

**Литовка С.В.**

Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства имени Петра Ва-  
силенка,  
г. Харьков, Украина.  
E-mail: litovkasvjob@gmail.com

**Косолапов В.Б.**

Харьковский национальный автомо-  
бильно-дорожный университет, г.  
Харьков, Украина.  
E-mail: pt.vic@mail.ru

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ  
ИЗНАШИВАНИЯ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ МАШИН  
ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА**

УДК 621.891:620.179

Проведен анализ методов диагностирования изнашивания трибосопряжений машин лесного комплекса. Показано, что наиболее перспективными для проведения диагностики трибосопряжений представляются устройства основанные на анализе сигналов акустической эмиссии.

**Ключевые слова:** методы диагностирования, изнашивание, трибосопряжения, акустическая эмиссия, надежность машин.

**Введение.** Современные высокоэффективные узлы трения машин и механизмов машин лесного комплекса работают подчас в тяжелых условиях, что приводит к повышенным отказам наиболее уязвимых подвижных элементов энергонагруженных трибосопряжений.

Повышение надежности подвижных трибосопряжений машин и механизмов во многом связано с развитием и усовершенствованием методов и средств технической диагностики. Диагностирование позволяет оценивать техническое состояние элементов трибосопряжений и на основании полученных данных прогнозировать их остаточный ресурс [1].

**Анализ публикаций.** Рост энергонагруженности трибосопряжений приводит к тому, что многие из них работают на пределе своей несущей способности и могут привести к постепенным или внезапным отказам. Однако, во многих случаях, негативные последствия можно предотвратить, диагностируя проблемные трибосопряжения, заранее выявляя относительно резкие или постепенные нарастающие сопутствующие эффекты ухудшения работы трибосистемы с последующим, возможно автоматическим, принятием мер по предотвращению отказов [1-4].

**Цель работы.** Целью данной работы является анализ методов и параметров диагностирования изнашивания трибосопряжений машин и механизмов лесного комплекса.

**Основная часть.** Методы диагностирования трибосопряжений машин и механизмов классифицируются двумя группами: субъективные и объективные [5, 6].

Субъективные методы позволяют оценивать техническое состояние составных частей трибосистемы по степени нагрева механизмов; характеру шумов и стуков; местам подтекания смазочного материала и т. д.

Объективные методы диагностирования основаны на использовании измерительных приборов, позволяющих количественно измерять параметры технического состояния трибосопряжений.

В процессе эксплуатации необходимо осуществлять контроль за кинетикой изнашивания либо с разборкой трибосистемы, либо без разборки.

В настоящее время известен целый ряд объективных методов диагностирования технического состояния трибосопряжений машин и их сборочных единиц, такие как измерение коэффициента трения, износа, температуры, деформаций и усилий; феррография; спектроскопия и т.д. [7-10]. Кроме этого, существует различное множество методов диаг-

ностирования трибосопряжений путем определения количественного и элементного состава продуктов износа и параметров состояния смазочного материала. Их можно условно разделить на следующие основные группы: физико-химические методы, электрофизические методы, оптические методы, ядерно-физические методы, акустические методы, тепловые методы, механические методы, методы диагностирования по параметрам смазочного материала (рис.1).

К ядерно-физическим методам относят: гашение сцинтилляций, радиоиндикаторный, поверхностной активации, нейтронно-активационный анализ [7, 11, 12].

Сцинтилляции, или свечение масел, применяемых в технике, возникают под действием ультрафиолетового света или ионизирующих излучений. В присутствии механических примесей интенсивность свечения масел убывает. На этом и основан принцип метода гашения сцинтилляции.

В радиоиндикаторном методе исследуемая деталь активируется путем введения радиоактивного изотопа в металл в процессе его плавки, либо, путем установки радиоактивных вставок в исследуемую деталь. В процессе работы активированная деталь изнашивается, продукты износа попадают в смазочный материал [13].

Метод поверхностной активации (дифференциальный метод радиоактивных индикаторов) отличается от предыдущего тем, что детали подвергаются в циклотроне поверхностной активации бомбардировке ускоренными заряженными частицами на глубину 10...300 мкм. Износ трибосопряжений определяется по уменьшению относительной радиоактивности активированных участков исследуемой поверхности [11, 12].

Нейтронно-активационный метод анализа основан на том, что активируются пробы масла, содержащие продукты износа. Износ оценивают по массовому содержанию элемента-индикатора в пробе масла в зависимости от спектра гамма-излучения после облучения тепловыми нейтронами. Другое направление развития этого метода связано с анализом концентрации радионуклидов в смазочной среде [14].

К электрофизическим методам можно отнести следующие: феррография, магнитометрия, ядерного магнитного резонанса [7, 11, 15].

В последние годы получил распространение метод анализа продуктов износа, основанный на извлечении ферромагнитных и парамагнитных частиц из пробы смазочного материала под действием магнитного поля, названный феррография. Метод включает в себя два этапа: осаждение частиц в магнитном поле (получение феррограммы), получение количественной информации (анализ феррограммы) [16].

Магнитометрия [10, 17] используется в основном для определения концентрации магнитных частиц в смазочном материале. Работа магнитометрических устройств основана на регистрации изменения величины приложенного магнитного поля при его взаимодействии с магнитным моментом анализируемой пробы или некоторым объемом потока масла в магистрали.

Метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР) основан на резонансном поглощении электромагнитной энергии ферромагнитными частицами, находящимися в пробе масла. Проводится снятие спектров ЯМР чистого масла, отработавшего масла и отработавшего масла после удаления механических примесей. Величина концентрации частиц в пробе масла определяется путем сравнения уширения линии спектра соответствующего элемента (металла) [13].

К акустическим методам можно отнести следующие: методы диагностирования по параметрам вибрации, шума и акустической эмиссии [7, 15, 18].

Среди представленных на рис. методов контроля состояния трибосопряжений важное место занимают акустические, весьма интенсивно развивающиеся в последнее время. Акустический анализ относится к методам неразрушающего контроля, при которых узел трения не подвергается разборке. Преимущество этого метода заключается в том, что он

**Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів**  
 Technical service of agriculture, forestry and transport systems

позволяет диагностировать практически все виды дефектов изготовления, сборки и эксплуатации трибосопряжений, как при сухом трении, так и со смазочным материалом.



Рис.1 – Методы диагностирования изнашивания трибосопряжений

Все акустические методы подразделяются на активные и пассивные. Активные методы основаны на возбуждении и приеме акустических и ультразвуковых волн с помощью специальных преобразователей. Как правило, контроль изнашивания трибосопряжений осуществляется пассивными (основанными на приеме колебаний) акустическими методами: акустической эмиссии (АЭ) [19], вибрационно- и шумодиагностическим [20].

Акустико-эмиссионный метод основан на регистрации с помощью пьезоэлектрических преобразователей упругих волн акустической эмиссии, возникающих вследствие внутренней перестройки структуры материала трибосопряжений. При этом источником АЭ является сам дефект.

Вибрационнодиагностический и шумодиагностический методы основаны на анализе вибраций или шумов какой-либо отдельной детали или узла трибосистемы. В процессе анализа изнашивания этими методами измеряются амплитудные и частотные характеристики акустического сигнала [1].

Анализ публикаций по данному вопросу показывает, что наибольший прогресс наблюдается в развитии метода АЭ, что, как отмечалось, связано прежде всего с возможностью обнаружения, появления и развития дефектов на самой ранней стадии функционирования трибосистемы. Кроме того, метод позволяет получать информацию об объекте исследования *in situ*, а не *post factum*, как это происходит в случае применения большинства других исследовательских методов.

Необходимо отметить, что в настоящее время метод АЭ применяется в двух основных направлениях. Во-первых, в качестве метода неразрушающего контроля в области диагностики состояния потенциально опасного оборудования, и, во-вторых, в качестве инструмента для исследования кинетики развития дефектной структуры материала в диагностике фрикционного взаимодействия [21].

К тепловым методам можно отнести следующие: тепловой и термодинамический [1, 2].

Тепловой метод основан на оценке распределения температуры на поверхностях трибосопряжения, а также перепадов температур смазочного материала [2]. При оценке технического состояния трибосопряжения применяются также термодинамический метод диагностирования [1], сущность которого заключается в контроле во время функционирования трибосистемы температуры и давления смазочного материала до и после диагностируемого элемента.

К оптическим методам можно отнести следующие: спектроскопия, микроскопия, фотометрия, нефелометрический метод, спектрометрия [1, 2].

Широкое применение среди оптических методов для диагностирования износа трибосопряжений нашли методы атомной и молекулярной спектроскопии.

Метод эмиссионная спектрофотометрии заключается в использовании спектров излучения атомов и ионов под воздействием электромагнитного возбуждения от электрического источника света (электрическая дуга, искра). Осадок из смазочного материала сжигается под воздействием электрической дуги. Пучки испускаемого света анализируются [13].

Атомно-абсорбционная спектрометрия основана на испарении исследуемой пробы в анализаторе и измерении интенсивности света от источника дискретного излучения, проходящего через пар исследуемой пробы. Данный метод обеспечивает элементный (количественный и качественный) анализ вещества по спектру излучения его атомов [10, 13].

Атомно-флуоресцентная спектрофотометрия заключается в том, что пары исследуемой пробы масла облучают резонансным для искомого элемента излучением и регистрируют его флуоресценцию. Метод рентгеновской флуоресценции близок по своим возможностям к методу атомно-абсорбционной спектрометрии, за исключением определения таких металлов, как литий и магний [7].

Абсорбційна спектрофотометрія. Цей метод кількісного молекулярного аналізу оснований на використанні закону Бугера-Ламберга-Бера (БЛБ), установлюючого зв'язок між інтенсивностями падаючого і прошедшого через речовину світла в залежності від товщини поглинаючого шару і концентрації речовини. По виміряній оптичній щільності розчину обробленого масла і еталонного розчину визначають концентрацію нерозчинимих домішок в маслі [22].

Наряду з перерахованими вище методами спектрального аналізу отримали поширення і інші різновиди оптичних методів.

Інфрачервона і ультрафіолетова спектроскопія встановлює молекулярний склад досліджуваної проби мастичного матеріалу і визначає вміст продуктів окислення масла, солей карбонових кислот, сульфатів і неорганічних нітритів. З цією метою проводять порівняння інфрачервоних і ультрафіолетових спектрів масла до і після експлуатації, і по зміні інтенсивності смуг поглинання судять про ступінь його забрудненості.

Пряме фотометрування [23]. При використанні цього методу в якості показателя, що характеризує придатність масла до роботи, приймають ступінь його забрудненості. Остання визначається оптичною щільністю масла, вимірюваною фотометруванням проби масла.

Електрооптичний метод оснований на явленні релаксації оптичної анізотропії після зняття орієнтуючих дисперсій електричних полів [24].

Мікроскопія дозволяє проводити підрахунок кількості частинок зношування, а також визначати їх дисперсійний склад і кількість мастичного матеріалу, уносимого з зони тертя. Класифікацію видів зношування проводять відповідно до кількості, розмірами і конфігурацією частинок.

Поточна ультрамікроскопія дозволяє визначати розподіл по концентрації частинок зношування з мінімальним розміром 0,01 мкм [25]. Однак цей метод потребує високих ступенів розбавлення проби, складного обладнання, і його застосування для оцінки забрудненості моторних масел можливо лише в лабораторних умовах.

Колориметричний метод оснований на порівнянні оптичної щільності (окраски) розчину досліджуваної речовини з параметрами стандартного розчину.

Нефелометричний метод порівнює інтенсивність двох світлових потоків, розсіяних еталонним рідким мастичним матеріалом, що не містить забруднень, і мастичним матеріалом того ж типу, взятою з трибосистеми [6].

К фізико-хімічним відносять масовий, об'ємний, полярографічний і седиментометричні методи.

В полярографічному методі досліджують проби масла при електролізі. Попередньо масло озольють, залишок піддають обробці кислотами. Далі проводять випарювання і отримані мінеральні залишки розчиняють в електроліті. В електролітичній камері змінюють напругу і вимірюють струм. По результатам вимірювань будують вольт-амперну характеристику (полярограму) і визначають елементний склад проби і концентрацію речовин.

Седиментометрія оснований на визначенні діаметра частинок по швидкості їх осадження в мастичному матеріалі. Розмір осаджених частинок визначають або розрахунком, або з використанням оптичних пристроїв [7].

К механічному методу слід віднести метод вирізання лунок, який використовується для вимірювання лінійного зносу елементів трибосопряження без його розбирання [26].

К методам діагностування трибосопряжень по параметрам мастичного матеріалу слід віднести методи, що базуються на аналізі складу, структури і властивостей масел при їх виробництві і експлуатації.

Оцінка стану мастичних матеріалів представляє собою важливу технічну задачу і здійснюється по методикам, регламентованим стандартами. При прийомі,

например моторного масла, осуществляют контроль вязкости (ГОСТ 33-82), содержания примесей (ГОСТ 6370-83 и ГОСТ 10577-78), температуры вспышки (ГОСТ 11-84) и застывания (ГОСТ 20287-74), кислотного числа (ГОСТ 5985-79), щелочного числа (ГОСТ 11362-96), содержание воды (ГОСТ 1547-84), трибологические свойства (ГОСТ 9490-75) и др [27].

Среди физических свойств жидких смазочных материалов важнейшим является вязкость, которая определяет силы внутреннего трения. Кинематическую вязкость определяют в соответствии с ГОСТ 33-82 капиллярным вискозиметром.

Наличие воды в смазочном материале контролируют по наличию пены при ее нагревании (ГОСТ 1547-74), либо методом Дина и Старка (ГОСТ 2477-65).

Особенно серьезное влияние на эксплуатационные свойства смазочных материалов оказывают механические примеси. Контроль загрязненности смазочного материала продуктами износа и абразива в процессе эксплуатации трибосопряжений осуществляется визуально, по массе, микроскопическим, и другими методами приведенными выше.

Степень окисления масла определяется кислотным числом. Щелочное число масла свидетельствует о наличии в нем присадок. Метод определения кислотного и щелочного чисел заключается в потенциометрическом титровании масла, растворенного в неводном растворителе, раствором едкого калия или соляной кислоты. Титрование ведут до скачка потенциала или при отсутствии последнего до ЭДС, установленного по буферным растворам.

Противоизносные свойства смазочных материалов относятся к их трибологическим свойствам, которые оценивают показателями износа: диаметром пятна износа, критической нагрузкой заедания, нагрузкой сваривания и индексом задира [28]. Оценивают трибологические свойства РЖ на четырехшариковой машине трения по ГОСТ 9490-75.

За рубежом для оценки трибологических характеристик смазочных материалов широко применяются стенды, имитирующие работу зубчатых зацеплений, в частности стенд для проведения теста FZG A/8.3/90 по стандарту DIN 51534, часть 2. В состав стенда входят испытательные зубчатые колеса, составляющие звено замкнутой силовой цепи и нагружаемые в результате упругого деформирования от закручивания одного из ее элементов. Критерием оценки свойств смазочных материалов принято резкое уменьшение массы испытательных зубчатых колес или разрушение (задир) более 20% рабочей поверхности их зубьев [13].

Для оценки противозадирных свойств Европейским координационным советом стандартизован метод СЕС-07А-85 и используется стенд FZG (DIN 51534). В Великобритании используется аналогичный метод испытаний и стенд IAE (IAE-test в соответствии с IP 166).

В США используется стенд Rider (ASTM D 1947). Нагружение на всех стендах ведут последовательно до наступления заедания. Разнообразие лабораторных методов исследования и дорогостоящих стендовых испытаний масел с учетом различных спецификаций отдельных фирм-производителей техники: Volvo, Ford, Mercedes-Benz, MAN, Mack и др., не дает возможности однозначной трактовки противозадирных свойств используемых масел [10].

Прочностные свойства характеризуют способность смазочного материала разделять сопряженные поверхности под действием контактного давления и, таким образом, предотвращать их заедание и задир [29].

Известен метод определения несущей способности смазочной пленки согласно которому последовательно нагружают трибосистему с точечным контактом в виде контакта шаров в среде смазочного материала заданной температуры. Регистрируют момент разрушения смазочной пленки по достижении металлического контакта [30]. Модернизированный метод определения прочностных свойств граничной смазочной пленки представлен в работе, который реализован на микротрибомере ММТ. В данном методе контакт происходит в паре плоскость-шар [29].

К электрическим методам контроля параметров смазочного материала следует отнести методы основанные на электрической природе взаимодействия компонентов смазочного материала и поверхностей трения. Это методы измерения электропроводности [31], измерения диэлектрической проницаемости [32–34], электрического напряжения (пробивной прочности) [35], снятие вольт-амперной характеристики [36] и электрического среды смазочного материала. Представленные электрические методы могут комбинироваться с другими методами и приведены здесь лишь в качестве показательного примера.

Известен метод определения износа трибосопряжений по величине изменения электропроводности смазочного материала при наличии в нем частичек износа металлических поверхностей [31]. Кроме того, электропроводность может быть критерием содержания воды в смазочном материале [32].

Оценка смазочных материалов по изменению их диэлектрической проницаемости, в настоящее время положена в основу ряда электрофизических методов контроля – диэлектрического, кондуктометрического и колориметрического [33]. Диэлектрическая проницаемость увеличивается по мере роста доли антиоксидантов в масле, повышения концентрации охлаждающей жидкости, золы и механических примесей [37]. Методы являются косвенными, и, главным образом, оценивают концентрацию влаги в нефтяном сырье и нефтепродуктах.

Известен метод определения работоспособного состояния смазочных материалов по параметру приращения диэлектрической проницаемости среды в процессе эксплуатации [38]. Кроме того, известен метод определения несущей способности смазочной пленки по параметру изменения диэлектрической проницаемости среды в процессе эксплуатации смазочных материалов, основанный на положении, что адсорбированная на поверхностях трибосопряжений смазочная пленка представляет собой структурированное, квазикристаллическое образование, обладающее свойствами диэлектрика [34].

Метод оценки смазочных материалов по значению пробивного напряжения (при фиксированном разрядном промежутке) может быть рекомендован для оценки противоизносных характеристик смазочных материалов. Доказывается, что с помощью измерения пробивного напряжения смазочного слоя возможно определять оптимальную концентрацию поверхностно-активных компонентов, добавляемых в смазочный материал [35].

В работе [36] предложен метод оценки электрической прочности смазочной пленки по вольт-амперной характеристике, основанный на том, что жидкая смазочная среда экранирует силовые поля поверхностей трения и выступает в роли изолятора. Потеря этих функций приводят к интенсивному износу трибосопряжений, что и приводит к пробое масляной пленки смазочного материала.

Известен метод определения смазывающей способности масел, заключающийся в том, что через смазочный материал в трибосопряжение пропускают электрический ток, при этом измеряют величину тока за период от начала испытания до стабилизации его значения при установившемся режиме трения [39].

В работе [40] предложен метод определения, так называемых диссипативных (демпфирующих) свойств смазочных материалов. Данный метод исследования диссипации механической энергии слоем смазочного материала основан на анализе изменения амплитуды и искажения спектра задающего механического воздействия в виде ультразвуковых акустических импульсов. Регистрация и обработка ультразвуковых импульсов производится комплексом регистрации и обработки сигналов акустической эмиссии.

Анализ методов диагностирования изнашивания трибосопряжений, показывает, что методы не всегда эффективны для применения в эксплуатационным условиях. Следует отметить, что существующие методы диагностирования изнашивания трибосопряжений не позволяют осуществлять непрерывный мониторинг за состоянием трибосистемы, кроме метода акустической эмиссии. Кроме того, методы зачастую трудоемки, требуют дорогостоящего оборудования и их выполнение невозможно в полевых условиях.

Данных недостатков лишен метод акустической эмиссии. Этот метод диагностики по сравнению с традиционными обладает рядом преимуществ, связанных с возможностью дифференциальной оценки в пространстве и времени аномалий структуры материала поверхности и смазочного материала [41-43].

Наиболее важными особенностями метода диагностики изнашивания трибосопряжений посредством регистрации акустических колебаний, определяющих перспективность его использования при исследовании и контроле материалов, являются [19, 44]:

- получение информации о процессах объемного и поверхностного разрушения материалов и техническом состоянии смазочного материала;
- обнаружение и регистрация только развивающихся дефектов;
- высокая чувствительность метода к изменениям на поверхностях трения и в смазочном материале;
- интегральность обеспечивает контроль объекта с использованием одного или нескольких преобразователей в случае определения места нахождения дефекта или изменения в структуре смазочного материала;
- осуществление мониторинга трибосистемы в процессе эксплуатации и их остановку в случае появления и развития опасных дефектов.

Данный метод имеет значительно меньше ограничений, связанных со структурой и физико-механическими свойствами материалов, чем другие методы диагностики.

**Выводы.** Проведенный анализ методов диагностирования изнашивания трибосопряжений показывает, что наиболее перспективными для проведения диагностики представляются устройства, основанные на анализе сигналов акустической эмиссии в трибосопряжении и проб смазочных материалов с помощью акустических явлений.

### Литература

1. Техническая диагностика гидравлических приводов / [Алексеева Т. В., Бабанская В. Д., Башта Т. М. и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
2. Богдан Н.В. Техническая диагностика гидросистем / Богдан Н.В., Жилевич М.И., Красневский Л.Г. – Мн.: Белавтотракторостроение, 2000. – 120 с.
3. Лозовский В.Н., Бондал Г.В., Каксис А.О., Колтунов А.Е. Диагностика авиационных деталей. М.: Машиностроение, 1988. 280 С.
4. Баранов В.М. Акустическая диагностика и контроль на предприятиях топливно-энергетического комплекса / В.М. Баранов, А.И. Гриценко, А.М. Карасевич [и др.] – М.: Наука, 1998. – 304 с.
5. Присс В.И. Диагностирование гидропривода тракторов и комбайнов / В.И. Присс, Э.В. Костюченко. – Минск: Ураджай, 1989. – 224с.
6. Максименко, А. Н. Диагностика строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин / А. Н. Максименко, Г. Л. Антипенко, Г. С. Лягушев. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2008. – 302 с. : ил.
7. Мышкин Н.К. Диагностика изнашивания трибосопряжений / Н.К. Мышкин, Холодилов О.В., Лозовский В.Н. // Энциклопедия в 40 т.: т. IV-1. Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка. М.: Машиностроение, 1995. – С. 253–258.
8. Анализ электрофизических способов контроля несущей способности адсорбционной пленки ПАВ из состава рабочих жидкостей / В.Б. Косолапов, С.В. Косолапов, К.Ю. Косолапов, С.В. Литовка // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета [Текст] : сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. - Х. : ХНАДУ, 2012. - Вып. 57. - С. 333-337.
9. Бартенев Г. М. Трение и износ полимеров / Г. М. Бартенев, В. В. Лаврентьев. М. : Химия, 1972. - 240 с.



10. Трибология: Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ / Под ред. В.А. Белого, К. Лудемы, Н.К. Мышкина. М.: Машиностроение; Нью-Йорк: Аллертон пресс, 1993. - 454 с.
11. Демьянов Ал.Ан., Костыгов В.Т., Дымов Н.В. и др. Установки для изучения процессов трения и износа в узлах машин и механизмов Учебное пособие. — Ростов н/Д.: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2009. — 110 с.
12. Постников В.И. Исследование и контроль износа машин методом поверхностной активации. – М. Атомиздат, 1973. – 167 с.
13. Смазочные материалы: Антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний: [справочник] / [Р.М. Матвеевский, В.Л. Лакши, И.А. Буяновский и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 224 с.
14. Гарзанов Е.Г., Ильин В.А., Малофеев В.П. и др. Техническая диагностика поршневых газоперекачивающих агрегатов по анализу отработанного масла // Трение и износ. 1982. Т. 3. № 2. С. 284— 289.
15. Холодинов О.В. Диагностика изнашивания подвижных сопряжений / О.В. Холодинов // Трибология: Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ. – М.: Машиностроение; Нью-Йорк: Аллертон пресс, 1993. – С. 413-423.
16. Маркова Л.В., Мышкин Н.К. Диагностика трибосопряжений по частицам износа // Трение и износ, 1989. Т.10, №4. С. 1109-1118.
17. Келлер К.А. Диагностика автомобильного двигателя. Ужгород, 1977. – 182 с.
18. Оглезнева Л.А. Акустические методы контроля и диагностики. Часть II: учебное пособие / Л.А. Оглезнева, А.Н. Калиниченко. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 292 с.
19. Свириденко А. И., Мышкин Н. К., Калмыкова Т. Ф. и др. Акустические и электрические методы в триботехнике. Минск: Наука и техника, 1987. – 280 с.
20. Артоболевский И. И., Бобровницкий Ю. И., Генкин М. Д. Введение в акустическую динамику машин. М.: Наука, 1979. 295 с.
21. Мерсон Д.Л. Изучение процессов разрушения поверхностей, деформируемых трением, методом акустической эмиссии / Д.Л. Мерсон, В.И. Полунин, Б.А. Чудинов, И.А. Растегаев, А.А. Разуваев // Трение и смазка в машинах и механизмах. - Москва: Издательство «Машиностроение», 2007. – №8. – С. 9-13.
22. Зеленецкая И.С., Адаменко С.П. Экспресс- метод определения примесей в работающих маслах по оптической плотности // Химия и технология топлив и масел. 1977. № 8. С. 58-60.
23. Лозовский В.Н., Бондал Г.В., Каксис А.О., Колтунов А.Е. Диагностика авиационных деталей. М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
24. Мельниченко И.М. О начальной стадии избирательного переноса // Трение и износ. – 1982. –Т. 3.– № 5.– С. 935-939.
25. Литвинов В. Н., Михин Н. М., Мышкин Н. К. Физико-химическая механика избирательного переноса при трении. М.: Наука, 1979. – 188 с.
26. Проников, А.С. Износ и долговечность станков / А.С. Проников. - М. : 1957.- 179с.
27. Товарные нефтепродукты: свойства и применение: Справочник / В.М. Школьников, Л.В. Малявинский, С.В.Тимофеев и др. - М.: Химия, 1978. - 470 с.
28. Войтов В.А., Баздеркин В.А. Универсальная машина трения // Трение и износ. 1992. Т. 13. N 3. С. 501-506.
29. Холодилов О.В. Методы и средства технической диагностики (оптический, магнитный, электрический): лабораторный практикум / О.В. Холодилов, С.В. Короткевич : М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 53 с.

- 30 Пат. 93616 Україна, МПК (2011.01) G 01 N 33/26, G 01 N 27/02. Способи визначення несучої здатності мастильної плівки та придатності мастильного матеріалу до використання / Лисіков С.М., Косолапов В.Б., Воронін С.В., Літовка С.В. (UA). – № a200908624 ; заявл. 17.08.09 ; опубл. 25.02.11, Бюл. № 4.
31. Бабенко А.О. Діагностування зносу та довговічності деталей машин по електропровідності змащувального мастила [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А.О. Бабенко. – Харків, 2001 – 149 с.
32. Власов Ю.А. Метод диагностирования карьерных автосамосвалов по изменению диэлектрической проницаемости среды работающего масла / Власов Ю.А., Удлер Э.И., Тищенко Н.Т., Земляной С.А., Таньков Р.Ю. // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – №8 – С. 1307 – 1311.
33. Эме Ф. Диэлектрические измерения. – М.: Химия, 1967. – 224 с.
34. Косолапов В. Б. Исследование влияния наработки рабочей жидкости гидропривода строительной машины на диэлектрическую проницаемость смазочной пленки в трибосопряжениях / *Вестник ХНАДУ*. – 2014. – Выпуск № 65-66. – С. 287-292.
35. Мацкевич Д.В., Сагин С.В. Диагностирование структурного состояния углеводородных жидкостей по их электрической прочности // *Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал*. – Одеса: ІНТЕРПРИНТ, 2012. – № 2. – С. 38–46.
36. Лысыков Е.Н. Функции смазочной пленки и её диагностика / Е.Н. Лысыков, В.Н. Астахов, А.В. Кебко // *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту - Х.: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 125. – С. 75-78.*
37. Хазиев А.А. Сравнение результатов лабораторного и экспресс- анализа работавшего моторного масла / А.А. Хазиев, Н.Н. Сугатов, А.В. Лаушкин, М.Ю. Петухов // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология* – Пермь: ПНИПУ, 2014. – №4. – С. 90-99.
38. Григоров А.Б. Диэлектрические свойства моторных масел: Автомобильный транспорт [Текст] / А.Б. Григоров, И.С. Наглюк. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – № 25. – С. 167-170.
39. Патент 2186386 РФ. G01N33/30, G01N3/56 Способ определения смазывающей способности масел / Ковальский Б.И.; Васильев С.И.; Ковальский С.Б.; Барков Д.Г. (RU) - № 2001106404/04 ; заявл. 06.03.01 ; опубл. 27.07.02.
40. Растегаев И.А. Способ исследования диссипативных свойств жидких сред на основе регистрации ультразвуковых волн аппаратными средствами акустической эмиссии / И.А. Растегаев, М.М. Криштал, Д.Л. Мерсон // *Сборник трудов международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы трибологии»* - М.: Машиностроение, 2007. - Т.3. - С.511-525.
41. Рубцов В.Е. Использование акустической эмиссии для анализа процессов изнашивания при трении скольжения / В.Е. Рубцов, Е.А. Колубаев, А.В. Колубаев, В.Л. Попов // *Письма в ЖТФ*. – 2013. – Т. 39. – Вып. 4. – С. 79-84.
42. Маленко П. И. Исследование методом акустической эмиссии поверхностей трения в условиях смазывания / *Конденсированные среды и межфазные границы*. – 2011. – Т.13. – № 2. – С. 164—171.
43. Баранов А.В. Ультразвуковой мониторинг работы трибосопряжений / А.В. Баранов, С.В. Тарасевич, В.А. Вагнер // *Ползуновский вестник*. – 2012. –Вип. 1/1– С. 23-27.
44. Деев А.А. Акустические колебания в фрикционном контакте как способ контроля поверхностей трения на этапе приработки двигателей внутреннего сгорания / *Вестник Рязанского государственного университета им. С.А. Есенина*. – 2010.- Вып. 3. – С. 132-148.

**Litovka S., Kosolapov V. Analysis of diagnostic methods of tribocoupling wear of machines of forest complex**

Analysis of diagnostic methods of tribocoupling wear of machines of forest complex has been conducted. It is shown that most promising for diagnostics of friction units is an apparatus based on the analysis of acoustic emission signals.

**Key words:** methods of diagnosing, wear, tribomating, acoustic emission, machine reliability.

### References

1. Technical diagnostics of hydraulic drives / [Aleksееva T., Babanskaya V.D., Basta T.M. et al.]. - M.: Engineering, 1989. - 264 p.
2. Bogdan N.V. Technical diagnostics of hydraulic systems / Bogdan N.V., Zhilevich M.I., Krasnevsky L.G. - Mn.: Belavtotraktorostroenie, 2000. - 120 p.
3. Lozovskiy V.N., Bondal G.V., Kaksis A.O., Koltunov A.E. Diagnostics of aircraft parts. M.: Engineering, 1988. 280 pp
4. Baranov V.M. Acoustic diagnostics and monitoring at the enterprises of the fuel and energy complex / V.M. Baranov, A.I. Gritsenko, A.M. Karasevich [et al.] - M.: Nauka, 1998 - 304 p.
5. Priss V.I. Diagnosing hydraulic drive tractors and combines / V.I. Priss, E.V. Kostyuchenko. - Minsk: Uradzhay, 1989. - 224p.
6. Maksimenko A.N. Diagnosis of road building and industrial machines / A.N. Maksimenko, Antipenko G.L., G.S. Lyagushev. - St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2008. - 302 p. : Ill.
7. Myshkin N.K. Diagnosis wear tribosoprjazhenij / Myshkin N.K., Holodilov O.V., Lozovskiy V.N. // Encyclopedia 40 t.: r. IV-1. Machine parts. Structural strength. Friction, wear and lubrication. M.: Engineering, 1995. - C. 253-258.
8. Analysis of the bearing capacity of the electrical control methods adsorption of surfactant films from the working fluids / V.B. Kosolapov, S.V. Kosolapov, K.Y. Kosolapov, S.V. Litovka // Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University [Text]: Sat. scientific. tr. / Kharkov. nat. avtomob.-dor. Univ. - H.: HNADU, 2012. - Vol. 57. - C. 333-337.
9. Bartenev G.M. Friction and Wear of Polymer / G.M. Bartenev, V. Lawrence. A.M.: Chemistry, 1972. - 240 p.
10. Tribology: Research and Applications: experience of the USA and the CIS / Ed. V.A. White, K. Ludemy, N.K. Myshkin. M.: Mechanical Engineering; New York: Allerton Press, 1993. - 454 p.
11. Dem'yanov Al.An., Kostygov V.T., Smokes N.V. and others. The settings for the study of processes of friction and wear in machines nodes and mechanisms Textbook. - Rostov n / D.: Rostov State Transport University, 2009. - 110 p.
12. Postnikov V.I. Research and wear control machines by surface activation. - M. Atomizdat, 1973. - 167 p.
13. Recommendation: The anti-friction and anti-wear properties. Test methods: [directory] / [R.M. Matveevsky, V.L. Laksa, I.A. Buyanovsky et al.]. - M.: Engineering, 1989. - 224 p.
14. Garzanov E.G., Ilyin V.A., Malofeev V.P. and others. Technical diagnostics gazopere piston pumping units on the analysis of used oil // Friction and Wear. 1982. T. 3. № 2. S. 284- 289.
15. Holodina O.V. Diagnosis wear movable joints / O.V. Holodina // Tribology: Research and Applications: experience of the USA and the CIS countries. - M.: Mechanical Engineering; New York: Allerton Press, 1993. - P. 413-423.
16. Markova L.V., Myshkin N.K. Diagnosis tribosoprjazhenij by wear particles // Friction and Wear, 1989. Vol.10, №4. Pp 1109-1118.

17. Keller K.A. Diagnosis of an automobile engine. Uzhgorod, 1977. - 182 p.
18. Oglezneva L.A. Acoustic methods of control and diagnostics. Part II: Textbook / L.A. Oglezneva, A.N. Kalinichenko. - Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2009. - 292 p.
19. Sviridenok A.I., Myshkin N.K., Kalmikova T.F. et al. Acoustic and electrical methods in tribotechnology. Minsk: Science and Technology, 1987. - 280 with.
20. Artobolevsky I.I., Bobrovniksky Y.I., Genkin M.D. Introduction to the acoustic dynamics of machines. M.: Nauka, 1979. 295 p.
21. D.L. Merson Study of the processes of fracture surfaces deformed by friction, acoustic emission method / D.L. Merson, V.I. Polunin, B.A. Chudinov, I.A. Rastegaev, A.A. Razuvaev // Friction and lubrication in machinery. - Moscow: "Engineering" Publishing House, 2007. - №8. - S. 9-13.
22. Zelenetskaya I.S., Adamenko S.P. Express-method for the determination of impurities in the working oil from the optical density // Chemistry and technology of heat and oil. 1977. № 8. S. 58-60.
23. Lozovskiy V.N., Bondal G.V., Kaksis A.O., Koltunov A.E. Diagnostics of aircraft parts. M.: Engineering, 1988. - 280 p.
24. Melnichenko I.M. On the initial stage of the selective transfer // Friction and Wear. - 1982 T. 3.- number 5.- pp 935-939.
25. Litvinov V.N., Mihin N.M., Mishkin N.K. Physico-chemical mechanics of selective transfer at friction. M.: Nauka, 1979 - 188 p.
26. Pronikov A.S. Wear and durability of machines / AS Pronikov. - M.: 1957.- 179 p.
27. Commodity oil: properties and applications: Directory / V.M. Schoolchildren, L.V. Malyavinsky, S.V. Timofeev etc. - M.: Chemistry, 1978. - 470 p.
28. Voitov V.A., Bazderkin V.A. Universal machine friction // Friction and Wear. 1992. T. 13. N 3. S. 501-506.
29. Holodilov O.V. The methods and technical diagnostics (optical, magnetic, electrical): laboratory practical / O.V. Holodilov, S.V. Karatkevich. M of Resp education. Belarus, Belarusian. state. Univ transp. - Gomel BelSUT, 2009. - 53 p.
30. Pat. UKRAINE 93616, IPC (2011.01) G 01 N 33/26, G 01 N 27/02. Method viznachennya nesuchoї zdatnosti mastilnoї plivki that pridatnosti mastilnogo materialu to vikoristannya / Lisikov E.M., Kosolapov V.B., Voronin S.V., S.V. Litovka (UA). - № a200908624; appl. 17.08.09; publ. 25.02.11, Bul. Number 4.
31. Babenko S.A. Diagnostuvannya instalment that dovgovichnosti machine parts for elektroprovodnosti zmaschuvalnogo mastitis [Text]: dis. ... Cand. tehn. Science / S.A. Babenko. - Kharkiv, 2001 - 149 p.
32. Vlasov Y.A. The method of diagnosing pit dump trucks to change the dielectric constant of the working oil / Y.A. Vlasov, Udler E.I., Tischenko N.T., S.A. Zemljanoi, Tanya R.Y. // Basic Research. - 2013. - №8 - C. 1307 - 1311.
33. Aimee F. Dielectric measurements. - M.: Chemistry, 1967. - 224 p.
34. Kosolapov V.B. Research of influence developments actuating fluid construction machine on the dielectric constant of the lubricating film in the friction units / Bulletin HNADU. - 2014 - Issue number 65-66. - S. 287-292.
35. Mackiewicz D.V., Saginaw S.V. Diagnosis of structural state of hydrocarbon liquids by their electric strength // Problems tehniki Naukova-virobnichy magazine. - Odessa: INTERPRINT, 2012. - № 2. - S. 38-46.
36. Lysikov E.N. The functions of the lubricating film and its diagnosis / E.N. Lysikov, V.N. Astakhov, A.V. Kebko // Collection Naukova Prace Ukraїnskoї derzhavnoї Academy Zaliznicnovo transport - H.: UkrDAZT, 2011. - Vip. 125. C. 75-78.
37. Khaziev A.A. Comparison of the results of laboratory analysis and rapid worked engine oil / A.A. Khaziev, N.N. Sugata, A.V. Laushkin, M.Y. Petukhov // Transport. Traffic construction.

Ecology - Perm: PNIPU, 2014. - №4. - S. 90-99.

38. Grigorov A.B. Dielectric properties of engine oils: Road transport [Text] / A.B. Grigorov, I.S. Naglyuk. - Kharkov: HNADU, 2009. - № 25. - S. 167-170.

39. Patent 2,186,386 RF. G01N33 / 30, G01N3 / 56 A method for determining the lubricity of the oil / Kowalski B.I.; Vasilyev S.I.; Kowalski S.B.; Barkov D.G. (RU) - № 2001106404/04; appl. 06.03.01; publ. 27.07.02.

40. Rastegaev I.A. The method study of dissipative properties of liquid media on the basis of registration of the ultrasonic waves hardware acoustic emission / I.A. Rastegaev, M.M. Krishtal, D.L. Merson // Proceedings of the international scientific-technical conference "Actual problems of tribology" - М.: Engineering, 2007. - Vol.3. - S.511-525.

41. V.E. Rubtsov The use of acoustic emission analysis of wear processes in sliding / V.E. Rubtsov, E.A. Kolubaev, A.V. Kolubaev, V.L. Popov // Technical Physics Letters. - 2013. - V. 39. - Vol. 4. - P. 79-84.

42. Malenko P.I. Study of acoustic emission friction surfaces in lubrication conditions / Condensed Matter and interphase boundaries. - 2011. - T.13. - № 2. - S. 164-171.

43. Baranov A.V. Ultrasonic monitoring of tribosoprjazhenij / A.V. Baranov, S.V. Tarasevich, V.A. Wagner // Polzunovsky Gazette. - 2012. - Vip. 1/1 pp 23-27.

44. Deev A.A. Acoustic oscillations in frictional contact as a way to control the friction surfaces on the running-in phase of internal combustion engines / Bulletin of the Ryazan State University. SA Esenina. - 2010.- Vol. 3. - P. 132-148.