

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 – цилиндра-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].

Анализ конструкции двухтактного двигателя позволяет сделать вывод, что смазка подшипников коленчатого вала и нижней головки шатуна осуществляется масло-бензиновой смесью (1:50) в режиме «масляного голодания», что может неоднозначно повлиять на процесс усталостного выкрашивания беговых дорожек и тел качения.

Цель исследований – выполнить физическое моделирование скорости изнашивания трибосистем двухтактного двигателя бензопилы и оценить ресурс при использовании рапсового и подсолнечного масел взамен минеральных и синтетических, а также оценить способность моторных масел различного состава препятствовать возникновению усталостных трещин в подшипниках качения.

Методический подход в проведении исследований. Особенностью лабораторной модели при физическом моделировании трения и изнашивания является ее одинаковая природа с натурным объектом, т.е. необходимо применять одинаковые схемы контакта, материалы трибоэлементов, смазочные среды.

Автором работы [4] разработана методика физического моделирования процессов трения и изнашивания, где по результатам лабораторных испытаний можно определять скорость изнашивания и силу трения у натуральных трибосистем.

В качестве исследуемых моторных масел для двухтактных двигателей были выбраны следующие масла:

1. Минеральное масло Такт-2Т, вязкость $6...8 \text{ мм}^2/\text{с}$ при $100 \text{ }^\circ\text{C}$. По классификации API-TA (для двигателей объемом до 50 см^3).

2. Полусинтетическое масло ПУСК-2Т, вязкость $8...10 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 100°C . По классификации API-TB (для двигателей объемом до 200 см^3).

3. Синтетическое масло ELF MOTO 2XT Tech, вязкость $10 \text{ мм}^2/\text{с}$. По классификации API-TC (для высоконагруженных двигателей мотоциклов, снегоходов).

4. Рапсовое масло с присадкой органического происхождения (экологически биоразлагаемое масло), вязкость $8...10 \text{ мм}^2/\text{с}$ при $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

5. Подсолнечное масло с присадкой органического происхождения (экологически биоразлагаемое масло), вязкость $8...10 \text{ мм}^2/\text{с}$ при $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Выбранная группа растительных масел обоснована в работе [1].

Модельные трибосистемы по схеме кольцо-кольцо были выполнены из однотипных материалов, что и у природы (двигателя), а также были соблюдены схемы контакта (прямые и обратные трибосистемы).

Результаты лабораторных испытаний модельных трибосистем представлены в таблице 1.

Перерасчет результатов лабораторных модельных трибосистем на натурные трибосистемы двигателя бензопилы производства «Моторсіч» по методике, изложенной в работе [4], представлен в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты испытаний модельных трибосистем

Скорость изнашивания $I_{из}$, мкм/ч	Смазочная среда				
	Такт-2Т	Пуск-2Т	ELF мото 2ХТ Tech	Рапсовое +П	Подсол-печное +П
Трибосистема кольцо-кольцо $K_{физ}=3,4$ 1/м Модель трибосистемы поршневое кольцо – гильза цилиндра	4,5	3,5	4,0	3,0	3,2
Трибосистема кольцо-кольцо $K_{физ}=11,32$ 1/м Модель трибосистемы поршень – гильза цилиндра	12,5	11,0	11,2	9,5	10,5
Трибосистема кольцо-кольцо $K_{физ}=6,81$ 1/м Модель трибосистемы поршневой палец – втулка головки шатуна	0,32	0,25	0,28	0,20	0,24

Таблица 2 – Результаты физического моделирования скорости изнашивания натуральных трибосистем двигателя бензопилы производства «Моторсич»

Скорость изнашивания $I_{из}$, мкм/ч	Смазочная среда				
	Такт-2Т	Пуск-2Т	ELF мото 2ХТ Tech	Рапсовое +П	Подсолпечное +П
Трибосистема поршневое кольцо – гильза цилиндра $K_{физ}=5,77$ 1/м	2,43	1,89	2,16	1,62	1,72
Трибосистема поршень – гильза цилиндра $K_{физ}=23,22$ 1/м	3,12	2,75	2,8	2,37	2,62
Трибосистема поршневой палец – втулка головки шатуна $K_{физ}=33,1$ 1/м	0,063	0,049	0,055	0,039	0,047

Зная скорость изнашивания натуральных трибосистем $I_{из}$, таблица 2, можно определить ресурс трибосистем в эксплуатации по формуле

$$R = \frac{h_{пред}}{I_{из}}, \text{ час}, \quad (1)$$

где $h_{пред}$ – предельно допустимый износ трибосистемы в эксплуатации, мкм.

Опыт эксплуатации бензопил производства «Моторсич» показывает, что предельно допустимый износ имеет следующие значения:

- трибосистема поршневое кольцо – гильза цилиндра – 750 мкм;
- трибосистема поршень – гильза цилиндра – 1000 мкм;
- трибосистема поршневой палец – втулка головки шатуна – 20 мкм.

С учетом значений предельного износа был рассчитан ресурс трибосистем двигателя бензопилы, результаты которого представлены в таблице 3.

Структура исследовательского комплекса для оценки противопиттинговых свойств масел представлена на рисунке 1.

Таблица 3 – Расчетные значения ресурса трибосистем двухтактного двигателя бензопилы

Ресурс, час	Смазочная среда				
	Такт-2Т	Пуск-2Т	G.I.F MOTO 2ХТ Tech	Рапсовое +П	Подсолнечное +П
Трибосистема поршневое кольцо – гильза цилиндра	308	396	347	462	436
Трибосистема поршень – гильза цилиндра	320	363	357	421	381
Трибосистема поршневой палец – втулка головки ша- туна	317	408	363	512	425

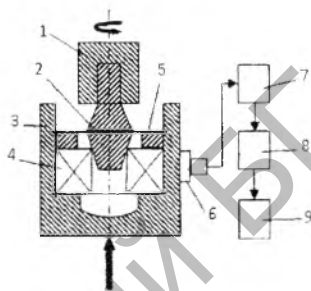


Рис. 1. Структура комплекса исследования противопиттинговых свойств масел на базе метода акустической эмиссии: 1 – шпиндель четырехшариковой машины; 2 – конус; 3 – корпус съемного подшипникового узла; 4 – подшипник; 5 – гайка; 6 – датчик акустической эмиссии; 7 – усилитель; 8 – USB осциллограф; 9 – компьютер

Исследования проводили на шариковых подшипниках № 202 одной партии изготовления. Внешнее кольцо подшипника закреплено с помощью гайки в корпусе съемного узла, а внутреннее приводится во вращение от шпинделя четырехшариковой машины через конус. Частота вращения 1500 об/мин, нагрузка на подшипник 6174 Н, что соответствует рекомендациям работы [5].

Сигнал акустической эмиссии, который генерируется подшипником, воспринимался широкополосным датчиком GT 300 (полоса пропускания 100...800 кГц) и поступал в усилитель, затем в USB осциллограф PV6501 и далее в компьютер.

Полоса пропускания USB осциллографа составляет 20МГц, что многократно превышает верхние границы пропускания датчика и усилителя.

Образование питтинга на дорожке качения подшипника приводит к скачкообразному возрастанию интенсивности акустической эмиссии.

При возрастании интенсивности акустической эмиссии испытания прекращались, подшипник разрезался для визуальной регистрации усталостного выкрашивания на внешнем или внутреннем кольце.

Параметром, который позволяет оценить противопиттинговые свойства смазочных материалов, является отрезок времени от начала испытаний до скачкообразного возрастания интенсивности акустической эмиссии.

Эксперимент повторяли пятнадцать раз с заменой подшипника на новый. После завершения эксперимента определяли среднearифметическое время появления очагов усталостного выкрашивания t , мин, дисперсию D и среднеквадратическое отклонение σ .

Результаты эксперимента представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели противопиттинговых свойств смазочных материалов

Смазочный материал	Среднearифметическое время t , мин	Дисперсия	Среднеквадратическое отклонение
Масло Такт-2Т	45,74	25,11	5,01
Масло Рапсовое+П	86,33	26,62	5,15
Масло ELF MOTO 2XT Tech	63,99	7,76	2,7
Масло Подсолнечнос+П	74,6	3,60	1,89
Масло ПУСК-2Т	70,32	8,39	2,89

Как следует из представленных результатов лучшими противопиттинговыми свойствами (наибольшим временем появления усталостного выкрашивания) обладают (в порядке убывания): рапсовое масло + П; подсолнечное масло + П; полусинтетическое масло ПУСК-2Т и синтетическое масло ELF MOTO 2XT Tech. Минеральное масло Такт-2Т показало худший результат.

При этом анализ величин дисперсии и среднеквадратического отклонения позволяет сделать вывод, что рапсовое масло имеет большой разброс показаний от опыта к опыту, что свидетельствует о сложных и неустойчивых процессах, вызывающих усталостное изнашивание. И наоборот, масло подсолнечное, ELF MOTO 2XT Tech и ПУСК-2Т имеют минимальный разброс и устойчивые показатели по времени появления усталостного выкрашивания. Это позволяет сделать вывод, что подобранный комплекс присадок к растительным маслам в большей степени подходит для подсолнечного масла, чем для рапсового. Уточнение и детализация комплекса присадок для рапсового масла с учетом противопиттинговых свойств, может быть направлением дальнейших исследований по оптимизации состава рапсового масла для двухтактных двигателей.

Выводы:

1 Результаты физического моделирования ресурса трибосистем бензопилы показывают, что применение моторных масел на растительной основе обеспечивает ресурс двигателя: на рапсовом масле с присадкой – 421 моточас; на подсолнечном масле с присадкой – 381 моточас.

2 Применение моторных масел на растительной основе не снижает ресурс двухтактного двигателя по сравнению с минеральными, полусинтетическими и синтетическими маслами, а наоборот увеличивает на 23 %, 4,9% и 9,7% соответственно.

3 Моторные масла для двухтактных двигателей различного состава: минеральные, полусинтетические, синтетические и растительного происхождения в разной степени препятствуют возникновению питтинга в подшипниках качения. Лучший результат показывают растительные масла с присадкой органического происхождения, что ставит эти масла в разряд перспективных масел.

Список использованных источников

1. Войтов, В.А., Кравцов, А.Г. Трибологічні властивості технічних олій на базі соняшникової та ріпакової олій / Проблеми трибології. – № 4. – 2011. – С. 87–92.
2. Розенберг, Ю.А. Влияние смазочных масел на долговечность и надежность двигателей машин. – М.: Машиностроение, 1970. – 315 с.
3. Заскалько, П.П., Крысин, В.Д., Некрасов, В.И. Оценка противопиттинговых свойств трансмиссионных масел // Химия и технология топлив и масел. – 1988. – № 5. – С. 27–29
4. Войтов, В.А. Конструктивная износостойкость узлов трения гидромашин. Часть 2. Методология моделирования граничной смазки в гидромашинах. – Харьков: Центр Леся Курбаса, 1997. – 152 с.
5. Войтов, В.А., Митиков, С.А., Суханов, М.И., Шевченко, С.А. Методика оценки показателя противопиттинговой способности смазочных материалов // Проблеми трибології. – 2006. – № 1. – С. 39–43.

УДК 621.9.06

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЕДИНИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Козорез А.А., аспирант

УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Неуклонный рост выпуска машин и механизмов, увеличение их быстродействия и энерговооруженности весьма остро поставили вопрос о повышении качества и ускорении сроков разработки и внедрения процессов изготовления самых разнообразных деталей, узлов и агрегатов. Для этих целей необходимо создавать методы, позволяющие быстро и просто разрабатывать надежные технологические процессы различных производственных условий.

Автоматизированное проектирование единичных технологических процессов должно стать основным направлением технологического проектирования в автоматизированных системах технологической подготов-