

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПАРАМЕТР ОЦЕНКИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Др техн. наук В.А. Войтов, аспид. М.Б. Захарченко

ІНТЕГРАЛЬНИЙ ПАРАМЕТР ОЦІНКИ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Д-р техн. наук В.А. Войтов, аспір. М.Б. Захарченко

INTEGRAL PARAMETER ESTIMATION OF THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF LUBRICANTS

**Doctor of Technical Sciences V.A. Vojtov, a graduate student
M.B. Zakharchenko**

В работе предложен энергетический параметр – удельная работа изнашивания тестового материала в испытуемой смазочной среде, который связан с работой трения на удаление объема материала с поверхности трения. Указанный параметр оценивает диапазон работы противоизносных и противозадирных присадок в смазочном материале и позволяет дифференцировать эффективность противоизносных и противозадирных присадок. На основании проведенных экспериментальных исследований по оценке трибологических свойств смазочных материалов и рабочих жидкостей различного назначения сделан вывод, что в математических моделях по расчету скорости изнашивания и коэффициента трения необходимо использовать интегральный показатель, который является более чувствительной характеристикой по сравнению с другими параметрами и базируется на энергетических теориях трения и изнашивания.

Ключевые слова: трибологические свойства, удельная работа изнашивания, моторные масла, трансмиссионные масла.

У роботі запропоновано енергетичний параметр – питома робота зношування тестового матеріалу в випробуваному мастильному середовищі, який пов'язаний з роботою тертя на видалення обсягу матеріалу з поверхні тертя. Зазначений параметр оцінює діапазон роботи протизносних і протизадирних присадок в змащувальному матеріалі і дозволяє диференціювати ефективність протизносних і присадок. На підставі проведених експериментальних досліджень з оцінки трібологічних властивостей мастильних матеріалів і робочих рідин різного призначення зроблено висновок, що в математичних моделях за розрахунком швидкості зношування і коефіцієнта тертя необхідно використовувати інтегральний показник, який є більш чутливою характеристикою в порівнянні з іншими параметрами і базується на енергетичних теоріях тертя і зношування.

Ключові слова: трібологічні властивості, питома робота зношування, моторні оливи, трансмісійні оливи.

The paper proposes an energy parameter - the specific work wear test material in the test lubricant medium which is associated with the work to remove the amount of friction material from a friction surface. This parameter estimates the range of the antiwear and additives in the lubricant and allows us to differentiate the effectiveness of anti-wear and extreme pressure additives. On the basis of experimental studies to evaluate the tribological properties of

lubricants and fluids for different purposes concluded that in mathematical models for calculation of wear rate and friction coefficient is necessary to use an integral index, which is more sensitive characteristic compared to other parameters, and based on energy theory friction and wear.

Key words: tribological properties, specific work wear, engine oils, gear oils.

Актуальность. Трибологические свойства смазочной среды не могут рассматриваться в отрыве от материалов узла трения, а, следовательно, их выбор в трибосистему должен осуществляться комплексно. Смазочная среда оказывает большое влияние на совместимость материалов в трибосистеме в процессе эксплуатации, а, следовательно, определяет ресурс и потери на трение. Результатом взаимодействия присадок смазочной среды с материалами поверхностей трения являются процессы физической адсорбции, хемосорбции и химических реакций, которые и влияют на износостойкость трибосистемы.

Анализ последних публикаций по данной проблеме. Согласно ГОСТ 9490-75 “Материалы смазочные. Жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине” характеристики смазочных материалов определяются по четырем параметрам: показатель износа; критическая нагрузка; нагрузка сваривания; индекс задира.

Основываясь на работах [1-5] можно сделать вывод, что показатель износа характеризует наличие в смазочном материале противоизносных свойств, которые, в основном, обеспечиваются поверхностно-активными веществами и их физической адсорбцией к поверхности трения.

Критическая нагрузка характеризует диапазон работы поверхностно-активных веществ, при достижении которого физическая адсорбция молекул смазочного материала к поверхности трения исчезает. Связано это с повышением температуры поверхностей трения. Из этого следует, что критическая нагрузка также определяет противоизносные свойства смазочного материала.

Нагрузка сваривания характеризует противозадирные свойства смазочного материала и их диапазон работы, т.е. наличие в смазочном материале химически-активных веществ и их способность вступать в реакцию с материалами поверхностей трения.

Четвертый показатель – индекс задира, является интегральной характеристикой смазочного материала, однако характеризует противозадирные свойства.

Авторами работ [1, 6-8] предлагается энергетический параметр – удельная работа изнашивания тестового материала в испытываемой смазочной среде, который связан с работой трения на удаление объема материала с поверхности трения и может выступать интегральным энергетическим параметром смазывающих свойств. Однако, указанный параметр не оценивает диапазона работы противоизносных и противозадирных присадок в смазочном материале, а следовательно не позволяет дифференцировать эффективность противоизносных и противозадирных присадок.

Целью данного исследования явилось разработка интегрального параметра оценки трибологических свойств смазочной среды с оценкой вклада противоизносных и противозадирных присадок, наличие которого позволит учитывать трибологические свойства смазочных материалов при моделировании процессов трения и изнашивания в трибосистемах в условиях граничной смазки.

Методический подход в проведении исследований. Экспериментальные исследования трибологических свойств смазочных материалов проводились на четырехшариковой машине согласно ГОСТ 9490.

Для выполнения математического моделирования изменения скорости изнашивания и коэффициента трения при использовании различных смазочных материалов были выбраны различные рабочие жидкости и смазочные материалы с целью получения большого диапазона изменения интегрального параметра.

Результаты исследований. Трибологические свойства смазочной среды, согласно приведенных выше работ, можно учитывать с помощью параметра E_y , Дж/м³ -

удельная работа изнашивания единицы объема тестового материала (шарики из стали ШХ-15) в испытуемой смазочной

среде. Физический смысл данного параметра следует из выражения:

$$E_y = E_1 + E_2 + E_3 = \frac{f_1 P_1 L_1}{D_u^3} + \sum_{i=196}^{P_k} \frac{f_i P_i L_i}{D_i^3} + \sum_{j=P_{c-1}}^{P_c} \frac{f_j P_j L_j}{D_j^3}, \quad (1)$$

где E_1 - величина удельной работы изнашивания, которая характеризует наличие противоизносных свойств в смазочном материале, Дж/м³;

E_2 - величина удельной работы изнашивания, которая характеризует диапазоны работы противоизносных присадок, Дж/м³;

E_3 - величина удельной работы изнашивания, которая характеризует наличие в смазочном материале противозадирных присадок и диапазон их работы, Дж/м³;

f_1 - коэффициент трения при нагрузке $P_1 = 196$ Н;

P_1 - нагрузка равная 196 Н для определения показателя износа на четырехшариковой машине, ГОСТ 9490-75;

L_1 - путь трения при определении показателя износа, равен 2119 м;

D_u - средний диаметр пятен износа трех нижних шариков при определении показателя износа, м;

$\sum_{i=196}^{P_k}$ - суммарное значение числа испытаний от нагрузки 196 Н до критической нагрузки, согласно первого нагрузочного ряда приведенного в ГОСТ 9490;

f_i - значения коэффициента трения при нагрузках от 196 Н до P_k ;

P_i - нагрузка согласно первого нагрузочного ряда от 196 Н до P_k , Н;

L_2 - путь трения при времени испытания 10 сек, равный 5,88 м;

D_i - средний диаметр пятен износа трех нижних шариков при нагрузках от 196 Н до P_k , м;

$\sum_{j=P_{c-1}}^{P_c}$ - суммарное значение числа испытаний от P_k до нагрузок,

предшествующей нагрузке сваривания P_{c-1} ;

ff - значение коэффициента трения при нагрузках от P_k до P_{c-1} , Н;

D_j - средний диаметр пятен износа трех нижних шариков при нагрузках от P_k до P_{c-1} , м.

Отличием формулы (1) от формул приведенных в работах [6-8] является применением суммы значений удельной работы изнашивания на всех нагрузках, от 196 Н до P_k (для второго слагаемого E_2) и от P_k до P_{c-1} (для третьего слагаемого E_3). Это дает возможность более точно определить наличие противоизносных и противозадирных свойств в смазочном материале. Например, при одинаковых значениях критической нагрузки, а так же нагрузки сваривания диаметры пятен износа существенно отличаются, что влияет при определении суммы E_2 и E_3 .

В качестве рабочих жидкостей, которые одновременно выполняют функции смазочных материалов, были выбраны керосин ТС-1 и дизельное топливо, трибологические свойства которых представлены в табл.1.

Трибологические свойства гидравлических масел представлены в таблице 2, моторных масел в таблице 3, трансмиссионных масел в таблице 4.

Обсуждение результатов. Как следует из приведенных таблиц интегральный параметр E_y изменяется для топлив в пределах $(0,413...0,684) \cdot 10^{14}$ Дж/м³, для гидравлических масел в пределах $(1,886...3,26) \cdot 10^{14}$ Дж/м³, для моторных масел $(3,209...9,411) \cdot 10^{14}$ Дж/м³, для трансмиссионных масел $(3,64...8,79) \cdot 10^{14}$ Дж/м³.

В таблицах 1 – 4 также представлены трибологические характеристики согласно ГОСТ 9490: показатель износа D_u ; критическая нагрузка P_k ; нагрузка сваривания P_c и индекс задира I_3 . Анализ указанных характеристик

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

для моторных масел (таблица 3) показывает, что в зависимости от классификации по API показатель износа D_u отличается на 31%, критическая нагрузка на P_k на 37,5%, нагрузка сваривания на 50%, индекс задира на 52%. При этом интегральный показатель трибологических свойств масел отличается на 65%, что подтверждает большую чувствительность E_y по сравнению с показателями согласно ГОСТ 9490.

Наиболее выраженный результат получен для трансмиссионных масел (таблица 4). В зависимости от классификации по API показатель износа отличается на 28%, критическая нагрузка на 21%, нагрузка сваривания на 21%, индекс задира на 19,1%. При этом интегральный показатель E_y изменяется на 58%, что подтверждает большую чувствительность данного показателя. Кроме этого, по величине значений E_2 и E_3 можно судить об эффективности противоизносных и противозадирных присадок. Например, эффективность противозадирных присадок для моторных масел, таблица 3, которая

оценивается E_3 , не превышает $0,11 \cdot 10^{14}$ Дж/м³, а для трансмиссионных масел, таблица 4, данный показатель равен $0,21 \cdot 10^{14}$ Дж/м³. Это говорит о том, что трансмиссионные масла имеют более эффективный пакет противозадирных присадок, чем моторные.

Что касается эффективности работы противоизносных присадок, показатель E_2 , то у моторных и трансмиссионных масел наблюдается незначительные отличия.

Выводы. На основании проведенных экспериментальных исследований по оценке трибологических свойств смазочных материалов и рабочих жидкостей различного назначения можно сделать вывод, что в математических моделях по расчету скорости изнашивания и коэффициента трения необходимо использовать интегральный показатель E_y , который является более чувствительной характеристикой по сравнению с другими параметрами и базируется на энергетических теориях трения и изнашивания.

Таблица 1

Трибологические свойства топлив

Тип топлива	D_u , мм	P_k , Н	P_c , Н	I_3 , Н	$E_1 \cdot 10^{14}$, Дж/м ³	$E_2 \cdot 10^{14}$, Дж/м ³	$E_3 \cdot 10^{14}$, Дж/м ³	$E_y \cdot 10^{14}$, Дж/м ³
Керосин ТС-1	0,90	490	784	17	0,34	0,07	0,003	0,413
Дизельное топливо ДТ	0,75	617	980	21	0,59	0,09	0,004	0,684

Таблица 2

Трибологические свойства гидравлических масел

Тип масел	D_u , мм	P_k , Н	P_c , Н	I_3 , Н	$E_1 \cdot 10^{14}$, Дж/м ³	$E_2 \cdot 10^{14}$, Дж/м ³	$E_3 \cdot 10^{14}$, Дж/м ³	$E_y \cdot 10^{14}$, Дж/м ³
МГП-10	0,55	710	1960	24	1,5	0,38	0,006	1,886
МГ-15-В	0,5	980	1960	28	1,99	0,44	0,007	2,437
ИГП-30	0,5	980	2450	32	1,99	0,44	0,009	2,439
МГЕ-46В	0,45	980	2450	36	2,73	0,48	0,009	3,219
МГЕ-68В	0,45	980	2450	41	2,73	0,52	0,01	3,26

Таблица 3

Трибологические свойства моторных масел

Тип масла	Классификация по API	D_u , мм	P_k , Н	P_c , Н	I_3 , Н	$E_1 \cdot 10^{14}$, Дж/м ³	$E_2 \cdot 10^{14}$, Дж/м ³	$E_3 \cdot 10^{14}$, Дж/м ³	$E_y \cdot 10^{14}$, Дж/м ³
M-10	CC	0,45	1235	2450	28	2,73	0,47	0,009	3,209
Schell-Rotella X	CC	0,45	1235	3087	32	2,73	0,82	0,094	3,644
ESSO ULTRA	SL/CD	0,4	1568	3920	59	3,89	0,99	0,012	4,892
M-10DM	CD	0,35	1568	3087	49	5,82	0,9	0,11	6,830
Schell-Rimula D	CF/CD	0,35	1568	3087	48	5,82	0,908	0,104	6,832
ESSO ULTRON	SL/CF	0,35	1568	4900	63	5,82	0,950	0,095	6,865
Schell-Rimula C	CD	0,35	1568	3087	48	5,82	0,96	0,090	3,870
Schell-Rimula X	CF-4	0,32	1235	4900	63	7,62	0,85	0,014	8,484
ESSO ULTRA Turbo Diesel	CF-4	0,31	1568	4900	64	8,39	1,005	0,016	9,411

Таблица 4

Трибологические свойства трансмиссионных масел

Тип масла	Классификация по API	D_u , мм	P_k , Н	P_c , Н	I_3 , Н	$E_1 \cdot 10^{14}$, Дж/м ³	$E_2 \cdot 10^{14}$, Дж/м ³	$E_3 \cdot 10^{14}$, Дж/м ³	$E_y \cdot 10^{14}$, Дж/м ³
ТСп-10	GL-4	0,45	1235	6174	76	2,73	0,79	0,12	3,64
ТАП-15В	GL-4	0,45	1235	6174	76	2,73	0,8	0,13	3,66
ТСп-15к	GL-4	0,40	1568	6174	82	3,89	0,795	0,13	4,815
ТСп-14гип	GL-4	0,40	1235	6174	82	3,89	0,802	0,14	4,832
ТАД-17и	GL-5	0,36	1568	7840	89	5,34	0,885	0,114	6,369
Shell-Spirax-AX	GL-5	0,35	1568	7840	92	5,82	0,906	0,200	6,926
Shell-Spirax-GSX	GL-4	0,35	1568	6174	86	5,82	0,945	0,200	6,965
VALVOLINE	GL-5	0,34	1235	6174	90	6,34	0,937	0,207	7,484
Shell-Spirax-ASX	GL-5	0,32	1568	7840	94	7,62	0,960	0,210	8,79

Список использованных источников

1. Войтов В.А. Интегральный критерий оценки трибологических свойств смазочных материалов на четырехшариковой машине / В.А. Войтов, А.В. Левченко// Трение и износ. 2001, т. 22, №4, с. 441-447.
2. Войтов В.А. Лабораторный метод оценки смазывающих свойств моторных масел на четырехшариковой машине трения / В.А. Войтов, А.В. Левченко// Вісник ХДАДТУ, 2002, вип.17, с. 42-48.
3. Войтов В.А. Критериальный подход для оценки служебных свойств моторных масел в процессе эксплуатации ДВС/ В.А.Войтов, В.А.Мазепа // Вестник НТУ(ХПИ). Сб.

науч. тр. "Автомобиле- и тракторостроение".- Харьков: НТУ (ХПИ), 2002, №10, т.1, с.135-138.

4. Войтов В.А. Обзор исследований по подбору моторных масел к ДВС и системный подход при его решении / В.А. Войтов, В.А.Мазепа // Вестник ХНТУСХ, 2005, № 40, с.253-261.

5. Войтов В.А. Системный подход для эксплуатации моторных масел по техническому состоянию / В.А.Войтов, В.А.Мазепа // Проблеми трибології, 2006, № 1, с.108-117.

6. Войтов В.А. Визначення трибологічних властивостей рослинних олій в порівнянні з нафтовими оливами / В.А Войтов, А.Г. Кравцов // Вісник ХНТУСГ, 2008, вип. №75, т. 1, с. 382-386.

7. Войтов В.А. Трибологічні властивості технічних олив на базі соняшникової та рапсової олій / В.А Войтов, А.Г. Кравцов // Проблеми трибології, 2011, №4, с. 87-92.

8. Войтов В. А. Трибологические свойства моторных масел для двухтактных двигателей внутреннего сгорания на растительной основе / В. А. Войтов, И. И. Сысенко, А. Г. Кравцов // Проблеми трибології. – 2014. – № 1. – С. 27 – 38.

Войтов Виктор Анатольевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедры транспортных технологий и логистики, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени П.Василенко. Тел.: (057) 700-38-98 E-mail: ndch_khntusg@mail.ru

Захарченко Михаил Борисович, аспирант, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени П.Василенко. Тел.: 0989160953.

Vojtov V.A. - prof., Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture. Tel.: (057) 700-38-98 E-mail: ndch_khntusg@mail.ru

Zakharchenko M., graduate student, Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture. Tel.: 0989160953.