

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, ІНФОРМАЦІЙНІ І ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

УДК 621.891

М. Ф. Дмитриченко, *О. М. Білякович, А. М. Савчук, О. А. Міланенко, Ю. О. Туриця
Національний транспортний університет,
*Національний авіаційний університет

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТРИБОСПОЛУЧЕНЬ ЗАЛЕЖНО ВІД ТРИВАЛОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОЛИВ

© Дмитриченко М. Ф., Білякович О. М., Савчук А. М., Міланенко О. А., Туриця Ю. О., 2015

Результати комплексних досліджень за означеною методикою сприятимуть оптимізації терміну раціонального використання та підбору елементів досліджуваних трибосистем.

Ключові слова: знос контактної поверхні, мастильний матеріал, ресурс масла, бракувальний рівень показників.

The results of comprehensive research on the designated procedure will contribute to the optimization of the management and selection of elements studied tribosystems.

Key words: wear, the contact surface, lubricating material, resource oil, acceptance level indicators.

Вступ. Під час тертя та зношування у трибосистемах відбуваються різноманітні фізико-хімічні процеси, що пов'язані зі взаємною зміною мастильних матеріалів та поверхонь тертя. Зокрема, відбуваються механічні та термічні деструкційні процеси безпосередньо у самому мастильному середовищі, внаслідок чого утворюються продукти старіння та полімеризації, відбувається насичення олів та мастил продуктами зношування, дрібнодисперсними частинками зовнішніх забруднень.

Постановка проблеми. Для встановлення позитивного впливу процесів старіння та забруднення трансмісійних олів під час експлуатації необхідно проаналізувати вплив на протизношувальні процеси у трибосистемах такого важливого відбракувального показника олів, як ступінь їх забруднення механічними домішками.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанню дослідження впливу ступеня забруднення олів механічними домішками на триботехнічні властивості мастильних матеріалів присвячені роботи багатьох провідних вчених: Є. С. Венцеля, Д. Н. Гаркунова, М. Ф. Дмитриченка, Р. Г. Мнацаканова, О. О. Мікосянчик, О. М. Біляковича та інш.

Формулювання цілі статті. Оцінювання зносостійкості контактних поверхонь трибосполучень залежно від тривалості експлуатації мастильного матеріалу для виявлення закономірності у поведженні олів протягом рекомендованого ресурсу їх експлуатації.

Виклад основного матеріалу. Методика оцінки зносостійкості контактних поверхонь трибосполучень залежно від тривалості експлуатації мастильного матеріалу може бути представлена у вигляді послідовності певних дій, що зазначені у таких пунктах:

1. Організувати та провести натурні випробування мастильних матеріалів в умовах довготривалої експлуатації, для чого обрати групу підконтрольних транспортних засобів (ПТЗ), в агрегати трансмісій яких заливається олива однієї марки та контролюється тривалість її використання.

2. Враховуючи аналіз нормативних значень ресурсу конкретної марки оливи, визначити періодичність проведення відбору проб досліджуваного мастильного середовища, яку можна оцінювати величиною пробігу ПТЗ (у тис. км) або наробітком певного агрегата (у мото-годинах).

3. Відібрати проби досліджуваної марки оливи зі встановленою періодичністю у відповідності до алгоритму, наведеному в науковому творі “Математична модель визначення найбільш вагомих відбраковочних показників моторних та трансмісійних олив” [16].

4. Виготовити із застосуванням типових зміцнювальних технологій металеві зразки з різних марок сталей для реалізації експериментальних досліджень щодо оцінки зносостійкості контактних поверхонь пар тертя залежно від тривалості експлуатації мастильного матеріалу.

5. Для визначення величини зносу та мікротвердості ($H\mu$) поверхневих шарів (ПШ) трибосполучень в умовах локального контакту використати метод штучних баз, для чого нанести на робочі поверхні зразків заглиблення (штучні бази) з метою подальшого вимірювання відстані від дна цього заглиблення до зношеної поверхні до і після трибовипробувань. Визначити величину початкової мікротвердості робочих поверхонь зразків до випробувань.

6. Провести триботехнічні випробування досліджуваних трибосистем (металеві зразки – мастильне середовище) на лабораторній одноконтактній установці, що моделює умови експлуатації трибосполучень у реальних вузлах та агрегатах трансмісій транспортних засобів.

7. По завершенні випробувань на лабораторній установці визначити величину зносу досліджуваних поверхонь означеним методом, обчислити кінцеві значення $H\mu$ ПШ, оцінити величину зміни мікротвердості до проведення випробувань та після їх завершення ($\Delta H\mu = H\mu_{\text{кінц.}} - H\mu_{\text{поч.}}$).

8. Побудувати діаграми величини зносу досліджуваних пар тертя після попередніх випробувань у середовищі оливи із різними значеннями залишкового ресурсу.

9. Побудувати залежності значень зносу ПШ досліджуваних зразків від величини попереднього пробігу підконтрольних транспортних засобів.

10. Для розв’язання задачі безконтактного визначення з нанометровою точністю величини зносу залежно від значень залишкового ресурсу трансмісійних олив протестувати досліджувані поверхні трибосполучень методом візуалізації із застосуванням оптичного інтерференційного профілометра.

11. Проаналізувати отримані профілограми та 3D топографію граничної зони досліджуваних зразків.

12. На основі аналізу отриманих залежностей (п. 9) та даних щодо зміни значень мікротвердості після випробувань у середовищі досліджуваних мастильних матеріалів надати рекомендації щодо раціонального терміну застосування конкретної марки трансмісійної оливи.

Результати комплексних досліджень за означеною методикою сприятимуть оптимізації терміну раціонального використання та підбору елементів досліджуваних трибосистем.

Як приклад можна навести дослідження, що проводилось за вищенаведеною методикою щодо оцінки протизношувальних властивостей однієї з найпоширеніших марок трансмісійних олив від вітчизняного виробника ТМ-5-18 (Азмол ТАД – 17і) у стані постачання та після її застосування в агрегатах трансмісій рейсових автобусів і тролейбусів м. Києва. Триботехнічні випробування в середовищі цієї оливи, проби якої були відібрані із різними значеннями залишкового ресурсу, проходили на зразках роликового типу, виготовлених зі сталей Ст45 та 30ХГСА. Відбирали проби оливи за спеціально розробленою програмою триботехнічних випробувань залежно від величини пробігу підконтрольних транспортних засобів (ПТЗ) з інтервалом 10000 км від 0 до 90000 км. Досліджувані зразки так само, як і реальні зубчаті колеса, підлягали загартуванню до необхідної твердості.

На рис. 1 наведено результати вимірювання величини зносу після випробувань у середовищі трансмісійної оливи ТАД-17і із різним залишковим ресурсом. Як видно з діаграми, значення зносу, отримані методом штучних баз, під час проведення експериментальних досліджень протягом 2,5 год у оливі в стані постачання становило близько 0,9 мкм. Це значення можна використати як базове під час проведення порівняльного аналізу аналогічних значень, що були отримані після випробувань у оливі, проби якої були відібрані з агрегатів трансмісій на різних стадіях використання.

Проби трансмісійної оливи ТАД-17і, відібрані після пробігу ПТЗ 30000 км, знаходяться у, так званому, перехідному якісному стані, коли активні присадки частково або цілком вироблені, а процеси окислювання і полімеризації базової частини оливи ще недостатньо ефективні під час формування граничних мастильних шарів (ГМШ), отже, ефективність мастильної дії є мінімальною. При цьому значення зносу, зафіксоване після завершення випробувань на СМЦ-2 становило максимальну величину (при мінімальному значенні товщини поліфазного ГМШ), перевищуючи базове майже на 40 %.

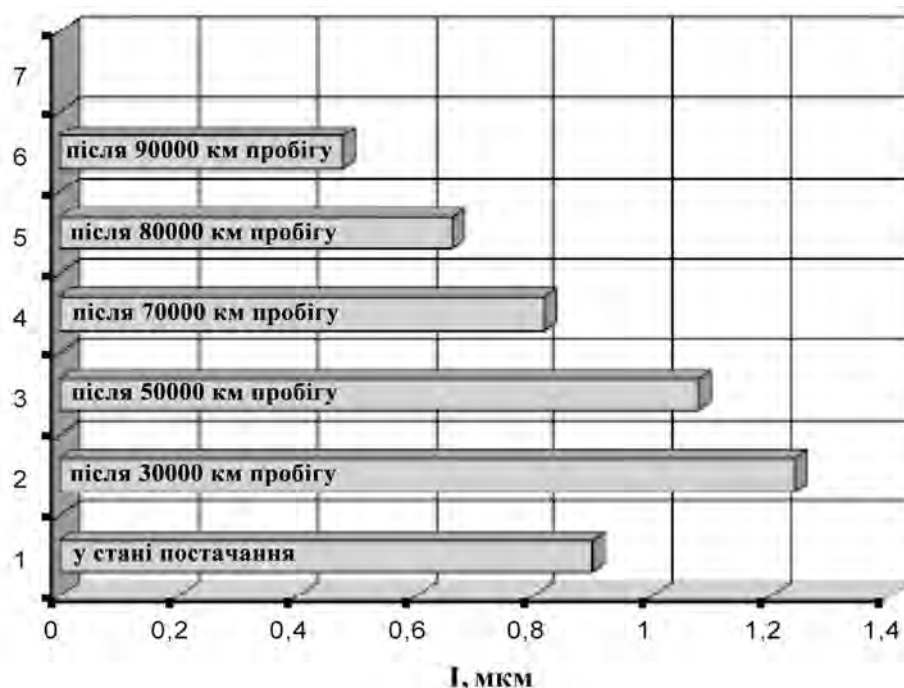


Рис. 1. Діаграма значень зносу досліджуваних зразків, отриманих методом штучних баз (нестационарний режим тертя, зразки – Ст 45, олива – ТАД-17і, $T_{об} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Причому наявність подібної “перехідної зони” якісного стану мастильних матеріалів в умовах їх тривалого використання була також виявлена під час випробування у середовищі інших марок трансмісійних олив, що може свідчити про існування певної закономірності у поведженні олив протягом рекомендованого ресурсу їх експлуатації.

Зі збільшенням величини попереднього пробігу ПТЗ у діапазоні від 30000 до 90000 км спостерігалось поступове зменшення значень зносу поверхонь трибосполучень, що були визначені після випробувань у вищезазначених мастильних середовищах. Причому зафіксоване значення зносу у середовищі оливи після пробігу ПТЗ 90000 км на 47 % зменшилось порівняно з аналогічним значенням, отриманим після випробувань у оливі в стані постачання. Товщина ГМШ безпосередньо пов’язана із зносостійкістю трибосполучення – зі зростанням її значень зношування пар тертя зменшується, оскільки водночас зменшуються зсувні напруження у граничних мастильних шарах, що знаходить підтвердження у публікаціях [8–11].

Оскільки під час аналізу зміни значень товщини поліфазного ГМШ під час випробувань у оливі ТАД-17і зафіксовано поступове збільшення h_{mf} для випадку використання проб оливи, злитих

з агрегатів трансмісій у діапазоні 30000–90000 км пробігу ПТЗ, зменшення величини зносу після випробувань у оливі з відповідними значеннями залишкового ресурсу є цілком логічним (рис. 2).

Зі збільшенням пробігу ПТЗ, а, отже, зі збільшенням тривалості експлуатації трибосистем їх елементи все більше зазнають змін структурного та якісного характеру, які у відповідності до принципу Ле-Шательє-Брауна проходять у напрямку максимальної пристосованості трибосистеми до умов тертя, створення нових структур, здатних забезпечувати мінімальний рівень енерговитрат на тертя – олива у стані постачання з часом набуває кращих протизношувальних властивостей за рахунок накопичення продуктів старіння та механічних домішок складної структури, що є протизношувальною та протизадірною присадкою, яку генерує сама олива.

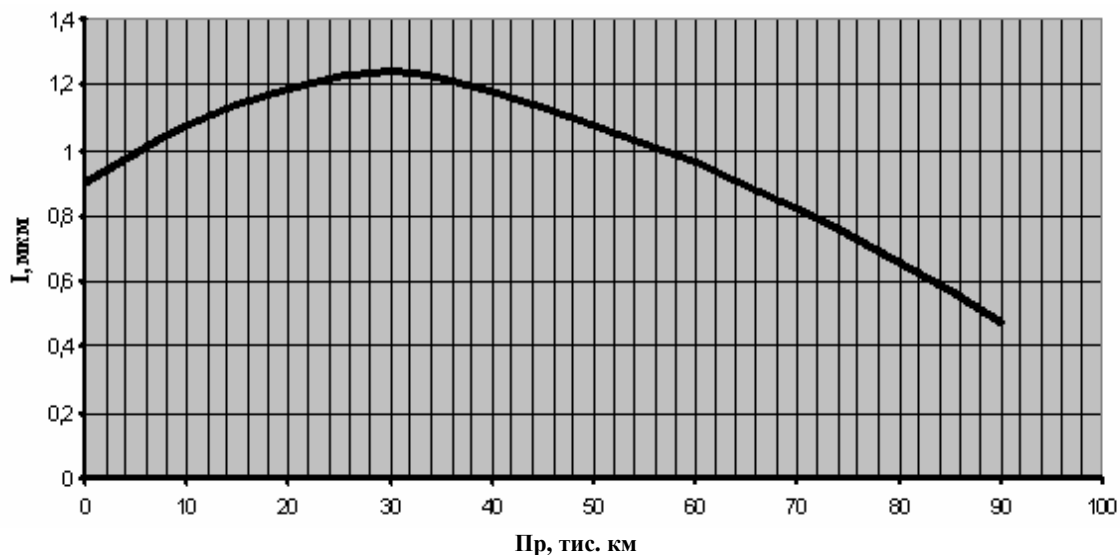


Рис. 2. Залежність зносу досліджуваних зразків від залишкового ресурсу оливи ТАД-17і (нестационарний режим тертя, зразки – Ст 45, $T_{об} = 90$ °С):
Пр – пробіг підконтрольних транспортних засобів

Для об'єктивнішої оцінки процесу зношування в агрегатах трансмісій ПТЗ низку експериментів було проведено в умовах стаціонарного тертя з фіксацією величини зносу трибосполучень після випробувань у досліджуваних мастильних середовищах. Закономірності зміни значень зносу досліджуваних зразків за сталих навантажень та швидкості обертання приводного вала машини тертя СМЦ-2 залежно від якісного стану оливи ТАД-17і не мали істотних відмінностей порівняно з аналогічними закономірностями, отриманими після випробувань в умовах нестационарного тертя.

Як видно з рис. 3, зафіксовані абсолютні значення зносу у середовищі всіх без винятку проб трансмісійних олив мали менші величини, що є цілком логічним і пояснюється відсутністю істотних коливань навантажувально-швидкісних та температурних режимів випробувань у разі стаціонарного тертя, що сприяло інтенсивнішому процесу формування ГМШ та істотнішому збільшенню значень їх товщини порівняно зі значеннями, зафіксованими під час випробувань в умовах нестационарного тертя.

Вищенаведені закономірності процесів зношування залежно від значень залишкового ресурсу трансмісійних олив знаходять підтвердження під час аналізу результатів тестування поверхонь трибосполучень методом візуалізації із застосуванням оптичного інтерференційного профілометра "Мікрон-альфа" [12].

Отже, під час реалізації граничного мащення в агрегатах механічних трансмісій перебіг зношувальних процесів протягом тривалого періоду використання мастильних середовищ має ідентичний характер і при стаціонарних, і нестационарних режимах тертя, обумовлених різними стадіями експлуатації та особливостями функціонального призначення транспортних засобів.

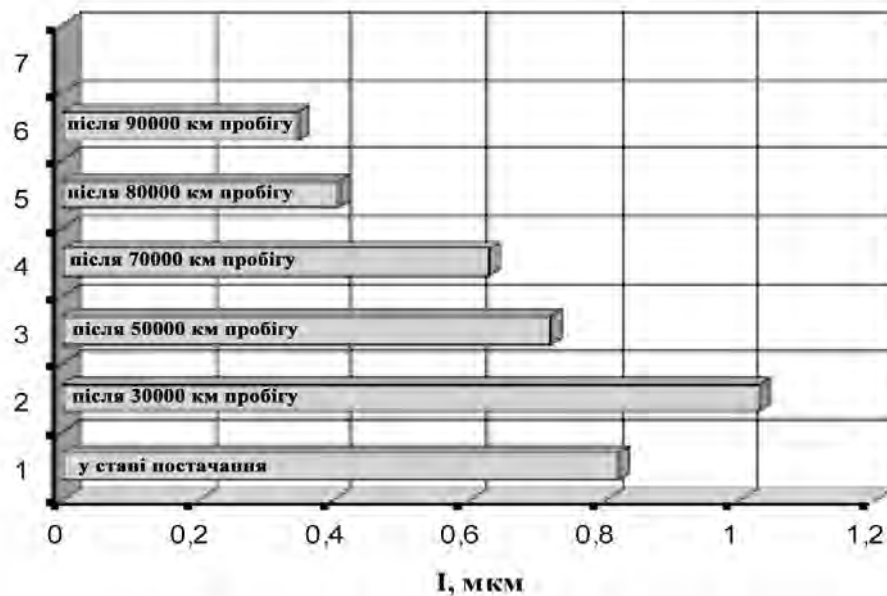


Рис. 3. Діаграма значень зносу досліджуваних зразків, отриманих методом штучних баз (стаціонарний режим тертя, зразки – Ст 30ХГСА, олива – ТАД-17і, Тоб = 90 °С)

На основі аналізу “кривої зносу” (рис. 2) можна стверджувати, що у досліджуваному інтервалі значень залишкового ресурсу (0–90000 км пробігу ПТЗ) спостерігаються позитивні тенденції щодо зміни протизношувальних властивостей трансмісійної оливи ТАД-17і. Отже, регламентований ресурс цієї марки оливи (50–70 тис. км пробігу транспортних засобів) рекомендовано збільшити до 90 тис. км пробігу, використовуючи у коробках передач та ведучих мостах легкових і вантажних автомобілів загального призначення, причому, враховуючи характер проходження отриманої залежності, термін раціонального використання оливи ТАД-17і не обмежується вищенаведеним значенням пробігу транспортних засобів, хоча подібне твердження потребує проведення додаткових досліджень.

Висновки. Результати проведених досліджень не є свідченням доцільності беззмінної експлуатації мастильних матеріалів в агрегатах трансмісій автотранспортних засобів. За очевидної корисності продуктів старіння та забруднення олив, що у разі певних умов здійснюють протизношувальний вплив на елементи трибосистеми, слід зауважити на наявність обставин, які вимагатимуть заміни мастильного середовища. У разі надмірного окислення оливи зростає її в’язкість, що створює сприятливі умови для утворення консистентних згустків, при цьому може зростати корозійна агресивність оливи, присутність великофрагментних частинок механічних домішок може спричинити виникнення абразивного зношування, істотне збільшення концентрації домішок призводить до коагуляції останніх, їх осідання, забивання маслопроводів та фільтрів тощо.

Саме тому говорити про можливість ефективного використання у трибосистемах продуктів старіння та забруднення олив, розробляти рекомендації щодо оптимізації їх раціонального застосування, методики прогнозування ресурсу трансмісійних олив можна винятково на основі проведення хімотологічних досліджень процесів старіння мастильного середовища, глибокого вивчення кінетики формування та деструкції поліфазних граничних шарів в умовах зміни якісного стану мастильних середовищ у разі тривалої експлуатації вузлів тертя, механізмів структурних змін ГМШ, що призводять до їх самоорганізації.

1. Крылов К. А. Долговечность узлов трения самолетов / К. А. Крылов, М. Е. Хаймзон. – М.: Транспорт, 1976. – 184 с. 2. Влияние загрязненности смазочной жидкости на работу подшипника. Filtration requirements for journal bearings exposed to different contaminant levels. Duchowski J. K.,

Wetzstein W. M., Dmochowski M. *Tribology and Lubrication Engineering: 14 International Colloquium Tribology, Ostfildern, Jan. 13–15, 2004. Vol. 2. – Ostfildern: Techn. Akad. Esslingen. – 2004. – P. 991–994.* Англ. 3. Венцель С. В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания / С. В. Венцель. – К.: Техніка, 1977. – 208 с. 4. Венцель С. В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / С. В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 240 с. 5. Березняков А. И. О влиянии полярных молекул смазочного материала на силу трения / А. И. Березняков // Трение и износ. – 2001. – Т. 22. – № 5. – С. 513–519. 6. Березняков А. И. О взаимосвязи интенсивности изнашивания с материальными характеристиками трибоузла / А. И. Березняков, Е. С. Венцель // Трение и износ. – 1995. – Т. 16. – № 5. – С. 815–827. 7. Старение смазочных материалов / Кимисима Таканао // Пуранто эндзиния = Plant Eng. – 1990. – 22, № 7. – С. 64–68. – Яп. 8. Билякович О. Н. Влияние загрязненности трансмиссионных масел на смазочное действие и состояние поверхностных слоев трибосопряжений: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04 / О. Н. Билякович // Киевский международный ун-т гражданской авиации. – К.: 1996. – 273 с. 9. Baldwin В. А. The effect of base oil viscosity on simulated valve train wear / В. А. Baldwin // ASLE Transactions. 1981. – V. 24. – № 1. – P. 42–48. 10. Кудрин А. П. Влияние смазочного материала на формирование вторичных структур в условиях неустановившихся режимов трения / А. П. Кудрин, В. И. Маленко, В. Ф. Лабунец // Проблеми трибології. – 2006. – № 1. – С. 158–163. 11. Маленко В. І. Кінетика зміни складових мастильного шару при терті контактних поверхонь в екстремальних умовах / В. І. Маленко // Вісник НАУ. – 2004. – № 4. – С. 69–74. 12. Безконтактний тривимірний профілометр: Патент на корисну модель № 39972 Україна, G01B 9/02; 11/30 / С. Р. Ігнатович, І. М. Закієв, В. І. Закієв, С. С. Юцкевич (Україна). – u200809989; Заявл. 01.08.2008; Опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6. – 3 с.: 2 іл. 13. Костецкий Б. И. Качество поверхности и трение в машинах / Б. И. Костецкий, Н. Ф. Колесниченко. – К.: Техніка, 1969. – 216 с. 14. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. В 2-х кн. Кн. 2. / Под ред. И. В. Крагельского и В. В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с. 15. Басинюк В. Л. Выбор смазочных материалов при проектировании динамически нагруженных прямозубых зубчатых передач / В. Л. Басинюк // Трение и износ. – 2004. – Т. 25. – № 3. – С. 276–285. 16. Математична модель визначення найбільш вагомих відбраковочних показників моторних та трансмісійних олиф: Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 41870 Україна / М. Ф. Дмитриченко, О. М. Білякович, А. М. Савчук, В. І. Лізанець (Україна). – Дата реєстрації 19.01.2012. – 17 с.