

На правах рукописи

УДК 621.43-242-231

Галата Роман Александрович

**СНИЖЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ
ГРУППЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПРИМЕНЕНИЕМ
АНТИФРИКЦИОННЫХ ПРИСАДОК К МОТОРНОМУ МАСЛУ**

05.04.02 - Тепловые двигатели

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва

2002 г.

227

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Путинцев С.В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Леонов И.В.

кандидат технических наук,
Филиппов К.В.

Ведущее предприятие: Галата Р.А. 1600067 МГТУ им. Н.Э. Баумана

Защита диссертации диссертации "Снижение механических потерь в цилиндро-поршневой группе двигателя внутреннего сгорания прим..." 2002 0-00
2 года в 14 ч. на заседании и гидравлические машины" при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: "Энергомашиностроение" МГТУ им. Н.Э. Баумана

1600067

заверенные печатью
2-я Бауманская ул.,
экономического совета

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

Тумаш

ага офсетная.
аз № 480

рситета



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

НА ЭТОМ
НЕ ВЫДВИГАЕТСЯ

Актуальность работы. Одним из перспективных направлений снижения и поддержания достигнутого уровня топливной экономичности двигателей внутреннего сгорания (ДВС) за счет повышения механического КПД на этапе эксплуатации, когда применение альтернативных решений (модернизация конструкции объекта, технологии изготовления и обработки деталей и т.п.) затруднено либо просто невозможно, достижимо лишь с помощью антифрикционных присадок (АФП), вводимых, главным образом, в моторное масло. С одной стороны, этот путь снижения механических потерь чрезвычайно прост и доступен, но, с другой стороны, он наименее научно обоснован применительно к такой сложной технической системе как ДВС. В частности, современные методы моделирования процессов смазки, трения, износа в цилиндро-поршневой группе (ЦПГ), как наиболее энергоемком узле двигателя, в подавляющем количестве не адаптированы к наличию АФП в моторном масле. В то же время постоянно расширяющийся ассортимент АФП, отличающихся как механизмом действия, так и функциональным назначением, настоятельно требует разработки эффективных и надежных методов экспериментальной оценки служебных свойств этих препаратов. Однако известные на сегодня методы трибологических испытаний не позволяют в полной мере решать указанную задачу по причине недостаточного уровня точности измерений, а также низкой информативности получаемых результатов.

Цель работы состоит в снижении механических потерь в ЦПГ ДВС на основе рационального применения АФП в моторных маслах и разработки надежных и информативных методов оценки эффективности получаемых результатов.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

М Г Т У
ИМ. Н. С. Б. 1984

1. Установление взаимосвязи между механическими потерями и экономичностью ДВС, а также изучение влияния режимов работы двигателя на условия смазки и трения в ЦПГ.

2. Адаптация известных зависимостей для расчета сил трения к наличию АФП в моторном масле.

3. Уточнение математических моделей смазки трения в ЦПГ ДВС на основе учета частичных режимов работы двигателя и наличия АФП.

4. Расчетное исследование влияния указанных факторов на смазку, трение и износ в ЦПГ ДВС.

5. Разработка комплексной (машина трения–моделирующая установка–полноразмерный ДВС) методики триботехнических испытаний и проведение на их основе паспортизации смазочных материалов и присадок.

6. Выработка с помощью результатов расчетно-экспериментальных исследований рекомендаций по рациональному применению АФП с целью снижения механических потерь в ЦПГ ДВС.

Методами исследования являются: расчетно–теоретический анализ взаимосвязи механических потерь с экономичностью ДВС; математическое моделирование трибологических процессов (смазка, трение и износ) в ЦПГ; триботехнические испытания АФП по комплексной методике на машинах трения, моделирующих установках и полноразмерных ДВС.

Научная новизна работы заключается в:

- анализе влияния АФП и частичных режимов работы двигателя на механические потери в ЦПГ ДВС;
- полученных аналитическим путем зависимостях для расчета силы трения и износа с учетом наличия АФП в моторном масле;
- уточненных математических моделях и оригинальных экспериментальных методах оценки механических потерь в ЦПГ ДВС.

Практическая ценность полученных результатов состоит в:

- расчетной методике, позволяющей учесть влияние АФП на энергоэкономические показатели ДВС;

- комплексной методике триботехнических испытаний, обладающей повышенными достоверностью и информативностью;
- рекомендациях по рациональному выбору и эффективному применению в ДВС АФП различного типа.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы были изложены в докладах на: научно-технической конференции “ДВС XXI века” (Санкт-Петербург, 2000 г.), VIII Международной научно-практической конференции “Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС” (Владимир, 2001 г.), на заседаниях кафедры “Поршневые двигатели” МГТУ им. Н.Э. Баумана (1999-2002 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ, включая учебное пособие.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложения. Она включает 109 страниц основного текста, содержащего 8 таблиц и 35 рисунков, 10 страниц списка литературы из 96 наименований и приложение на 13 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, поставлены цель и задачи, а также кратко изложены основные положения исследования.

В первой главе рассматриваются состояние проблемы, методы исследования и влияние АФП на энергэкономические показатели двигателя.

Анализ результатов ранее выполненных работ, прямо или косвенно затрагивающих решаемую в диссертации проблему (Аникин С.А., Браун Э.Д., Буше Н.А., Буяновский И.А., Виппер А.Б., Григорьев М.А., Иващенко Н.А., Крагельский И.В., Лашхи В.Л., Лужнов Ю.М., Мур Д., Путинцев С.В., Чайнов Н.Д., Чихос Х., Фукс И.А., Фурухама С. и др.), показал, что ряд специфических вопросов исследования механических потерь, связанных, в частности, с оцен-

кой эффективности АФП в смазочном материале ДВС, требует дополнительного рассмотрения.

Сопоставление экспериментальных балансов механических потерь современных ДВС показывает, что ЦПГ пока остается наиболее энергоемким узлом, в котором заключены основные резервы снижения механических потерь двигателя в целом.

Все известные методы повышения механического КПД можно условно разбить на несколько основных групп, среди которых обычно выделяют конструкционные, технологические и эксплуатационные мероприятия.

Наиболее рациональным техническим решением (с точки зрения затрат “конечного потребителя”), направленным на снижение механических потерь и износа в ДВС, является применение энерго- и материаловосберегающих моторных масел, имеющих в своем составе АФП. Этот подход, относящийся к эксплуатационному этапу, является по ряду причин наименее разработанным, практически лишенным научной основы применения как на теоретическом, так и на экспериментальном уровнях.

Главу завершает постановка цели и задач исследования, вытекающих из обзора состояния проблемы.

Во второй главе представлена разработка теоретических положений моделирования процесса трения и износа в ЦПГ с учетом наличия АФП в моторном масле.

Для качественного анализа и количественного определения влияния механических потерь на топливную экономичность необходимо располагать зависимостями, описывающими связь механических потерь с расходом топлива ДВС. При этом удобнее пользоваться не абсолютными, а относительными значениями параметров. Для вывода соответствующих формул используются основные положения теории ДВС в разделах “Индикаторные показатели”, “Эффективные показатели и механические потери”.

Механический КПД двигателя может быть определен выражением

$$\eta_m = \frac{g_i}{g_e}$$

Тогда относительное изменение механического КПД определяется как

$$\delta_{\eta_m} = \frac{\eta_m^* - \eta_m}{\eta_m} = \frac{\frac{g_i^*}{g_e^*} - \frac{g_i}{g_e}}{\frac{g_i}{g_e}} = \frac{g_e - g_e^*}{g_e^*},$$

где символ * указывает измененное значение параметра.

Откуда следует:

$$\delta_{\eta_m}^{\%} = \frac{\delta_{g_e}^{\%}}{1 - 0,01 \cdot \delta_{g_e}^{\%}}; \quad (1)$$

$$\delta_{g_e}^{\%} = \frac{\delta_{\eta_m}^{\%}}{1 + 0,01 \cdot \delta_{\eta_m}^{\%}}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) после преобразований с учетом малости произведений, $0,01 \cdot \delta_{g_e}^{\%}$ и $0,01 \cdot \delta_{\eta_m}^{\%}$ по сравнению с единицей имеем

$$\delta_{g_e}^{\%} \approx \delta_{\eta_m}^{\%}. \quad (3)$$

Данное выражение позволяет с достаточной точностью оценить предполагаемую экономию топлива, основываясь на величине изменения механического КПД двигателя.

Из теории ДВС удельный эффективный расход топлива равен

$$g_e = \frac{G_T}{N_e} = \frac{G_T}{N_i - N_{мп}}.$$

Откуда:

$$\delta_{g_e}^{\%} = \delta_{s_{мп}}^{\%} \cdot \frac{N_e}{N_{мп}}. \quad (4)$$

Анализ показывает, что погрешность расчета по приближенной формуле (4) составляет не более 9 % при нормативной погрешности измерения g_e , равной 1 % (ГОСТ 18509-80, ГОСТ 14846-80).

Полученные выражения (1-4) позволяют еще до этапа моделирования и эксперимента оценить относительное изменение экономичности ДВС при из-

менении механических потерь и скорректировать тем самым требуемый уровень снижения последних исходя из заданного улучшения экономичности.

Для решения задачи повышения достоверности и информативности экспериментального определения незначительного изменения (3...7%) механических потерь, характерного для применения АФП, ставилась задача разработки новой комплексной методики испытаний. Под комплексностью понималась многоэтапность, дающая повышение достоверности и информативности результатов эксперимента. Так как в данном случае комплексная методика испытаний АФП первым этапом включала исследования препаратов на машинах трения, что в качестве результатов давало массив изменений средних коэффициентов трения, то возникла необходимость установления взаимосвязи между расходом топлива в двигателе и коэффициентом трения в ЦПГ.

Примем, что двигатель работает с постоянной эффективной мощностью $N_e = \text{const}$, а изменение индикаторной мощности пропорционально изменению расхода топлива: $N_i \sim G$, где под G подразумевается как часовой, так и путевой расход топлива.

Пусть δ_f есть относительное снижение коэффициента трения f , а k – относительная доля преобладающего режима трения (граничного, смешанного или гидродинамического), на котором получено снижение δ_f . Тогда измененное значение мощности механических потерь составит

$$N_{мп}^* = (1 - k\delta_f)N_{мп} \quad , \quad (5)$$

Определяя относительное изменение индикаторной мощности, имеем

$$\delta_{N_i} = \frac{N_i - N_i^*}{N_i} \quad . \quad (6)$$

После подстановки (5) в (6) и соответствующих преобразований, получим

$$\delta_{N_i} = k\delta_f \left(1 - \frac{N_e}{N_i} \right) .$$

Откуда из пропорциональности N_i и G_i следует окончательно

$$\delta_{G_i} = k\delta_f (1 - \eta_m) \quad . \quad (7)$$

Выражение (7) позволяет оценить в долях единицы или процентах изменение расхода топлива при изменении коэффициента трения деталей ЦПГ двигателя δ_f при заданных значениях доли превалирующего режима трения и механического КПД.

В комплексной методике определения эффективности АФП на первом этапе используется машина трения с парой “вращающийся диск-колодка”. Результаты испытаний представляются в виде графиков, осью абсцисс которых является число Герси – параметр, описывающий режим смазки вращающейся пары трения. Дальнейшие расчеты связаны с определением показателей трения в паре “кольцо-цилиндр”, т.е. при возвратно-поступательном движении. В последнем случае гидродинамические условия нагружения характеризуются в вычислительной программе числом Зоммерфельда. Отсюда возникает задача установления взаимосвязи между числами Зоммерфельда и Герси, что позволит использовать в расчетах реальные коэффициенты трения, полученные в ходе трибологических испытаний смазочных материалов.

Число Зоммерфельда для случая ползуна (поршня, поршневого кольца) определяется зависимостью:

$$So = \frac{\mu V}{pL}, \quad (9)$$

где p – давление, вызванное действием внешней нагрузки N на площади проекции ползуна $L \cdot B = A$ (рис. 1);

L – размер ползуна в направлении скорости V .

Число Герси служит универсальным параметром нагруженности (режима смазки и трения) образцов типа колодка-диск машин трения вращательного типа:

$$\lambda = \frac{\mu \omega A}{N}. \quad (10)$$

Откуда, с учетом универсальности числа So , справедливо

$$So = \lambda \cdot \frac{R_1}{l} \quad (11)$$

где R_1 – радиус вращающегося образца (диска);

l – длина линии контакта образцов.

Известные выражения (9), (10) вместе с полученной на их основе зависимостью (11) нашли применение при модернизации модели и формировании банка входных данных программы расчета трибосопряжения “поршневое кольцо–цилиндр”.

В третьей главе представлено описание базовой модели и ее модернизации с целью решения задач определения:

- влияния АФП и марки моторного масла на механические потери и износ;
- величины механических потерь и износа в зависимости от режима работы двигателя;
- взаимосвязи параметров конструкции деталей ЦПГ с уровнем механических потерь и износа.

Многочисленные экспериментальные наблюдения показывают, что действие АФП наиболее сильно проявляется в условиях граничного трения в испытываемом узле. Исходя из результатов, полученных в работах проф. Путинцева С.В., можно положить, что граничный режим трения является преимущественным для сопряжения “первое компрессионное кольцо – цилиндр” (до 62% от общей продолжительности рабочего цикла для автотракторных ДВС). Правомерным выводом из этих фактов является то, что изучение поведения АФП в моторном масле целесообразно строить на примере модернизированной модели трибосопряжения “компрессионное кольцо–цилиндр”.

Для решения указанных задач содержание базовой модели, разработанной на кафедре поршневых двигателей МГТУ им. Н.Э.Баумана, потребовало изменений: прежде всего, модернизации формул расчета силы трения и износа кольца с целью учета присутствия АФП в моторном масле, а также влияния последней на условия смазки и трения в рассматриваемом сопряжении. Кроме того, было выполнено уточнение подхода к расчету вязкости смазочного материала в зависимости от температуры по высоте поршневого кольца. В отличие от базовой в модернизированной модели предусмотрен учет режима так назы-

ваемого “масляного голодания”, т.е. дефицита смазочного материала в зазоре “кольцо–цилиндр”.

Расчет параметров трения в модернизированной модели производился следующим образом: 1) считывались значения необходимых показателей рабочего цикла двигателя из внешнего модуля программы, 2) производился гидродинамический расчет, в результате которого определяли толщину слоя смазочного материала в зазоре “кольцо–цилиндр”, 3) полученное значение толщины сравнивалось с величиной среднеквадратичной шероховатости деталей исследуемого сопряжения и на основе этого сравнения выполнялась идентификация режима трения, 4) производился расчет силы трения.

Следует указать, что коэффициент граничного трения в базовой модели задавался константой, что не позволяло «чувствовать» наличие АФП в смазочном материале. В модернизированной модели после идентификации режима трения программа обращается к внешнему модулю, который содержит банк реальных значений коэффициентов трения, полученных на машине трения МИ-6 для различных смазочных материалов, АФП и режимов трения.

Влияние типа моторного масла на механические потери (на примере двигателя 4Ч 9,2/9,2 (ЗМЗ-402.10)) иллюстрирует табл. 1. Так, согласно результатам проведенного расчета разница в величине механических потерь при прочих равных условиях может достигнуть величины $0,684 - 0,593 = 0,091$ кВт (13,3%).

Таблица 1

№	Частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин	Мощность механических потерь в сопряжении “кольцо–цилиндр”, кВт		
		Минеральное масло	Полусинтетическое масло	Синтетическое масло
1	700	0,055	0,053	0,050
2	1800	0,181	0,174	0,164
3	2500	0,247	0,242	0,236
4	2800	0,310	0,284	0,271
5	4600	0,684	0,641	0,593

Анализ результатов табл.1 дает повод для важного вывода: снижение механических потерь происходит благодаря использованию маловязких масел, с другой стороны подавление износа достигается путем применения высоковязких масел. Отсюда комплексное рациональное решение задачи видится в применении маловязких масел, содержащих АФП.

Результаты испытаний, описанных в гл.4, позволяют с большой долей уверенности предположить, что наиболее эффективным для снижения механических потерь будет препарат, выпускаемый в России под торговой маркой FENOM. Этот состав, оказавшийся в числе лучших на первом этапе испытаний, относится к перспективному классу кондиционеров металла. Некоторые результаты расчетной оценки антифрикционной эффективности названного препарата даны в табл.2.

Таблица 2

n, об/мин	Мощность механических потерь в сопряжении “поршневое кольцо–цилиндр” для материалов сталь–чугун, кВт			
	Минеральное моторное масло SAE 10W-40 (база сравнения)		База + FENOM	
	Профиль		Профиль	
	“прямой”	“бочка”	“прямой”	“бочка”
700	0,096	0,055	0,089	0,052
1800	0,354	0,181	0,350	0,178
2500	0,581	0,247	0,558	0,245
2800	0,673	0,310	0,674	0,307
4600	1,518	0,684	1,524	0,684

Результаты расчета, приведенные в табл.2, наглядно демонстрируют то, что полностью компенсировать недостатки конструкции только применением современных АФП невозможно. В то же время вполне реальным результатом применения АФП является снижение мощности механических потерь на величину порядка 7%.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальной оценки эффективности применения АФП.

Комплексная методика включает в себя три вида испытаний: на машине трения, на моделирующей установке, на полноразмерном двигателе. Такая последовательность позволяет реализовать принцип логичного перехода “от простого к сложному”, т.е. трудоемким и дорогим испытаниям на ДВС предшествуют достаточно простые опыты на машине трения, что помогает резко сократить затраты времени при большом количестве исследуемых препаратов. Далее, следуя указанному принципу, пара составов-«клидеров» подвергается сравнительным испытаниям на моделирующей установке (поршневом трибометре). После чего определяется состав-«победитель» второго этапа, направляемый затем на итоговые стендовые моторные испытания для оценки служебной эффективности в составе агрегата назначения.

Необходимость применения такой комплексной методики дополнительно обусловлена наличием у большинства АФП эффекта последствия, приводящего к тому, что корректные исследования нового препарата требуют замены средства испытания.

Проводимые на первом этапе испытания на машине трения включают в себя два независимых раздела: 1) оценку антифрикционных свойств, 2) сравнение противоизносных качеств. Оба раздела ориентированы на использование типовых машин трения вращательного действия с роликовой аналогией: МИ-6, СМЦ-1, 2070 СМТ-1, УМТ и т.п. Целью испытаний является получение кривой Штрибека, представляющей из себя зависимость коэффициента трения от безразмерного параметра нагруженности пары трения - числа Герси (рис.2). На основании полученных данных составляется так называемый трибологический паспорт смазочных материалов, по результатам которого проводится выбор АФП для дальнейших испытаний. В данном случае таким препаратом на этапе машины трения оказался антифрикционный кондиционер металла FENOM.

Второй этап методики испытаний рассчитан на применение моделирующей установки, в качестве которой служит поршневой трибометр, созданный под руководством проф. Путинцева С.В. на базе двухтактного поршневого

компрессора 1Ч 5,2/5,2 (установка ПЗВ для оценки моющих свойств моторных масел). В ходе опытов на трибометре получают более широкую информацию о служебных свойствах АФП: средние коэффициент и силу трения, мощность механических потерь, а также зависимость мгновенной силы трения от угла поворота коленчатого вала установки. Наиболее наглядный результат оценки антифрикционной эффективности АФП в итоге этих измерений дает сравнение графиков мощности механических потерь базы и объекта испытаний на скоростной характеристике трибометра (рис.3).

В качестве окончательного (третьего) этапа выступает проверка АФП на полноразмерном двигателе в рамках стандартных стендовых моторных испытаний, включая снятие характеристик механических потерь. В настоящей работе испытания препарата FENOM были выполнены на бензиновых двух- и четырехтактном двигателях 1Д 6,2/6,6 (ТМЗ-200) и 4Ч 9,2/9,2 (ЗМЗ-402.10) соответственно (рис. 4). Как следует из представленных характеристик, применение FENOM позволяет снизить уровень механических потерь ДВС на 4,0...4,3% (для двигателя 4Ч 9,2/9,2) и 4,3...13,3 % (для двигателя 1Д 6,2/6,6) при одновременном повышении топливной экономичности в среднем на 7% .

ВЫВОДЫ

1. Анализ работ по теме диссертации показал, что исследование влияния АФП на механические потери является актуальной задачей, решение которой заключает в себе дополнительные и ныне недостаточно используемые резервы повышения технического уровня ДВС.

2. В результате проведенных расчетных и опытных исследований по комплексной методике подтверждено положительное влияние наличия АФП в моторном масле на снижение механических потерь ДВС.

3. Расчетным путем показана возможность устойчивого снижения износа и механических потерь в сопряжениях ЦПГ ДВС при применении маловязких минеральных моторных масел, легированных АФП: износа на 20%, механических потерь – на 13%.

4. Из всех подвергнутых испытаниям товарных марок АФП наилучшее сочетание служебных свойств по результатам расчетного анализа и полномасштабных экспериментальных исследований проявил препарат класса кондиционеров металла FENOM.

5. Использование АФП FENOM в минеральных моторных маслах позволяет снизить уровень механических потерь ДВС на 4,0...4,3% (для двигателя 4Ч 9,2/9,2) и 4,3...13,3 % (для двигателя 1Д 6,2/6,6) при одновременном повышении топливной экономичности в среднем на 7% .

6. Испытания двигателя (4Ч 7,6/7,6) в составе транспортного средства (ВАЗ-2106) показали, что применение АФП FENOM обеспечивает снижение путевого расхода топлива в среднем на 5,5 % в режиме городского ездового цикла.

7. Результаты работы нашли применение на производстве (ОАО “Брянский машиностроительный завод”, ООО “Лаборатория триботехнологии”, Москва), что подтверждается актами о внедрении, а также в учебном процессе МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

1. Путинцев С.В., Галата Р.А., Беклемышев В.И. Результаты триботехнических испытаний смазочных композиций для ДВС // Известия вузов. Машиностроение. –2000. –№3.–С. 51-56.

2. Методика и результаты триботехнических испытаний ряда современных продуктов автохимии / С.В Путинцев., Р.А Галата., В.И. Беклемышев и др. // Совершенствование мощностных и энергоэкономических показателей ДВС: тез. докл. международной. науч.-техн. конф. – Владимир, 2001.– С. 213-214.

3. Оценка служебных свойств многофункционального кондиционера металла FENOM в условиях стендовых моторных испытаний / П.В. Фомин, С.В Путинцев., Р.А Галата и др. // Совершенствование мощностных и энергоэкономических показателей ДВС: тез. докл. международной. науч.-техн. конф. – Владимир, 2001.– С. 247-249.

4. Путинцев С.В., Аникин С.А., Галата Р.А. Проблемы, современное состояние и перспективы математического моделирования смазки, трения и износа в цилиндропоршневой группе ДВС // ДВС XXI века: Тез. докл. науч.-техн. конф. – Санкт-Петербург, 2000. – С. 42.

5. Галата Р.А., Путинцев С.В., Белоусов А.И. Методика и результаты испытаний на машине трения современных антифрикционных и противоизносных присадок к моторному маслу. // ДВС XXI века: Тез. докл. науч.-техн. конф. – Санкт-Петербург, 2000. – С. 60–61.

5. Путинцев С.В., Аникин С.А., Галата Р.А. Аналитические выражения взаимосвязи механических потерь с топливной экономичностью ДВС // Известия вузов. Машиностроение. –2000. –№5–6.–С. 65-68.

7. Путинцев С.В., Аникин С.А., Галата Р.А. Основы расчета и проектирования узлов трения в ДВС / Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 30 с.

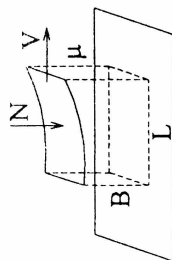


Рис.1. Схема к определению взаимомосвязи между числами Герси и Зоммерфельда

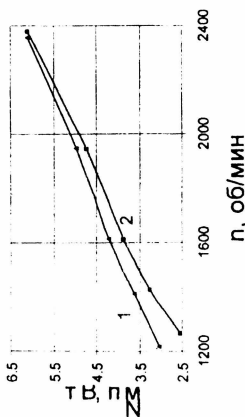


Рис. 3. Мощность механических потерь поршневого трибометра:
1 – минеральное моторное масло Лукойл Стандарт SAE 10-W40 API SF/CC (база сравнения); 2 – базовое моторное масло Лукойл Стандарт SAE 10-W40 API SF/CC (база сравнения); 2 – база + 3% Fenom

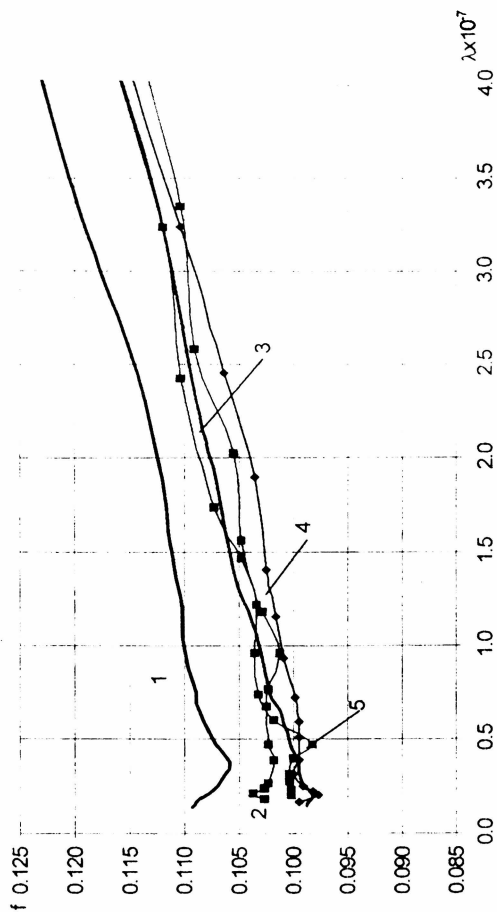
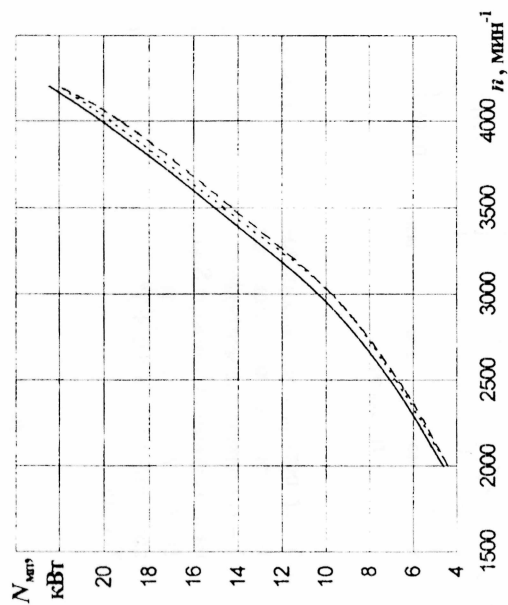
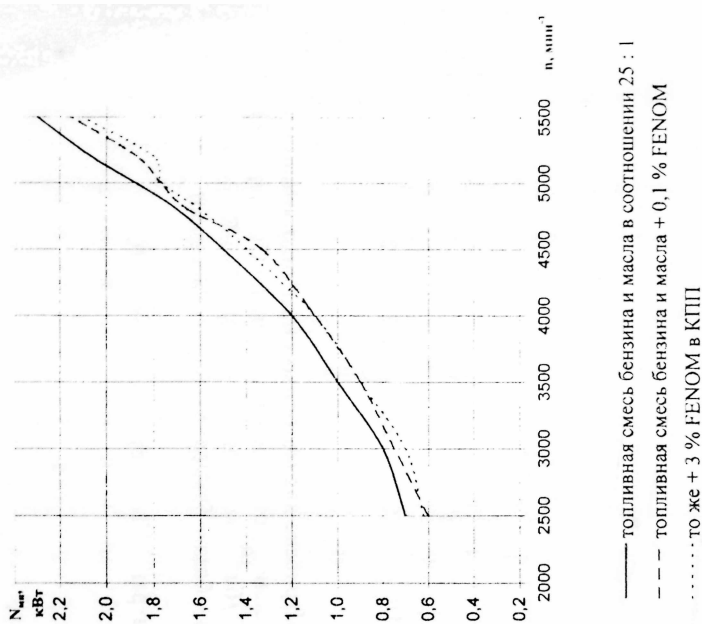


Рис. 2. Кривые Штрибека для моторных смазочных композиций:
1 – минеральное моторное масло Лукойл Стандарт SAE 10-W40 API SF/CC (база сравнения); 2 – база + 6% ER; 3 – база + 2% Мо-литранс; 4 – база + 5% УМ; 5 – база + 3% Fenom
(ER, Мо-литранс, УМ – торговые марки АФП)



— "Лукойл-стандарт" SAE 10W-30 без FENOM
 - - - "Лукойл-стандарт" SAE 10W-30 + 3% FENOM
 "Лукойл-стандарт" SAE 10W-30 без FENOM (последствие)

Рис. 4. Характеристика механических потерь (метод про-
 крутки) двигателя 4ч 9,2/9,2 (ЗМЗ-402.10)



— топливная смесь бензина и масла в соотношении 2,5 : 1
 - - - топливная смесь бензина и масла + 0,1 % FENOM
 то же + 3 % FENOM в КПП

Рис. 5. Характеристика механических потерь двигателя
 1Д 6,2/6,6 (ТМЗ-200)