

Ломухин В.Б., к.т.н., доцент, Новосибирский ГАУ

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДЕТАЛИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Препараты, воздействующие на трущиеся детали ДВС известны и разрабатываются различными изготовителями. В настоящее время отсутствует единая методика их испытаний, что затрудняет их объективное применение в ДВС. В настоящей работе проводятся трибологические испытания. Они позволяют осуществлять выбор препаратов улучшающих работу двигателя в зависимости от механизма действительного препарата. Это позволяет изменить техническое состояние механизма, увеличить безремонтный пробег, улучшить экологические показатели

1. Действенность препаратов для двигателя

На сегодняшний день решение проблем снижения трения и защиты от износа в большей степени связывают с применением разнообразных специальных, отдельно производимых и поставляемых присадок (препаратов). Которые воздействуют на двигатель и вводятся в смазочное моторное масло, используя его как носитель, для доставки к трущимся частям и узлам механизма.

Известно, что механические потери состоят из потерь на трение. Между движущимися деталями, на привод агрегатов, на трение деталей о воздух в картере, а также из так называемых «насосных потерь».

Если более подробно рассмотреть потери на трение, то половина из них приходится на цилиндропоршневую группу (ЦПГ), а оставшаяся часть примерно поровну разделена между трением в подшипниках и газораспределительном механизме (ГРМ). Это важно отметить, так как трение в разных узлах двигателя имеет различную природу. Так, в подшипниках, где имеет место так называемое «жидкостное» трение без соприкосновения поверхностей, потери зависят в основном от относительной скорости скольжения деталей и вязкости масла. В деталях ЦПГ и ГРМ картина несколько иная. Здесь основная доля потерь приходится на трение колец о стенки цилиндра и кулачков распределительного вала о поверхности толкателей. Режим смазывания в этих узлах уже не является жидкостным. Трущиеся поверхности могут

даже соприкасаться по микро неровностям, в результате чего реализуется режим так называемого «граничного» трения. В таких условиях скорость скольжения и вязкость масла влияют на трение меньше, чем содержащиеся в масле активные химические соединения, называемые поверхностно-активными веществами. Они препятствуют задирам трущихся пар, снижают трение и скорость изнашивания. Именно здесь применение присадок может дать эффект, улучшить эксплуатационные свойства двигателя, в частности экономичность и долговечность. При пуске двигателя режим жидкостного трения отсутствует и затем устанавливается, но не сразу (задержка в поступлении масла к подшипникам определяется его вязкостью, устройством смазочной системы и другими факторами). Сначала при прокрутке двигателя стартером (или сжатым воздухом) и еще некоторое время после пуска, пока масло не начало поступать к подшипникам, наблюдается режим граничного трения. А это значит, что добавка в масло определенных компонентов может уменьшить трение в подшипниках при пуске, и тем самым, не только улучшить пусковые свойства двигателя, но и уменьшить износ подшипников.

В течение нескольких лет мы наблюдали работу препаратов в автомобильных двигателях. Результаты приведены в таблице. Заметим, что «действенность» препаратов оценивалась субъективно по ощущениям владельца автомобиля.

А так же по изменению интенсивности изнашивания пар трения по спектральному анализу картерного масла (рис. 2). По 7-ми металлам: Fe, Pb, Al, Si, Cr, Si, Cu.

Оценка качества и срабатываемости картерного масла проводилась по: Zn, Ba, Ca, Mg, Mn, подробнее см [1, 6].

Таблица 1. Действенность различных препаратов

Наименование препарата	Положительный эффект, %	Отрицательный эффект, %	Изменений не обнаружено, %
Трибо	60	10	30
AG	50	30	20
Хадо	30	20	50
Римет	50	10	40
Капсулы Мощности	95	0	5
Форум	60	0	40
ER	80	5	15
Micro-X2	80	0	20
Феном	70	0	30

Анализируя данные таблицы, приходим к выводу, что:

1. препараты действительно дают положительный эффект;
2. часто встречаются случаи не получения положительного эффекта или получение отрицательного эффекта;

Разбирая конкретные ситуации, совместно с данными разработчика препарата, и имея методику применения препарата, приходим к выводу, что:

1. Продавец (поставщик) препарата указывает не достаточную информацию о механизме действия и его применении.
2. Владелец недостаточно объективен при принятии решения о применении препарата.
3. Разработчик, как правило, не указывает критерии выбора препарата вообще или эти критерии недостаточны для принятия объективного решения в конкретном случае.

По этому для обоснованного применения *любого* препарата, улучшающего работу двигателя необходима большая и достоверная информация о

механизме действия, а так же критерии применения именного данного препарата.

2. Анализ характеристик препаратов. Испытания.

Экспертные испытания по применению различных препаратов в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) проводились раньше как в России, так и за рубежом [2,3]. В частности, эти вопросы изучались на кафедре ДВС ГТУ (Шибанов А.Ю.). При этом исследовались изменения твердости, проводилась рентгеновская директометрия, электронная микроскопия с точечным химическим анализом более чем по 20-ти элементам. Препараты (модификаторы трения) испытывались и в лаборатории «Химмотологии судовых масел» Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского, которая прошла аккредитацию Госстандарта России [4].

Исследования позволили сделать ряд выводов, которые не всегда совпадают с утверждением разработчика. Этот вывод подтверждается и в работе [4]. Кроме этого, в своей работе Б.В. Перминов отмечает, что большинство препаратов не

проходят требуемого объема испытаний. Это полностью подтверждает наши выводы приводимые выше.

По этому для получения достоверной информации о *механизме действия* препаратов *необходимы* триботехнические испытания. Но, как отмечается в работе [4, 6], нет стандартного комплекса формализованных методов предназначенных для изучения эффективности действия препаратов и их влиянии на эксплуатационные свойства масел и ДВС.

В связи с этим, приводим в настоящей статье методики проведения испытаний и некоторые из полученных данных.

Описание экспериментальных установок и методик эксперимента

Определение скорости изнашивания трущихся пар

Испытания проводились на машине трения МТ-1. Машина трения типа МТ-1 предназначена для проведения испыта-

ний на износостойкость трущихся пар при возвратно-поступательном движении. Она состоит из электродвигателя 1 (рис. 1), червячного редуктора 2, преобразующего вращательное движение электродвигателя в возвратно-поступательное движение ползуна 3. На ползуне установлен нижний образец 4, к которому специальным нагрузочным устройством прижимается верхний образец 5. Масло в зону трения подается по капиллярным сосудам из расходной емкости 6 и стекает в сборную емкость 7. Диаметр капиллярных трубок, их форма и расположение подобраны таким образом, чтобы обеспечить свободное движение смазочного материала к зоне трения и исключить образование пробок и застойных зон.

В опытах определялась скорость изнашивания трущихся пар типа «штулка – кольцо».

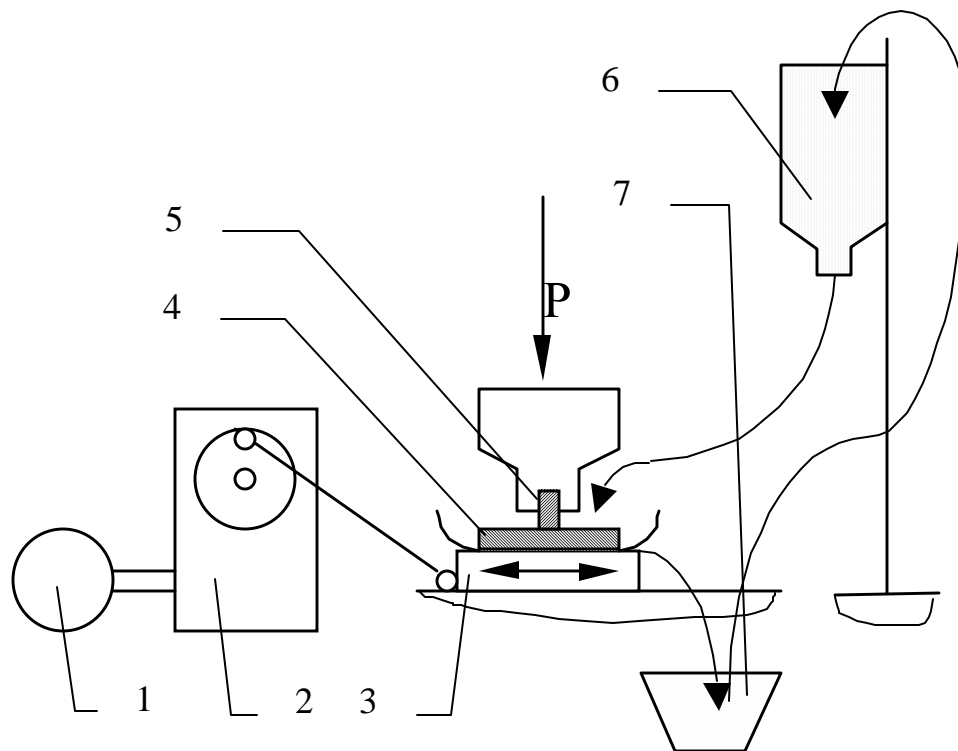


Рис. 1. Принципиальная схема машины трения МТ-1

До начала испытаний образцы прошли 48-часовой этап приработки на машинах трения, на базовом масле. Нагрузка на образцы, на данном этапе, посте-

пенно увеличивалась от 0 до 8 МПа. Спектральный анализ выполнялся на установке МФС-7 (см. рис. 2).



Рис. 2. Общий вид установки МФС-7

Скорость изнашивания оценивалась по изменению концентрации железа в смазочном материале методом спектрального анализа. Пробы масла для спектрального анализа отбирались до начала испытаний («нулевые» пробы) и через каждые 24 часа работы.

Фотоэлектрическая установка МФС-7 с автоматическим управлением и автоматической обработкой выходных данных предназначена для возбуждения эмиссионных спектров и регистрации аналитических сигналов спектральных линий различных элементов в маслах.

В основу работы установки МФС-7 положен метод эмиссионного спектрального анализа, использующий явление свечения газа или пара исследуемого твердого или жидкого вещества при нагревании его до температуры выше 1000°C . При таких температурах, нагретый и частично ионизованный, проводящий электрический ток, газ – плазма – излучает электромагнитные колебания в оптическом диапазоне спектра. Существенной составляющей этого излучения являются линейчатые спектры атомов, причем каждому элементу соответствует свой вполне определенный линейчатый спектр излучения. Поэтому, исследуя спектр излучения плазмы, можно опреде-

лить химический состав образующего ее газа, а, следовательно, и состав анализируемой пробы, часть которой переведена в газообразное состояние. Поскольку интенсивность аналитических спектральных линий (мощность излучения единицы объема плазмы) связана с концентрацией соответствующих элементов в пробе, то установка позволяет определять не только качественный, но и количественный состав пробы.

Определение коэффициента трения контактирующих поверхностей

Испытания проводились на машине трения МИ-1.

Смазка в зону трения подавалась следующим образом (рис. 3). под нижний образец устанавливалась ванночка, наполненная маслом так, чтобы нижняя часть образца 2 (ролика) была погружена в масло 3. При вращении ролика масло захватывается и подается в зону трения. Поскольку интенсивность смазывания определяется уровнем масла и диаметром ролика при определенных его оборотах - в ванночку всегда заливался постоянный объем масла.

Температура трущихся поверхностей сильно влияет как на износ, так и на антифрикционные свойства трущейся пары. Кроме того с изменением температуры

изменяются смазочные свойства масла. В связи с этим измерения момента трения проводились при фиксированной температуре масла, которое подогревалось нагревательным элементом 4.

Температура масла на машине МИ-1 измерялась термопарой 5, спай которой помещался в ванночку. Регистрировалась температура тарированным милливольтметром.

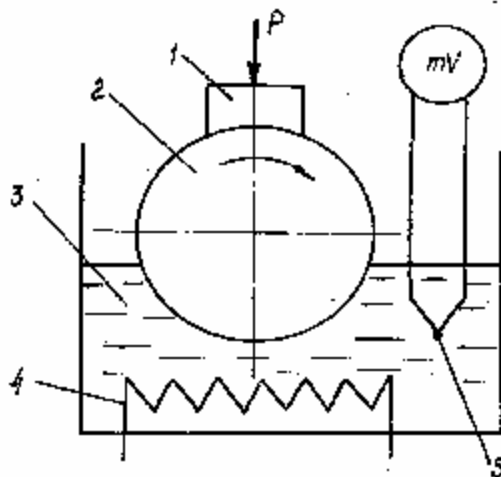


Рис. 3. Схема смазывания трущихся образцов

Режим трения изменялся увеличением нагрузки на верхний образец 1 (рис. 3) от 50 до 120 кг, так как частота вращения нижнего образца постоянна и равна 425 об/мин.

На каждой нагрузке образцы работали, пока не наступал установившийся режим трения, при котором момент трения минимален и в дальнейшем остается постоянным.

Коэффициент трения определялся по формуле:

$$f_T = \frac{M_T}{P \cdot A \cdot r}, \quad (1)$$

где M_T - момент трения, кгс·см;

$A=1$ - площадь контакта, см²;

$P = \frac{Q}{A}$ - удельное давление на образец, кгс/см²;

Q - нагрузка на образцы, кгс

r - радиус ролика, см.

Величина износа трущихся пар, определяемая в данном случае концентрацией железа в смазочном материале, в зависимости от продолжительности работы описываются с достаточной точностью полиномиальными уравнениями 2-й или 3-й степени:

$$I(\tau) = A\tau^2 + B\tau + C, \quad (2)$$

или

$$II(\tau) = A\tau^3 + B\tau^2 + C\tau + D, \quad (3)$$

где

$I(\tau)$ - изменение концентрации железа в базовом масле,

$II(\tau)$ - изменение концентрации железа в масле с препаратом,

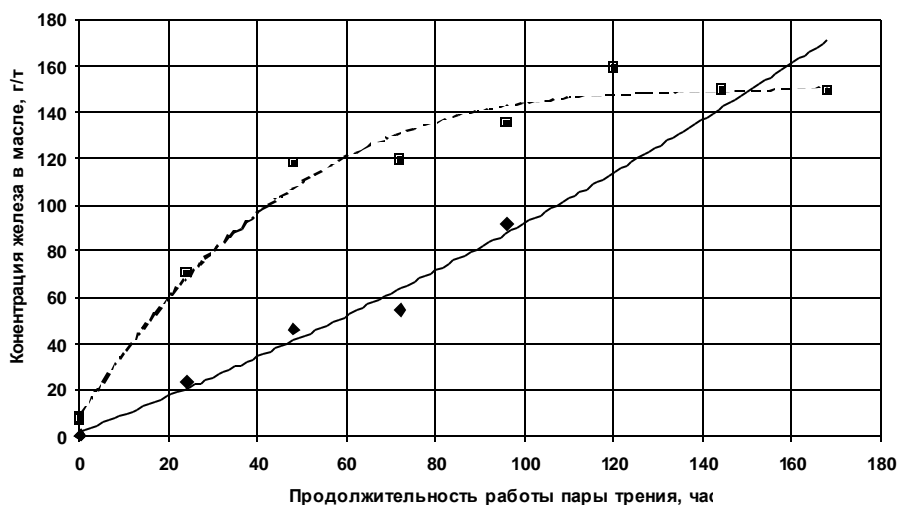
τ - время работы трущейся пары.

Известно, что скорость изнашивания есть производная от функции величины износа

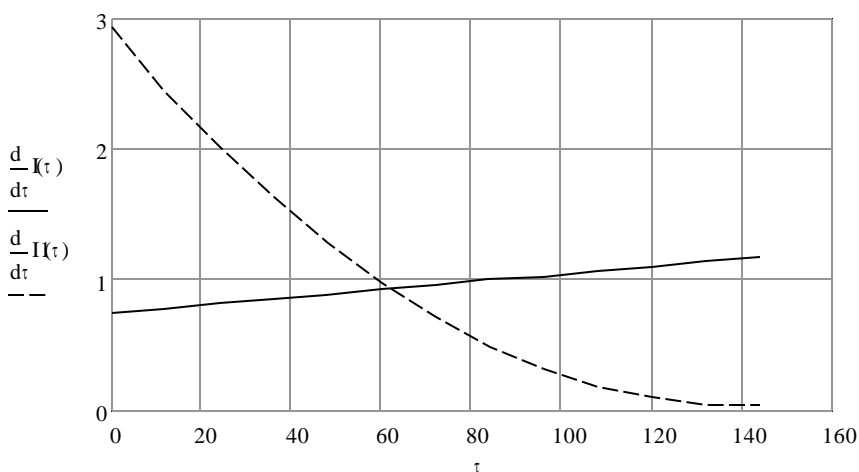
по времени, т.е. $\frac{d}{d\tau} I(\tau)$ - есть скорость изнашивания трущейся пары на базовом масле и

$\frac{d}{d\tau} II(\tau)$ - скорость изнашивания на масле с препаратом, см. рис. 4.

Для примера приведем некоторые из полученных данных, более подробно см. [2,3,6,7].



а)



б)

Рис. 4.

а) зависимость концентрации железа в масле от продолжительности работы трущейся пары «чугун - чугун» на машине МТ-1-1; б) изменение скорости изнашивания от продолжительности работы трущейся пары

◆ — базовое масло М10Г2ЦС;

■ — масло М10Г2ЦС с препаратом..

Микроструктура и особенности износа пар трения

Методика исследований

Исследование микрорельефа и микроструктуры изношенных поверхностей проводили на образцах после испытаний на машинах трения. Изношенные образцы промывали спиртом. На металлографическом микроскопе МИМ-8М исследовали микрорельеф изношенной поверхности в плане. Затем образцы заливали эпоксидной смолой в оправке и готовили микрошлиф в сечении перпенди-

кулярном направлении и поверхности износа.

Микроструктуру чугуна, стали и алюминиевого сплава выявляли в 5% спиртовом растворе азотной кислоты, структуру бронзы в реактиве, содержащем

HCl – 20 мл.

CuSo4 – 40 гр.

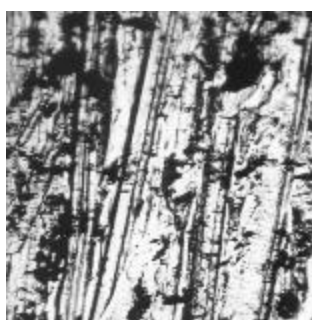
H2O – 100 мл

В качестве примера приведем строение поверхности износа пар трения, более подробно см. [2,3,5,6,7]:

Пара трения «сталь 45 – АО-20-01»

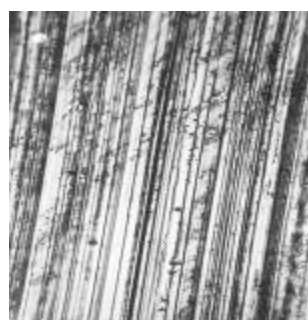
На рис. 5 представлен вид рабочей поверхности образца подшипникового вкладыша и его контр тела стального ролика перед испытаниями. Шероховатость ролика соответствует классу чистоты Ra 0,25 по ГОСТ 2789-73. Вид на рабочую поверхность образца вкладыша после испытания показан на рис. 6, поперечное сечение на рис. 8. На основании анализа микрорельефа поверхности, возникшего в процессе трения можно представить процесс изнашивания. На начальном этапе работы вращающийся ролик оставляет риски на поверхности вкладыша. Гребешки образовавшихся рисок при продолжающейся работе сминаются, происходит микро сдвиг или изгиб гребешков. В результате повторяющихся циклов микро деформации в основании смятых гребешков возникают микротрещины, развитие которых приводит к разрушению и отрыву продуктов износа с рабочей поверхности. Такие процессы микро деформации и разрушения происходят как на поверхности вкладыша, так и ролика, о чем свидетельствуют данные по концентрации продуктов износа – железа в масле.

бешки образовавшихся рисок при продолжающейся работе сминаются, происходит микро сдвиг или изгиб гребешков. В результате повторяющихся циклов микро деформации в основании смятых гребешков возникают микротрещины, развитие которых приводит к разрушению и отрыву продуктов износа с рабочей поверхности. Такие процессы микро деформации и разрушения происходят как на поверхности вкладыша, так и ролика, о чем свидетельствуют данные по концентрации продуктов износа – железа в масле.



а)

а) вкладыш АО-20-01,



б)

б) ролик – сталь 45

Рис. 5. Вид рабочей поверхности пары трения перед испытаниями

В процессе приработки изменяется механизм изнашивания. Происходит сглаживание микрорельефа. Шероховатость поверхности ролика после 100 часов работы соответствует Ra 0,125 по ГОСТ 2789-73, (рис. 8). На рабочей поверхности вкладыша появляется микрорельеф характерный для сплавов, структура которых соответствует принципу Шарпи, то есть содержит пластичную матрицу, смазывающий компонент и твердые включения, несущие нагрузку. Мягкие структурные составляющие истираются, образуя лунки, более твердые создают выступы (рис. 7).

При работе пары трения в среде масла, содержащего, например, присадку «Трибо», процесс приработки облегчается. Микрорельеф поверхности износа

имеет более высокую чистоту поверхности. Какого-либо заметного износостойкого покрытия на поверхности износа при микроскопических исследованиях с увеличением до 1200-кратного не обнаружено. Для проверки наличия химически стойкого покрытия на рабочих поверхностях вкладыша и ролика после приработки в среде масла с присадками образцы подвергали воздействию агрессивной среды. Для этого после промывки спиртом их травили в течении 8 секунд в указанных выше растворах для выявления микроструктуры. В результате поверхности всех образцов протравливаются с выявлением их структурных составляющих. Это свидетельствует об отсутствии, по крайней мере, сплошного химически стойкого покрытия.



Рис. 6. Вид рабочей поверхности вкладыша АО-20-01 после 25 часов испытаний на масле

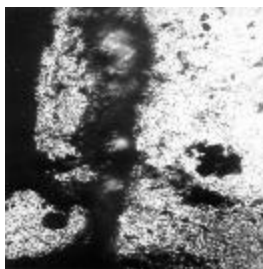


Рис. 7. Поперечное сечение вкладыша АО-20-01 после 25 часов испытаний на масле с присадкой «Трибо»

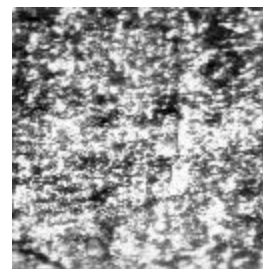


Рис. 8. Вид рабочей поверхности ролика после 100 часов испытаний на масле с присадкой «Трибо»

Таким образом, были исследованы некоторые из имеющихся на рынке препаратов.

По проведенным испытаниям получена возможность для классификации препаратов. По механизму действия их можно классифицировать на:

- препараты, выполняющие суперфинишную обработку трущихся пар, в результате чего уменьшается шероховатость поверхностей контртел («Трибо», «AG», «Хадо»);

- препараты, восстанавливающие изношенные поверхности образованием различного рода пленок и покрытий на трущихся поверхностях - медных, тефлоновых, органо-металлокерамических («Римет», «Аспект-Модификатор», «Форум», «Лубрифилм»);

- кондиционеры металла, вступающие в реакцию с металлом контртел, внедряющиеся в металл на межмолекулярном уровне и заполняющие собой микротрещины, предотвращая их развитие («ER», «Micro-X2», «Феном»).

Полученные данные позволяют:

Более подробно выяснить механизм действия некоторых препаратов и спрогнозировать его действие в деталях двигателя при режиме штатной эксплуатации.

Разработать алгоритм выбора препарата для конкретного текущего, технического состояния ДВС.

Разработать рекомендации по применению и использованию различных препаратов для эксплуатирующей технику персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ломухин В.Б., Ломухина Е.В. Оценка срабатываемости присадки моторного масла методом спектрального анализа. Дизельные энергетические установки речных судов, Изд-во НГAVT, Новосибирск, 2002, Ч.2. 23-26 с.

2. Ломухин В.Б., Кожевников А.В., Influence of the conditioner of metall «FENOM» on tribotechnical performances pairs of friction. Третий корейско-русский международный научно-технический симпозиум KORUS'2002. (6; 2002; Новосибирск). Тезисы научных сообщений. – Новосибирск, 2002. 32-33 с.

3. Ломухин В.Б., Токарев А. О., Ломухина Е. В., Соловьева Л. О., Результаты триботехнических испытаний модификатора трения «ФОРУМ». Трение, износ, смазка (электр. ресурс). – 2002. – вып. 13.

4. Перминов Б.Н., Эффективность применения модификаторов трения в судовых дизелях. Сибирский научный вестник / Новосибирский научный центр «Ноосферные знания и технологии» Российской Академии естественных наук. Вып.1V. Новосибирск: изд. НГAVT, 2002.16-19 с.

5. Ломухин В.Б., Певнев А. Ф., Токарев А. О., Лабораторные исследования геомодификатора «ТРИБО» Трение, износ, смазка (электр. ресурс). – 2002. – вып. 14.

6. Ломухин В.Б. Основы современной эксплуатации двигателей. Новосибирск: Наука, 2004. – 188 с.

7. Ломухин В.Б., Певнев А. Ф., Экологически Безопасная безызносная эксплуатация транспортных двигателей в условиях мегаполиса. «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока»- Новосибирск, 2003. 44-46 с.