

На правах рукописи

Кудинов Иван Сергеевич

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И РЕСУРСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧЕТЫРЕХТАКТНЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ВЯЗКОСТНО-ТЕМПЕРАТУРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОТОРНОГО МАСЛА

Специальность 05.04.02 – "Тепловые двигатели"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2011

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», на кафедре двигателей внутреннего сгорания.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Шабанов Александр Юрьевич

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор,
академик МАЭБ
Мохнаткин Эдуард Михайлович
- кандидат технических наук,
Боряев Александр Александрович

Ведущая организация – ОАО «ЗВЕЗДА»

Защита состоится «17» января 2012 г. в 16:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.09 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, главное здание, ауд. 225.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВПО «СПбГПУ».

Автореферат разослан « 16 » декабря 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
д.т.н., профессор



Хрусталеv Б.С.

Общая характеристика работы

Актуальность диссертации

Влияние масел на долговечность и надежность деталей машин определяется их способностью защищать трущиеся поверхности от износа, обеспечивать необходимые характеристики их трения, снижать потери на трение. Очевидно, что работоспособность деталей машин и механизмов при правильной их эксплуатации определяется тремя основными факторами: конструкцией, технологией (качеством) изготовления и смазкой, то есть качеством и оптимальностью характеристик применяемого смазочного масла.

Важнейшим фактором, определяющим оптимальность работы узлов трения ДВС, является правильный подбор вязкостно-температурной характеристики (ВТХ) масла. Задача усложняется тем, что для разных узлов трения (поршневых колец, подшипников коленчатого вала и т.п.), условия работы масла существенно разнятся – и по величинам средних и максимальных нагрузок, и по температурам. В результате, встает очевидная оптимизационная задача, увязывающая мощность трения во всех основных узлах трения двигателя и износы его основных сопряжений.

Цель и задачи исследования

Целью данной научной работы является разработка универсального расчетного метода подбора оптимальной ВТХ моторного масла под конкретный тип двигателя на основании анализа влияния высокотемпературной вязкости на технико-экономические и ресурсные показатели двигателя с учетом назначения двигателя, его конструктивных особенностей и режимов работы.

Методы исследования

В настоящей работе использованы экспериментальные и расчетные методы исследования.

К экспериментальным исследованиям относятся:

- эксперименты по определению значений кинематической вязкости моторных масел во всем диапазоне рабочих температур, характерных для работы узлов трения ДВС;
- экспериментальное исследование влияния высокотемпературной вязкости моторного масла на технико-экономические и ресурсные показатели натурального поршневого автомобильного двигателя.

Расчетные методы исследования включали в себя проведение численного эксперимента по оценке влияния вязкостных свойств различных моторных масел на процессы трения и износа в основных узлах поршневого ДВС с использованием программного комплекса, разработанного на кафедре ДВС СПбГПУ, дополненного и уточненного автором.

Научная новизна

- Предложена и апробирована новая зависимость, описывающая ВТХ моторных масел, обеспечивающая точное описание зависимости их кинематической вязкости в диапазоне температур, характерных для работы узлов трения ДВС;
- Создана библиотека коэффициентов новой зависимости для наиболее

распространенных на рынке России моторных масел различных видов;

- Уточнена математическая модель процессов трения и износа путем ввода новой зависимости, описывающей ВТХ моторного масла;

- Сформулирована задача оптимизации ВТХ моторного масла для конкретного поршневого четырехтактного двигателя, решение которой проиллюстрировано на базе примера оптимизации подбора моторного масла для конкретного автомобильного бензинового двигателя.

Практическая цель

Разработанная методика может быть использована в процессе проектирования и доводки четырехтактных поршневых двигателей с целью повышения их технико-экономических и ресурсных показателей на базе оптимизации работы основных узлов трения этих ДВС.

Основные положения, выносимые на защиту

– Результаты эксперимента по определению кинематической вязкости моторных масел при помощи модернизированного метода замера с целью определения её реальных значений при температурах до 200°С;

– Новая расчетная формула для определения кинематической вязкости масел для всего температурного диапазона его работы в двигателе;

– Уточненная модель расчета процессов трения основных трибологических узлов ДВС, учитывающая реальный характер изменения ВТХ масла и её апробация, полученная путем сравнения результатов расчета с результатами полномасштабных моторных испытаний;

– Метод подбора оптимальной ВТХ моторного масла под конкретный двигатель, проиллюстрированный конкретным примером.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы доложены на: Всероссийской научно-технической конференции «Развитие двигателестроения в России» в 2009 году, а также на Международной научно-практической конференции «НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбГПУ» 2008-2010 годов.

Публикации

Материалы исследований опубликованы в четырех статьях ведущих рецензируемых научных журналов и изданий входящих в перечень ВАК.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Содержит 121 страницу, 56 рисунков, 11 таблиц. Библиография включает 67 наименований литературы.

Содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, определены цель и задачи исследований, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы. Приведена общая характеристика работы.

В **первой главе** содержится краткая сводка и анализ опубликованных научных работ, содержащих в себе информацию по классификации моторных масел, видам механических потерь, трения и износа в ДВС, а так же

кратко описаны экспериментальные и расчетные методы их оценки. Большой вклад в развитие этого направления внесли: Розенберг Ю.А., Орлин А.С., Круглов М.Г., Архангельский В.М., Вихерт М.М., Воинов А.Н., Гергенов С.М., Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С., Гольда Б.В., Проников А.С., Семанидо Е.Г., Хрущев М.М., Бабичев М.А..

Отмечена значимость влияния вязкости моторного масла на мощностные и ресурсные показатели ДВС. Вместе с тем, показано, что отсутствует четко выраженная связь между температурами при которых определяется вязкость моторных масел (40°C и 100°C для кинематической, 150°C – для динамической) согласно требованиям российских и международных правил, и реальными рабочими значениями температур масла в трибосопряжениях.

Очевидно, что для подбора оптимального сорта моторного масла для конкретного двигателя следует учитывать не только его классификацию по SAE и API, но и реальную вязкостно-температурную характеристику, отвечающую рабочим температурам масла в узлах трения, в первую очередь в сопряжениях «поршневое кольцо – гильза цилиндра» и в подшипниках коленчатого вала двигателя.

Приведен обзор методов описания ВТХ моторных масел. Наиболее полно эти вопросы ранее были рассмотрены в работах: Афанасьев И.Д., Le Chatelier H., Лазарев П.П., Дерягин Б.В. и Хананов И.Я., Фальца Э., Dorsey A., Рамайя К.С., Фукса Г.И., Walter H., Konheim N., Larsona, Семанидо Е.Г. и др.

Отмечено, что применяемый в настоящее время метод на базе уравнения Вальтера имеет ограниченную область применения и не всегда позволяют получить реальную картину изменения вязкости масла в необходимом диапазоне температур. Логарифмирование приводит к сглаживанию вязкостно-температурной зависимости, а двойное логарифмирование в ещё большей степени выравнивает реальную вязкостно-температурную зависимость. По этой причине наклоны прямых $\lg \lg(\nu + 0,8) = f(\lg T)$, для жидких нефтепродуктов, сильно разнящихся по своим вязкостно-температурным свойствам, мало отличаются один от другого.

Сделанные на основе анализа литературных данных выводы говорят об актуальности постановки вопроса по уточнению существующих методик определения вязкости и её экстраполяции в область рабочих температур, а так же о необходимости уточнения существующих методик расчета процессов трения.

В результате, основными задачами настоящей работы являются:

- усовершенствовать существующий в настоящее время экспериментальный метод определения кинематической вязкости масел, с целью определения её реальных значений при рабочих температурах двигателя;
- накопить экспериментальные ВТХ современных моторных масел;
- создать новую расчетную формулу для определения кинематической вязкости масла во всем температурном диапазоне его работы в двигателе;
- модернизировать модель процессов трения в основных трибологиче-

ских узлах ДВС, посредством ввода в нее новой формулы описания ВТХ;

– проверить достоверность и точность полученной математической модели путем сопоставления данных расчета и эксперимента. Для этого провести полномасштабный натурный эксперимент по влиянию ВТХ смазочного масла на потери трения и износ двигателя;

– провести на базе полученной модели расчетный эксперимент по изучению влияния вязкости масла на работу трибологических узлов двигателя, сформулировать и решить задачу оптимизации ВТХ на примере конкретного двигателя;

– проверить результаты оптимизации итоговым поверочным экспериментом.

Вторая глава. В ходе проведенных в рамках данной главы экспериментальных работ по определению реальных значений кинематической вязкости широко применяющихся современных всесезонных моторных масел стало очевидно, что существующая в настоящее время классификация SAE жестко не регламентирует моторные масла по параметру вязкости. Ограничения, накладываемые данной классификацией, допускают значительный разброс этого параметра. Отличия между маслами одной группы вязкости при 195°С доходят до 17,1%, при снижении температуры масла эти различия уменьшаются, но и в зоне температур, характерных для работы подшипников КВ, они достигают 7,3%. Полученный результат позволил сделать вывод о недостаточности использования данных классификаций для решения задачи оптимального подбора ВТХ моторного масла под конкретный двигатель.

Анализ погрешности значений кинематической вязкости, полученных по формуле Уббелоде-Вальтера, в сравнение с экспериментальными данными показал, что расхождение в среднем составляет 4,4% в диапазоне рабочих температур при максимальном расхождении в 21,4% при температурах, характерных для рабочих режимов работы деталей ЦПГ. Степень погрешности расчетов данного метода может привести к ошибке моделирования узлов трения двигателя.

На основании полученных результатов, предложена новая формула расчета вязкости.

$$\lg \lg(v_t) = A + BT + DT^2, \quad (1)$$

где v_t - искомое значение кинематической вязкости при температуре T , сСт, T – температура, °С. A , B , D – коэффициенты аппроксимации. Отклонения значений кинематической вязкости рассчитанные по новой квадратичной зависимости от экспериментальных, для всех испытанных образцов моторных масел в диапазоне рабочих температур, в среднем не превышают 0.7%, что доказывает возможность ее применения для описания ВТХ при высоких температурах для любых моторных масел.

В качестве решенных сопутствующих подзадач можно отметить уточнение методики замера кинематической вязкости моторных масел, что позволило экспериментальным путем определить значения кинематической

вязкости для всех выбранных образцов моторных масел в диапазоне температур до 195°C.

Третья глава посвящена модернизации методики расчета процессов трения основных трибологических узлов ДВС. В качестве основы для уточнения были взяты математические модели работы комплекта поршневых колец в составе узла трения «поршень-кольцо-цилиндр», разработанная на кафедре ДВС СПбГПУ, а также модель работы подшипников скольжения коленчатого вала двигателя, предложенная С.М. Захаровым.

Модель работы комплекта поршневых колец включает в себя уточненную методику расчета давлений в заколочных объемах, учитывающую возможность осесимметричных радиальных деформаций втулки цилиндра и переменность коэффициента расхода поршневого кольца. Основой алгоритма является методика, предложенная Р.М. Петриченко.

Учесть деформированность подшипников коленчатого вала и тем самым исключить погрешности в определении поля давлений и толщин масляного слоя, а в последующем величины и диаграммы износа позволяет эластогидродинамический метод расчета, подробно описанный в работе Д.А. Черепанова. Метод предусматривает несколько итераций-решений уравнения Зоммерфельда, в результате которого получают истинную эпюру давлений деформированного подшипника.

В расчетные модели включена новая квадратичная зависимость определения вязкости (1), учитывающая реальный характер её изменения в области высоких температур.

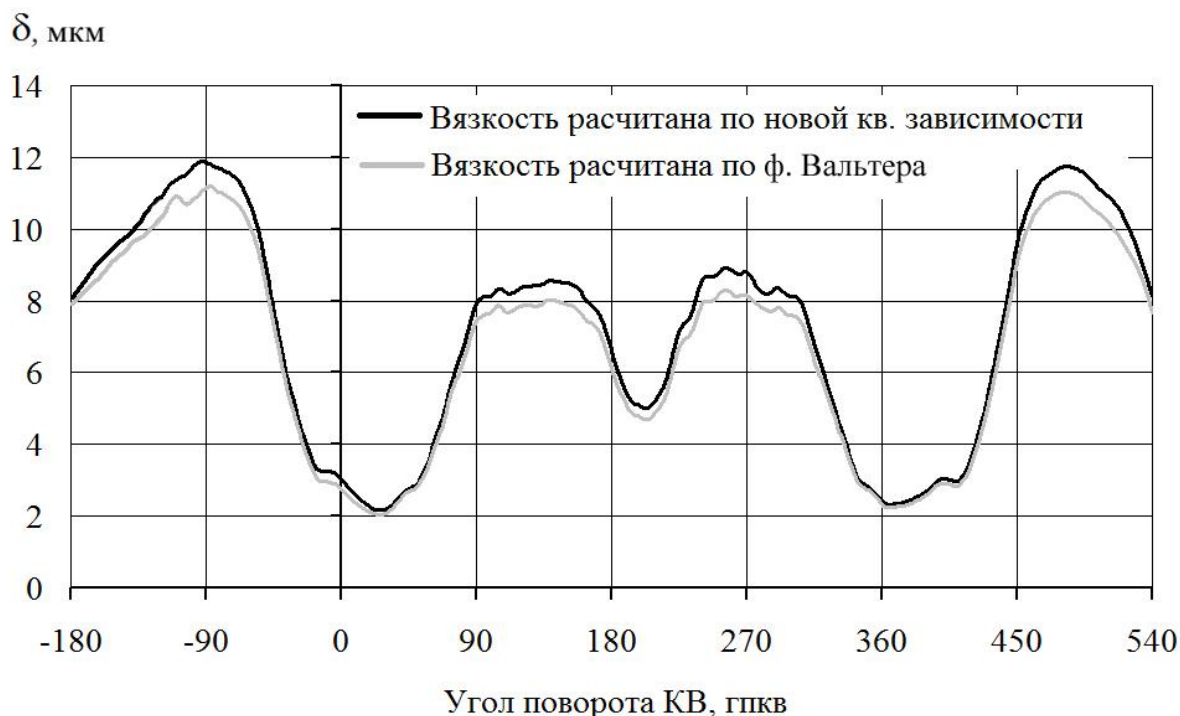


Рис. 1. Толщина масляной пленки в зазоре 1-ое поршневое кольцо – втулка цилиндра для двигателя ВАЗ 2108, режим - 3000об/мин. Моторное масло Shell Helix 15W-40

Описание процессов трения в узлах трения ДВС построено на базе решения уравнения движения подвижных частей узлов (поршневых колец, коленчатого вала) с учетом решения задачи формирования гидродинамической подъемной силы в квазистационарной неизотермической постановке.

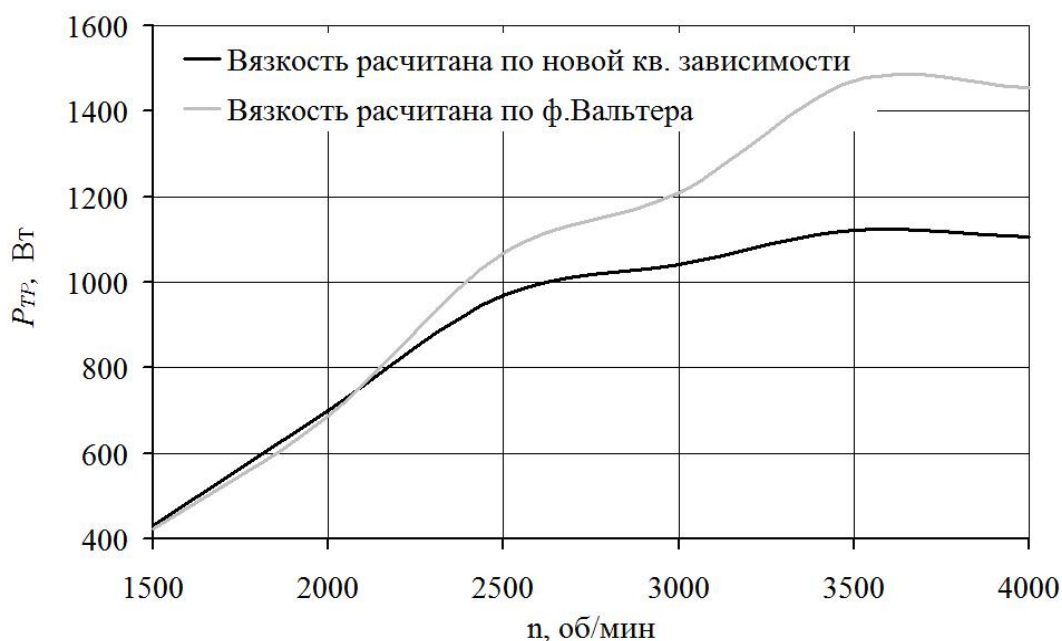


Рис. 2. Мощность мех. потерь 1-ого кольца двигателя ВАЗ 2108 для режима внешней скоростной характеристики. Моторное масло Shell Helix 15W-40

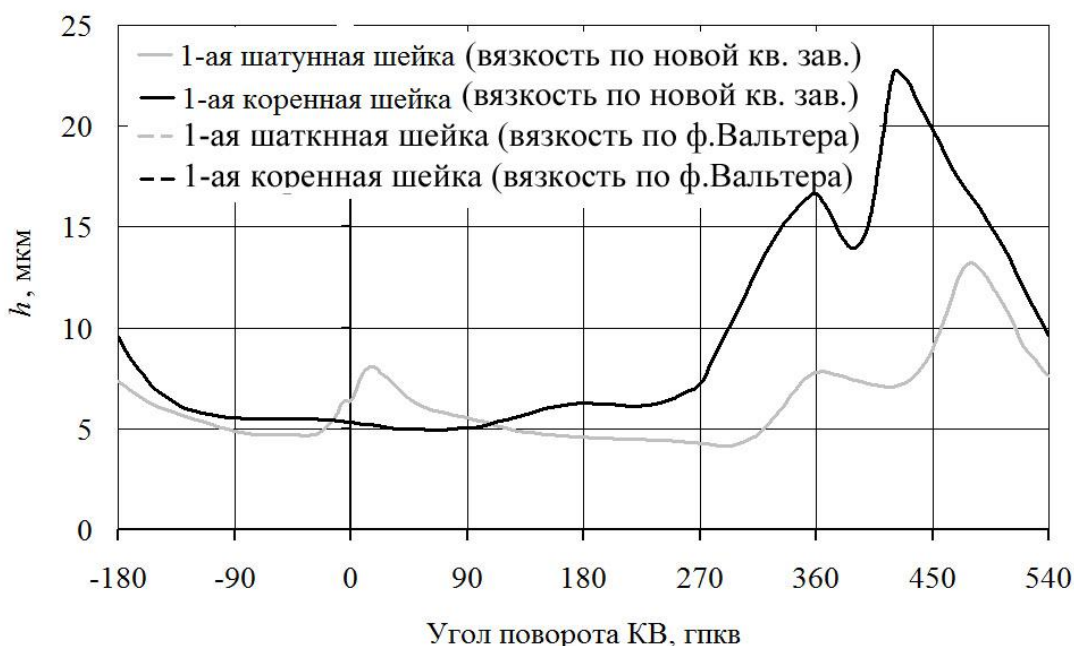


Рис.3. Изменение толщины масляной пленки в 1-ом шатунном и 1-ом коренном подшипниках двигателя ВАЗ 2108 для режима – 3000 об/мин

Уточнение закона изменения кинематической вязкости моторного масла при высокой температуре позволило уточнить решение гидродинамических задач работы узлов трения и существенно повлияло на точность и достоверность итоговых результатов моделирования.

Четвертая глава. Для подтверждения работоспособности модернизированной методики расчета процессов трения, а так же оценки погрешности получаемых по ней расчетных данных, были проведены экспериментально-расчетные исследования влияния вязкости на процессы трения в основных трибологических узлах двигателя.

На испытательном стенде лаборатории кафедры ДВС СПбГТУ были проведены серии полномасштабных моторных испытаний выбранных образцов моторных масел на автомобильном бензиновом двигателе ВАЗ-2108. Основанием для формирования методики послужили: ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний», Стандарт системы СДС ГСМ-FLM «Масла моторные для автомобильных двигателей. Метод оценки склонности к образованию отложений, ресурсных показателей и противоизносных свойств». Всего были проведены длительные испытания на шести образцах различных моторных масел разных видов.

В результате проведенных исследований установлена степень и характер влияния вязкости моторного масла на мощностные и ресурсные показатели двигателя. В частности, показано, что применение различных масел одного класса вязкости по SAE существенно влияет на технико-экономические и ресурсные показатели двигателя.

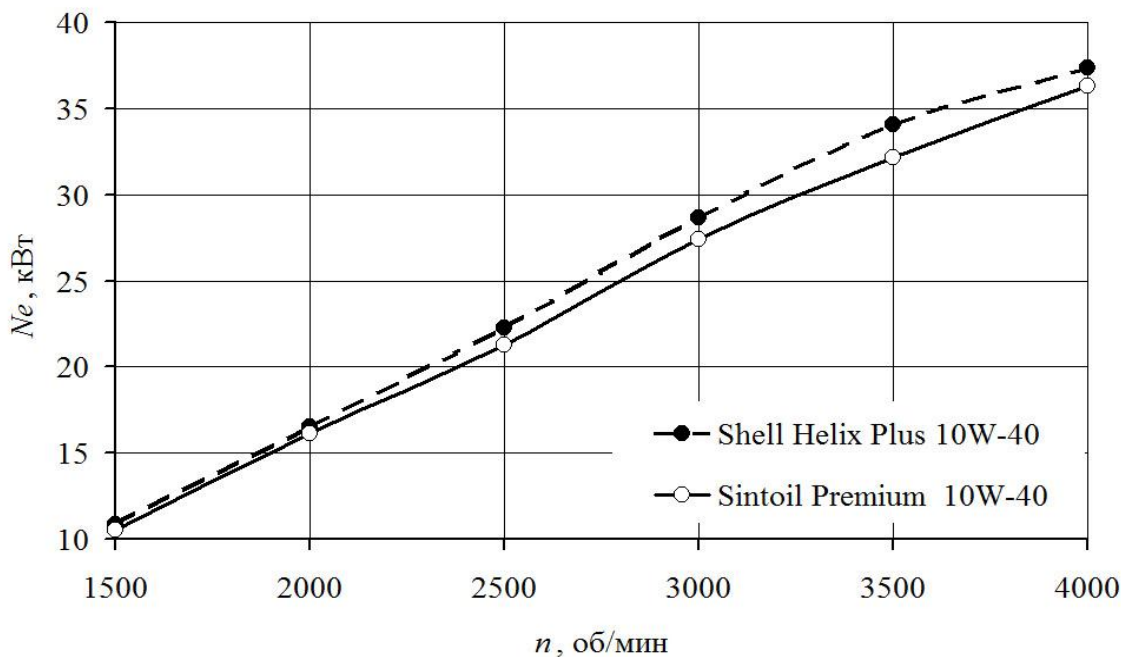


Рис. 4. Сравнение экспериментальных значений эффективной мощности двигателя работающего на маслах Shell Helix Plus 10W-40 и Sintoil Premium 10W-40 одной группы вязкости по классификации SAE

Анализ результатов, полученных в ходе длительных моторных испытаний совместно с результатами эксперимента по замеру высокотемпературной кинематической вязкости для всех испытуемых масел позволил сделать выводы, что различия в мощности вызваны различиями в ВТХ моторных масел.

Данный вывод подтвержден результатами измерения физико-химических параметров образцов отработавших моторных масел, а так же результатами весового контроля деталей.

Для более детального анализа, а так же для оценки эффективности предлагаемой модернизированной математической модели процессов трения, на базе полученных экспериментальных данных было проведено расчетное исследование, позволяющее подробно оценить влияние высокотемпературной вязкости моторного масла на работу основных узлов трения ДВС.

Доказана работоспособность модернизированной модели процессов трения совпадением характера изменения расчетной суммарной мощности трения с характером изменения экспериментальных значений эффективной мощности двигателя, корреляцией фактических и расчетных значений расходов мощности, а так же адекватностью расчетных длин путей трения данным физико-химического и весового анализа.

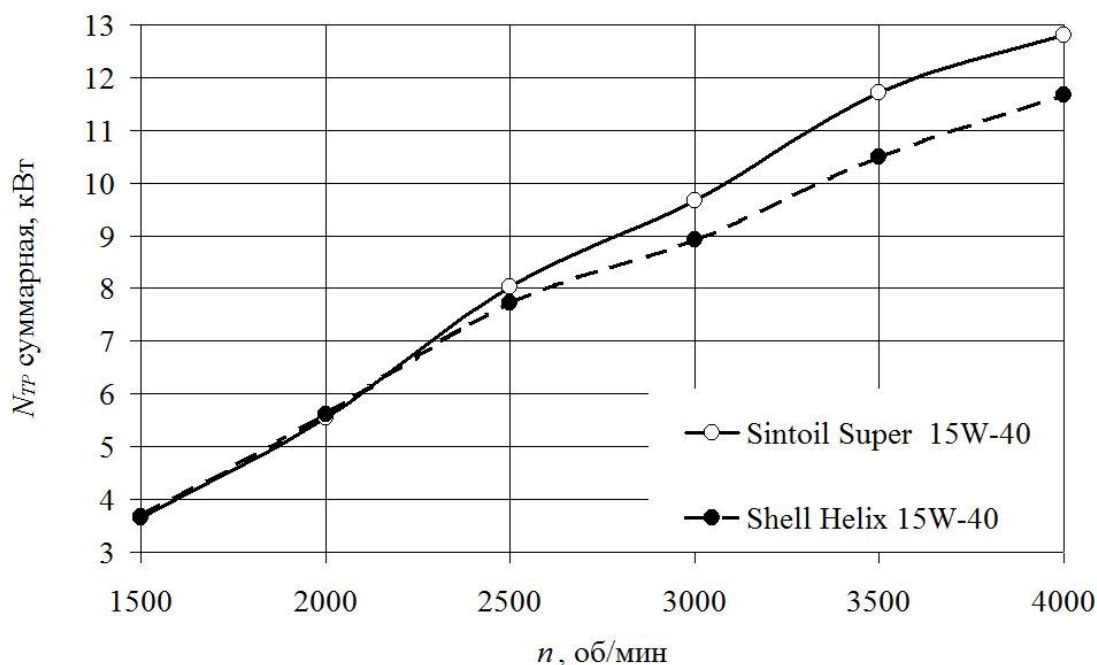


Рис. 5. Сравнение расчетных значений суммарной мощности трения в зависимости от оборотов двигателя, для масел Shell Helix 15W-40 и Sintoil Super 15W-40

Оценена степень повышения точности результатов при использовании новой модели по сравнению с моделью на базе формулы Уббелоде-Вальтера. Расхождение в мощности трения ЦПГ между моделями в среднем составляет $\Delta_{ср} = 6,7\%$ ($\Delta_{max} = 14,3\%$). По суммарной мощности трения $\Delta_{ср} = 5,7\%$ ($\Delta_{max} = 12,3\%$). Ошибка в определении вязкости при рабочих температурах ЦПГ ($\Delta\nu_{ср180-230C} = 16,1\%$) привела к росту погрешности расчета толщин масляной пленки под кольцами поршня и мощностей механических потерь в ЦПГ – основной составляющей механических потерь в двигателе.

В подшипниках коленчатого вала картина иная. Мощности трения в подшипниках близки для обеих моделей. Различия результатов полученных по моделям составляют в среднем $\Delta_{ср} = 0,2\%$, а максимальные значения не

превышают $\Delta_{\max} = 1,2\%$. Это объясняется тем, что формула Вальтера достаточно точно описывает изменение вязкости масла при рабочих температурах подшипников коленчатого вала ($\Delta\nu_{100-130C} = 2,4\%$).

Пятая глава посвящена разработке и апробации универсального метода оптимизации ВТХ моторного масла с учетом особенностей конструкции и назначения конкретного поршневого четырехтактного двигателя внутреннего сгорания.

Согласно классической теории цилиндрического подшипника скольжения, величина коэффициента нагруженности определяется как:

$$K = \frac{P}{\omega\mu} \left(\frac{\Delta}{D} \right)^2, \quad (2)$$

где P – удельное давление, действующее в узле трения; ω – угловая скорость относительного перемещения рабочих поверхностей подшипника; μ – коэффициент динамической вязкости смазочного материала при рабочей температуре в узле трения; Δ – рабочий зазор в подшипнике; D – диаметр шейки вала (характерный размер узла трения).

Величина коэффициента нагруженности подшипника определяет как потери трения в нем, так и величины скоростей износа рабочих поверхностей узла трения. Поэтому, руководствуясь при выборе масла только классом вязкости SAE, невозможно однозначно обеспечить идентичность и оптимальность величин механических потерь и скоростей износа, а значит, и мощностных и ресурсных показателей двигателя.

Учитывая характер влияния вязкости моторного масла на такие параметры двигателя как мощность механических потерь в узлах трения, скорость изнашивания рабочих поверхностей узлов трения, потери смазочного масла на угар, токсичность отработавших газов, термонапряженность деталей цилиндропоршневой группы и пусковые показатели двигателя, задача подбора смазочного масла для конкретного двигателя должна ставиться как оптимизационная, при которой определяется целевая функция и система ограничений.

На основании анализа назначения двигателя, целевая функция оптимизации увязана с мощностью трения, а также с протяженностью зон нарушения гидродинамического трения (путей трения), которые являются неким обобщающим критерием скоростей износа сопряжений трения двигателя.

$$F_M = \alpha K_{TP} + \beta K_{II}, \quad (3)$$

где K_{TP} – комплекс механических потерь; K_{II} – комплекс пути износа; α, β – весовые коэффициенты целевой функции.

В качестве управляющего параметра целевой функции предлагается взять усредненный параметр кинематической вязкости, вычисляемый как:

$$M = \frac{k_{150} \nu_{150} + k_{200} \nu_{200} + k_{230} \nu_{230}}{\nu_{100}}, \quad (4)$$

где ν и k – соответственно кинематические вязкости и весовые коэффициенты при 150, 200, 230°C; ν_{100} – кинематическая вязкость масла при 100°C. Диапазон температур, при которых выбираются определяющие кинематические вязкости, подобран так, чтобы он совпадал с рабочими температурами масла в основных узлах трения ДВС.

Для решения задачи оптимизации целевая функция решается совместно с системой ограничений, накладываемых на вязкостно-температурную характеристику. Ограничения определяют предельно допустимые параметры масла для обеспечения - пусковых характеристик двигателя, проворачиваемости коленчатого вала T_{5000} , достаточной интенсивности теплоотвода от поршневых колец.

Для иллюстрации метода подбора смазочного масла с оптимальными параметрами в работе приведен пример по разработке оптимальной ВТХ для двигателя ВАЗ-2108.

В качестве расчетных режимов испытаний были выбраны те же режимы, что и в экспериментальной части работы. При расчете на каждом из режимов изменялся только управляющий параметр M . Выбор весовых коэффициентов целевой функции оптимизации был определен как 0,8 для мощностных параметров и 0,2 – для ресурсных.

В результате расчетов были получены зависимости суммарных комплексов K_{TP} и $K_{И}$ от управляющего параметра M , а также значение самой целевой функции отражающей результирующее (полное или суммарное) воздействие различных вязкостно-температурных характеристик моторного масла на износ и механические потери двигателя за период эксплуатации его в городском цикле езды.

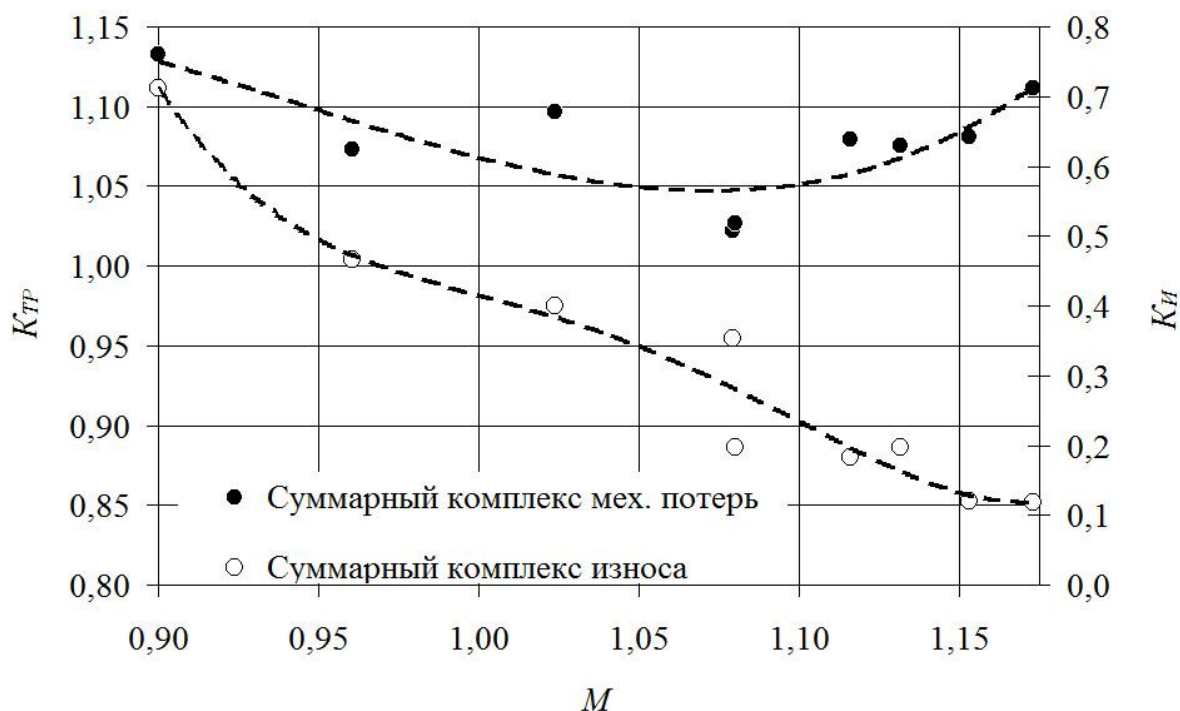


Рис. 6. Влияние управляющего параметра M на суммарные комплексы

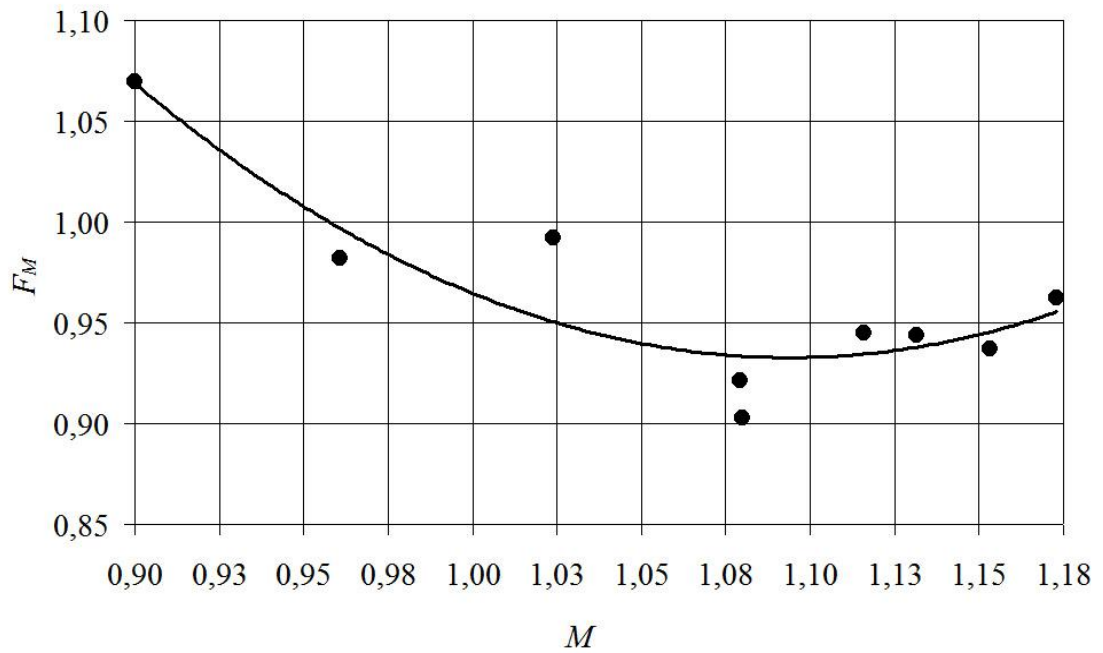


Рис. 7. Зависимость целевой функции от управляющего параметра M

Для подтверждения полученных результатов, а так же для окончательного подтверждения работоспособности разработанной модели было проведено экспериментальное исследование. Из существующих в продаже моторных масел экспериментальным путем, а затем и при помощи новой формулы было определено четыре наиболее близких по вязкостно-температурной характеристике к оптимальному. Наилучшее совпадение показало масло Mobil1 5W-50. Результаты проведенных в дальнейшем моторных испытаний показали, что это же масло обеспечило и максимальную мощность двигателя – рис.8.

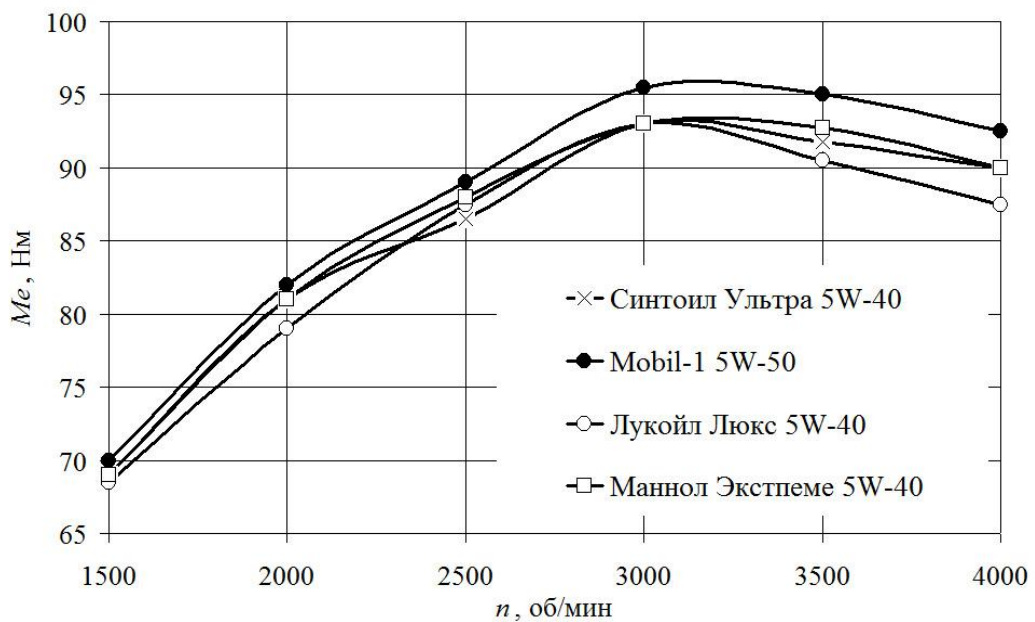


Рис. 8. Изменение крутящего момента двигателя ВАЗ-2108 при работе по внешней характеристике с использованием различных смазочных моторных масел

Для окончательного подтверждения работоспособности методики был произведен расчет целевой функции F_M от управляющего параметра M для данного случая – рис. 9.

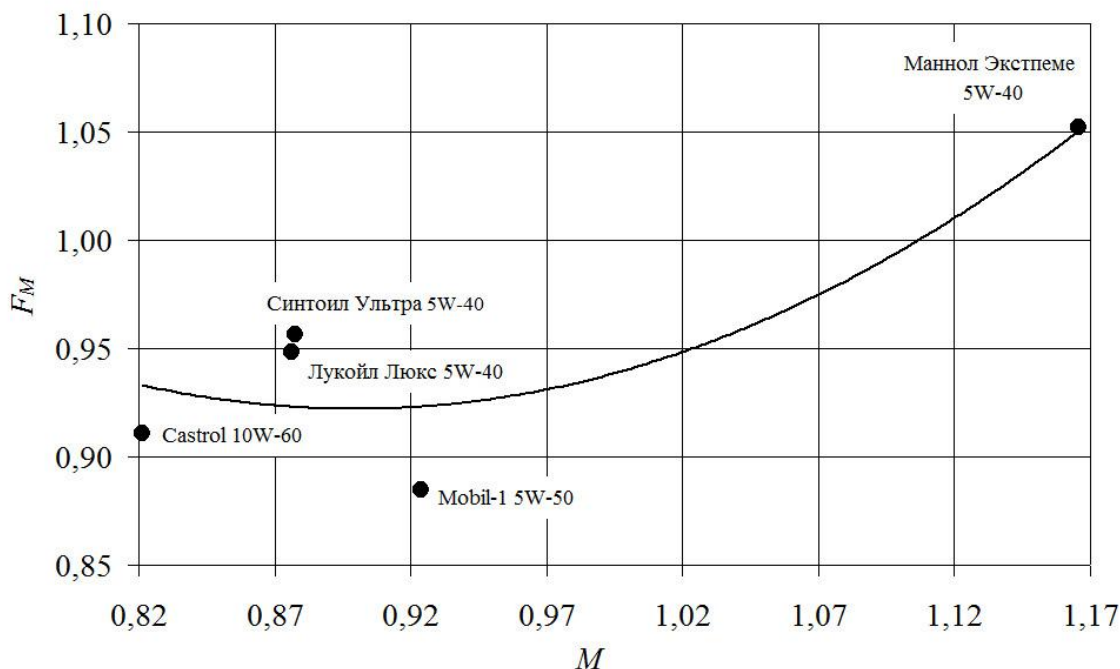


Рис. 9. Результаты расчета целевой функции оптимизации ВТХ применительно к двигателю ВАЗ-2108

Из полученных результатов следует, что в рамках поставленной задачи наблюдается четко выраженный минимум целевой функции оптимизации в области значения управляющего параметра M , равного 0,90-0,91. Этому значению из всей выборки рассмотренных моторных масел в большей степени отвечает синтетическое масло MOBIL-1 SAE 5W-50 ($M=0,92$). При этом контроль введенных ограничений по теплонапряженности поршня и минимальной температуре проворачиваемости коленчатого вала выполнялись у всех образцов моторных масел, участвовавших в испытаниях.

Таким образом, работоспособность предложенного метода оптимизации ВТХ получила свое экспериментальное подтверждение.

Выводы по работе

Таким образом, в результате выполнения настоящей работы были решены задачи, сформулированные выше. По результатам проведенного исследования следует сделать следующие основные выводы:

1. При помощи новой методики замера кинематической вязкости показано, что действительные (реальные) значения вязкости отличаются от принятых и широко используемых в настоящее время экстраполированных (расчетных) значений определяемых по формуле Уббелюде-Вальтера. Порядок отклонений от реальных значений вязкостей в среднем составляет 4,4% в диапазоне рабочих температур масла в двигателе. Максимальные отклонения достигают 21,4%.

На основании полученных результатов предложена новая формула расчета вязкости. Отклонения значений кинематической вязкости рассчитанные по новой квадратичной зависимости от экспериментальных, для всех испытанных образцов моторных масел в диапазоне рабочих температур, в среднем не превышают 0,7%.

2. Определено, что математическая модель, учитывающая вязкость моторного масла при помощи формулы Вальтера, не обеспечивает требуемой точности описания процессов трения в узлах ДВС, что связано с погрешностью определения вязкости в зоне рабочих температур ЦПГ (среднее отклонение по вязкости составляет 16,1%).

3. Уточнение математической модели работы узлов трения в поршневом ДВС может быть достигнуто путем введения в алгоритм модели новой квадратичной зависимости определения вязкости, предложенной в настоящей работе. Степень повышения точности результатов при использовании модернизированной модели по сравнению с моделью на базе формулы Уббе-лоде-Вальтера, в среднем, по мощности трения ЦПГ составляет $\Delta_{\text{ср}}=6,7\%$, по суммарной мощности трения $\Delta_{\text{ср}}=5,7\%$. Корреляция результатов расчета с результатами моторных испытаний, адекватность расчетных длин путей трения данным физико-химического и весового анализа подтверждает работоспособность модернизированной модели. Полученные результаты позволили определить степень и характер влияния вязкости моторного масла на мощностные и ресурсные показатели двигателя.

4. На основании предложенной модели разработан метод оптимизации ВТХ моторного смазочного масла с целью повышения технико-экономических и ресурсных показателей различных типов двигателей с учетом их назначения, особенностей конструкции и характерных режимов эксплуатации. Достоверность и работоспособность предложенной методики оптимизации подтверждена экспериментальным путем в ходе решения задачи оптимизации вязкостных характеристик моторного масла для конкретного автомобильного двигателя.

Основные публикации по теме диссертации

Публикации в изданиях по перечню ВАК:

1. **Кудинов, И.С.** Новый метод определения высокотемпературной вязкости моторных масел. [текст] / А.Ю. Шабанов, А.Б. Зайцев, И.С. Кудинов // Двигателестроение. - 2009. - №2. – С. 53-54.
2. **Кудинов, И.С.** Влияние высокотемпературной вязкости моторных масел на суммарную мощность трения в высокооборотных двигателях. [текст] / А.Ю. Шабанов, А.Б. Зайцев, И.С. Кудинов // Двигателестроение. - 2009. - №3. – С. 29–31.
3. **Кудинов, И.С.** Влияние некоторых физико-химических показателей моторного масла на технико-экономические и ресурсные показатели поршневых бензиновых двигателей. [текст] / А.Ю. Шабанов, А.Б. Зайцев, И.С. Кудинов // Двигателестроение. - 2011. - №1. – С. 24-28.
4. **Кудинов, И.С.** Расчетно-экспериментальная методика подбора оптимальной вязкостно-температурной характеристики смазочного масла для поршневого четырехтактного двигателя внутреннего сгорания. [текст] / А.Ю. Шабанов, А.Б. Зайцев, И.С. Кудинов, А.А. Метелев // Научно-технические ведомости. - 2011. - №1. – С. 95-100.