

УДК 621.892.31+621.89.017

**В. В. Терентьев, О. Б. Аكوпова<sup>1</sup>, А. М. Баусов, И. М. Галкин, А. В. Твердов, И. А. Телегин**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. акад. Д. К. Беляева,  
ул. Советская, 45, 153012 Иваново, Россия. E-mail: vladim-terent@yandex.ru

<sup>1</sup>НИИ наноматериалов, Ивановский государственный университет,  
ул. Ермака, 39, 153025 Иваново, Россия. E-mail: akopov@dsn.ru

*Представлены результаты экспериментальных исследований по модифицированию растительных масел, синтезу и изучению трибологических свойств смазочных материалов на растительной основе. Приведены результаты по окислению подсолнечного масла и получению экологических смазочных материалов путем механохимического алкоголиза рапсового масла. Установлено, что эти процессы позволяют получать экологические смазочные материалы с существенно улучшенными триботехническими показателями. Найдено, что для интенсификации процессов переэтерификации при проведении механохимического алкоголиза и получении модифицированного смазочного материала целесообразно использовать кислотные катализаторы. У такой смазки коэффициент трения снижается на 12 %, а износ на 31 %.*

**Ключевые слова:** окисление, растительное масло, синтез, катализатор, присадка, коэффициент трения, износ.

**V. V. Terentyev, O. B. Akopova<sup>1</sup>, A. M. Bausov, I. M. Galkin, A. V. Tverdov, I. A. Telegin**

## **STUDY OF TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LUBRICANTS BASED ON VEGETABLE RAW MATERIALS**

Ivanovo State Agricultural Academy named after acad. D. K. Belyaeva,  
Soviet str., 45, 153012 Ivanovo, Russia

<sup>1</sup>Nanomaterials Research Institute, Ivanovo State University,  
Ermak str., 39, 153025 Ivanovo, Russia. E-mail: akopov@dsn.ru

*We present the results of experimental studies on the modification of vegetable oils, synthesis and study of the tribological properties of plant-based lubricants. We show the results of sunflower oil oxidation and of making «greener» lubricants by mechanochemical alcoholysis of rapeseed oil. We have found that these processes allow obtaining eco lubricants with significantly improved tribological characteristics. We also have found that for the intensification of the transesterification process during the mechanochemical alcoholysis and the modified lubricant production, it is advisable to use acid catalysts. The friction of such lubricant reduces by 12 % and the wear by 31 %.*

**Key words:** oxidation, vegetable oil, synthesis, catalyst, additive, coefficient of friction, wear.

В настоящее время во всем мире наметилась тенденция к росту использования растительного сырья в качестве основы для смазочных материалов узлов трения машин и оборудования [1, 2]. Это связано с повышением экологических требований к оборудованию, используемому как в сельском хозяйстве, так и в промышленности [3].

Однако в чистом виде растительные масла в узлах трения практически не используются. Это вызвано недостаточно высокими их вязкостно-температурными характеристиками.

При этом в масло, нагретое до температуры 90–150 °С, в течение нескольких часов подается воздух. Это позволяет привести к искусственному старению масла.

В результате процесса окислирования образуются олигомеры триглицеридов с повышенным содержанием активных кислородсодержащих групп, приводящих при трении к улучшению триботехнических свойств. Очевидно, что интенсифицировать процесс окислирования можно за счет подачи в масло не воздуха, а чистого кислорода при небольшом давлении.

Проведенные исследования показывают, что окислирование кислородом растительных масел позволяет улучшить не только антифрикционные, но и противоизносные свойства масла. Такие масла с успехом можно использовать в дальнейшем в элементах трансмиссии автотракторной техники.

Триботехнические исследования проводились на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «неподвижный шар – вращающийся диск». Частота вращения диска составляла 500 мин<sup>-1</sup>, пробег при каждом испытании составлял 5 км. Усилие прижатия шара к диску составляло 200 Н. Материал шара – сталь ШХ-15, диска – сталь 45 ГОСТ 1050. При испытаниях контролировался момент трения (который в дальнейшем пересчитывался в коэффициент трения), износ шара, износ диска, а также температура смазки на выходе из зоны трения. Износ контролировался по площади пятна износа на шаре, износ диска контролировался по ширине канавки после испытания. Для измерения износа использовался микроскоп МБУ-4.

На рис. 1, 2 в качестве примера представлены результаты определения антифрикционных и противоизносных свойств подсолнечного масла.

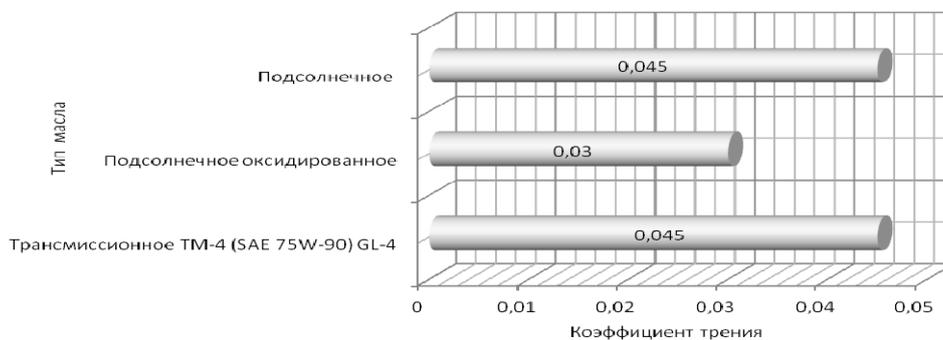


Рис. 1. Результаты антифрикционных исследований подсолнечного масла

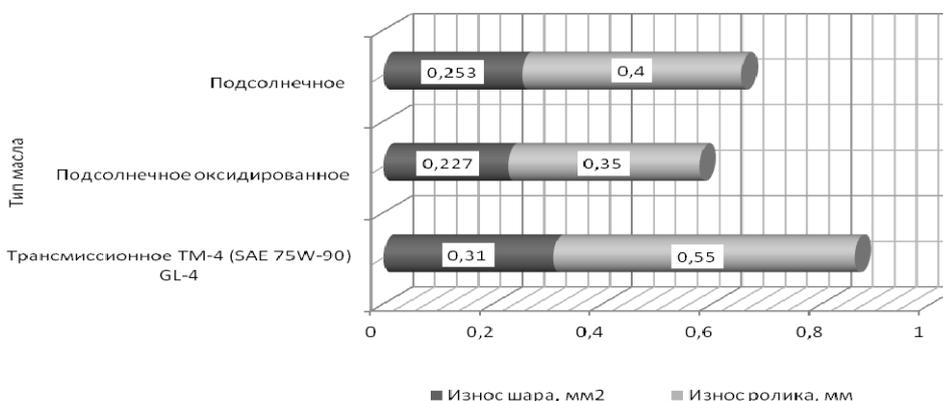


Рис. 2. Результаты определения износа пары трения в присутствии испытуемых смазок

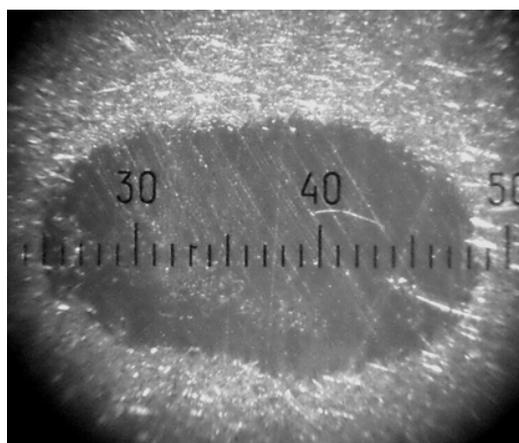
Как следует из рис. 1, 2, оксидирование позволяет значительно улучшить как антифрикционные, так и противоизносные характеристики растительных масел. При этом за счет более прочной масляной пленки, образующейся на поверхностях при трении, полученный смазочный материал является более эффективным по сравнению с серийным трансмиссионным маслом.

Представленные на рис. 3 фотографии поверхностей шара после трения в присутствии подсолнечного оксидированного масла (рис. 3, а) и трансмиссионного масла ТМ-4 (SAE 75W-90) GL-4 показывают, что пятно износа в первом случае имеет четкие края по сравнению с серийным трансмиссионным (рис. 3, б). При этом на рис. 3, б видны

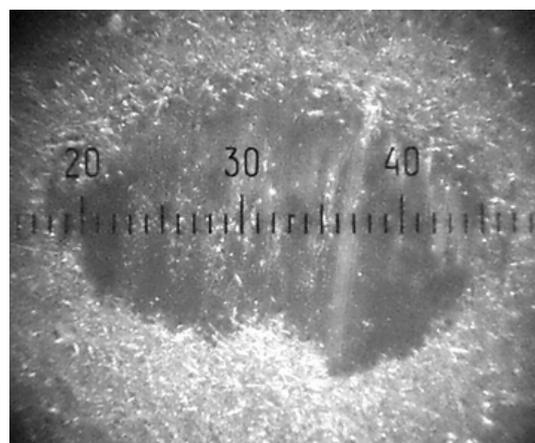
четко выраженные борозды, что свидетельствует о неспособности смазочного материала при трении эффективно разделять трущиеся поверхности.

В итоге применение таким образом оксидированного нами растительного масла позволит снижать механические потери при трении в коробках перемены передач за счет высоких антифрикционных характеристик и повысить ресурс деталей за счет улучшения противоизносных характеристик.

Кроме вышеуказанных способов модифицирования растительных масел, можно использовать растительные масла как основу для получения эффективных смазочных материалов для элементов трансмиссии тракторов и автомобилей.



а



б

Рис. 3. Фотографии пятна износа на шаре после трения (увеличение в 56 раз).  
а – подсолнечное оксидированное, б – трансмиссионное ТМ-4 (SAE 75W-90) GL-4

Получать смазочные материалы из компонентов растительного происхождения на сегодняшний момент можно также различными методами переэтерификации [3, 4]. Переэтерификацией жиров растительного происхождения называется реакция обмена структурных элементов триглицеридов (глицерина и жирных кислот).

Различают 4 способа проведения процесса переэтерификации жиров [4]: межмолекулярная переэтерификация; внутримолекулярная переэтерификация; ацидолиз и алкоголиз.

Межмолекулярная и внутримолекулярная переэтерификация широко применяются на сегодняшний момент для модификации жиров в

пищевой и жироперерабатывающей промышленности.

Перспективным методом получения экологичных смазочных материалов является алкоголиз. При этом процесс протекает путем обмена радикалами между триглицеридом и спиртом. Данный процесс может протекать как в присутствии катализатора, так и без него. На сегодняшний момент данный процесс применяют для получения эфиров жирных кислот, эмульгаторов, загустителей, глицерина, жирных спиртов, используемых в фармацевтике, а также для получения биотоплива. В основном применяется процесс алкоголиза, протекающий химическим способом.

С другой стороны, переэтерификацию растительных масел можно осуществлять посредством механохимического алкоголиза, который и был применен в наших дальнейших исследованиях.

В качестве объекта изучения было выбрано рапсовое масло. Выбор масла определялся его доступностью (рапс выращивается во многих сельскохозяйственных предприятиях Центральной Нечерноземной зоны РФ), а также определенными характеристиками самого масла.

Механохимический синтез осуществлялся в измельчителе ударно-отражательного действия.

Необходимые параметры для протекания реакции (давление, температура и т. п.) обеспечивались эксплуатационными режимами работы измельчителя.

Известно, что наибольшая глубина процесса алкоголиза протекает при использовании метанола [4], однако ввиду его токсичных свойств он был заменен нами на этиловый спирт.

Изучались триботехнические характеристики полученных продуктов алкоголиза рапсового масла, протекающего как в присутствии кислотного катализатора, так и без него (рис. 4, 5).

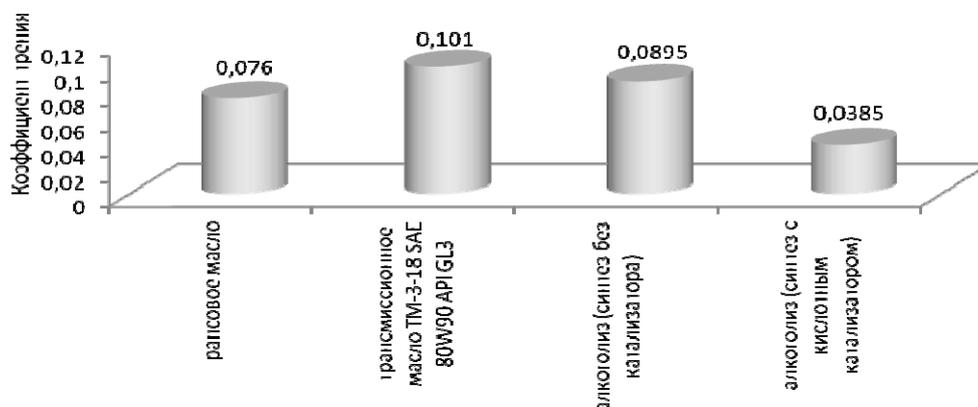


Рис. 4. Коэффициент трения в зависимости от природы испытываемых масел



Рис. 5. Результаты определения интенсивности изнашивания неподвижного образца (шара) в присутствии полученных продуктов алкоголиза

Таким образом, как свидетельствуют представленные на рис. 4, 5 зависимости, для продуктов алкоголиза, проводимого в присутствии кислотного катализатора, *износ* элементов пары трения оказался ниже на 31 % по сравнению с продуктом алкоголиза, полученным без катализатора (при этом интенсивность изнашивания шара оказалась на уровне интенсивности изнашивания шара в присутствии серийного трансмиссионного масла). *Коэффициент трения* также оказался ниже на 12 %.

Следовательно, полученные смазочные материалы на основе рапсового масла можно использовать не только как самостоятельный смазочный материал, но и как антифрикционные присадки к серийным маслам.

Лучшие характеристики смазки, полученной в присутствии кислотного катализатора, обусловлены более интенсивным процессом переэтерификации.

Улучшение триботехнических характеристик полученных материалов по сравнению с исходным маслом связано с увеличенной в процессе переэтерификации возможностью образовывать на поверхности трения более прочный слой смазки за счет наличия в ней частично омыленных эфирных связей и формирования на поверхности трения жидкокристаллических ансамблей.

Таким образом, можно отметить, что механохимический алкоголиз позволяет получать высокоэкологичные эффективные смазочные материалы для узлов трения машин и оборудования. При этом для интенсификации процессов переэтерификации целесообразно использовать кислотные катализаторы.

#### Список литературы / References

1. Левин Я. А., Башинова В. М. // Тез. докл. II Всерос. конф. «Химия и технология растительных веществ». Казань, 24–27 июня 2002. С. 79.
2. Облащикова И. Р. Исследование рапсового масла в качестве основы альтернативных смазочных материалов : дис. ... канд. техн. наук. М. : РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004.
3. Евдокимов А. Ю. // Наука и технология в промышленности. 2011. № 3. С. 105–108.
4. Черваков О. В., Филлинская Т. Г., Копитон В. О. Способы переэтерификации жиросодержащего сырья методом алкоголиза // Вопросы химии и химической технологии. 2009. № 4. С. 72–79.

Поступила в редакцию 19.03.2014 г.