

**Войтов В.А.,
Сысенко И.И.,
Кравцов А.Г.**

Харьковский национальный техниче-
ский университет сельского хозяйства
имени П.Василенко,
г. Харьков, Украина
E-mail: ndch_khntusg@mail.ru

**Трибологические свойства
моторных масел для двухтактных
двигателей внутреннего сгорания на
растительной основе**

УДК 621.891

В работе выполнена сравнительная оценка трибологических свойств высокоолеиновых растительных масел в сравнении с товарными моторными маслами для двухтактных двигателей. Решена оптимизационная задача по составу присадок в базовых растительных маслах и проведены лабораторные испытания модельных трибосистем двухтактного двигателя с определением скорости изнашивания и силы трения.

Отмечена интенсификация проявления эффекта Ребиндера на металлических поверхностях трения при использовании растительных масел.

Ключевые слова: растительные масла, присадки для растительных масел, моторные масла для двухтактных двигателей, трибологические свойства растительных масел, скорость изнашивания, сила трения

Актуальность проблемы

В странах Западной Европы в последние десятилетия стоит вопрос улучшения экологии в рамках Киотского протокола и последующих принятых директив [1,2]. В результате принятых документов в ЕС построены и запущены заводы по выпуску смазочных материалов, например, в Германии из рапсового масла, а в США из соевого масла.

Всемирно известная фирма SHELL по производству смазочных материалов выпускает биологически разлагаемые смазочные материалы Shell Naturelle Fluid на основе высокоочищенного рапсового масла с присадками [3]. Швейцарская фирма FUCH на основе рапсового масла с многофункциональными присадками выпускает более 150 наименований экологически чистых (быстро разлагаемых) смазочных материалов и технических жидкостей [4].

Особенно остро стоит вопрос о снижении выброса вредных веществ при эксплуатации техники, на которой установлены двухтактные двигатели внутреннего сгорания. Сгоревшее масло вместе с бензином при работе двигателя способствует выбросу вредных веществ в окружающую среду. Если учесть то, что двухтактные двигатели устанавливаются на газонокосилках, скутерах, мотоциклах, бензопилах и моторных лодках, то уровень техногенной нагрузки является достаточно высоким.

Поэтому проведение исследований и разработка моторных масел для двухтактных двигателей на растительной основе является актуальной задачей, которая снизит выброс вредных веществ в окружающую среду.

Анализ последних публикаций по данной проблеме

Первый опыт получения трансмиссионных масел на основе рапсового масла в Украине принадлежит заводу АРІАН [5], который начал использовать присадки на основе растительных масел и добавлять их в минеральные масла. Исследования по полу-

чению присадок на основе растительных масел проводятся в УкрНДІП «МАСМА» [6].

Исследованиями смазочных материалов растительного происхождения в Украине и за рубежом занимались следующие ученые: Поп Г.С. [7 – 12], Сиренко Г.О. и Кириченко В.И. [13 – 19], Фукс И.Г. и Евдокимов А.Ю. [20 – 22], Крачун А.Т. [23].

В работах [7 – 12] выполнены сравнительные исследования рапсовых масел с различным жирнокислотным составом с нефтяными маслами. Предложено, для улучшения свойств рапсового масла вводить присадки типа Лубризол-890 или отечественные Детерсол-140, Ас-60С и С-5А.

В работах [13 – 19] исследовались вопросы использования серы в качестве присадки к рапсовому маслу. Показано, что синтезированные продукты с повышенным содержанием серы обеспечивают низкий коэффициент трения и хорошие противоизносные свойства.

В работах [20 – 23] рассмотрены вопросы, которые относятся к экологической безопасности при использовании смазочных материалов на основе растительных масел.

Авторами работ [24 – 26] обоснованы и выбраны базовые растительные масла для получения рабочих жидкостей гидростатических приводов. Это высокоолеиновые рапсовое и подсолнечное масла. В указанных работах приведены исследования по противоизносным и противозадирным свойствам этих масел в сравнении с товарными нефтяными и синтетическими. Решена оптимизационная задача по выбору присадок к указанным растительным маслам для их использования в гидростатических приводах.

В работе [27], которая выполнена в Российском государственном университете нефти и газа им. И.М. Губкина, делается вывод, что рапсовое масло может быть основой для получения моторных масел для двухтактных двигателей. При этом для уменьшения кислотного числа рапсового масла и придания ему щелочности, рекомендуется вводить щелочные присадки, содержащие металлы.

Анализируя приведенные выше работы можно сделать вывод, что разработка экологически чистых моторных масел для двухтактных двигателей на растительной основе является актуальной задачей и требует дальнейших исследований.

Поэтому целью данной работы явилось обосновать и выбрать базовые растительные масла, пакет присадок к ним и получить оптимальный состав экологически чистых моторных масел для двухтактных двигателей, а также провести сравнительные испытания их трибологических свойств в сравнении с товарными моторными маслами.

Методический подход в проведении исследований

Трибологические характеристики товарных масел и базовых растительных масел определяли на четырёхшариковой машине трения согласно ГОСТ 9490-75.

В качестве минеральных масел были выбраны масла: «МС-20» и «Такт-2Т», полусинтетическое масло «Пуск-2Т», синтетическое «ELF MOTO 2XT Tech» и три масла на растительной основе: рапсовое, подсолнечное, касторовое.

В качестве трибологических характеристик, согласно ГОСТ 9490-75, были выбраны следующие параметры.

1. Показатель износа Du , мм, характеризует в масле наличие противоизносных свойств, в первую очередь, наличие поверхностно-активных веществ (ПАВ).
2. Критическая нагрузка $P_{кр}$, Н, характеризует диапазон работы (действия) ПАВ.
3. Нагрузка сваривания P_c , Н, характеризует наличие в масле противозадирных свойств.

Дополнительным параметром, который измерялся в процессе эксперимента с помощью тензодатчика, был определен коэффициент трения f , характеризующий поте-

ри на трение, т.е. антифрикционные свойства.

Согласно работ [24 – 26] в качестве базовых растительных масел выбраны высокоолеиновое подсолнечное и высокоолеиновое рапсовое масла, а также касторовое масло, которое обладает хорошей физической адгезией к поверхности трения.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1. В таблице указаны среднестатистические значения трёх повторов.

Таблица 1

Среднестатистические значения трибологических характеристик товарных моторных и базовых растительных масел

Тип базового масла	Показатель износа Du , мм	Критическая нагрузка $P_{кр}$, Н	Нагрузка сваривания P_c , Н	Коэффициент трения f
МС-20	0,9	617	1568	0,05
Такт-2Т	0,6	617	1568	0,065
Пуск-2Т	0,47	617	1568	0,06
ELF МОТО 2ХТ Tech	0,44	784	1568	0,065
Рапсовое масло	0,44	784	1568	0,055
Подсолнечное масло	0,45	617	1568	0,055
Касторовое масло	0,52	617	1568	0,05

Анализ данных таблицы 1 позволяет сделать вывод, что все представленные масла обладают одинаковыми противозадирными свойствами (нагрузка сваривания $P_c = 1568\text{Н}$). При этом противоизносные свойства различаются. Диапазон работы ПАВ у синтетического и рапсового масел ($P_{кр} = 784\text{Н}$), превышает диапазон остальных масел ($P_{кр} = 617\text{Н}$).

По величине показателя износа, который характеризует противоизносные свойства, можно выделить четыре масла. На первом месте синтетическое масло ELF МОТО 2ХТ Tech и рапсовое ($Du = 0,44$ мм), затем подсолнечное ($Du = 0,45$ мм) и полусинтетическое Пуск-2Т ($Du = 0,47$ мм). Остальные масла по противоизносным свойствам на 13...95% уступают перечисленным выше маслам.

Однако по антифрикционным свойствам, которые оцениваются коэффициентом трения, таблица 1, высоковязкие масла МС-20 и касторовое, показали лучший результат. При этом, рапсовое, подсолнечное, полусинтетическое и синтетическое масла отличаются от лучшего результата на 16%.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что проранжировать испытуемые масла по четырем показателям одновременно, затруднительно.

В работе [28] предложен количественный показатель противоизносных, противозадирных и антифрикционных свойств масел с учетом диапазона работы противоизносных и противозадирных присадок. Предложенный показатель является энергетическим показателем, размерность Дж/мм³ и характеризует удельную работу изнашивания.

Воспользуемся предложенной в работе [28] формулой, предварительно упростив выражение, которое не изменяет физический смысл, а упрощает измерения и вычисления при проведении эксперимента:

$$E_y = \frac{f_1 P_1 L_1}{Du^3} + \frac{f_{\bar{e}0} P_{\bar{e}0} L_2}{D_{\bar{e}0}^3} + \frac{f_{\bar{n}-1} P_{\bar{n}} L_2}{D_{\bar{n}-1}^3}, \quad (1)$$

где f_i – коэффициент трения при нагрузке $P_i = 196$ Н;

P_i – нагрузка равная 196 Н для определения показателя износа согласно ГОСТ 9490-75;

L_1 – путь трения при определении показателя износа, равен 1978 м;
 Du – средний диаметр пятен износа (показатель износа) при нагрузке 196 Н, мм;
 $f_{кр}$ – коэффициент трения при критической нагрузке;
 $P_{кр}$ – критическая нагрузка, Н;
 L_2 – путь трения при десяти секундах работы четырёхшариковой машины, равен 5,49 м;
 $D_{кр}$ – средний диаметр пятен износа при критической нагрузке, мм;
 f_{c-1} – коэффициент трения при нагрузке предшествующей нагрузке сваривания;
 P_c – нагрузка сваривания, Н;
 D_{c-1} – средний диаметр пятен износа при нагрузке, предшествующей нагрузке сваривания, мм.

Первое слагаемое формулы (1) отображает противоизносные и антифрикционные свойства масла, т.е. наличие ПАВ в масле.

Второе слагаемое отображает диапазон работы ПАВ и антифрикционные свойства при критических нагрузках.

Третье слагаемое отображает противозадирные свойства на грани задира.

Предложенный комплексный показатель E_y , формула (1), является энергетическим показателем, размерность Дж/мм³, определяется согласно ГОСТ 9490-75 на четырёхшариковой машине в соответствии с нагрузочным рядом и методикой измерения пятен износа на нижних шарах. E_y – это удельная работа изнашивания единицы объёма тестового материала (сталь ШХ-15) в испытываемой смазочной среде.

Дополнительно к данным в таблице 1 были проведены измерения коэффициентов трения и пятен износа на критической нагрузке и нагрузке, предшествующей нагрузке сваривания. Результаты испытаний и расчёта по формуле (1) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты испытаний и расчёта удельной работы изнашивания в различных маслах

Тип базового масла	$\frac{f_1 P_1 L_1}{Du^3}$	$\frac{f_{\text{ед}} P_{\text{ед}} L_2}{D_{\text{ед}}^3}$	$\frac{f_{\bar{n}-1} P_{\bar{n}} L_2}{D_{\bar{n}-1}^3}$	E_y , Дж/мм ³
МС-20	26 590	137,2	39,2	26 766
Такт-2Т	116 665	317,7	87,2	117 069
Пуск-2Т	225 382	413,7	129,1	225 924
ELF MOTO 2XT Tech	296 467	672,5	210,47	297 349
Рапсовое масло	250 856	630	150,8	251 636
Подсолнечное масло	234 316	496,1	129,1	234 941
Касторовое масло	138 460	276,6	62,2	138 798

Анализ величины удельной работы изнашивания для различных масел позволяет более строго проранжировать испытываемые масла по способности препятствовать износу и задиру. Как следует из таблицы 2 на первом месте стоит синтетическое масло ELF MOTO 2XT Tech, затем рапсовое и подсолнечное масла, затем полусинтетическое Пуск-2Т, касторовое и минеральные масла Такт-2Т и МС-20.

Такой результат позволяет выбрать высокоолеиновые рапсовое и подсолнечное масла – как базовые масла для получения экологически чистых моторных масел для двухтактных двигателей.

Обоснование присадок для базовых растительных масел и поиск оптимального состава масла для двухтактных двигателей

Исходя из анализа требований, которые предъявляются к маслам для двухтактных двигателей, а также повышенных значений кислотного числа у растительных ма-

сел (1,5 ... 2,7 мг КОН/г) одной из присадок выступает антиокислительная, или антиоксидант. Данная присадка позволит приостановить необратимые процессы окисления растительного масла при хранении и даст возможность уменьшить проявление коррозионных процессов, лако- и нагарообразования.

Введение в растительные масла щелочных металлов с целью снижения кислотности и придания щелочности растительному маслу, как указано в работе [27], на наш взгляд не решает проблему. Присутствие щёлочи в высокоолеиновых растительных маслах образует мыла в масле, а так же повысит зольность.

Мыла приведут к лако- и нагарообразованию, а образование золы – к абразивному износу цилиндра-поршневой группы.

В работах выполненных в Российском государственном университете нефти и газа им. И.М. Губкина [27], а также американскими учёными [29] указывается, что эффективным органическим биоразлагаемым антиоксидантом для растительных масел может выступать дифениламин. При этом в работе [29] указано, что его количество в растительных маслах значительно выше, чем в нефтяных маслах (0,2...5%). Дифениламин является экологически чистым веществом, т.к. добавляется в пищевые продукты в составе 0,02% по массе, и не содержит металлов, а, следовательно, не вызовет образования золы и связанного с ней абразивного износа.

Вторым типом присадок для масел двухтактных двигателей является антикоррозионная присадка, которая способствует снижению интенсивности коррозионных процессов на деталях двигателя из-за определенной степени кислотности масла. В качестве органической присадки, не содержащей металлов, на основании работы [30] можно выбрать фосфорсодержащую присадку – трикрезилфосфат. Данная присадка в моторном масле будет выполнять ряд функций:

- тормозить процессы коррозии, т.к. на поверхностях трения будет образовываться фосфидная пленка, уменьшая контакт масла с катализатором – металлом;
- повышать противоизносные и противозадирные свойства масла, образуя на поверхности трения фосфиды металлов.

Третьим типом присадок, добавляемых в растительное моторное масло для двухтактных двигателей, является касторовое масло. В связи с тем, что смазка деталей двухтактного двигателя производится смесью бензина и масла в пропорции от 30:1 до 60:1, то бензин может смывать масляную пленку с поверхностей трения, обеспечивая работу трибосистем в режиме «масляного голодания», что приведет к снижению ресурса. Устранить режим «масляного голодания» можно обеспечив несмываемость масляной пленки, т.е. масло должно иметь высокую физическую адсорбцию к поверхности металла.

По мнению специалистов фирмы Schell такие требования можно выполнить введением в нефтяные масла касторового масла.

Необходимо отметить, что растительные масла обладают высоким индексом вязкости, который превышает индекс вязкости синтетических масел [16-20]. Такой показатель необходим для двигателей, где масло подается в двигатель отдельно от бензина и смешивается на входе. При эксплуатации в условиях низких температур высокий индекс вязкости будет положительно влиять на смесеобразование, что не требует ввода в растительные масла вязкостных присадок.

В результате планирования трехфакторного эксперимента была решена оптимизационная задача содержания перечисленных присадок в базовых рапсовом и подсолнечном маслах. Критерием оптимизации был выбран максимум удельной работы изнашивания – E_y .

В дальнейшем будем полученные масла обозначать: рапсовое + П и подсолнечное + П.

Контрольный эксперимент трибологических свойств на четырехшариковой машине согласно ГОСТ 9490-75 полученных масел в сравнение с товарными моторными маслами, показал следующий результат, таблица 3.

Таблица 3

Трибологические характеристики моторных масел для двухтактных двигателей

Тип базового масла	Показатель износа Du , мм	Критическая нагрузка $P_{кр}$, Н	Нагрузка сваривания P_c , Н	Коэффициент трения f	Удельная работа изнашивания E_y , Дж/мм ³
Такт-2Т	0,6	617	1568	0,065	117 069
Пуск-2Т	0,47	617	1568	0,06	225 924
ELF MOTO 2XT Tech	0,44	784	1568	0,065	297 349
Рапсовое + П	0,42	980	1568	0,055	294 328
Подсолнечное + П	0,43	980	1568	0,055	278 520

Анализ таблицы 3 в сравнении с данными таблицы 1 позволяет сделать следующие выводы.

Противоизносные свойства, которые определяются показателями износа Du , изменились с 0,44 для рапсового масла и 0,45 для подсолнечного масла до значений 0,42 и 0,43, что составляет 4,5% и 4,4% соответственно. Такие значения граничат с величиной ошибки определения и не позволяют утверждать изменения противоизносных свойств.

Диапазон работы противоизносных присадок, который определяется величиной критической нагрузки $P_{кр}$, изменился от 784 Н до 980 Н для обоих масел, что составляет 25%. Такое увеличение показателя позволяет утверждать, что наряду с физической адсорбцией поверхностно-активных веществ на поверхностях трения имеет место явление хемосорбции.

Следовательно, можно утверждать, что высокомолекулярные жирные кислоты олеиновая и рициновая образуют на поверхностях трения металла металлические мыла, температура плавления которых значительно выше, чем температура десорбции указанных выше кислот, как поверхностно-активных веществ. Данные явления можно объяснить наличием в маслах трикрезилфосфата и касторового масла.

Противозадирные свойства, которые определяются нагрузкой сваривания P_c , не изменились, что подтверждает отсутствие у трикрезилфосфата и касторового масла противозадирных свойств из-за низкой температуры десорбции.

Антифрикционные свойства растительных масел так же не изменились, т.к. определялись на незначительной нагрузке, 196 Н.

Однако комплексный показатель, удельная работа изнашивания E_y , которая приведена в таблице 2 и таблице 3 увеличилась для рапсового масла с присадками на 16,9%, а для подсолнечного масла на 18,5%.

При этом полученные растительные моторные масла для двухтактных двигателей уступают синтетическому маслу ELF MOTO 2XT Tech, таблица 3, на 6,3% по комплексному показателю изнашивания E_y , при этом показывают лучший результат по дифференцированным показателям Du и $P_{кр}$, как отмечалось выше.

Экспериментальные исследования противоизносных и антифрикционных свойств моторных товарных и растительных масел с присадками

Целью данных исследований явилось провести сравнительные исследования товарных моторных масел, таких как минеральное «Такт-2Т», полусинтетическое «Пуск-2Т» и синтетическое «ELF MOTO 2XT Tech» по скорости изнашивания и силе трения в

сравнении с рапсовым и подсолнечным с оптимальным содержанием присадок.

Сравнительные испытания проводились по схеме «кольцо – кольцо» на трех лабораторных модельных трибосистемах.

1. Трибосистема: подвижный трибоэлемент – хромовое покрытие меньшей площади трения, неподвижный трибоэлемент – серый модифицированный чугун с большей площадью трения. Данная трибосистема моделирует натурную трибосистему «поршневое кольцо-гильза цилиндра» с соблюдением идентичности материалов их относительного расположения в трибосистеме и передачи движения.

2. Трибосистема: подвижный трибоэлемент – алюминиевый сплав АЛ-25 меньшей площади трения, неподвижный трибоэлемент – серый модифицированный чугун с большей площадью трения. Данная трибосистема моделирует трибосистему «поршень-гильза цилиндра» с соблюдением правил теории подобия.

3. Трибосистема: подвижный трибоэлемент – бронза Бр.ОЦС 6-6-3 меньшей площади трения, неподвижный элемент – ст. 40Х, большей площади трения. Моделирует натурную трибосистему «поршневой палец – втулка головки шатуна».

Сравнительные испытания перечисленных выше модельных трибосистем проводились поочередно при использовании товарных моторных масел, а затем растительных масел с присадками. Во время испытаний регистрировали суммарный линейный износ подвижного и неподвижного трибоэлементов, который определяли методом искусственных баз и момент трения, который пересчитывали в силу трения F_m , Н.

По результатам суммарного линейного износа и времени испытаний рассчитывали скорость изнашивания трибосистем I , мкм/ч. Результаты испытаний представлены на рис. 1 – 6.

Анализируя представленные зависимости можно сделать вывод, что растительные масла с присадками (кривая 4 и 5) на средних нагрузках имеют меньшие значения скорости изнашивания и силы трения. Например, трибосистема «хромовое покрытие + серый модифицированный чугун», рисунок 1, а также трибосистема «Бр.ОЦС 6-6-3 + ст. 40Х», рисунок 5, до нагрузки 1700Н при работе на растительных маслах имеют меньшие значения скорости изнашивания. При нагрузках превышающих 1700...1800Н, лучший результат характерен для синтетического моторного масла.

Аналогичный результат характерен и для трибосистемы «алюминиевый сплав АЛ-25 + серый модифицированный чугун». До нагрузки 600 Н, рис. 3, меньшая скорость изнашивания характерна для растительных масел. При повышении нагрузки до значений 700...800 Н, лучший результат имеет синтетическое масло.

Такой результат можно объяснить наличием в растительных маслах большого содержания олеиновой кислоты, которая является поверхностно-активным веществом, а, следовательно, увеличивает физическую адсорбцию молекул масла к поверхностям трения.

Полярные молекулы масла создают толстую и прочную масляную пленку на поверхности трения, которая имеет больший температурный диапазон десорбции, чем у минерального, полусинтетического и синтетического товарных масел, где содержание олеиновой кислоты не превышает 2% по массе.

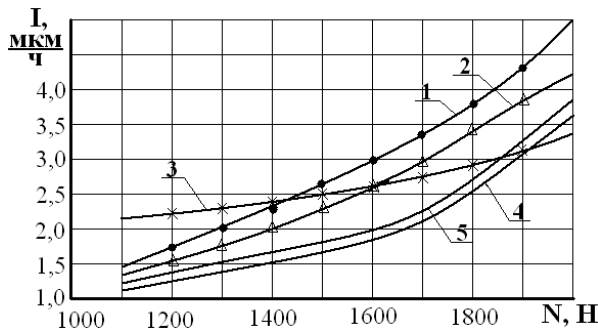


Рис. 1. Зависимость скорости изнашивания трибосистемы «хромовое покрытие + серый модифицированный чугун» от нагрузки в различных маслах: 1 – минеральное Такт-2Т; 2 – полусинтетическое Пуск-2Т; 3 – синтетическое ELF MOTO 2XT Tech; 4 – рапсовое + П; 5 – подсолнечное +П

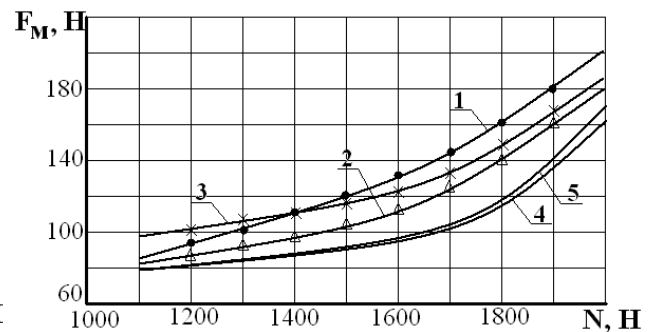


Рис. 2. Зависимость силы трения трибосистемы «хромовое покрытие + серый модифицированный чугун» от нагрузки в различных маслах: 1 – минеральное Такт-2Т; 2 – полусинтетическое Пуск-2Т; 3 – синтетическое ELF MOTO 2XT Tech; 4 – рапсовое + П; 5 – подсолнечное +П

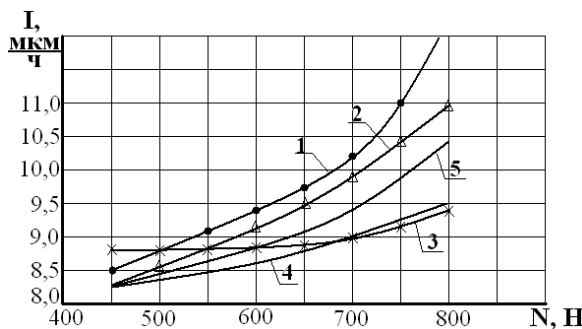


Рис. 3. Зависимость скорости изнашивания трибосистемы «АЛ-25 + серый модифицированный чугун» от нагрузки в различных маслах: 1 – минеральное Такт-2Т; 2 – полусинтетическое Пуск-2Т; 3 – синтетическое ELF MOTO 2XT Tech; 4 – рапсовое + П; 5 – подсолнечное +П

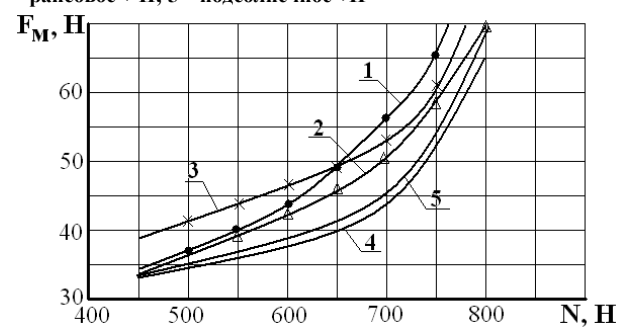


Рис. 4. Зависимость силы трения трибосистемы «АЛ-25 + серый модифицированный чугун» от нагрузки в различных маслах: 1 – минеральное Такт-2Т; 2 – полусинтетическое Пуск-2Т; 3 – синтетическое ELF MOTO 2XT Tech; 4 – рапсовое + П; 5 – подсолнечное +П

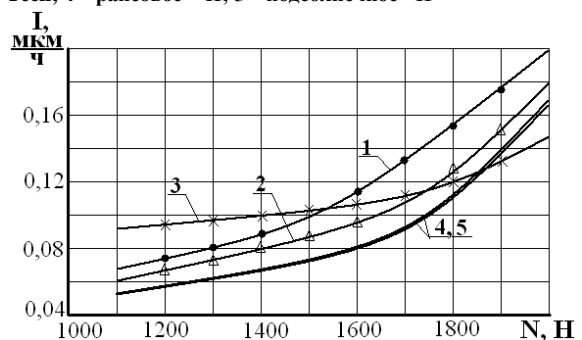


Рис. 5. Зависимость скорости изнашивания трибосистемы «Бр.ОЦС 6-6-3 + ст. 40X» от нагрузки в различных маслах: 1 – минеральное Такт-2Т; 2 – полусинтетическое Пуск-2Т; 3 – синтетическое ELF MOTO 2XT Tech; 4 – рапсовое + П; 5 – подсолнечное +П

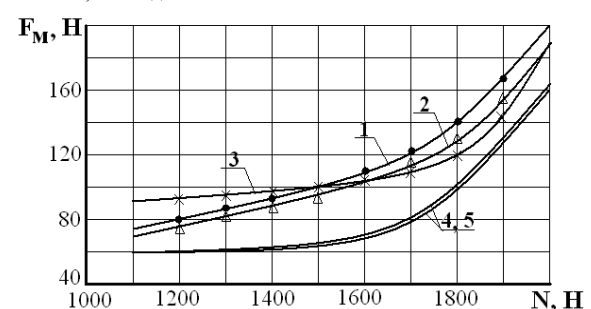


Рис. 6. Зависимость силы трения трибосистемы «Бр.ОЦС 6-6-3 + ст. 40X» от нагрузки в различных маслах: 1 – минеральное Такт-2Т; 2 – полусинтетическое Пуск-2Т; 3 – синтетическое ELF MOTO 2XT Tech; 4 – рапсовое + П; 5 – подсолнечное +П

При повышенных нагрузках, когда за счет повышения температуры на поверхностях трения происходит десорбция ПАВ, лучший результат имеет синтетическое масло, за счет наличия пакета присадок, который обеспечивает увеличение противоизносных и противозадирных свойств одновременно.

Проявление более лучшей физической адсорбции растительных масел к поверхностям трения доказывают и зависимости изменения силы трения (потерь на трение) при использовании растительных масел по сравнению с товарными, рис. 2, 4, 6.

Потери на трение при использовании растительных масел во всем диапазоне работы на 10...25% меньше, чем у товарных моторных масел. Такое явление можно объяснить проявлением физической и химической адсорбции на поверхностях трения, с образованием пленок имеющих минимальные значения напряжения сдвига.

Полученные экспериментальные данные были проверены на однородность и

воспроизводимость.

При проверке однородности и воспроизводимости полученных результатов значений скорости изнашивания и силы трения для моторных товарных и растительных масел с присадками с учетом трех трибосистем изготовленных из разных материалов согласно стандарта ISO 5725 применяли критерий Кохрена.

Критерий Кохрена позволяет сравнить однородность дисперсий результата эксперимента от опыта к опыту при применении различных масел.

Результаты проведенных расчетов позволяют сделать вывод, что полученные экспериментальные данные являются статистически однородными и воспроизводимыми.

Исследование микротвердости и глубины наклепанного слоя поверхности трения

Результаты изложенные выше свидетельствуют о том, что ПАВ в растительных маслах (от 60 до 80% масс. олеиновой кислоты) за счет проявления физической адсорбции и хемосорбции на поверхностях трения, снижают скорость изнашивания и потери на трение. Взаимодействие ПАВ с поверхностью трения изменяет деформационные характеристики материалов трибосистемы, уменьшая избыточную свободную энергию поверхности трения. Такое взаимодействие ПАВ с поверхностью материала получило название эффект Ребиндера и основано на адсорбционном понижении прочности и облегчении деформации твердых тел под влиянием окружающей среды [31].

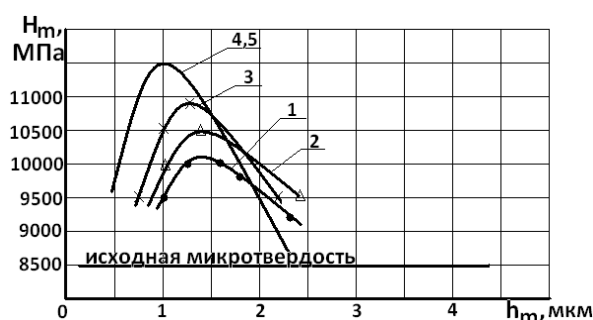


Рис. 7. Зависимость микротвердости от глубины наклепанного слоя для поверхности хромовое покрытие в различных маслах: 1 – минеральное Такт-2Т; 2 – полусинтетическое Пуск-2Т; 3 – синтетическое ELF MOTO 2XT Tech; 4 – рапсовое + П; 5 – подсолнечное +П



Рис. 8. Зависимость микротвердости от глубины наклепанного слоя для поверхности серого модифицированного чугуна в различных маслах: 1 – минеральное Такт-2Т; 2 – полусинтетическое Пуск-2Т; 3 – синтетическое ELF MOTO 2XT Tech; 4 – рапсовое + П; 5 – подсолнечное +П

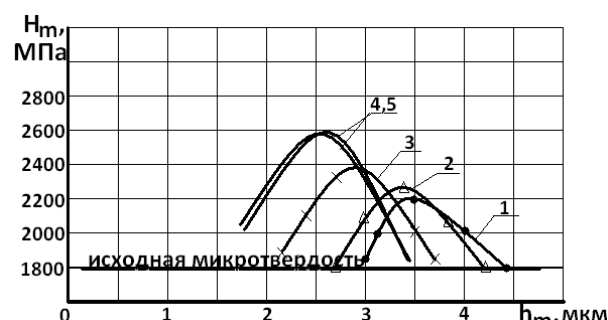


Рис. 9. Зависимость микротвердости от глубины наклепанного слоя для поверхности алюминиевого сплава АЛ-25в различных маслах: 1 – минеральное Такт-2Т; 2 – полусинтетическое Пуск-2Т; 3 – синтетическое ELF MOTO 2XT Tech; 4 – рапсовое + П; 5 – подсолнечное +П

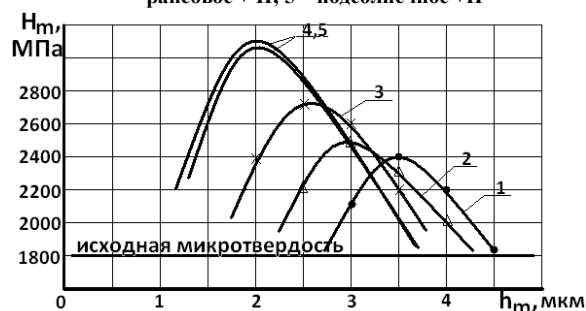


Рис. 10. Зависимость микротвердости от глубины наклепанного слоя для поверхности Бр.ОЦ 6-6-3 в различных маслах: 1 – минеральное Такт-2Т; 2 – полусинтетическое Пуск-2Т; 3 – синтетическое ELF MOTO 2XT Tech; 4 – рапсовое + П; 5 – подсолнечное +П

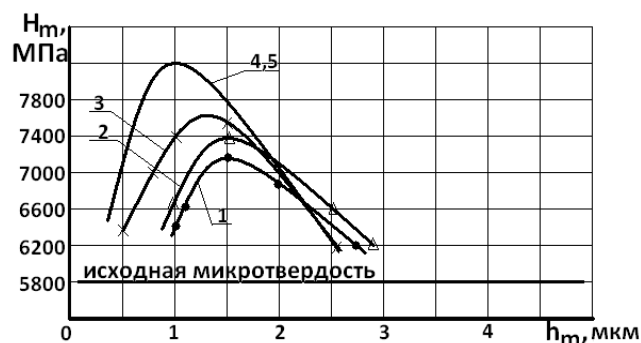


Рис. 11. Зависимость микротвердости от глубины наклепанного слоя для поверхности ст. 40Х в различных маслах: 1 – минеральное Такт-2Т; 2 – полусинтетическое Пуск-2Т; 3 – синтетическое ELF MOTO 2ХТ Tech; 4 – рапсовое + П; 5 – подсолнечное +П

Поверхностно активные вещества, в качестве которых выступают молекулы жирных кислот, должны вызывать возникновение градиента напряжений у поверхностей трения по мере приближения к межфазной границе двух сред.

Для подтверждения проявления эффекта Ребиндера при использовании различных масел были выполнены измерения микротвердости и глубины наклепанного слоя.

Измерения проводились на микротвердомере ПМТ-3 согласно ГОСТ 9450-75. Результаты измерения представлены на рис. 7 - 11.

Из построенных зависимостей следует, что растительные масла имеют больший диапазон увеличения микротвердости (от 12,7% для хромового покрытия до 29% для Бр.ОЦС 6-6-3) при одновременном уменьшении глубины наклепанного слоя (от 27% для АЛ-25 до 42% для Бр.ОЦС 6-6-3). Это подтверждает проявление эффекта Ребиндера и его интенсификацию при работе трибосистем с использованием растительных масел с присадками. Полученный результат позволяет сделать вывод, что на поверхностях трения при работе в растительных маслах будут происходить адсорбционные и хемосорбционные процессы с упрочнением поверхностного слоя и локализацией напряжений, что снизит скорость изнашивания и потери на трение.

Выводы

1. Выполнена сравнительная оценка трибологических свойств товарных моторных и базовых растительных масел по ГОСТ 9490-75. Для ранжирования масел предложен комплексный энергетический показатель – удельная работа изнашивания единицы объема тестового материала в испытываемой смазочной среде. Удельная работа изнашивания учитывает противоизносные, противозадирные и антифрикционные свойства и позволяет более точно проранжировать масла по способности препятствовать износу и задиру, а также снижать потери на трение. На основании ранжирования по комплексному энергетическому показателю выбраны высокоолеиновые рапсовое и подсолнечное масла, как базовые для получения экологически чистых моторных масел для двухтактных двигателей.

2. Обоснован состав присадок в выбранные базовые растительные масла для двухтактных двигателей. Решена оптимизационная задача и по критерию максимального значения удельной работы изнашивания, получен оптимальный состав присадок в базовых рапсовом и подсолнечном маслах. Сравнением трибологических свойств по ГОСТ 9490-75 установлено, что полученные растительные масла с присадками на 25% имеют большее значение критической нагрузки. Этому способствуют процессы физической адсорбции и хемосорбции на поверхностях трения.

3. Сравнительными экспериментальными исследованиями товарных моторных и растительных масел с присадками на лабораторных трибосистемах установлено, что

растительные масла с присадками на средних нагрузках имеют на 4,8...30% меньшие значения скорости изнашивания. Это объясняется наличием у растительных масел большого содержания олеиновой и рициновой кислот. Полярные молекулы таких кислот улучшают физическую адсорбцию и хемосорбцию на поверхностях трения и снижают потери на трение на 8,8...35% во всем диапазоне нагрузок. При повышенных нагрузках за счет температурной десорбции и плавления металлического мыла на поверхности трения, растительные масла уступают синтетическому моторному маслу. Полученные экспериментальные данные проверены на статистическую однородность и воспроизводимость.

4. Получены зависимости изменения микротвердости поверхностей трения от глубины наклепанного слоя, на основании анализа которых, установлено, что растительные масла с присадками способствуют проявлению эффекта Ребиндера и имеют больший диапазон увеличения микротвердости (от 12,7% до 29%) при одновременном уменьшении глубины наклепанного слоя (от 27% до 42%). Это подтверждает адсорбционное понижение прочности поверхностного слоя под действием ПАВ, его последующую деформацию, упрочнение и локализацию всех процессов в тонком поверхностном слое.

Литература

1. Директива 2003/30/ЄС Європейського Парламенту та Ради про сприяння використанню біологічного палива або інших видів поновлюваного палива для транспорту від 8 травня 2003 року.
2. Директива 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року «Про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел та доповнення та заміну директив 2001/77/ЄС та 2003/30/ЄС».
3. Смазочные материалы и технические жидкости «Шелл». Каталог 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.shell.com/ru>. – Название с экрана.
4. Екологічно безпечні гідравлічні та змащувальні оливи [Електронний ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.fuchs-oil.com.ua/index.php/oil/eko>. – Назва з екрана.
5. Рапсовые «биомасла» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=311. – Название с экрана.
6. Научные исследования и разработки пластичных смазок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.masma.ua>. – Название с экрана.
7. Поп Г. С. Мастильні матеріали з рослинних олій / Г.С. Поп // Хімічна промисловість України. – 2006. – № 5. – С. 22 – 29.
8. Поп Г. С. Поверхнево-активні речовини та композиційні системи на основі рослинних олій і фосфатидів / Г. С. Поп, Л. Ю. Бодачівська, Р. Л. Вечерік // Хімічна промисловість України. – 2008. – № 3. – С. 33 – 37.
9. Поп Г. С. Стан, перспективи виробництва та застосування палив і мастильних матеріалів із рослинних олій / Г. С. Поп // Катализ и нефтехимия. – 2003. – № 12. – С. 21 – 26.
10. Поп Г. С. Альтернативні екотехнології і реагенти на основі поновлюваної рослинної сировини / Г. С. Поп // Нафтова і газова промисловість України. – 2004. – №1. – С. 61 – 64.
11. Поп Г. С. Альтернативні екотехнології і матеріали та устаткування для їх одержання і контролю якості / Г. С. Поп, Л. Ю. Бодачівська, В. П. Кисельов // Энергетика. Екологія. Людина: міжнар. Энергоекологічний конгрес, 27-28 бер. 2003р.: праці. – Київ, 2003. – С. 208 – 212.
12. Поп Г. С. Екологічно-сприятливі джерела енергії, мастильні матеріали і по-

верхнево-активні речовини на рослинній основі / Г. С. Поп, Л. Ю. Бодачівська // 1-й Всеукраїнський з'їзд екологів: міжнародна науково-практична конференція: зб. матеріалів. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – С. 149 – 152.

13. Антифрикційні властивості полікомпонентних композицій на основі хімічно-модифікованої ріпакової оливи під час мащення пари ароматичний поліамід – сталь / Г. О. Сіренко, Л. Я. Мідак, О. В. Кузишин, Л. М. Кириченко, В. І. Кириченко // Полімерний журнал. – 2008. – Т. 30, № 4. – С. 338 – 344.

14. Сіренко Г. Рослинні оливи як альтернативні мастильні матеріали і присадки / Г. Сіренко, О. Сав'як // Вісник Прикарпат. ун-ту ім. Василя Стефаника. Серія: Хімія. – 2002. – Т. III. – С. 117 – 141.

15. Кириченко В. І. Трибоактивація хімічних процесів у нових високоефективних композиціях / В. І. Кириченко, Г. О. Сіренко, Л. М. Кириченко // Наукомістки технології подвійного призначення: тези допов. наук.-практ. конф. – 1994. – С. 76.

16. Сіренко Г. О. Створення мастильних матеріалів на основі сульфідованої оксидованої ріпакової оливи / Г. О. Сіренко, О. Л. Сав'як // Десята українська конференція з високомолекулярних сполук: тези допов. – 2004. – С. 162.

17. Сіренко Г. О. Оптимізація технології мастильних матеріалів на основі хімічно-модифікованої ріпакової оливи / Л. М. Кириченко, Г. О. Сіренко // Науковий збірник [«Всеукр. наук. та проф. тов-ва ім. М. Міхновського»]. – 1998. – № 8. – С. 40 – 47.

18. Кириченко Л. М. Раціональний метод оптимізації нових мастильних композицій / Л. М. Кириченко, Г. О. Сіренко, В. І. Кириченко, В. П. Свідерський // Раціональний експеримент у матеріалознавстві: матеріали 39-го Міжнарод. семінару по моделюванню та оптимізації композитів. – 2000. – С. 54 – 55.

19. Кириченко В. І. Вітчизняні мастильні матеріали: нові базові компоненти для якісних мастильних композицій / В. І. Кириченко, Л. М. Кириченко, Г. О. Сіренко, В. П. Свідерський // Зносостійкість і надійність вузлів тертя машин: міжнарод. наук.-техн. конференц.: тези допов. – 2001. – С. 49 – 51.

20. Фукс И. Г. Экологические аспекты использования топлив и смазочных материалов растительного и животного происхождения / И. Г. Фукс, А. Ю. Евдокимов, А. А. Джамалов // Химия и технология топлив и масел. – 1992. – № 6. – С. 36 – 38.

21. Евдокимов А. Ю. Смазочные материалы на основе растительных и животных жиров / А. Ю. Евдокимов, И. Г. Фукс, Л. Н. Багдасаров. – М.: ЦНИИТЭИМС, 1992. – 47 с.

22. Евдокимов А. Ю. Экологическая безопасность применения топлив и смазочных материалов на базе растительного сырья / А. Ю. Евдокимов, И. Г. Фукс, И. Р. Облащикова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2005. – №3. – С. 28 – 30.

23. Крачун А. Т. Исследование смазочных свойств некоторых растительных масел / А. Т. Крачун, В. У. Морарь, С. В. Крачун // Трение и износ. – 1990. – Т. 11, №5. – С. 929 – 932.

24. Войтов В. А. Трибологічні властивості технічних олив на базі соняшникової та ріпакової олій / В. А. Войтов, А. Г. Кравцов // Проблеми трибології. – 2011. – № 4. – С. 87 – 91.

25. Войтов В. Перспективы использования растительных масел для изготовления смазочных материалов и рабочих жидкостей // В. Войтов, А. Кравцов, И. Сысенко // Motrol. – vol. 15, № 7. – 2013. – С. 56-63.

26. Кравцов А. Г. Підвищення зносостійкості трібосистем гідромашин використанням робочих рідин рослинного походження : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / А. Г. Кравцов. – Харків, 2013. – 20 с.

27. Облащикова И. Р. Исследование рапсового масла в качестве основы альтернативных смазочных материалов: дис. ... кандидата техн. наук: 05.17.07 / Облащикова Ирина Рудольфовна. – М., 2004. – 104 с.

28. 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.

29. Perez, J. M. et al. «Characterization of Tricresylphosphate Lubricating Films by Micro-Fourier Transform Infrared Spectroscopy.» Tribology Transactions. Jan. 1990: 131-139.

30. Заславский Ю. С. Трибология смазочных материалов / Заславский Ю. С. – М. : Химия, 1991. – 240 с.

31. Лихтман В. И. Физико-химическая механика материалов / Лихтман В. И., Щукин Е. Д., Ребиндер П. А. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – 269 с.

Vojtov V.A., Sysenko I.I., Kravtsov A.G. **Tribological properties of engine oils for two-stroke internal combustion engine plant-based.**

Comparative evaluation of tribological properties of high oleic vegetable oils compared with commodity motor oils for two-stroke engines was performed in work. Optimization problem by composition of additives in the base vegetable oils was solved and laboratory tests of model tribosystems two-stroke engine with the definition of the wear rate and friction force were conducted.

Intensification manifestations Rebinder effect on metallic friction surfaces by using vegetable oils is noted.

Keywords: vegetable oils, additives for vegetable oils, motor oils for two-stroke engines, tribological properties of vegetable oils, wear rate, friction force

References

1. Direktiva 2003/30/ES Evropejs'kogo Parlamentu ta Radi pro sprijannja vikoristannju biologichnogo paliva abo inshih vidiv ponovljuvanogo paliva dlja transportu vid 8 travnja 2003 roku.
2. Direktiva 2009/28/ES vid 23 kvitnja 2009 roku «Pro stimuljvannja vikoristannja energii z vidnovljuvanih dzherel ta dopovnennja ta zaminu direktiv 2001/77/ES ta 2003/30/ES».
3. Smazochnye materialy i tehniczeskie zhidkosti «Shell». Katalog 2011 [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <http://www.shell.com/ru>. – Nazvanie s jekrana.
4. Ekologichno bezpechni gidravlichni ta zmashhuval'ni olivi [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <http://www.fuchs-oil.com.ua/index.php/oil/eko>. – Nazva z ekrana.
5. Rapsovye «biomasla» [Jeletornnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=311. – Nazvanie s jekrana.
6. Nauchnye issledovanija i razrobotki plastichnyh smazok [Jeletornnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <http://www.masma.ua>. – Nazvanie s jekrana.
7. Pop G. S. Mastil'ni materialy z roslinnih oliv / G.S. Pop // Himichna promislovist' Ukraïni. – 2006. – № 5. – S. 22 – 29.
8. Pop G. S. Poverhnevo-aktivni rehovini ta kompozicijni sistemi na osnovi roslinnih oliv i fosfatidiv / G. S. Pop, L. Ju. Bodachivs'ka, R. L. Vecherik // Himichna promislovist' Ukraïni. – 2008. – № 3. – S. 33 – 37.
9. Pop G. S. Stan, perspektivi virobництва ta zastosuvannja paliv i mastil'nih materialiv iz roslinnih oliv / G. S. Pop // Kataliz i neftehimija. – 2003. – № 12. – S. 21 – 26.
10. Pop G. S. Al'ternativni ekotehnologii i reagenti na osnovi ponovljuvanoï roslinnoï sirovini / G. S. Pop // Naftova i gazova promislovist' Ukraïni. – 2004. – №1. – S. 61 – 64.
11. Pop G. S. Al'ternativni ekotehnologii i materialy ta ustatkuvannja dlja ih oderzhanja i kontrolju jakosti / G. S. Pop, L. Ju. Bodachivs'ka, V. P. Kisel'ov // Energetika. Ekologija. Ljudina: mizhnar. Energoekologichnij kongres, 27-28 ber. 2003r.: praci. – Kiïv, 2003. – S. 208 – 212.
12. Pop G. S. Ekologichno-spriyatlivi dzherela energii, mastil'ni materialy i poverhnevo-aktivni rehovini na roslinnij osnovi / G. S. Pop, L. Ju. Bodachivska // 1-j Vseukraïns'kij z'ïzd ekologiv: mizhnarodna naukovopraktichna konferencija: zb. materialiv. – Vinnicja: VNTU, 2006. – S. 149 – 152.
13. Antifrikcijni vlastivosti polikomponentnih kompozicij na osnovi himichnomodifikovanoï ripakovoï olivi pid chas mashhennja pari aromaticnij poliamid – stal' / G. O. Sirenko, L. Ja. Midak, O. V. Kuzishin, L. M. Kirichenko, V. I. Kirichenko // Polimernij

zhurnal. – 2008. – Т. 30, № 4. – S. 338 – 344.

14. Sirenko G. Roslinni olivi jak al'ternativni mastil'ni materiali i prisadki / G. Sirenko, O. Sav'jak // Visnik Prikarpat. un-tu im. Vasilja Stefanika. Serija: Himija. – 2002. – Т. III. – S. 117 – 141.

15. Kirichenko V. I. Triboaktivacija himichnih procesiv u novih visokoefektivnih kompozicijah / V. I. Kirichenko, G. O. Sirenko, L. M. Kirichenko // Naukomistki tehnologii podvijного priznachennja: tezi dopov. nauk.-prakt. konf. – 1994. – S. 76.

16. Sirenko G. O. Stvorennja mastil'nih materialiv na osnovi sul'fidovanoï oksietil'ovanoï ripakovoï olivi / G. O. Sirenko, O. L. Sav'jak // Desjata ukraïns'ka konferenciï z visokomolekuljarnih spoluk: tezi dopov. – 2004. – S.162.

17. Sirenko G O. Optimizacija tehnologii mastil'nih materialiv na osnovi himichno-modifikovanoï ripakovoï olivi / L. M. Kirichenko, G. O. Sirenko // Naukovij zbirnik □«Vseukr. nauk. ta prof. tov-va im. M. Mihnov's'kogo». – 1998. – № 8. – S. 40 – 47.

18. Kirichenko L. M. Racional'nij metod optimizacii novih mastil'nih kompozicij / L. M. Kirichenko, G. O. Sirenko, V. I. Kirichenko, V. P. Sviders'kij // Racional'nij eksperiment u materialoznavstvi: materiali 39-go Mizhnarod. seminaru po modeljuvannju ta optimizacii kompozitiv. – 2000. – S. 54 – 55.

19. Kirichenko V. I. Vitchiznjani mastil'ni materiali: novi bazovi komponenti dlja jakisnih mastil'nih kompozicij / V. I. Kirichenko, L. M. Kirichenko, G. O. Sirenko, V. P. Sviders'kij // Znosostijkist' i nadijnist' vuzliv tertja mashin: mizhnarod. nauk.-tehn. konferenc.: tezi dopov. – 2001. – S. 49 – 51.

20. Fuks I. G. Jekologicheskie aspekty ispol'zovanija topliv i smazochnyh materialov rastitel'nogo i zhivotnogo proishozhdenija / I. G. Fuks, A. Ju. Evdokimov, A. A. Dzhamalov // Himija i tehnologija topliv i masel. – 1992. – № 6. – S. 36 – 38.

21. Evdokimov A. Ju. Smazochnye materialy na osnove rastitel'nyh i zhivotnyh zhirov / A. Ju. Evdokimov, I. G. Fuks, L. N. Bagdasarov. – M.: CNIITJeIMS, 1992. – 47 s.

22. Evdokimov A. Ju. Jekologicheskaja bezopasnost' primenenija topliv i smazochnyh materialov na baze rastitel'nogo syr'ja / A. Ju. Evdokimov, I. G. Fuks, I. R. Oblashhikova // Zashhita okružhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. – 2005. – №3. – S.28 – 30.

23. Krachun A. T. Issledovanie smazochnyh svojstv nekotoryh rastitel'nyh masel / A. T. Krachun, V. U. Morar', S. V. Krachun // Trenie i iznos. – 1990. – Т. 11, №5. – S. 929 – 932.

24. V. A. Vojtov. Tribologichni vlastivosti tehnicnih oliv na bazi sonjashnikovoï ta ripakovoï oliv / V. A. Vojtov, A. G. Kravcov // Problemi tribologii. – 2011. – № 4. – S. 87 – 91.

25. Vojtov V. Perspektivy ispol'zovanija rastitel'nyh masel dlja izgotovlenija smazochnyh materialov i rabochih zhidkостей // V. Vojtov, A. Kravcov, I. Sysenko // Motrol. – vol. 15, № 7. – 2013. – S. 56-63.

26. Kravcov A.G. Pidvishhennja znosostijkosti tribosistem gidromashin vikoristannjam robochih ridin roslinnogo pohodzhennja» : avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk : spec. 05.02.04 «Tertja ta znoshuvannja v mashinah» / A.G. Kravcov. – Harkiv, 2013. – 20 s.

27. Oblashhikova I. R. Issledovanie rapsovogo masla v kachestve osnovy al'ternativnyh smazochnyh materialov: dis. ... kandidata tehn. nauk: 05.17.07 / Oblashhikova Irina Rudol'fovna. – M., 2004. – 104 s.

28. Vojtov V. A. Integral'nyj kriterij ocenki tribologicheskikh svojstv smazochnyh materialov na chetyrehsharikovoj mashine / V. A. Vojtov, A. V. Levchenko // Trenie i iznos. – 2001. – Т. 22, № 4. – S. 441 – 447.

29. Perez, J. M. et al. «Characterization of Tricresylphosphate Lubricating Films by Micro-Fourier Transform Infrared Spectroscopy.» Tribology Transactions. Jan. 1990: 131-

139.

30. Zaslavskij Ju. S. Tribologija smazocnyh materialov / Zaslavskij Ju. C. – М. : Хімія, 1991. – 240 s.

31. Lihtman V. I. Fiziko-himicheskaja mehanika materialov / Lihtman V. I., Shhukin E. D., Rebinder P. A. – М. : Izd-vo AN SSSR, 1962. – 269 s.