

УДК 621.891 / 629.017

И.С. Наглюк, А.В. Левченко

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

## НОВЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ И ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ НА ЧЕТЫРЕХШАРИКОВОЙ МАШИНЕ ТРЕНИЯ

*Предложен новый критерий, позволяющий объективно оценить трибологические свойства смазочных материалов в кратчайшие сроки методом четырех шариков. Данный критерий определяет диапазоны и скорость потери работоспособности противоизносных и противозадирных присадок, отслеживает изменения трибологических свойств масел в процессе их работы. Получена корреляция данного критерия со скоростью изнашивания агрегатов в эксплуатации.*

Ключевые слова: *четырёхшариковая машина трения, смазочные материалы, градиент трибологических свойств.*

### Введение

Моторное и трансмиссионное масло необходимо рассматривать как конструкционные элементы двигателя и трансмиссии соответственно. Масло, работавшее в двигателе или коробке передач, является носителем информации, о термодинамических, химических и трибологических процессах, происходящих как в цилиндрах, сопряжениях так и в смазочной системе. Важнейшей характеристикой смазочных материалов, влияющей на ресурс агрегатов, является трибологическая.

На первой стадии рационального цикла испытаний, смазочного материала в лабораторных условиях (ГОСТ 30480-97, DIN 50 322), предпочтение следует отдать четырехшариковой машине трения (ЧШМ) ввиду простоты и высокой воспроизводимости эксперимента [1,2,3], что связано с исключительно низким разбросом по размерам образцов, их твердости и химическому составу. Данная методика стандартизирована и имеет широкое применение (ГОСТ 9490, ASTM D 2783-03(2009), D 4172-94(2010), D5183 - 05(2011), IP 300, DIN 51350).

К сожалению, наша стандартизированная методика на сегодняшний день потеряла свою актуальность и не может быстро и четко ранжировать смазочные материалы между собой, объективно оценивать изменение смазывающих свойств масел в процессе эксплуатации.

### Анализ публикаций

Оценить работу присадок в смазочном материале можно с помощью энергетического критерия. Согласно результатам работы [4], такой интегральной характеристикой может быть удельная работа изнашивания или плотность энергии трения [5]. Удельная работа изнашивания - это отношение работы, затраченной на удаление единицы объема тестового материала к этому объему в испытываемой смазочной среде.

Авторами работы [6] разработана методика количественной оценки удельной работы изнашивания. В зависимости от величины нагрузки, которая при испытаниях должна иметь фиксированное значение, параметр удельной работы изнашивания определяет либо противоизносные свойства, либо противозадирные свойства и не может выступать в качестве интегральной характеристики. Кроме этого, определение коэффициента трения на ЧШМ при нагрузках выше критических весьма затруднительно и его соотношение к диаметру пятна износа нижних шариков носит не корректный физический смысл.

В качестве энергетического интегрального критерия оценки трибологической характеристики смазочного материала в трибосистеме авторами [7] предлагается величина плотности энергии  $E_y$ , затраченной на разрыв адгезионных мостиков и удаления единичного объема материала в процессе изнашивания.

В этой работе подробно выявлены недостатки стандартной методики ГОСТ 9490 и наглядно представлены на сравнительной трибологической характеристике материалов (рис.1). Трибологическая характеристика смазочного материала - его индивидуальное качество, определяющее смазывающую способность. Как правило, трансмиссионные масла обладают лучшими трибологическими характеристиками, чем моторные, за счет высоких противозадирных свойств масла и их несущей способности.

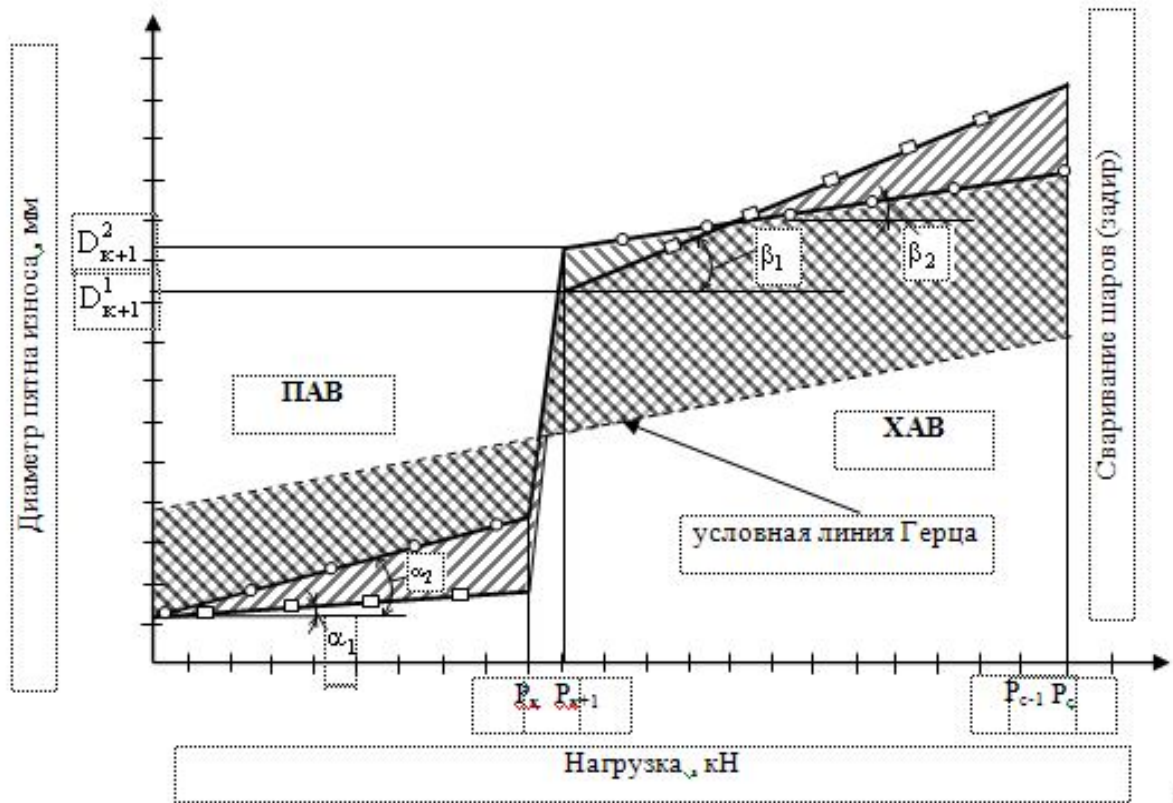


Рис. 1. Трибологические характеристики смазочных материалов:

—□—□— — масло 1; —○—○— — масло 2

Предложенный интегральный критерий характеризует суммарную трибологическую активность противоизносных и противозадирных присадок в моторном масле и скорости их срабатывания, позволяет производить ранжирование масел по трибологическим свойствам и давать рекомендации для дальнейших испытаний в силовых агрегатах при эксплуатации. Однако, предложенный интегральный подход тоже не является оптимальным, он существенно увеличивает время испытаний по сравнению со стандартной методикой.

### Цель и постановка задачи

Целью работы является исследование изменения противоизносных и противозадирных характеристик моторных и трансмиссионных масел в автомобилях при эксплуатации и разработка нового критерия трибологических свойств материалов на ЧШМ, использование которого позволит в кратчайшие сроки дать ему объективную оценку.

### Решение задачи

Для сокращения времени в принятии решений по выбору моторного или трансмиссионного масла для силового агрегата при эксплуатации можно использовать критерий оценки смазывающих свойств моторных и трансмиссионных масел вычисляемый по формуле:

$$\sigma = \frac{196 \cdot (1 - \mu_1) \cdot 4}{\pi \cdot D_{И(196)}^2} + \frac{392 \cdot (1 - \mu_2) \cdot 4}{\pi \cdot D_{И(392)}^2} + \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \cdot \frac{P_K \cdot 4}{\pi \cdot D_K^2} + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{P_{K+1} \cdot 4}{\pi \cdot D_{K+1}^2} + \frac{P_{C-1} \cdot 4}{\pi \cdot D_{C-1}^2}, \quad (1)$$

где  $D_{И}$  – показатели износа смазочного материала при нагрузках 196 Н ( $D_{И(196)}$ ) и 392 Н ( $D_{И(392)}$ );  $P_K$  и  $D_K$  – соответственно критическая нагрузка и диаметр пятна износа при действии данной нагрузки;  $P_{K+1}$  и  $D_{K+1}$  – следующая за критической  $P_K$  нагрузка по ряду нагрузок 2 и диаметр пятна износа при действии данной нагрузки;  $P_{C-1}$  и  $D_{C-1}$  – нагрузка, предвещающая нагрузку сваривания по ряду нагрузок 2 и диаметр пятна износа при действии данной нагрузки;  $\operatorname{tg} \alpha$  и  $\operatorname{tg} \beta$  – тангенсы

углов наклона прямых, которые определяются геометрически из графика трибологической характеристики  $\operatorname{tg}\alpha = (D_K - D_{419})/(P_K - P_{419})$ ; и  $\operatorname{tg}\beta = (D_{C-1} - D_{K+1})/(P_{C-1} - P_{K+1})$ ;  $\mu$  – коэффициент трения, определяемый на модернизированной машине трения ЧШМ при нагрузках 196 Н и 392 Н соответственно.

Данный критерий представляет собой градиент трибологических свойств, определяющий напряжение сдвига граничного слоя смазочного материала.

Тангенсы углов  $\alpha$  и  $\beta$  весовые коэффициенты, характеризующие скорость снижения противоизносных свойств и работоспособности противозадирных присадок. Чем меньше значение этих коэффициентов, тем меньше скорость потерь трибологических свойств смазочного материала.

Присутствие  $D_{И(392)}$  для моторных масел обусловлено высокой напряженностью работы современных узлов трения ДВС и, соответственно, высокой активностью противоизносных присадок. Поэтому для объективной оценки противоизносных свойств моторных масел следует определять  $D_{И}$  при действии как 196 Н, так и 392 Н, то есть так, как и для трансмиссионных. Это утверждение подкреплено результатами практических исследований, согласно которым величины  $D_{И(392)}$  и  $D_{И(196)}$  отличаются друг от друга на различные значения для разных моторных масел (рис.2).

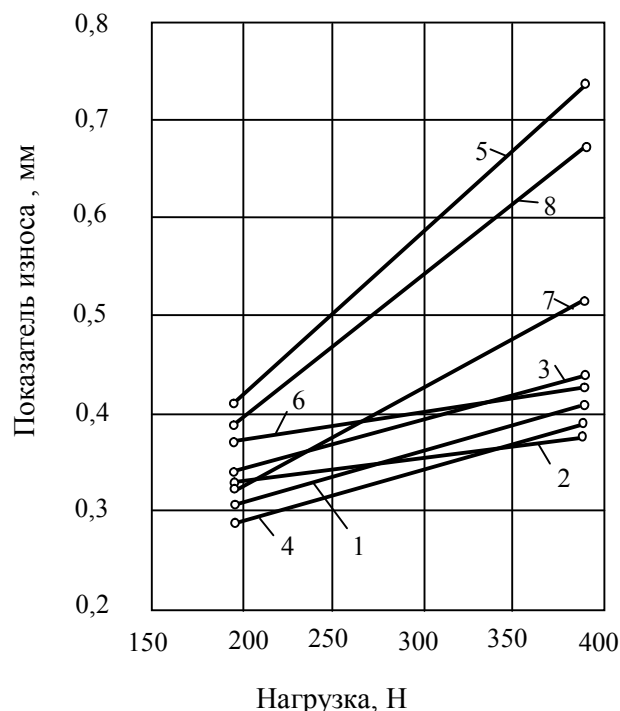


Рис.2. Изменение показателя износа различных моторных масел от нагрузки на ЧШМ: 1-8 образцы масел различных производителей

На основании выполненных расчетов по математической модели (1) и экспериментальных исследований были получены значения основных показателей (табл.1) позволяющие оценить эффективность критериев смазочных свойств моторных и трансмиссионных масел.

Задача выбора смазочного материала, обладающего высокими трибологическими показателями качества, на первой стадии лабораторных испытаний успешно решается с помощью величины плотности энергии  $E_y$  (см. таблицу 1). При этом можно судить о суммарной трибологической активности противоизносных и противозадирных присадок в моторном масле и скорости их срабатывания. Но испытания эти занимают достаточно много времени и для сокращения этого времени был предложен критерий  $\sigma$ . Полученные значения коэффициентов корреляции (таблица 2) подтверждают сильную корреляционную связь с основными показателями  $P_K$ ,  $P_C$ ,  $D_{И}$  характеризующими трибологические свойства масел.

Таблица 1

Зачения показателей характеризующих смазочные свойства масел

Показатели	Образцы масел							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$D_{И(196)}$ , мм	0,31	0,33	0,34	0,29	0,41	0,37	0,32	0,39
$D_{И(392)}$ , мм	0,41	0,38	0,44	0,39	0,74	0,43	0,52	0,68
$P_K$ , Н	1235	1235	1098	1098	735	921	872	921
$P_C$ , Н	2323	2323	2068	2323	1960	1744	2195	2323
$I_3$ , Н	461	470	412	431	279	284	417	421
$\mu_{(196)}$	0,142	0,148	0,15	0,138	0,165	0,157	0,158	0,161
$\mu_{(392)}$	0,08	0,086	0,089	0,076	0,115	0,108	0,11	0,112
$E_y, \times 10^{14}$ Дж/м <sup>3</sup>	10,1	9,19	8,96	11,06	5,91	7,35	12,56	6,12
$\sigma, \times 10^9$ Н/м <sup>2</sup>	13,41	13,51	11,44	13,1	8,71	10,55	13,76	9,71

Таблица 2

Коэффициенты корреляции критериев характеризующих трибологические свойства масел

Показатели	$P_K$	$P_C$	$D_{И(196)}$	$D_{И(392)}$
$E_y$	0,416	0,423	0,903	0,625
$\sigma$	0,695	0,558	0,932	0,776

Наибольшее значение 0,932 имеет коэффициент корреляции между  $\sigma$  и  $D_{И(196)}$ , а наименьшее 0,416 между  $E_y$  и  $P_K$ .

Дальнейшая эксплуатация моторных и трансмиссионных масел подтвердила существование корреляционной связи между критерием оценки смазывающих свойств масел  $\sigma$  и скоростью поступления продуктов изнашивания в масло. Коэффициент корреляции составил 0,63-0,72.

### Выводы

Полученный критерий оценки смазывающих свойств моторных и трансмиссионных масел на четырехшариковой машине трения, - градиент трибологических свойств  $\sigma$ , является достаточно объективным показателем работы противоизносных, противозадирных и антифрикционных присадок.

Его использование при исследовании изменений служебных свойств масел в процессе эксплуатации позволяет существенно сократить время испытаний при сохранении объективности данных, для принятия решения при выборе моторного или трансмиссионного масла для дальнейшей эксплуатации в силовом агрегате, что подтверждается данными концентрации продуктов изнашивания силовых агрегатов.

1. Калинин А.А. Экспрессная методика оценки смазочных свойств жидкостей и пластичных смазок по схеме «диск-шарик» / А.А. Калинин, Н.И. Замятина // Заводская лаборатория. – 1986.- №4. – С.64-67.
2. Розенберг Ю.А. Перспективы стандартизации средств и методов трибологических испытаний смазочных масел / Ю.А. Розенберг // В сб.3. Тезисы докладов секции «Методы и средства трибометрических характеристик материалов». - Москва.: Изд-во стандартов. - 1975. - 150 с.
3. Буяновский И.А. Методы и средства трибологических испытаний / И.А. Буяновский // Химия и технология топлив и масел.- 1994.- №3.- С.29-40.
4. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов. - Киев: Техника. – 1976. – 292 с.
5. Фляйшер Г. Об энергетическом уровне фрикционных пар / Г.Фляйшер. – Трение и износ, 1987.- Т.8, № 1. – С. 25-39.
6. Войтов В.А. Моделирование граничного трения в трибосистемах. I. Методика физического моделирования / В.А. Войтов, Д.И. Исаков. - Трение и износ.- 1996.- Т.17, № 3.- С.298-306.
7. Войтов В.А. Интегральный критерий оценки трибологических свойств смазочных материалов на четырёхшариковой машине / В.А. Войтов, А.В. Левченко // Трение и износ.- 2001.- Т.22, №4. – С.441-447.