

УДК 621.893

UDC 621.893

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА МОТОРНОГО
МАСЛА С ДОБАВЛЕНИЕМ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРИСАДОК**

**IMPROVING RESOURCES OF ENGINE OIL
WITH SPECIAL ADDITIVES ADDED**

Свечников Владимир Николаевич
ст. преподаватель
РИНЦ SPIN-код=5168-8533
*Поволжский государственный технологический
университет, г. Йошкар-Ола, Россия*
SvechnikovVN@volgatech.net

Svechnikov Vladimir Nikolaevich
Assistant Lecturer
RSCI SPIN-code=5168-8533
*Volga state university of technology, Ioshkar-Ola
Russia*
SvechnikovVN@volgatech.net

Онучин Евгений Михайлович
к.т.н., доцент
РИНЦ SPIN-код=5242-8873
Scopus ID= 57190296277
*Поволжский государственный технологический
университет, г. Йошкар-Ола, Россия*
OnuchinEM@volgatech.net

Onuchin Evgenii Mihailovich
Cand.Tech.Sci., associate professor
RSCI SPIN-code=5242-8873
Scopus ID= 57190296277
*Volga state university of technology, Ioshkar-Ola
Russia*
OnuchinEM@volgatech.net

Ласточкин Денис Михайлович
к.т.н.
РИНЦ SPIN-код=7597-7487
Scopus ID= 57190291451
*Поволжский государственный технологический
университет, г. Йошкар-Ола, Россия*
LastochkinDM@volgatech.net

Lastochkin Denis Mihailovich
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN-code=7597-7487
Scopus ID= 57190291451
*Volga state university of technology, Ioshkar-Ola
Russia*
LastochkinDM@volgatech.net

Проведены исследования моторного масла с добавлением в него специализированных присадок и взаимодействие полученного состава на процесс трения о металлическую поверхность, имитируя граничное и гидродинамическое трение

The article presents investigations of engine oil with the addition of special additives and reactions of the composition in the process of friction on the metal surface, simulating the boundary and hydrodynamic friction

Ключевые слова: МОТОРНОЕ МАСЛО, ДВС, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, НАПРЯЖЕННОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, РЕСУРС, ПРИСАДКИ, ТРЕНИЕ, ПАВ

Keywords: ENGINE OIL, INTERNAL COMBUSTION ENGINE, OPERATION, TENSION, RELIABILITY, RESOURCE, ADDITIVES, FRICTION, SURFACTANTS

Doi: 10.21515/1990-4665-122-013

Известно, коэффициент полезного действия двигателя внутреннего сгорания находится в пределах от 25 до 30% [1]. Теоретически без изменения принципиальной конструкции двигателя внутреннего сгорания можно повысить коэффициент полезного действия до 40%. Как видим, разброс цифр довольно большой. Нельзя не обратить внимания на то, что увеличение коэффициента полезного действия на 1% приводит к увеличению мощности двигателя примерно на 4%, так как 25% КПД соответствует 100% мощности двигателя. Выявлено, что на трение и

утечки приходится 25-50% всех механических потерь в двигателе автомобиля, а потери в паре трения поршневое кольцо – стенки цилиндра составляет 9 – 15% мощности двигателя. Снижение потерь в этой паре может дать огромную экономию топлива, а также приводит к существенному увеличению мощности двигателя [1].

При оценке надежности двигателя большое значение имеет качество используемого моторного масла. В свою очередь, специфика конструкции двигателя и особенности его рабочего процесса напрямую влияют на напряженность работы моторного масла и сроки его смены в двигателях. Вместе с тем, напряженность работы моторного масла характеризуется совокупностью показателей, часть из которых относится к конструкции двигателя, особенностям протекающего рабочего процесса, условиям эксплуатации, в то время как другая - непосредственно к качеству масла.

Такое сочетание показателей может служить дополнительным обоснованием возможности рассмотрения масла как технического элемента, равноправного элементу конструкции двигателя.

При работе ДВС в маслах активно развиваются термохимические процессы, приводящие к снижению их качества вследствие срабатывания присадок и накопления в маслах продуктов превращений (нерастворимые продукты - органические и неорганические кислоты и др.).

Масла, выполняя свои функции, претерпевают различного рода превращения.

Общее изменение состояния масла во времени (τ) можно характеризовать производством энтропии (S), которое определяется соотношением:

$$\frac{\partial S}{\partial \tau} = -\frac{vA}{T}, \quad (1)$$

где: v - скорость химической реакции;

A - сродство реакции;

T - температура.

В свою очередь, скорость химической реакции связана со степенью ее развития или с полнотой (ξ) соотношением:

$$v = \frac{\partial \xi}{\partial \tau} \quad (2)$$

Значения ξ меняются от 0 до 1.

Можно предположить, что $\xi = 0$ соответствует исходному состоянию масла, а $\xi = 1$ - состоянию, к моменту реализации которого в масле прошли все возможные превращения.

Поскольку большинство протекающих в любой системе процессов описываются преимущественно S-образной кривой, без существенной ошибки можно допустить аналогичный характер изменения ξ от времени (рис. 1).

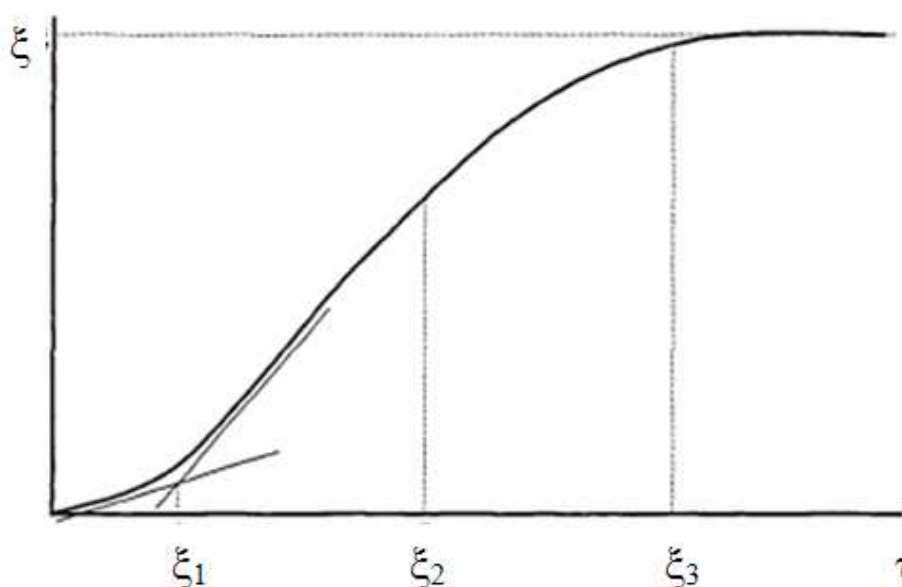


Рисунок 1 - Общий характер изменения полноты превращения масла от времени

На приведенной кривой принципиально следует выделить три типичные или характерные значения $\xi(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$.

Точка ξ_1 характеризует начало активного изменения состояния масла в результате развития протекающих в нем термохимических процессов.

Точка ξ_2 соответствует началу снижения скорости термохимических превращений в масле, которое интерпретируется изменением тангенса угла наклона касательной к кривой, а точка ξ_3 определяет практическое прекращение всех химических превращений в масле и выход на теоретически стабильное состояние [2].

От вязкости масла зависит величина механических потерь в двигателе, его коэффициент полезного действия и, что особенно важно, - расход топлива.

Конструкция системы смазки современных двигателей позволяет достаточно эффективно решать вопрос очистки и подачи охлажденного моторного масла в работающем двигателе. Однако проблема обеспечения своевременной подачи масла к деталям в период его пуска и прогрева все еще окончательно не решена, что и является одной из причин износа деталей в этот период.

Для двигателей, различной конструкции предельное значение вязкости масел, при которых их пусковая система не обеспечивает проворачивание коленчатого вала с требуемой частотой вращения, изменяется в пределах 4000-10000 сСт.

С понижением температуры окружающего воздуха частота вращения коленчатого вала при пуске уменьшается. Температура, при которой частота вращения, обеспечиваемая пусковой системой двигателя, совпадает с минимальным пусковым числом оборотов, необходимым для воспламенения топливно-воздушной смеси в цилиндре, является минимальной температурой пуска двигателя.

Удовлетворение этих требований достигается за счет оптимизации вязкости масла во всем диапазоне рабочих температур двигателя и применения для снижения трения специальных присадок-модификаторов трения.

Высокая температура деталей цилиндропоршневой группы двигателей обеспечивает необходимую энергию активации и в результате взаимодействия между функциональными группами образуются полимерные продукты. Присутствие в масле серы, кислорода, и других элементов способствует переводу их в нерастворимые полимерные структуры – лак и смолы. Действие серной кислоты на пленку масла в кольцевом поясе поршней также приводит к образованию отложений, содержащих серу и другие элементы (рис. 2).

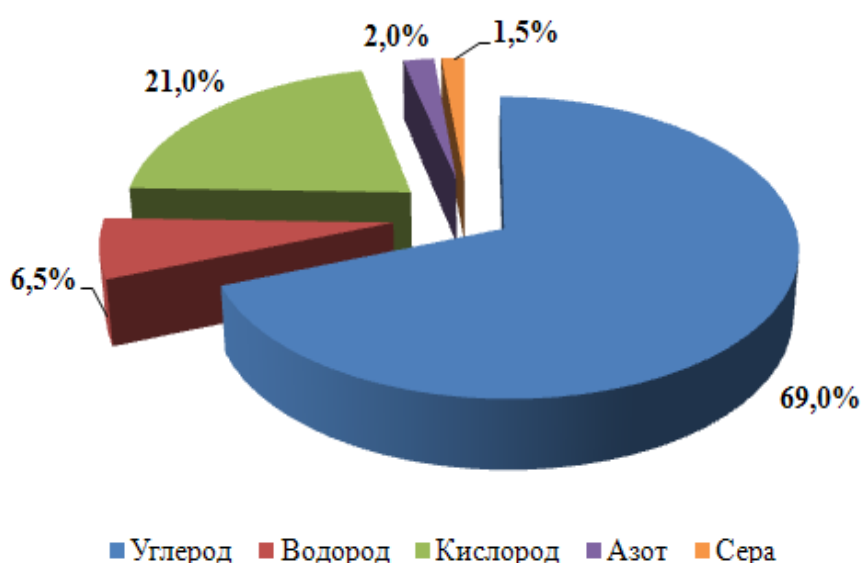


Рисунок 2 – Отложения на деталях двигателя при низкотемпературном режиме

Большую роль в образовании низкотемпературных отложений играют окислы азота (NO_x). Они оказывают сильное каталитическое действие на ускорение всех выше указанных реакций окисления и поликонденсации углеводородов (табл. 1) [3].

Масло с присадками в большей степени оказывает влияние не на количество, а на агрегатное состояние органических загрязняющих примесей и возможность их выделения на деталях, т.е. за счет моюще-диспергирующих свойств масло переводит эти примеси в высокодисперсное состояние или коллоидный раствор и препятствует их осаждению на деталях.

Таблица 1 – Влияние NO_x на образование нерастворимых загрязняющих примесей в масле с различными присадками

Присадки в масле	NO_x *	Нерастворимые в масле примеси, мг		
		Растворитель		
		пентан	бензол	ацетон
Без присадки	нет	следы	0	0
Без присадки	4	270	160	40
Беззольная моющее-диспергирующая присадка	4	0	0	0
Антиокислительная присадка	4	1420	400	130
Беззольная и антиокислительная присадки	4	следы	следы	следы

* Миллимолей на 100 г масла, загрязненного окисленным бензином.

Трение изначально является термодинамически неравновесным процессом, который может существовать как в области близкой к равновесию, так и вдали от неё, образуя различные структурные классы, переход к которым осуществляется скачкообразно. В связи с этим термодинамически возможно существование систем трения не накапливающих потенциальной энергии в виде скоплений дефектов [4].

Таким образом, теоретически возможно «управлять» изнашиванием, «подвигая» термодинамическую систему к состоянию равновесия. Химическая термодинамика указывает, что выполнить это возможно, подводя к системе или отводя из системы теплоту, повышая температуру нагреванием или снижая её охлаждением. Теоретически возможно также воздействовать на систему путём изменения давления. Однако эти пути воздействия на физико-химическую систему с целью приближения её к состоянию равновесия не могут быть применены в условиях трения в двигателе внутреннего сгорания.

Остаётся единственный возможный путь воздействия на физико-химическую трибологическую систему – введение в неё химических реагентов. Основой коллоидной химии и учения о поверхностных явлениях является понимание, что введение в систему веществ с теми или иными

свойствами способно кардинально изменить её, существенно повысить или понизить поверхностную энергию.

В состав масляной композиции, как известно, входят присадки различного функционального назначения. Присадки могут относиться к разным химическим классам и отличаться по составу и строению. Присадки выполняют в маслах доминирующие функции, их выбор требует наиболее объективного обоснования. Для этого была проведена серия исследований, направленных на определение эффективности действия присадок, включая салицилаты, феноляты и сульфонаты металлов и др.

Для получения поверхностно-активного вещества (ПАВ) был приведен химический синтез, реагентами которого являются:

- перфторкарбоновая кислота $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_n\text{COOH}$;
- этаноламин $\text{H}_2\text{N} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH}$;
- борная кислота H_3BO_3 .

В качестве присадки используются органические соединения борат этаноламид перфторкарбоновой кислоты, состоящие из:

- фторангидрид перфторкарбоновой кислоты - 71,7%;
- перфторгексан - 20,81%;
- фторангидрид ω -гидроперфторгептановой кислоты - 3,8%;
- ω -гидроперфторгексан $\text{H}(\text{CF}_2)_5\text{CF}_3$ - 2%;
- прочие примеси - 1,69%.

При введении этих добавок в моторное масло на трущихся поверхностях формируется самовосстанавливающийся защитный антифрикционный слой. Молекулы этого органического соединения размером 3 нм являются поверхностно-активными. ПАВ слой как магнит. ПАВ имеет положительный и отрицательный заряд на молекуле COHN и отрицательный везде связывается с металлом. Микроскопически он покрывает все поверхности ПАВ-ом. Они связываются, потому что сталь принимает отрицательный заряд и прилипают к ней подобно магниту.

Другая часть имеет очень сильный положительный заряд. Этот положительный заряд сталкивается с другим положительным зарядом. Весь мотор сейчас охвачен этим положительным зарядом, и когда может возникнуть стачивание металлических деталей - они отталкиваются. Адсорбируясь на поверхностях трения, такие молекулы формируют квазикристаллическую структуру, которая защищает поверхность от износа и уменьшает граничное и гидродинамическое трение [5].

На поверхности этого слоя устанавливается динамическое равновесие между атомами металла самого слоя и переходными металло-органическими комплексами ПАВ металла в составе моторного масла. В результате достигается замкнутый цикл «износ-восстановление», что позволяет реализовать принцип самовосстановления механизмов и перевести протекание процессов трения в режим близкий к идеальному. В зоне трения за счет высоких локальных температур и давления также происходит разрушение смазочных материалов с выделением углерода и атомарного водорода, что также ускоряет изнашивание металла. Присадка взаимодействует с металлическими поверхностями именно при таких условиях.

Молекулы полученного соединения адсорбируются на поверхности металла за счет водородной связи, которую обеспечивает водород группы. Энергетически водородная связь превышает силы Ван-дер-Ваальса более чем в 10 раз. Она легко вытесняет с поверхности металла неполярные молекулы. Не поделённые электроны атома азота в амиде образуют комплексные соединения с катионами металла.

Исследования проводились на трибометре марки TRD-S-DE. В чашу помещался диск (сталь 30), приливалось исследуемое масло (масло + присадка). На поверхность диска опускался индентор (шарик, сталь марки Inox 440 под различными нагрузками). Скорость вращения 50 см/с. Длина пути 500 м (приработка) и 1000 м (основное испытание) (рис. 3-5).

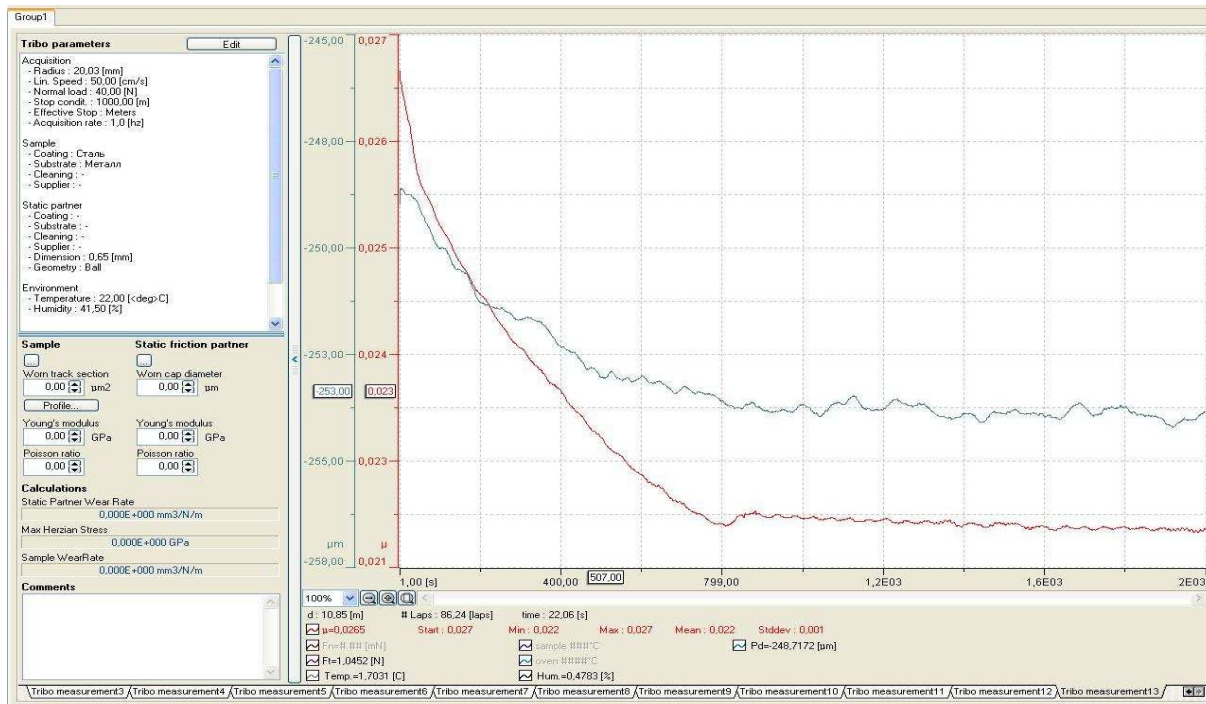


Рисунок 3 - Изменение коэффициента трения и глубины износа стального диска (Ст 30) (Моторное масло + присадка (10%), нагрузка 40 N, длина пути 1000 м)

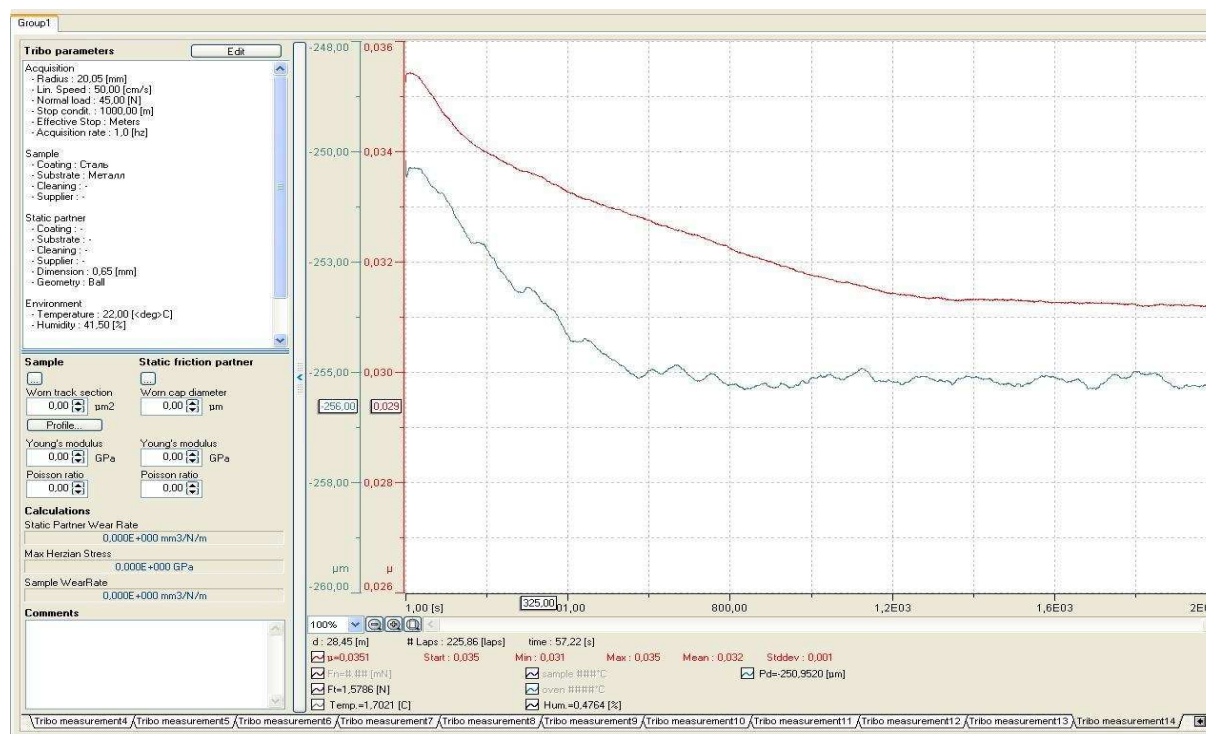


Рисунок 4. Изменение коэффициента трения и глубины износа стального диска (Ст 30) (Моторное масло + присадка (10%), нагрузка 45 N, длина пути 1000 м)

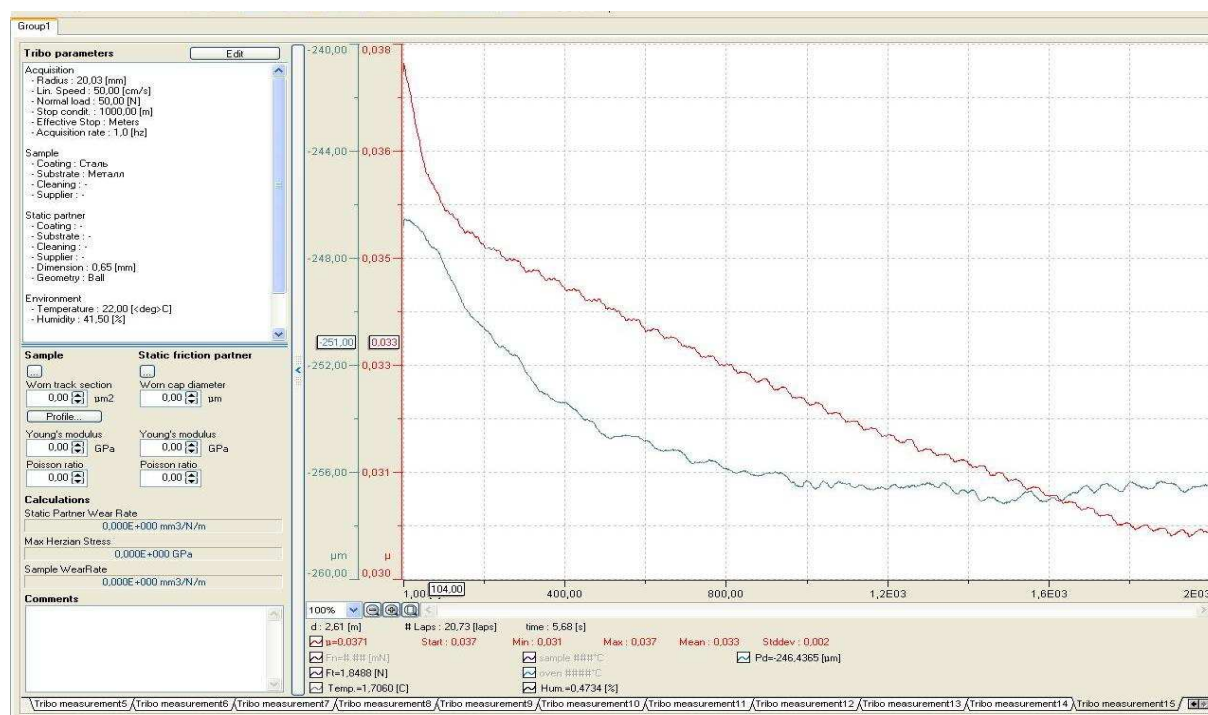


Рисунок 5. Изменение коэффициента трения и глубины износа стального диска (Ст 30) (Моторное масло + присадка (10%), нагрузка 50 N, длина пути 1000 м)

В результате оптимизации состава присадки по содержанию активных компонентов выяснено, что существует диапазон эффективных концентраций ионов пластичных металлов, при которых происходит существенное, статистически достоверное, снижение износа поверхностей трения по сравнению с контролем (моторным маслом, не модифицированным присадкой). В диапазоне эффективных концентраций компонентов присадки износ может быть до 4 раз меньше, чем в контроле.

Также в диапазоне эффективных концентраций обнаружен чётко выраженный экстремум - минимальный износ в парах трения при оптимальном содержании (%) активных веществ в присадке. В условиях проведения испытаний, минимум износа соответствовал концентрации – 0,5%.

Выводы

Таким образом, установлено, что использование специализированной присадки, действие которой заключается в формировании молекулярного слоя на поверхностях трения, снижает коэффициент трения на 17 %. Рациональный уровень изменения показателей качества, при котором необходимо проводить мероприятия по продлению ресурса моторного масла, составляет 250...320 мото-ч наработки ДВС, при этом ресурс моторных масел увеличивается на 35...45 %. Применение данной технологии позволяет защитить поверхности контакта с помощью пленки ПАВ толщиной 4 –6 нм, как при сухом трении, так и при гидродинамическом.

Литература

1. Гнатченко, И.И. Автомобильные масла, смазки, присадки: справочник автомобилиста [Текст] / И.И. Гнатченко, В.А. Бородин, В.Р. Репников; ред. С.А. Золотарев. СПб. : Полигон; М. : АСТ, 2000. – 359 с.
2. Апакидзе, Т. М. Теоретические основы количественной адаптации основных свойств масел к условиям работы в агрегатах автомобилей [Текст] / Т.М. Апакидзе, Д.С. Иосебидзе, В.Л. Лашхи и др. – Тбилиси: ГТИ, 1998. – 98 с.
3. Григорьев, М.А. Качество моторного масла и надежность двигателей [Текст] / М.А. Григорьев, Б.М. Бунаков, В.А. Долецкий. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 232 с.
4. Грамолин, А.В. К вопросу применения антифрикционных присадок и модификаторов трения для моторных масел [Текст] / А.В. Грамолин // Грузовик, автомобиль, троллейбус, трамвай. –1996. – № 3. – С. 12-13.
5. Гайдар С. М. Применение нанотехнологий для повышения надежности машин и механизмов [Текст] / С. М. Гайдар // Грузовик. – ISSN 1684-1298. – 2010. – № 10. – С. 38–41.

References

1. Gnatchenko, I.I. Avtomobil'nye masla, smazki, prisadki: spravochnik avtomobilista [Tekst] / I. I. Gnatchenko, V.A. Borodin, V.R. Repnikov; red. S.A. Zolotarev. SPb. : Poligon; M. : AST, 2000. – 359 s.
2. Apakidze, T.M. Teoreticheskie osnovy kolichestvennoj adaptacii osnovnyhsvojstv masel k uslovijam raboty v agregata h avtomobilej [Tekst] / T.M. Apakidze, D.S. Iosebidze, V.L. Lashhi i dr. – Tbilisi: GTI, 1998. – 98 s.
3. Grigor'ev, M.A. Kachestvo motornogo masla i nadezhnost' dvigatelej [Tekst] / M.A. Grigor'ev, B.M. Bunakov, V.A. Doleckij. – M.: Izdatel'stvo standartov, 1981. –232 s.
4. Gramolin, A.V. K voprosu primenenija antifrikcionnyh prisadok i modifikatorov trenija dlja motornyh masel [Tekst] / A.V. Gramolin // Gruzovik, avtomobil', trolleybus, tramvaj. –1996. – № 3. – С. 12-13.
5. Gaidar SM Application of nanotechnology to improve the reliability of the machines and mechanisms [Text] / SM Gaidar // Truck. - ISSN 1684-1298. - 2010. - № 10. - S. 38-41.