

дет достигнуто номинальным, а пульсации величины перегрева паров хладагента прекратятся.

Список использованных источников

1. Котзаогланиан, П. Пособие для ремонтника. Справочное руководство по монтажу, эксплуатации, обслуживанию и ремонту современного оборудования холодильных установок. – АНОО «Остров», 2007. – 826 с.

2. Диагностика работы малых холодильных компрессоров: учеб. пособие/ Б.С. Бабакин, В.А. Выгодин, В.Н. Кулагин – Рязань: «Узорочье», 2001. – 302 с.

УДК 621.891

ОЦЕНКА ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

*Войтов В.А., д.т.н., профессор; Кравцов А.Г., ст. преподаватель
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, г. Харьков, Украина*

Смазочные материалы и рабочие жидкости являются неотъемлемой составляющей как простых подвижных узлов и механизмов, так и сложных силовых агрегатов, таких как ДВС, объемных гидроприводов и др. Смазочные материалы должны обладать набором эксплуатационных показателей, которые необходимы для выполнения ряда функций, обеспечивающих надежную работу агрегата. Современные масла и рабочие жидкости в полной мере удовлетворяют всем эксплуатационным требованиям, но, все же, имеют ряд недостатков: во-первых, подавляющее большинство из них изготовлены на базе нефти, количество которой ежегодно сокращается, а, соответственно, стоимость нефтепродуктов растет. Во-вторых, смазочные материалы на основе нефти являются достаточно токсичными и несут большую нагрузку на окружающую среду. Исходя из выше сказанного вытекает необходимость в создании новых альтернативных смазочных материалов, которые владели бы всеми эксплуатационными свойствами, присущими нефтяным, и могли бы устранить их недостатки.

Хорошей альтернативой нефтяным и синтетическим смазочным материалам могут быть масла и рабочие жидкости, изготовленные на базе растительных масел. Данным направлением занимаются зарубежные ученые: например, в США недавно открыт мощный завод по переработке сои в технические рабочие жидкости. В странах ЕС, а именно, в Германии, разработаны технологии и налажено производство индустриальных и трансмиссионных масел из рапсового масла [1–5]. Этой проблемой занимаются

также и в республике Молдова. Необходимо отметить работы, которые ведутся в Российской Федерации. Среди ведущих научных исследований России можно отметить МГАУ им. В.П. Горячкина и работы И.Г. Фукса при РГУ Нефти и Газа [6]. Учитывая мировой опыт в использовании растительных масел в качестве смазочных материалов, можно сказать, что и для Украины это направление является перспективным и необходимым для улучшения, в первую очередь, экологического состояния окружающей среды и снижения зависимости от импорта нефти и нефтепродуктов. Исследования по применению рапсового масла в производстве гидравлических, промышленных и трансмиссионных масел проводились на базе завода технических масел «Ариан» [7]. Подобными исследованиями также занимается УкрНИИ НП «МАСМА». Достаточно продуктивно идут исследования на базе Института биорганической химии и нефтехимии НАН Украины под руководством доктора химических наук Г.С. Поп [8–10]. Активная работа проводится на базе Прикарпатского национального университета им. Василия Стефаника под руководством Г.А. Сиренко [11–13]. По данной проблематике ведутся работы в Хмельницком национальном университете [14, 15]. Институтом растениеводства им. В.Я. Юрьева УААН селекционными методами выведены новые гибриды подсолнечника с генетически измененным жирнокислотным составом олеинового типа и рапса с высоким содержанием олеиновой кислоты. Масло этих культур может быть сырьем для изготовления экологически безвредных рабочих жидкостей и технических масел.

Целью данной работы является оценка трибологических и эксплуатационных свойств рабочих жидкостей на основе растительных масел, а именно физико-механических и трибологических показателей рабочих жидкостей на базе высокоолеиновых подсолнечного и рапсового масел по сравнению с товарными нефтяными и синтетическими.

Для достижения поставленной цели были отобраны масла на базе подсолнечного и рапсового масел с высоким содержанием олеиновой кислоты, выведенных селекционными методами на базе Института растениеводства им. В.Я. Юрьева НААН Украины. Для сравнения были взяты несколько образцов подсолнечного масла, соевое, касторовое и оливковое масла, а также рабочие жидкости нефтяного и синтетического происхождения, и рабочая жидкость на базе рапсового масла всемирно известного производителя смазочных материалов Shell HF-R. Рабочие жидкости на базе растительных масел для удобства написания были обозначены кодовыми названиями: на базе подсолнечного масла – X-526, MX-1008 B, Рюрик F₁, X-782; на базе рапсового – P (0:0); соя C-1, касторовое P-1, оливковое O-1. Жирнокислотный состав масел приведен в таблице 1.

Все исследования проводились в сравнении с существующими и достаточно распространенными смазочными материалами нефтяного и синте-

гического происхождения. Определение физико-механических показателей, таких как кинематическая вязкость, индекс вязкости, температура вспышки в открытом тигле, плотность, коррозионная стойкость на медной пластинке, температура застывания и термоокислительная стабильность, существенно влияющих на работу агрегата, проводились в соответствии с действующими стандартами и методиками. Полученные результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 1 – Жирнокислотный состав растительных масел

Содержание жирных кислот, % от общей суммы	Культура							
	Подсолнечник				Рапс	Соя	Касторовое масло	Оливковое масло
	МХ-1008 В	Рюрик F ₁	X-526	X-782	P(0:0)	C-1	P-1	O-1
Пальмитиновая	12,3	5,2	3,6	7,7	3,9	6	1,7	11,43
Пальмитолеиновая	1,1	0,1	0,2	0,7	0,2	-	-	0,82
Стеариновая	2,7	4,0	3,3	3,7	2,0	3,5	1,7	2,27
Олеиновая	24,3	34,7	88,8	25,8	65,3	32,5	4,6	77,05
Линолевая	58,7	55,0	2,2	61,1	19,0	50,3	6,4	6,63
Линоленовая	0,1	0,2	0,2	0,2	8,6	7,7	1,2	0,57
Эйкозановая	0,2	0,2	0,5	0,2	0,37	-	-	0,26
Бегеновая	0,6	0,6	1,0	0,6	0,28	-	-	0,11
Эруковая	-	-	-	-	0,35	-	-	0,4
Рициновая	-	-	-	-	-	-	84,4	-

МГЕ-46В – рабочая жидкость нефтяного происхождения, которая предназначена для объемных гидроприводов сельскохозяйственной и другой техники группа HM по ISO. ТУ 38.001347-83.

Shell Naturelle Fluid HF-R – биологически безвредная рабочая жидкость на базе глубоко очищенного рапсового масла и присадок. Предназначена для гидравлических силовых систем, рассчитанных на использование минеральных масел класса вязкости ISO 22-68.

Shell Naturelle Fluid HF-E 46 – биологически безвредная рабочая жидкость высшего качества на основе синтетических сложных эфиров с композицией высокоэффективных присадок. Предназначена для гидравлических систем наземных механизмов трансмиссий и приводов, работающих в зонах, чувствительных к загрязнению окружающей среды. DIN 51524-2/3 HLP / HVLP.

Лабораторные исследования по определению трибологических характеристик проводились в специализированной трибологической лаборатории в соответствии со всеми требованиями ГОСТ 9490-75 [16] на четырехшариковой машине трения (ЧШМ). Полученные результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика рабочих жидкостей по физико-механическим показателям

Показатель	Название рабочей жидкости										
	Нефтяная	Синтетическая	На базе растительных масел								
			MFE-46B	Shell HF-E 46	Shell HF-R	X-526	P(0:0)	MX-1008B	Рюрик F ₁	X-782	C-1
Вязкость кинематическая при 40/100°C мм ² /с ГОСТ 33-82	41,4-50 6	46 9,1	35 8.1	42 8.9	37,1 9.1	41,5 8,1	39 8	40 8,6	44 8,5	47,2 9,5	39,1 8,3
Индекс вязкости ГОСТ 25371-82	50 - 90	150	162	153	165	146	150	155	146	150	154
Температура вспышки, в открытом тигле, °С ГОСТ 4333-87	190	219	186	225	230	220	225	222	225	275	205
Плотность, кг/м ³ при 15°C согласно ГОСТ 51069-97	985	919	925	913	919	917	915	915	925	970	918
Коррозионная стойкость на медной пластине согласно ГОСТ 6321-92	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a
Температура застывания, °С	-32	-51	-36	-20	-10	-18	-19	-19	-15	-16	-6
Термоокислительная стабильность по методу Папок ГОСТ 23175-78, минут не меньше	19	29	27	24	25	18	19	21	22	21	26

Таблица 3 – Сравнение трибологических характеристик рабочих жидкостей

Название рабочей жидкости	Трибологические характеристики согласно ГОСТ 9490-75		
	D _т (мм)	P _к (Н)	P _з (Н)
Нефтяная MFE-46B	0,43	490	1568
Синтетическая Shell HF-E 46	0,40	784	1568
Биологического происхождения Shell HF-R	0,42	784	1568
Растительные X-526	0,41	617	1568
P(0:0)	0,44	784	1568
MX-1008 B	0,49	617	1568
Рюрик F ₁	0,51	617	1568
X-782	0,54	617	1568
C-1	0,62	617	1568
P-1	0,52	617	1568
O-1	0,49	617	1568

С помощью четырехшариковой машины трения (ЧШМ) можно определить следующие показатели, характеризующие смазывающие свойства масел:

– D_i (мм) – диаметр пятна износа, который является средним диаметром пятен износа нижних неподвижных шариков;

– P_K (Н) – критическая нагрузка, которая характеризует пределы работоспособности поверхностно-активных веществ (ПАВ), находящихся в смазочном материале. Перечисленные выше показатели характеризуют противозносные свойства смазочного материала;

– P_C (Н) – нагрузка сваривания, характеризующая наличие в смазочном материале противозадирные свойства в виде химически активных веществ (ХАВ), пределы работоспособности смазочной среды в целом.

На рисунке 1 показано среднеквадратическое отклонение противозносного показателя D_i , который, в свою очередь, является корнем квадратным из дисперсии полученных результатов на ЧШМ, и характеризует на сколько стабильно ведут себя рассматриваемые растительные масла.

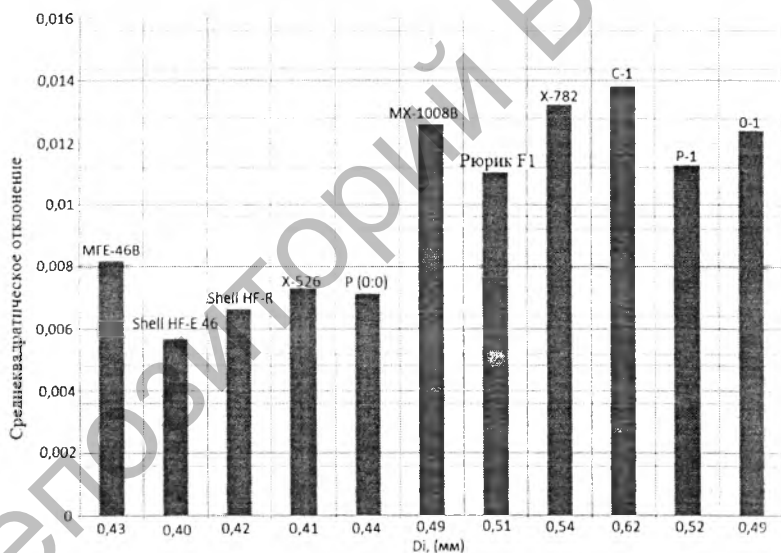


Рис. 1. Зависимость среднеквадратического отклонения противозносного показателя D_i

Из таблицы 3 и рисунке 1 видно, что растительные масла: подсолнечные (Рюрик F₁, MX-1008 B, X-782), соевое, касторовое и оливковое по своим физико-механическим свойствам уступают нефтяному и синтетическому по противозносным показателям. Таким образом для дальнейших исследований были выбраны следующие базовые растительные масла в качестве рабочих жидкостей: подсолнечное X-526 и рапсовое P (0:0).

Рабочие жидкости на базе растительных масел олеинового типа Х-526 и Р (0:0) по своим физико-механическим и трибологическим характеристикам не уступают существующим товарным нефтяным и синтетическими рабочим жидкостям, а в некоторой степени даже превосходят.

Исследования по определению скорости изнашивания проводились по схеме «кольцо-кольцо», форма и размеры образцов для модельных триботехнических испытаний соответствовали требованиям ГОСТ 30480-97 [17] с коэффициентом взаимного перекрытия $K_{B3}=0,2$. Испытания проводились при нагрузке 2000Н в течение 240 мин с предварительной приработкой образцов [18, 19]. Скорость вращения приводного вала машины трения составляла 400 мин⁻¹, что обеспечивало скорость скольжения $v = 0,5$ м/с. В качестве смазочной среды были использованы опытные образцы рабочих жидкостей на базе подсолнечного и рапсового масел олеинового типа по сравнению с товарной рабочей жидкостью нефтяного происхождения МГЕ-46В ТУ38.001347-83 и рабочими жидкостями известного производителя Shell. В качестве исследуемых трибосистем были выбраны следующие: обратная трибосистема по материалам (сталь – латунь); прямая трибосистема (латунь – сталь); обратная трибосистема по материалам и геометрии (латунь – чугун). Материалы, из которых были изготовлены опытные образцы трибосистем, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Материалы, из которых были изготовлены образцы модельных трибосистем

Материал	Твердость
Сталь 40 ХФДА – ТУ 14-143-498-97	52-56 HRC
Латунь ЛМцСКА 58-2-2-1-1 ТУ 48-21-356-74	HRB>80
Латунь ЛМцЛНС 58-3-1,5-1,5-1 ТУ 184570-106-037-97	HRB>80
Сталь ШХ15СГ-О-ОГ ГОСТ 801-78	56-62 HRC
Латунь ЛМцСКА 58-2-2-1-1 ТУ 48-21-356-74	HRB>80
ВЧ 500-3 ДСТУ 3925-99	50 -56 HRC

Вычисление полученных результатов выполнялось с помощью методов математической статистики [22]. Точность определения скорости износа модельных трибосистем по выбранной методике подсчитывалось с помощью формул теории случайных погрешностей. По результатам пяти параллельных исследований погрешность составила 6%.

Результаты определения скорости изнашивания модельных трибосистем при использовании в качестве смазочного материала рабочих жидкостей на базе высокоолеинового подсолнечного и рапсового масел в сравнении с товарной нефтяной, синтетической и биологически безвредной на базе рапсового масла показаны на рисунках 2–4.

Из результатов, приведенных в таблице 2 видно, что рабочие жидкости на базе растительных масел обладают достаточно хорошими физико-механическими показателями и, по некоторым из них, даже превосходят существующие нефтяные рабочие жидкости и синтетические, например,

по значению индекса вязкости. Это, в свою очередь, влияет на уменьшение потерь энергии на преодоление трения, возникающего между слоями рабочих жидкостей или масел при пуске агрегата в холодный период эксплуатации, а, соответственно, значительно уменьшается расход топлива.

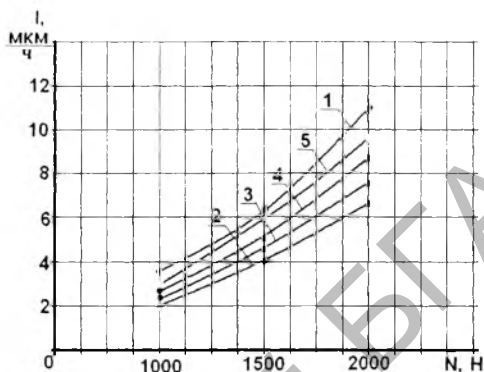


Рис. 2. Скорость изнашивания прямой трибосистемы:
1 – MGE – 46B; 2 – Shell HF-E 46; 3 – Shell HF-R; 4 – X-526; 5 – P (0:0)

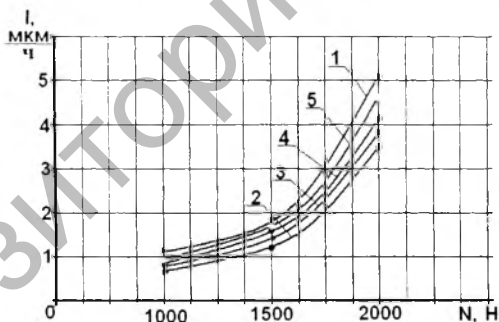


Рис. 3. Скорость изнашивания обратной трибосистемы по материалам:
1 – MGE – 46B; 2 – Shell HF-E 46; 3 – Shell HF-R; 4 – X-526; 5 – P (0:0)

Что касается температуры вспышки и плотности, то эти показатели почти одинаковы и различаются в пределах 5–7%. Из испытания на медной пластинке видно, что все рабочие жидкости мало агрессивны по отношению к цветным металлам. Это является достаточно весомым показателем, так как основные трибосистемы объемных гидроприводов изготовленные из цветных металлов. Растительные масла уступают по показателю температуры застывания, но это не является критическим, так как корректируется введением соответствующих присадок. Также достаточно весомым показателем масел и рабочих жидкостей биологического происхождения явля-

ется то, что они менее подвержены образованию лаковых отложений и максимально приближены к высококачественным синтетическим.

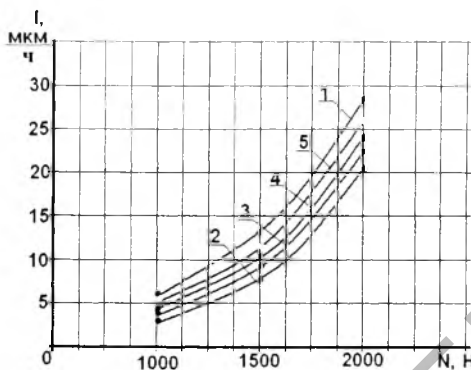


Рис. 4. Скорость изнашивания обратной трибосистемы по материалам и геометрии.
1 – МГЕ – 46В; 2 – Shell HF-E 46; 3 – Shell HF-R; 4 – X-526; 5 – P (0:0)

Из таблицы 3 видно, что по трибологическим характеристиками рабочие жидкости на базе подсолнечного и рапсового масел почти не уступают высококачественным и дорогим синтетическим и подобным биологически безвредным на базе рапсового масла. Но следует отметить, что производитель Shell вводит в состав своих рабочих жидкостей мощный пакет противоизносных и других функциональных присадок. По сравнению с товарной нефтяной рабочей жидкостью МГЕ-46В рабочие жидкости на базе растительных масел превосходят по противоизносным свойствам, которые характеризуются диаметром пятна износа (D_I), и по показателю критической нагрузки (P_K). Такую смазывающую способность масел и рабочих жидкостей на базе растительных масел можно объяснить наличием высокого содержания молекул олеиновой кислоты, которая, в свою очередь, является достаточно мощным поверхностно-активным веществом (ПАВ) и вводится в качестве присадки в нефтяные и синтетические масла.

Результаты по скорости изнашивания трибосистем, показанные на рисунках 2–4, свидетельствуют о том, что рабочие жидкости на базе подсолнечного и рапсового масел с высоким содержанием олеиновой кислоты в полной мере могут конкурировать с высококачественными синтетическими и биологически безвредными рабочими жидкостями, а по сравнению с нефтяной МГЕ-46В несколько превосходят. Например, при использовании рабочей жидкости X-526 скорость изнашивания обратной трибосистемы по материалам уменьшается на 14,6%, прямой трибосистемы на 14,7%, обратной трибосистемы по материалам и геометрии на 15,4%. Эти резуль-

таты в дальнейшем с помощью физического моделирования и критерия подобия позволят спрогнозировать ресурс агрегата в целом.

Кроме положительных свойств рабочих жидкостей на базе растительных масел им присущи некоторые недостатки: способность к пенообразованию, что может привести к затруднению эксплуатации агрегатов с циркуляционной системой смазки. Также они подвержены окислению при хранении и в процессе эксплуатации. Однако эти недостатки можно устранить путем подбора необходимых функциональных присадок.

Использование биологически безвредных смазочных материалов на основе подсолнечного и рапсового масел с высоким содержанием олеиновой кислоты, прежде всего, позволит расширить сырьевую базу для изготовления смазочных материалов, уменьшить зависимость от импортируемых нефтепродуктов и улучшить экологическое состояние, что является сейчас весьма актуальным.

Список использованных источников

1. <http://www.bioschmierstoffe.info/>
2. <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/>. Kosten und Nutzen technischer Bioöle. 2007/2008
3. <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/>. Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie. 2007/2008
4. <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/>. Bioschmierstoffe. 2007/2008
5. <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/>. Bericht über biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe und Hydraulikflüssigkeiten. 2007/2008
6. Фукс, И.Г. Растительные масла и животные жиры – сырье для приготовления товарных смазочных материалов / И.Г. Фукс, А.Ю. Евдокимов, А.А. Джамалов, А. Лукса // Химия и технология топлив и масел. – 1992. – № 4. – С. 34–39.
7. <http://www.ukroil.com.ua>
8. Поп, Г.С. Масляні матеріали з рослинних олій // Хім. пром-сть України. – 2006. – № 5. – С. 22–29.
9. Поп, Г.С. Поверхнево-активні речовини та композиційні системи на основі рослинних олій і фосфатилів / Г.С. Поп, Л.Ю. Бодачівська, Р.Л. Вечерік // Хім. пром-сть України. – 2008. – № 3. – С. 33–37.
10. Поп, Г.С. Стан, перспективи виробництва та застосування палив і масляних матеріалів із рослинних олій // Катализ и нефтехимия. – 2003. – № 12. – С. 21–26.
11. Сіренко, Т.О. Масляна композиція Патент України на вихід № 18077А / Т.О. Сіренко, Л.М. Кириченко, В.П. Свідерській // Промислова власність. – 1997. – № 5.
12. Сіренко Г.О. 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 // Полімер. журн. – 2008. – Вып. 30. – № 4. – С. 338–344.
13. Сіренко, Г.О. Дослідження рослинних олій у якості масляних матеріалів / Г.О. Сіренко, О.Л. Сав'як // Полімер. журн. – 2006. – №1 (28). – С. 69–78.
14. Кириченко, Л.М. Тріботехнічні характеристики нових масляних композицій на основі хімічно модифікованої ріпакової оливи / Л.М. Кириченко, В.І. Кириченко, Т.О. Сіренко // Проблеми сучасного машинобудування. – Хмельницький, 1996. – С. 142.
15. Кириченко, В.В. Якісні масляні біоматеріали з технічних олій. Стан і перспективи переробки / О.М. Полумбрик, В.І. Кириченко // Хім. пром-сть України. – 2008. – № 3. – С. 9–18.

16. ГОСТ 9490-75. Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине. – М.: Изд-во стандартов, 1975.
17. ГОСТ 30480-97. Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1997.
18. Обеспечение износостойкости изделий. Метод оценки фрикционной теплостойкости материалов. ГОСТ 23.210–80. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 187 с.
19. Оксененко, А.Я. Насосы большой единичной мощности для КПО и уникального оборудования / [Оксененко А.Я., Харченко В.П., Дубнов И.Н., Жерняк А.И.]. – М.: ВНИИ-ТЭМР, 1987. – 73 с.
20. Чихос Х. Системный анализ в трибонике. – М.: Мир, 1982. – 352 с.
21. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин. / В.Д.Зозуля и др. – К.: Наук. думка, 1990. – 259 с.
22. Львовский, Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.

УДК 621.891

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВУХТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Войтов В.А., д.т.н., профессор; Сысенко И.И., аспирант

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, г. Харьков, Украина

Требования по снижению выброса вредных веществ в атмосферу в процессе работы двигателей внутреннего сгорания, а также снижения техногенной нагрузки на окружающую среду приводят к разработке смазочных материалов на базе растительных масел. Например, в Германии разработаны технологии и запущено производство промышленных и трансмиссионных масел из рапса, в США открыт мощный завод по выпуску технических масел из сои [1]. Как следует из работы [1], моторные масла на базе растительных масел могут выступать альтернативой маслам из нефти и синтетическим маслам для двухтактных двигателей.

При применении моторных масел для двухтактных двигателей на базе рапсового и подсолнечного масел встает вопрос о ресурсе всех трибосистем двигателя, и в первую очередь – цилиндрико-поршневой группы. При этом необходимо учитывать их способность препятствовать усталостному выкрашиванию (питтингу) подшипников качения. Коленчатый вал двухтактного двигателя устанавливается на радиально-упорных шариковых подшипниках, а нижняя головка шатуна у многих двигателей – на роликовых подшипниках. Влияние смазочного материала на процесс образования питтинга в подшипниках качения рассматривается в работах [2, 3].