

УДК 621.891  
UDC 621.891

## ВПЛИВ НАВАНТАЖЕННЯ НА АНТИФРИКЦІЙНІ ТА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ОЛИВ У КОНТАКТІ

Дмитриченко М.Ф., доктор 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

Куш О.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

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

## THE EFFECT OF THE LOAD ON ANTI-FRICTION AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF LUBRICANTS IN CONTACT

Dmytrychenko M.F., DSc., Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Bilyakovych O.N., Ph.D, associate professor, National Aviation University, Kyiv, Ukraine

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

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

Kushch A.I., Ph.D, associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine

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

## ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ НА АНТИФРИКЦИОННЫЕ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАСЕЛ В КОНТАКТЕ

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

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

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

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

Куш А.И., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,  
Украина

Миланенко О.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет,  
Киев, Украина

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У даний час досліджують і вивчають процеси утворення плівок різного походження при терті під навантаженням на контактуючих поверхнях деталей машин [1 – 4]. Завдяки утворенню на поверхнях тертя під навантаженням різних за своєю структурою і природою плівок – металевих, металополімерних і полімерних [5 - 7], може бути суттєво підвищена зносостійкість і, відповідно, довговічність деталей машин.

**Викладення невирішених питань.** Відомі методи дослідження плівок, які застосовуються після проведення випробувань на експериментальних зразках, характеризуються наступними недоліками: дослідженню піддаються плівки, що залишаються на поверхні зразків після їх вилучення з випробувального модуля, у той же час відомо, що на контактуючих поверхнях під навантаженням при терті проходить динамічний процес щодо утворення і зношування плівок, причому їх товщина і характер визначаються часом і умовами випробувань (навантаження, швидкість, температура тощо). У зв'язку з вищенаведеним виникають певні сумніви стосовно

ідентичності плівок, утворених і зафіксованих у процесі проведення досліджень та після їх завершення [8].

**Постановка завдання.** Визначення механізмів плівкоутворення в локальному контакті та встановлення закономірностей зміни антифрикційних та реологічних властивостей оливи у залежності від кінетики формування граничних адсорбційних шарів.

**Викладення основного матеріалу.** Дослідження виконувались на роликах, виготовлених зі сталі ШХ-15, при максимальних контактних навантаженнях за Герцом відповідно 450, 570 та 680 МПа. Мастильний матеріал – олива Honda Ultra DPSF, термін експлуатації якої склав 30 тис. км пробігу підконтрольних транспортних засобів, початкова об’ємна температура оливи – 18<sup>0</sup>С.

У період пуску встановлена наступна закономірність в формуванні товщини мастильного шару залежно від навантаження: при початковому напруженні, що відповідає 100 циклам, в контакті, незалежно від навантаження, реалізується еластогідродинамічний режим мащення, в подальших циклах напруження мащення контактних поверхонь відбувається при гідродинамічному режимі (рис. 1).

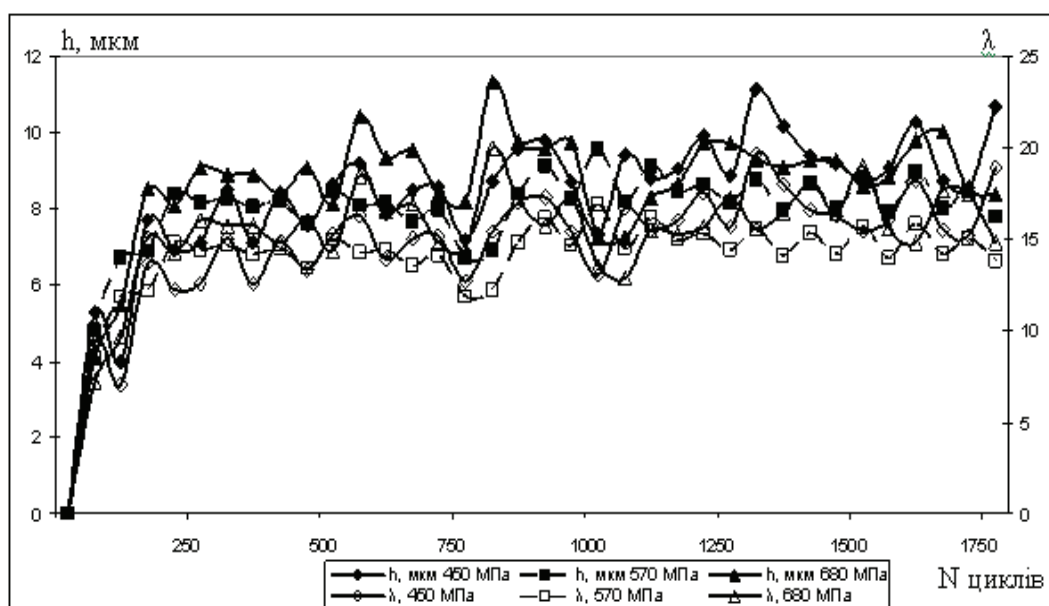


Рисунок 1. –Формування товщини мастильного шару (h) та режим мащення в контакті (λ) при напруженні

При збільшенні контактного навантаження з 450 до 680 МПа для досліджуваної оливи встановлена наступна закономірність зміни максимальної товщини мастильного шару при пуску (рис. 2): при зростанні  $u_{max}$  до 570 МПа зменшується товщина мастильного шару на 16%, а при підвищенні  $\sigma_{max}$  до 680 МПа зменшення даного параметра встановлено лише на 4%, у порівнянні з ефективністю мастильної дії при 450 МПа.

Згідно класичним уявленням еластогідродинамічної теорії мащення, збільшення навантаження в контакті призводить до зменшення товщини мастильного шару, однак дана закономірність не простежується при  $\sigma_{max}$  680 МПа.

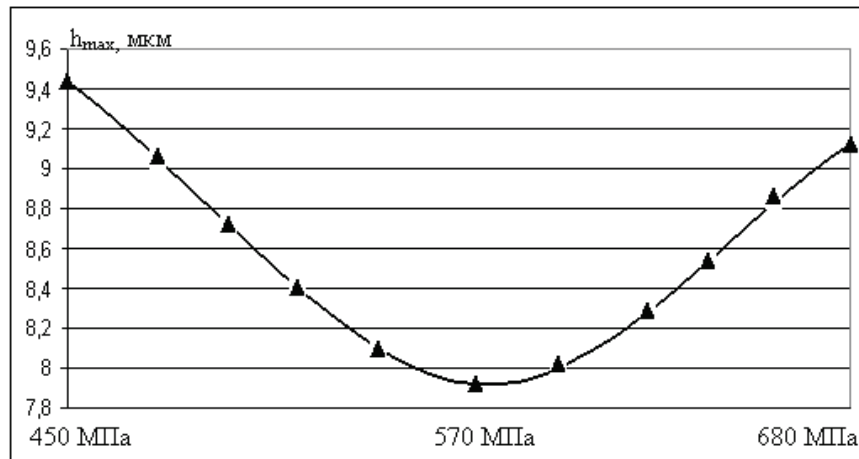


Рисунок 2. –Формування максимальної товщини мастильного шару ( $h_{max}$ ) у залежності від навантаження ( $\sigma_{max}$ )

Так як застосований нами метод ВПН в режимі НТР для визначення товщини мастильного шару дозволяє ідентифікувати природу сформованих шарів, то аналіз одержаних результатів свідчить про наступні особливості мастильної дії в контакті: при дослідженні негідродинамічної складової товщини мастильного шару до 250 циклів напрацювання на зупинці зрив мастильного шару спостерігається при контактних навантаженнях 450, 570, 680 МПа відповідно у 30%, 20% та 50% випадків, за рахунок чого відбувається металевий контакт поверхонь, метал деформується, збільшується деформаційна пластична компонента металу, внаслідок чого відбувається активація поверхневих шарів металу, що призводить до окислювально-полімеризаційних процесів на поверхні металу і відбувається приріст товщини СОП при напрацюванні (рис. 3).

Тільки при 570 МПа сформовані граничні плівки характеризуються високою адаптаційною ефективністю до динамічних умов навантаження – до 1750 циклів не спостерігається зриву мастильного шару на зупинці, в той же час для  $u_{max}$  450 та 680 МПа частота стирання СОП становить відповідно 7 та 3%.

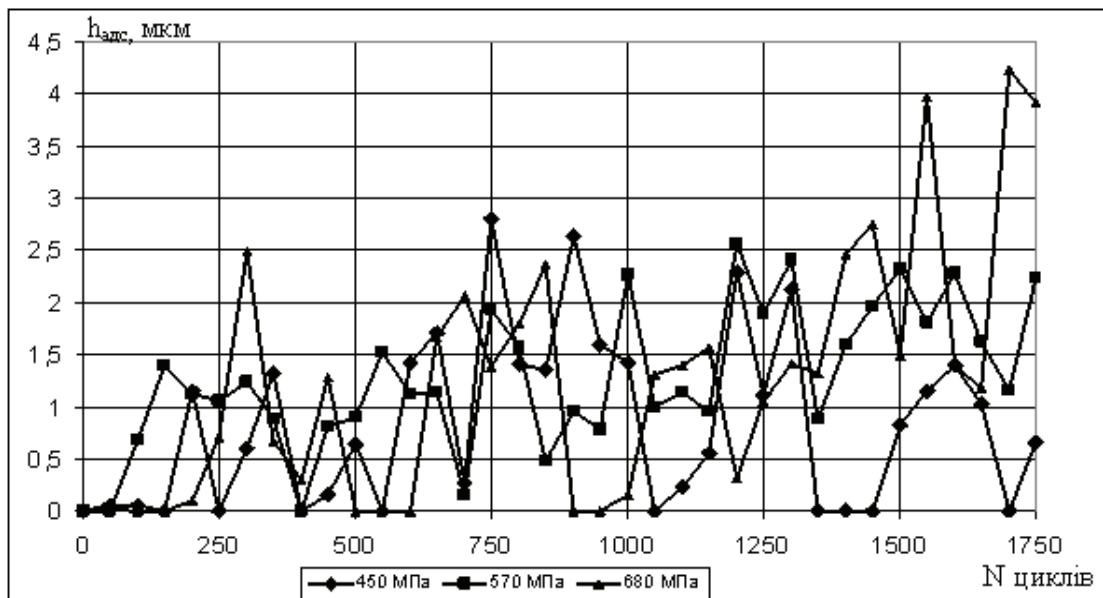


Рисунок 3. – Динаміка утворення граничних адсорбційних шарів ( $h_{ads}$ ) при напрацюванні у залежності від навантаження ( $\sigma_{max}$ )

Слід зазначити, що при 680 МПа періодичне стирання граничних шарів мало місце лише до 1000 циклів напрацювання, надалі в контакті формувалась стійка адаптована плівка мастильного

матеріалу, однак при 450 МПа даного ефекту не спостерігалось – повне видалення сформованих граничних шарів з повторним їх оновленням відбувалось до 1700 циклів.

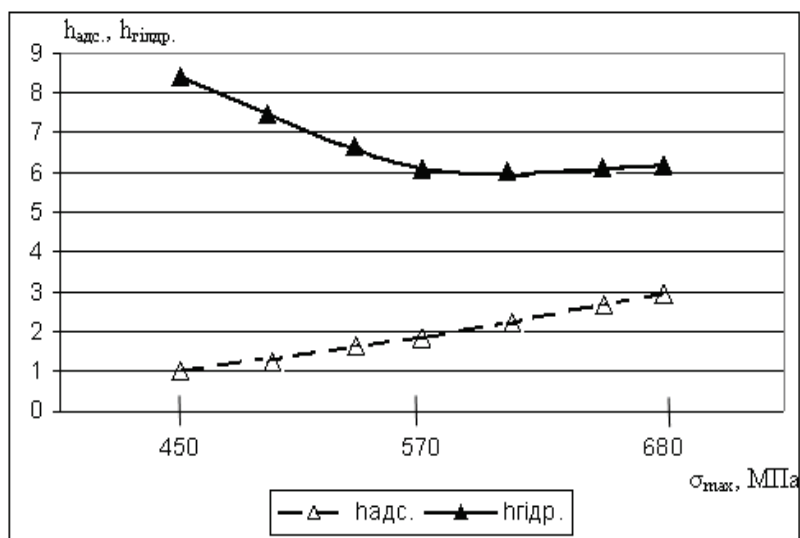


Рисунок 4. – Кінетика формування гідродинамічної ( $h_{\text{гiдp.}}$ ) та негідродинамічної ( $h_{\text{адс.}}$ ) складової товщини мастильного шару

**Висновок.** Приріст товщини адаптованих СОП у залежності від навантаження можна представити в наступному вигляді: при збільшенні  $\sigma_{\max}$  з 450:570:680 МПа товщина граничних полімеризаційних плівок становила 1,02:1,85:2,95 мкм відповідно (рис. 4).

Простежується чіткий кореляційний зв'язок між ступенем пластичної деформаційної компоненти, яка підвищується зі збільшенням контактного навантаження, та інтенсивністю формування адсорбційних шарів в контакт: зростання навантаження до 570 та 680 МПа призводить до збільшення товщини СОП на 45 та 65% відповідно, в порівнянні з товщиною плівок при 450 МПа.

Даний висновок є підтвердженням високої ефективності самогенеруючих органічних плівок, які формуються у зоні контакту високонавантажених трибосполучень та забезпечують поверхневі шари деталей машин від наслідків проходження активних зношувальних процесів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Литвинов В.Н. Физико-химическая механика избирательного переноса при трении / В.Н. Литвинов, Н.М. Михин, Н.К. Мышкин. – М.: Наука, 1979. –188с.
2. Любарский И.М. Металлофизика трения / И.М. Любарский, Л.С. Палатник. – М.: Металлургия, 1976. – 176 с.
3. Малевский С.К. Противозадирная стойкость цементованных и нитроцементованных сталей / С.К. Малевский, И.И. Соколов // Металловедение и термическая обработка металлов, 1977. – №4. – С. 66-68.
4. Матвеевский Р.М. Температурная стойкость граничных смазочных слоев и твердых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов / Р.М. Матвеевский. – М.: Наука, 1971. – 227 с.
5. Заславский Ю.С. Механизм действия противоизносных присадок к маслам / Ю.С. Заславский, Р.Н. Заславский. – М.: Химия, 1978. – 224 с.
6. Гаркунов Д.Н. Повышение износостойкости на основе избирательного переноса / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1977. – 212 с.
7. Райко М.В. Образование слоя смазки при приработке контактных поверхностей / М.В. Райко, В.П. Кадомский, В.С. Белоус // Вестник машиностроения, 1978. – №11. – С. 23-26.
8. Порохов В.С. Трибологические методы испытания масел и присадок / В.С. Порохов. – М.: Машиностроение, 1983. – 183 с.

#### REFERENCES

1. Litvinov V.N. Physical-chemical mechanics of selective transfer at friction. V.N. Litvinov, N.K. Mihin, N.K. Myshkin. M: Science, 1979. 188 p.

2. Lyubarsky I.M. Metal Physics friction. I.M.Lubarsky, L.S.Palatnik. Moscow: Metallurgy, 1976. 176 p.
3. Malevsky S.K. Extreme pressure resistance and carburized steels nitrocase-hardened. S.K.Malevsky, I.I.Sokolov. Metallurgy and heat treatment of metals, 1977. № 4. P. 66-68.
4. Matveevsky R.M. Temperature resistance boundary lubricant layers and solid lubricant coatings in friction of metals and alloys. R.M.Matveevsky. Moscow: Science, 1971. 227 p.
5. Zaslavsky Y.S. Mechanism of action of anti-wear additives to oils. Y.S.Zaslavsky, R.N.Zaslavsky. - Moscow: Chemistry, 1978. 224 p.
6. Garkunov D.N. Increasing wear resistance based on selective transfer. D.N.Garkunov. M.: Mechanical Engineering, 1977. 212 p.
7. Rajko M.V. Formation of a layer of lubrication during running-contact surfaces. M.V. Raiko, V.P.Kadomsky, V.S.Belous. Bulletin of Engineering, 1978. № 11. P. 23-26.
8. Powders V.S. Tribological test methods lubricants and additives. V.S.Powders. - M.: Mechanical Engineering, 1983. 183 P.

#### РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Вплив навантаження на антифрикційні та реологічні властивості оливи у контакті / М.Ф.Дмитриченко, О.М.Білякович, А.М.Савчук, Ю.О.Туриця, О.І.Куш, О.А.Міланенко // Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник: в 2 ч. Ч. 1: Серія «Технічні науки». – К. : НТУ, 2014. – Вип. 30.

У статті представлені результати досліджень, які виконували на роликах, виготовлених зі сталі ШХ-15, при максимальних контактних навантаженнях по Герцу 450, 570 та 680 МПа. Мастильний матеріал – трансмісійна олива Honda Ultra DPSF, термін експлуатації якої склав 30 тис. км пробігу, початкова об'ємна температура оливи – 180С.

Об'єкт дослідження – кінетика формування граничних адсорбційних шарів.

Метою роботи було визначення механізмів плівкоутворення в локальному контакті та встановлення закономірностей зміни антифрикційних та реологічних властивостей оливи залежно від кінетики формування граничних адсорбційних шарів.

Метод дослідження – експериментальне визначення мастильної дії в контакті трансмісійної оливи Honda Ultra DPSF шляхом вимірювання падіння напруги в режимі нормального тліючого розряду.

В період пуску встановлена наступна закономірність в формуванні товщини мастильного шару залежно від навантаження: при початковому напруцюванні, що відповідає 100 циклам, в контакті, незалежно від навантаження, реалізується еластогідродинамічний режим мащення, в подальших циклах напруцювання мащення контактних поверхонь відбувається при гідродинамічному режимі.

При збільшенні контактного навантаження з 450 до 680 МПа для досліджуваної оливи встановлена наступна закономірність змін максимальної товщини мастильного шару при пуску: при зростанні  $\sigma_{\max}$  до 570 МПа зменшується товщина мастильного шару на 16%, а при підвищенні  $\sigma_{\max}$  до 680 МПа зменшення даного параметра встановлено лише на 4%, в порівнянні з ефективністю мащення при 450 МПа.

Так як застосований нами метод ВПН в режимі НТР для визначення товщини мастильного шару дозволяє ідентифікувати природу сформованих шарів, то аналіз одержаних результатів свідчить про наступні особливості мащення в контакті: при дослідженні негідродинамічної складової товщини мастильного шару до 250 циклів напруцювання на зупинці зрив мастильного шару спостерігається при контактних навантаженнях 450, 570, 680 МПа відповідно у 30%, 20% та 50% випадків, за рахунок чого відбувається металевий контакт поверхонь.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ТОВЩИНА МАСТИЛЬНОГО ШАРУ, РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ОЛИВ, НАВАНТАЖЕННЯ В КОНТАКТІ, ГРАНИЧНИЙ МАСТИЛЬНИЙ ШАР.

#### ABSTRACT

Dmitrichenko N.F. The effect of the load on anti-friction and rheological properties of lubricants in contact. N.F.Dmitrichenko, O.N.Bilyakovich, A.N.Savchuk, Y.A.Turitsa, A.I.Kusch, A.A.Milanenko. Visnyk National Transport University. Scientific and Technical Collection: In Part 2. Part 1: Series «Technical sciences». – Kyiv: National Transport University, 2014. – Issue 30.

The article presents the results of studies that were carried out on rollers made of steel SH-15 at maximum Hertz contact loads of 450, 570 and 680 MPa. Lubricant - transmission oil Honda Ultra DPSF, whose lifespan was 30 thousand kilometers, the initial bulk oil temperature - 18°C.

The object of study - the adsorption kinetics of formation of boundary layers. Goal is to determine the mechanisms of film formation in the local contact and establish patterns of change and anti-friction oil rheological properties depending on the adsorption kinetics of the boundary layers.

Research method - experimental determination of lubricating action in contact transmission oil Honda Ultra DPSF by measuring the voltage drop during normal glow discharge.

Start-up has the following regularity in the formation of film thickness depending on the load : the first-life , which corresponds to 100 cycles, in touch , regardless of load, implemented elastohydrodynamics mode lubrication in subsequent cycles developments lubricant contact surfaces occurs when the hydrodynamic mode.

With increasing contact load with up to 450 680 MPa investigated for oil has the following pattern of change in the thickness of the lubricating film at start-up: with increasing  $\sigma_{\max}$  to 570 MPa reducing the thickness of the lubricating film is 16% , with an increase in the minds of up to 680 MPa lowering this setting is set to 4% , compared with the efficiency of lubrication at 450 MPa.

Since we applied the method of the IPN in NTR mode to determine the thickness of the lubricating film allows you to identify the nature of the current layer , the analysis of the results reveals the following features of lubricants in contact : when examining dehydrogenation component layer thickness up to 250 cycles developments at the stop disruption of the lubricating layer is observed in contact loads 450, 570, 680 MPa respectively 30%, 20% and 50% of cases, due to which there is metal contact surfaces.

KEY WORDS: THE THICKNESS OF THE LUBRICATION LAYER, RHEOLOGICAL PROPERTIES OF OILS, LOAD IN CONTACT, BOUNDARY LUBRICATION LAYER.

#### РЕФЕРАТ

Дмитриченко Н.Ф. Влияние нагрузки на антифрикционные и реологические свойства масел в контакте / Н.Ф.Дмитриченко, О.Н.Билиякович, А.Н.Савчук, Ю.А.Турица, А.И.Куш, А.А.Миланенко // Вестник Национального транспортного университета. Научно-технический сборник: в 2 ч. Ч. 1: Серия «Технические науки». – К. : НТУ, 2014. – Вып. 30.

В статье представлены результаты исследований, которые выполнялись на роликах, изготовленных из стали ШХ-15, при максимальных контактных нагрузках по Герцу 450, 570 и 680 МПа. Смазочный материал - трансмиссионное масло Honda Ultra DPSF, срок эксплуатации которого составил 30 тыс. км пробега, начальная объемная температура масла - 18°C.

Объект исследования - кинетика формирования граничных адсорбционных слоев.

Целью работы было определение механизмов пленкообразования в локальном контакте и установление закономерностей изменения антифрикционных и реологических свойств масла в зависимости от кинетики формирования граничных адсорбционных слоев.

Метод исследования - экспериментальное определение смазочной действия в контакте трансмиссионного масла Honda Ultra DPSF путем измерения падения напряжения в режиме нормального тлеющего разряда.

В период пуска установлена следующая закономерность в формировании толщины смазочного слоя в зависимости от нагрузки: при начальной наработке, что соответствует 100 циклам, в контакте, независимо от нагрузки, реализуется эластогидродинамичный режим смазки, в последующих циклах наработки смазка контактных поверхностей происходит при гидродинамическом режиме.

При увеличении контактной нагрузки с 450 до 680 МПа для исследуемого масла установлена следующая закономерность изменения толщины смазочного слоя при пуске: при повышении  $\sigma_{\max}$  до 570 МПа уменьшается толщина смазочного слоя на 16%, а при повышении  $\sigma_{\max}$  до 680 МПа уменьшение данного параметра установлена 4%, по сравнению с эффективностью смазки при 450 МПа.

Так как примененный нами метод ИПН в режиме НТР для определения толщины смазочного слоя позволяет идентифицировать природу сложившихся слоев, то анализ полученных результатов свидетельствует о следующих особенностях смазки в контакте: при исследовании негидродинамичной составляющей толщины смазочного слоя до 250 циклов наработки на остановке срыв смазочного слоя наблюдается при контактных нагрузках 450, 570, 680 МПа соответственно в 30%, 20% и 50% случаев, за счет чего происходит металлический контакт поверхностей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТОЛЩИНА СМАЗОЧНОГО СЛОЯ, РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАСЕЛ, НАГРУЗКА В КОНТАКТЕ, ГРАНИЧНЫЙ СМАЗОЧНЫЙ СЛОЙ.

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.

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.

Кушч Олексій Іванович, 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.

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.

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.

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.

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.

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.

Kushch Aleksey I., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: kushch\_oleksiy@bigmir.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

Milanenko Aleksandr A., tional Transport University, junior researcher department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: milanmasla@gmail.com, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorovastr. 1, of. 102.

АВТОРЫ:

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

Билякович Олег Николаевич, кандидат технических, профессор, Национальный авиационный университет, профессор кафедры «Технологий аеропортів», 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 материалознавство», e-mail: tolik\_savchuk@bigmir.net, тел. (044)2801886, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к.102.

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

Кушч Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: kushch\_oleksiy@bigmir.net, тел. (044)2801886, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к.102.

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.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Гришук О.К., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Автомобілі», Київ, Україна.

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

**REVIEWER:**

Grushuk Akekssandr K, Ph.D., National Transport University, professor department of automobile, 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.