

УДК 681.7.068

К. П. БОНДАРЕНКО, инженер по надзору за безопасностью грузоподъёмных механизмов, ЗЛиН, г. Гомель, А. И. КАБАЦКИЙ, контрольный мастер, Минский вагоноремонтный завод им. А. Ф. Мясникова, г. Минск, С. В. КОРОТКЕВИЧ, кандидат технических наук, РУП «Гомельэнерго», г. Гомель, О. В. ХОЛОДИЛОВ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОЗАДИРНЫХ И АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Приведены комплексные исследования противозадирных, антифрикционных и антиокислительных свойств гидравлических и моторных масел. Показано, что наиболее прочный граничный смазочный слой формируется маслом М14В2, а из присадок хорошо себя показала SbDТK. Установлено, что очищенное гидравлическое масло уступает по антифрикционным, противозадирным свойствам и температурным характеристикам, а значит и по эксплуатационным свойствам, маслу товарной поставки (неочищенному).

**В** дизельных двигателях и различных узлах кормов и зерноуборочной техники (приводы, гидравлические узлы, насосы и т. д.), выпускаемой на ПО «Гомсельмаш», которая работает в жёстких условиях эксплуатации (нередко в условиях «масляного голодания»), используются моторные и гидравлические масла отечественных и зарубежных производителей. Повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции возможно путем замены дорогостоящих импортных смазочных материалов на отечественные аналоги, при условии сохранения ими требуемых эксплуатационных характеристик.

**Цель работы** – провести сравнительные испытания противозадирных свойств моторных и гидравлических масел, кинетики формирования граничных смазочных слоев (ГСС) и срабатывания комплекса присадок, содержащихся в смазочных материалах.

**Материалы и методика исследования.** Объектами исследования являлись моторные масла: М14Г2Ц, М14В2 (чистые) и М14В2+SbDТK, М14В2+ZnDТP (с присадками) и гидравлические масла МГЕ-46В (очищенное и в состоянии товарной поставки).

Ранее были разработаны методики электрофизического зондирования, в которых была реализована схема трения сфера – плоскость [1]. Механические свойства ГСС исследовались, исходя из анализа зависимости контактного сопротивления от давления при нормальном нагружении образцов. Стойкость ГСС к изнашиванию оценивалась из анализа зависимостей коэффициента трения и контактного сопротивления от нагрузки.

Недостатком данной методики является то, что схема испытания позволяет реализовать только точечный, а не множественный контакт, который имеет место в реальных узлах трения.

В работе [2] описана методика оценки противозадирных свойств ГСС, позволяющая определять критические нагрузки схватывания и задира, которую мы использовали в своих экспериментах.

Противозадирные свойства ГСС исследовались по схеме вал – частичный вкладыш на машине СМТ-1 по зависимостям момента трения, контактного сопротивления, температуры от нагрузки (рисунок 1). Доставка

смазочного материала (СМ) в зону контакта осуществлялась путем непосредственного погружения ролика в ванночку с исследуемым маслом (см. рисунок 1).

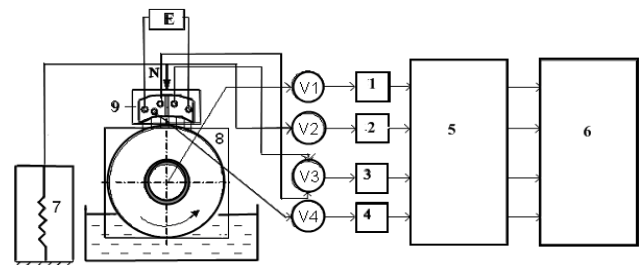


Рисунок 1 – Блок-схема экспериментальной установки: 1–4 – регистрирующие устройства (самописец); V1–V4 – вольтметры, регистрирующие нагрузку сегмента на ролик, момент трения на индуктивном датчике вала, контактную разность потенциалов, разность потенциалов на термопаре; 5 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 6 – персональный компьютер (ПК); 7 – блок нагружения образцов; 8 – блок привода и измерения момента трения; 9 – источник постоянного напряжения

Линейная скорость относительного перемещения ролика составляла 0,5 м/с, площадь сегмента –  $2 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Поверхности сегментов и роликов предварительно шлифовались и полировались до шероховатости  $R_a \approx 0,04$  мкм. Номинальное контактное давление находилось в диапазоне 0,5–10 МПа. Объемная температура в области трения регистрировалась термопарой, размещённой на расстоянии 2 мм от контактной поверхности сегмента. Погрешность измерения коэффициента трения составляла  $\pm 0,01$ . Регистрация контактного сопротивления проводилась по схеме, приведенной на рисунке 2.

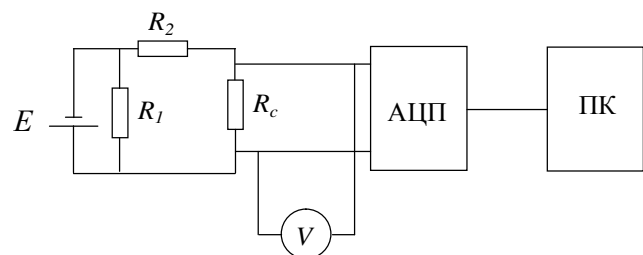


Рисунок 2 – Четырёхпроводная электрическая схема регистрации контактного сопротивления  $R_c$ : E – источник тока;  $R_1$  – калибровочное сопротивление;  $R_2$  – магазин сопротивлений; V – вольтметр

Автоматизация процесса снятия контролируемых параметров: момента трения, контактного сопротивления, температуры и анализа информации осуществлялась с использованием персонального компьютера (рисунок 3).



Рисунок 3 – Экранное представление результатов испытания

На рисунках 4, 5 приведены результаты исследования триботехнических характеристик гидравлических и моторных масел.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Физической основой предлагаемого способа является то, что толщина ГСС в зоне трения обуславливает величину тока между контактными поверхностями тел и регистрируемого контактного сопротивления  $R_c$ .

Формирование и срабатывание ГСС, фазовый переход первого рода от физической адсорбции к хемосорбции и др. процессы приводят к изменению его структуры и толщины и, следовательно, изменению контактного сопротивления. Увеличение нагрузки в зоне контакта приводит к увеличению температуры, которая интенсифицирует протекание процессов хемосорбции, что обуславливает формирование прочно связанного с поверхностью хемосорбированного слоя. В результате данного явления увеличивается величина контактного сопротивления. При дальнейшем увеличении нагрузки наступает процесс равновесия между формированием граничного смазочного слоя и его разрушением. В области критических нагрузок происходит срабатывание присадок, что приводит вначале к утончению ГСС и снижению величины контактного сопротивления. В дальнейшем имеет место нарушение сплошности ГСС и появление микропятен в зоне трения, что вызывает снижение величины контактного сопротивления до уровня металлической проводимости, характерной для «сухого» контакта (без СМ).

Комплексный анализ зависимостей контактного сопротивления ( $R_c$ ), коэффициента трения ( $f$ ) и температуры ( $T$ ) от нагрузки ( $N$ ) показывает, что более высокими противозадирными свойствами обладает «неочищенное» (в состоянии товарной поставки) гидравлическое масло.

ГСС эффективно разделяет сопряжённые поверхности и работа на преодоление силы трения на сдвиг между слоями масла меньше, что приводит к значительно меньшему тепловыделению. Задир сопряжённых поверхностей протекает более «мягко» без резкого увеличения момента трения.

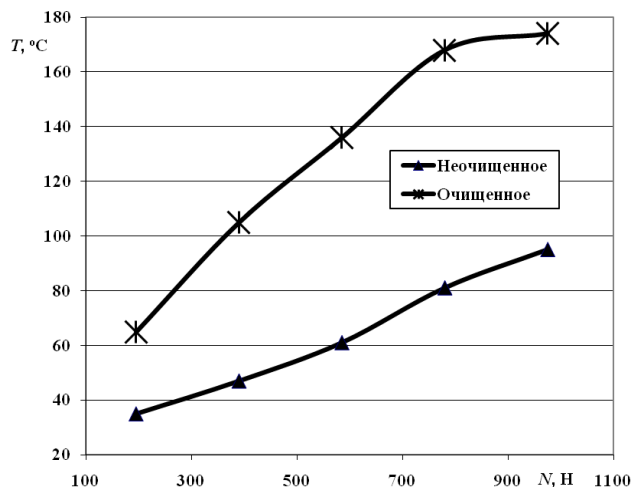
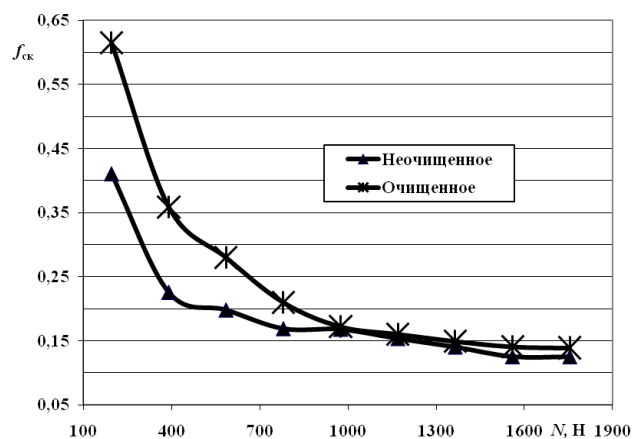
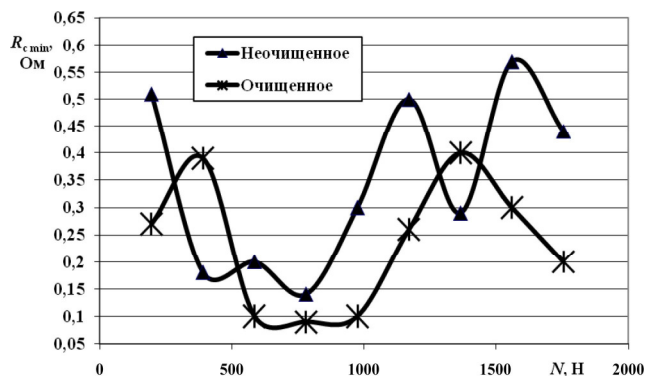


Рисунок 4 – Зависимость контактного сопротивления (а), коэффициента трения (б), температуры в контакте (в) от нагрузки для очищенного и неочищенного гидравлических масел МГЕ-46В

Анализ противозадирных антифрикционных и антиокислительных свойств моторных масел показывает, что наиболее прочный ГСС формируется маслом М14В2, о чём свидетельствует более высокое значение  $R_c$ . Мономолекулярный слой не разрушается при давлении 10 МПа (максимальное давление при данной схеме испытаний), сохраняя высокие антифрикционные свойства. На примере этого масла была исследована кинетика действия антиокислительной – диалкилдитиофосфат цинка (ZnDTP) и противозадирной – дитиокарбомат сурьмы (SbDTC) присадок (см. рисунок 5).

Прочностные свойства плёнки, формируемые маслом М14Г2Ц, ниже, о чём свидетельствует значение  $R_c$ .

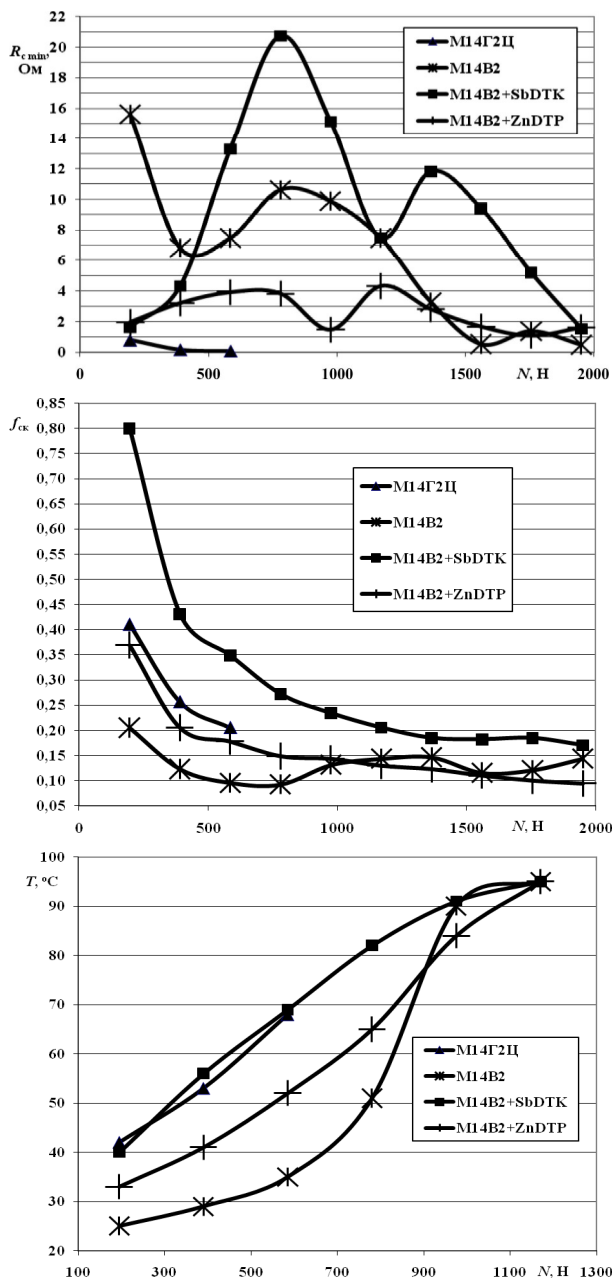


Рисунок 5 – Зависимость контактного сопротивления (а), коэффициента трения (б), температуры в контакте (в) от нагрузки для моторных масел М14Г2Ц и М14В2 и масла М14В2 с присадками SbDTK и ZnDTP

Получено 05.10.2011

**К. Р. Bondarenko, А. I. Kabatsky, S. V. Korotkevich, O. V. Kholodilov.** Investigation of antiscoring and antifriction properties of motor and hydraulic oils.

Complex researches antiscoring, antifriction and antioxidation properties of motor and hydraulic oils are conducted. It is shown that the most durable boundary lubrication layer is formed oil M14V2. It is shown that the additive is SbDTK. It is shown that the best additive SbDTK. The influence of separation to antifriction properties of hydraulic oils is shown.

Мономолекулярный слой сохраняется при давлении до 4 МПа. Затем слой разрушается, что приводит к увеличению коэффициента трения. Температура при этом резко увеличивается.

**Заключение.** На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Испытания гидравлических масел показали, что очищенное масло уступает по антифрикционным, противозадирным свойствам и температурным характеристикам, а значит и по эксплуатационным свойствам, маслу товарной поставки (неочищенному).

Использование очищенного масла в гидросистемах, где имеют место жесткие режимы эксплуатации, может привести к снижению надёжности и срока эксплуатации узлов техники.

Испытания моторных масел показали, что масло М14В2 обладает большей несущей способностью по сравнению с маслом М14Г2Ц. Установлено, что более высокими антиокислительными свойствами обладает присадка SbDTK.

Установлена корреляция между параметрами электрофизического зондирования и фрикционными характеристиками смазочного материала, что позволяет использовать полученные результаты для разработки оперативных методов диагностики узлов трения.

#### Список литературы

1 **Короткевич, С. В.** Анализ фрикционных и механических свойств граничных смазочных слоёв с использованием методов электрофизического зондирования: автореф. канд. дис. / С. В. Короткевич. – Гомель : ИММС НАНБ, 2002. – 21 с.

2 **Патент № 11306, Республика Беларусь, МПК<sup>7</sup> G 01 N 3/56, G 01 N 27/00.** Способ оценки противозадирных и противозносных свойств смазочного материала / С. В. Короткевич, О. В. Холодилов, В. В. Кравченко, С. О. Бобович; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. ун-т трансп. – № а20060981; заявл. 06.10.2006; зарегистрир. в Гос. реестре изобр. 05.08.2008 / Нац. центр интел. собств. – 7 с. : ил.