильної плівки, незалежно від контактної напруги і сумарної швидкості кочення контактуючої пари (рис.3).

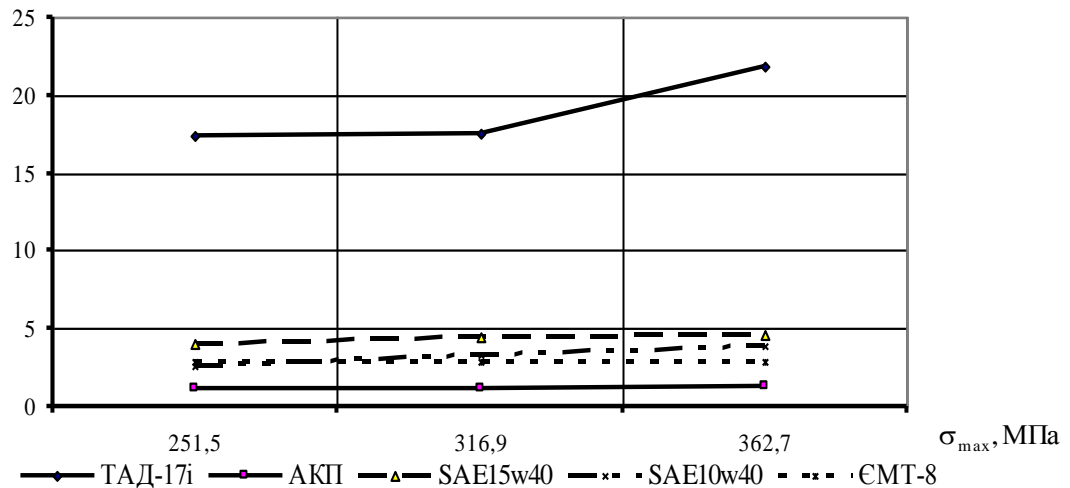


Рисунок 5. – Залежність ефективної в'язкості  $\eta_{\text{эф}}$  від контактної напруги ( $\sigma_{\text{max}}$ )

З підвищенням об'ємної температури олив до  $70^{\circ}\text{C}$  всі досліджені мастильні матеріали характеризуються зменшенням основних параметрів ефективності змащувального процесу. Збільшення об'ємної температури до  $70^{\circ}\text{C}$  обумовлює зменшення міжмолекулярної енергії взаємодії молекул, підвищення їх потенційної енергії, переходу до більш вільного обертання [3].

Висновки:

1. Кінетика зміни триботехнічних характеристик контакту в умовах підвищених температур характеризується наступними особливостями: зниження ефективності мащення та збільшення періоду реалізації в контакті напівсухого режиму мащення відбувається при зростанні навантаження та підвищенні температури оливи до  $70^{\circ}\text{C}$  внаслідок розрідження мастильного матеріалу – ефективна в'язкість в контакті зменшується на 15–50% залежно від фракційного складу оливи (виняток – олива АКП, для якої встановлено зростання на 12% ефективної в'язкості, що обумовлено утворенням структурного полімеризаційного каркасу при найвищих градієнтах швидкості зсуву).

2. При низьких контактних навантаженнях в умовах обмеженого мащення встановлено прискорення початку формування мастильного шару оливами, які не містять нафтові залишкові компоненти.

3. В умовах обмеженого мащення збільшення температури з  $20^{\circ}\text{C}$  до  $70^{\circ}\text{C}$  призводить до прискорення початку формування товщини мастильної плівки в контакті для АКП і SAE10w40 на 25%, SAE15w40 – 18%, ЄМТ-8 – 3%, а для оливи ТАД-17і навпаки відбувається уповільнення на 16%.

4. Підвищення контактної напруги  $\sigma_{\text{max}}$  з 251,5 до 362,7 МПа при температурі мастильних матеріалів  $70^{\circ}\text{C}$  призводить до уповільнення формування мастильної плівки для олив: ТАД-17і, АКП, SAE15w40, SAE10w40 відповідно в 1,41 : 1,15 : 1,27: 1,33, а для ЄМТ – 8 прискорюється в 1,36 рази.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дмитриченко Н.Ф. Смазочные процессы в условиях нестационарного трения / Н.Ф. Дмитриченко, Р.Г. Мнацаканов. – Житомир: ЖИТИ, 2002. – 308 с.

2. Міланенко О.А. Мастильна дія олив у точковому контакті тертя в умовах рясного мащення та мастильного голодування: Дис. на здобуття наукового ступеня к.т.н.: 05.02.04 / Міланенко Олександр Анатолійович. – К.: НАУ, 2000. – 214 с.

3. Гликолиз и опыт их применения в нефтяной и газовой промышленности. – Москва: ВНИИОЭНГ, 1970. – 86 с.

4. Дмитриченко Н.Ф. Эластогидродинамическая смазка линейных контактов в условиях обильной смазки и масляного голодания / Н.Ф. Дмитриченко, Р. Гохар, Уэн Дж. // Трение и износ. – 1993. – т. 14, № 13. – С. 438 – 443.

#### РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф., Савчук А.М., Білякович О.М. Особливості роботи трибомеханічних систем в умовах недостатнього мащення при зростанні об'ємної температури мастильних матеріалів /

Микола Федорович Дмитриченко, Анатолій Миколайович Савчук, Олег Миколайович Білякович // Управління проектами, системний аналіз і логістика. –К.: НТУ – 2012. – Вип.10.

В статті представлені результати дослідження механізму мастильної дії та реологічних властивостей олив в діапазоні температур 20 – 70 °С в умовах недостатнього мащення. Для змащування вузла тертя використовувалися наступні мастильні матеріали: трансмісійна олива ТАД–17і, універсальна моторно-трансмісійна олива ЄМТ–8, олива для автоматичних коробок передач (АКП), моторні оливи SAE15w40 та SAE10w40. Дослідження проводились при контактних напругах 251,5; 316,9; 362,7 МПа в умовах поступового збільшення сумарної швидкості кочення (від 0 до 3,3 м/с) з проковзуванням 15%. Товщина мастильного матеріалу визначалась методом оптичної інтерференції.

Об'єкт дослідження – механізм мастильної дії та реологічних властивостей олив.

Метою роботи являлось дослідження механізму мастильної дії та реологічних властивостей олив в діапазоні температур 20 – 70 °С в умовах недостатнього мащення.

Метод дослідження – експериментальне визначення характеристик мастильних матеріалів за допомогою інтерференційного методу.

Виявлено зниження ефективності мащення та збільшення періоду реалізації в контакті напівсухого режиму мащення. Встановлено прискорення початку формування мастильного шару оливами, які не містять нафтові залишкові компоненти.

Кінетика зміни триботехнічних характеристик контакту в умовах підвищених температур характеризується наступними особливостями: зниження ефективності мащення та збільшення періоду реалізації в контакті напівсухого режиму мащення відбувається при зростанні навантаження та підвищенні температури оливи до 70<sup>0</sup>С внаслідок розрідження мастильного матеріалу – ефективна в'язкість в контакті зменшується на 15–50% залежно від фракційного складу оливи (виняток – олива АКП, для якої встановлено зростання на 12% ефективної в'язкості, що обумовлено утворенням структурного полімеризаційного каркасу при найвищих градієнтах швидкості зсуву).

При низьких контактних навантаженнях в умовах обмеженого мащення встановлено прискорення початку формування мастильного шару оливами, які не містять нафтові залишкові компоненти.

В умовах обмеженого мащення збільшення температури з 20<sup>0</sup>С до 70<sup>0</sup>С призводить до прискорення початку формування товщини мастильної плівки в контакті для АКП і SAE10w40 на 25%, SAE15w40 – 18%, ЄМТ–8 – 3%, а для оливи ТАД–17і навпаки відбувається уповільнення на 16%.

Підвищення контактної напруги  $\sigma_{\max}$  з 251,5 до 362,7МПа при температурі мастильних матеріалів 70<sup>0</sup>С призводить до уповільнення формування мастильної плівки для олив: ТАД–17і, АКП, SAE15w40, SAE10w40 відповідно в 1,41 : 1,15 : 1,27: 1,33, а для ЄМТ – 8 прискорюється в 1,36 рази.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ТОВЩИНА МАСТИЛЬНОГО ШАРУ, РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ОЛИВ, ЕФЕКТИВНА В'ЯЗКІСТЬ, РЕЖИМ МАЩЕННЯ.

#### ABSTRACT

Dmitrichenko M.F., Savchuk A.N., Bilyakovich O.M. Features of tribomechanichnyh systems in poor lubrication with increasing bulk temperature lubricants / Mykola Dmytrychenko, Anatoly Savchuk, Oleg Bilyakovych // Management of projects, systems analysis and logistics. -K.: NTU - 2012. - Vol 10.

The article presents results of a study of the mechanism of action of lubricating oils and rheological properties in the temperature range 20 - 70 ° C in poor lubrication. For lubrication friction knot used the following lubricants: gear oil ТАД-17і, universal motor – gear oil EMT-8, oil for automatic transmissions (АКП), motor oil and SAE15w40 SAE10w40. Research conducted at the contact strains 251.5, 316.9, 362.7 MPa in a gradual increase in the total speed rolling (from 0 to 3.3 m / s) with 15% slip. Thickness of the lubricant is determined by optical interference of.

The object of study - the mechanism of action of lubricating oils and rheological properties.

The purpose was to study the mechanism of action of the oil and rheological properties of oils in the temperature range of 20 - 70 ° C in conditions of inadequate lubrication.

Research method - experimental characterization of lubricants by an interference method.

Decrease of the effectiveness of lubrication and increasing the implementation period in semi contact lubrication regime. Established acceleration of forming lubricant layer oils that do not contain petroleum residual components.

Kinetics of changes tribotechnical contact characteristics under elevated temperatures is characterized by the following features: lower efficiency lubrication and increasing the implementation period in semi

contact mode lubrication occurs with increasing pressure and the temperature of oil to 70°C due to dilution of lubricant - the effective viscosity in the contact is reduced by 15 - 50% depending on the fractional composition of oil (exception - oil АКП for which is set to grow by 12% effective viscosity due to the formation of the structural frame of polymerization at high shear gradients).

At low contact loads in tight lubrication set acceleration of forming a layer of lubricating oils that do not contain petroleum residual components.

In conditions of limited lubrication temperature increase from 20 ° C to 70 ° C leads to acceleration of forming thick lubricant films in contact for АКП and SAE10w40 by 25%, SAE15w40 - 18% ЕМТ-8 - 3%, and the oil ТАД-17i contrary is slow to of 16%.

Increased contact stress  $\sigma_{max}$  from 251.5 to 362.7 МПа at a temperature lubricants 70°C leads to slow formation of lubricant film for oils: ТАД-17i, АКП, SAE15w40, SAE10w40 respectively 1.41: 1.15: 1.27: 1.33, but for ЕМТ - 8 times faster at 1.36.

KEY WORDS: FILM THICKNESS, RHEOLOGICAL PROPERTIES OF OIL, EFFECTIVE VISCOSITY, LUBRICATION MODE.

#### РЕФЕРАТ

Дмитриченко Н.Ф., Савчук А.Н., Билякович О.Н. Особенности работы трибомеханических систем в условиях недостаточного смазывания при росте объемной температуры смазочных материалов / Николай Федорович Дмитриченко, Анатолий Николаевич Савчук, Олег Николаевич Билякович // Управление проектами, системный анализ и логистика. -К.: НТУ - 2012. - Вып.10.

В статье представлены результаты исследования механизма масляного действия и реологических свойств масел в диапазоне температур 20 – 70°C в условиях недостаточного смазывания. Для смазывания узла трения использовались следующие смазочные материалы: трансмиссионное масло ТАД-и, универсальное моторно-трансмиссионное масло ЕМТ-8, масло для автоматических коробок передач (АКП), моторные масла SAE15w40 и SAE10w40. Исследования проводились при контактных напряжениях 251,5; 316,9; 362,7 МПа в условиях постепенного увеличения суммарной скорости качения (от 0 до 3,3 м / с) с проскальзыванием 15%. Толщина смазочного материала определялась методом оптической интерференции.

Объект исследования - механизм масляного действия и реологических свойств масел.

Целью работы являлось исследование механизма масляного действия и реологических свойств масел в диапазоне температур 20 - 70°C в условиях недостаточного смазывания.

Метод исследования - экспериментальное определение характеристик смазочных материалов с помощью интерференционного метода.

Выявлено снижение эффективности смазки и увеличение периода реализации в контакте полусухого режима смазки. Установлено ускорения начала формирования смазочного слоя маслами, которые не содержат нефтяные остаточные компоненты.

Кинетика изменения триботехнических характеристик контакта в условиях повышенных температур характеризуется следующими особенностями: снижение эффективности смазки и увеличение периода реализации в контакте полусухого режима смазки происходит при возрастании нагрузки и повышении температуры масла до 70°C вследствие разжижения смазочного материала - эффективная вязкость в контакте уменьшается на 15 - 50% в зависимости от фракционного состава масла (исключение - масло АКП, для которого установлен рост эффективной вязкости на 12%, что обусловлено образованием структурного полимеризационного каркаса при высоких градиентах скорости сдвига).

В условиях низких контактных нагрузок и ограниченного смазывания установлено ускорения начала формирования смазочного слоя маслами, которые не содержат нефтяные остаточные компоненты.

В условиях ограниченного смазывания увеличение температуры с 20°C до 70°C приводит к ускорению начала формирования толщины масляной пленки в контакте для АКП и SAE10w40 на 25%, SAE15w40 - 18%, ЕМТ-8 - 3%, а для масла ТАД-17и наоборот происходит замедление на 16%.

Повышение контактного напряжения  $\sigma_{max}$  с 251,5 до 362,7 МПа при температуре смазочных материалов 70°C приводит к замедлению формирования масляной пленки для масел: ТАД-17и, АКП, SAE15w40, SAE10w40 соответственно в 1,41: 1,15: 1,27: 1,33, а для ЕМТ - 8 ускоряется в 1,36 раза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТОЛЩИНА СМАЗОЧНОГО СЛОЯ, РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАСЛА, ЭФФЕКТИВНАЯ ВЯЗКОСТЬ, РЕЖИМ СМАЗКИ.