

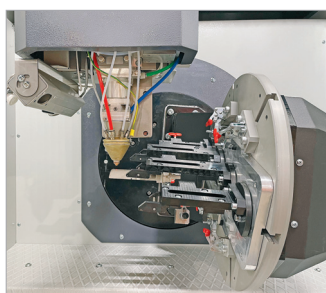
март
апрель
2024

Турбины и Дизели

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№2 (113)

**ГЭХ Сервис газовых турбин:
на пути технологического суверенитета**



**Газопоршневые установки Jichai
поставлены на Черногорскую ТЭЦ**

**Передовые технологии обработки
компании «Лазеры и аппаратура»**

Содержание

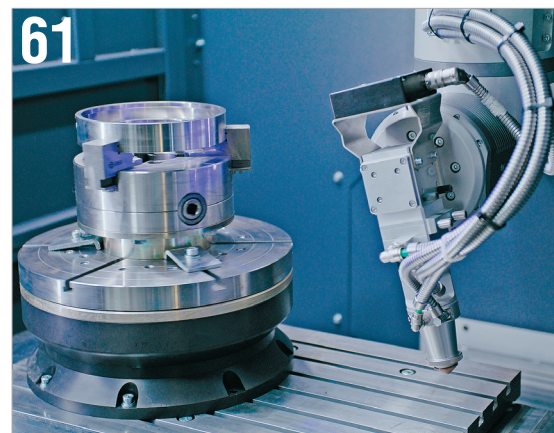


март-апрель 2024, № 2(113)

Фото на обложке:
«ГЭХ Сервис газовых турбин»: на пути технологического суверенитета



- 6** От редакции
Российское двигателестроение набирает обороты.
Новейший дизель-генератор поставлен на Курскую АЭС-2
А.Ю. Култышев, д.т.н. – журнал «Турбины и Дизели»
- 8** Технологии
«ГЭХ Сервис газовых турбин»: на пути технологического суверенитета
*А.А. Вишневский, Н.С. Полторакова – ООО «ГЭХ Сервис газовых турбин»
Р.В. Алдохин, Ю.В. Зуева, К.В. Симулин – ООО «Газпром энергохолдинг индустриальные активы»*
- 10** Паротурбинные установки
Флаттерный анализ как один из этапов разработки рабочих лопаток предельной длины
*А.А. Ивановский (к.т.н.), А.М. Тюхтяев, В.Р. Вилданов, А.Д. Градусов – АО «Силовые машины»
Ю.К. Петреня, д.ф.-м.н. – Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*
- 16** Паротурбинные установки
Особенности работы многоступенчатого осевого компрессора с двухопорной конструкцией направляющих аппаратов
А.К. Воробьев, Ф.А. Малышев, Е.И. Давлетгареева – АО «Силовые машины»
- 20** Паротурбинные установки
Эффективные паровые турбины Shandong Qingneng Steam Turbine
*А.Н. Калинин, Ш.Р. Якупов – ООО «Паровые турбины и сервис Циннен»
В.Д. Буров, к.т.н. – Национальный исследовательский университет «МЭИ»
А.А. Троицкий – журнал «Турбины и Дизели»*
- 24** Паротурбинные установки
Влияние компоновки трубной системы конденсатора на распределение скоростей воды в трубках
*К.Э. Аронсон, (д.т.н.), Е.К. Александрова, А.Л. Демидов, А.Ю. Рябчиков (д.т.н.) – ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Б.Е. Мурманский, д.т.н. – ПАО «Т Плюс»*
- 30** Паротурбинные установки
Принципы проектирования современных систем предиктивной диагностики и концепция предиктивного регулирования паровых турбин
И.Ю. Кляйррок, к.т.н. – ООО «Газпром энергохолдинг индустриальные активы»
- 36** Газотурбинные установки
Экспериментальное исследование течения газа в затурбинном диффузоре на переменных режимах работы ГТУ с дополнительным подводом воздуха
*М.Г. Черкасова – АО «Силовые машины»
В.А. Черников (д.т.н.), Е.Ю. Семакина (д.т.н.) – ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»*
- 44** Газотурбинные установки
Турбовинтовентиляторный двигатель для легкомоторной авиации и беспилотников
*А.Б. Агафонов Б.Н. Агафонов (к.т.н.) – ООО «Энерготех»
А.А. Савицкий – ООО «АЛС Северо-Запад»*
- 48** Двигатели внутреннего сгорания
Исследование механизмов влияния эксплуатационных препаратов «Револомд» на характеристики двигателей внутреннего сгорания
*А.Ю. Шабанов (к.т.н.), А.А. Сидоров (к.т.н.) – ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
И.Ф. Пустовой, Е.О. Сушков – ООО «Револомд»*



- 54** Двигатели внутреннего сгорания
Контроль подготовки топливовоздушной смеси в газопоршневом двигателе – гарантия его эффективной работы
Д.С. Колесов – ООО «НПО ТЕХ»
- 58** Новые разработки
Энергетические решения для развития отечественного двигателестроения
О.А. Шестаков – ООО «Трансмашхолдинг-Энергетические решения»
- 60** Новые разработки
Передовые технологии обработки компании «Лазеры и аппаратура»
А.Л. Цыганцова – ООО «НПЦ «Лазеры и аппаратура ТМ»
- 64** Новые разработки
Газопоршневые установки Jichai поставлены на Черногорскую ТЭЦ
*Я.Ю. Сигидов (к.т.н.), Е.Ю. Шныров (к.т.н.) – АО «Интертехэлектро»
Сяоли Мэн – CNPC Jichai Power Company Ltd.*
- 68** Распределенное производство энергии
Собственная генерация – повышение надежности электроснабжения и сокращение расходов на электроэнергию
В.С. Абрамов, И.Э. Магдиев, А.И. Семенов – ООО «Меридиан Энерго»
- 72** Аналитика, обзоры
Сжигание низкоуглеродных и безуглеродных топлив в газопоршневых и газотурбинных установках
*Б.А. Рыбаков (к.т.н.), М.А. Савитенко – АНО «Водородные технологические решения»
О.А. Сиделев – ООО «Хуасюнь Групп Ру»
А.И. Счастливцев, к.т.н. – «ФГБУН Объединённый институт высоких температур РАН»*
- 80** Аналитика, обзоры
Аналитический обзор характеристик и особенностей конструкции современных паровых и газовых турбин
Н.А. Забелин (д.т.н.), Е.Ю. Семакина (д.т.н.), М.Ю. Боршош, Н.А. Курилец – ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
- 90** Атомная энергетика
Ядерный реактор ВВЭР-1000 как источник энергии для производства водорода на основе высокотемпературного парового электролиза
Садеги Хашаяр (к.т.н.), Газали Сейед Хади (к.т.н.), Е.А. Соколова (к.т.н.), К.А. Найпак – ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
- 98** Компрессорные установки
Проблемы вибрации центробежных компрессорных машин
В.К. Юн (д.т.н.), Н.М. Иванов (к.т.н.) – АО «НЗЛ»
- 106** Эксплуатация, сервис
Определение теплофизических характеристик эфирных смазочных масел для ГТД расчетными способами
*С.Ю. Поляков (к.т.н.), В.К. Фадеев, И.Р. Урмеев – ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ»
А.Ю. Денисов – АО «НПЦ Спецнефтьпродукт»*



Турбины и Дизели

информация с пяти континентов

Издатель ООО «Турбомашины»

Главный редактор
Култышев А. Ю., д.т.н.

Литературный редактор
Зинченко Г.М.

Дизайн и верстка
Капралов А. Д.
Понакушина А. Е.

Учредитель ООО «Турбомашины»

Генеральный директор
Капралов Д. А.

Коммерческий директор
Троицкий А.А.

Директор по маркетингу
Капралова Л.Е.

Менеджер по работе с клиентами
Торицина Т.А.

Генеральный партнер
ООО «Газпром энергохолдинг
индустриальные активы»

Адрес редакции и издателя
Россия, 152925, г. Рыбинск Ярославской обл.,
ул. Бабушкина, д. 21, оф. 47.
Тел./факс (4855) 285-997.
E-mail: info@turbine-diesel.ru

Адрес в сети Интернет
www.turbine-diesel.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации
ПИ №ФС77-84053 от 28 октября 2022 г.

ISSN 2949-2971

Журнал входит в перечень рецензируемых
научных изданий ВАК №2682 от 19.12.2023 г.

Свободная цена.

Тираж 3 000 экземпляров.

Подписные индексы в объединенном каталоге
«Пресса России»:
– журнал «Турбины и Дизели» – **87906**
– каталог оборудования
«Турбины и Дизели» – **87907**

Журнал отпечатан – ООО «Принтер»
Адрес типографии:
Ярославская обл., г. Рыбинск, ул.Луговая, д.7

Мнение редакции не всегда совпадает
с мнением авторов публикации.
Редакция не несет ответственности
за содержание рекламных материалов.

Дата выхода номера в свет 13.05.2024 г.

Электронные версии журнала (2018 - 2024 гг.)
размещены на сайте «Научная электронная
библиотека» (www.elibrary.ru) и включены
в Российский индекс научного цитирования.



Полное или частичное воспроизведение или
размножение каким бы то ни было способом
материалов, опубликованных в настоящем
издании, допускается только с письменного
разрешения издательства ООО «Турбомашины»

Исследование механизмов влияния эксплуатационных препаратов «Револмод» на характеристики двигателей внутреннего сгорания

А. Ю. Шабанов¹, к.т.н., – доцент, Aush2003@Mail.ru

А. А. Сидоров¹, к.т.н., – доцент, Turbomotor@Mail.ru

И. Ф. Пустовой² – директор по инновациям, Putovoi@yandex.ru

Е. О. Сушков² – главный инженер, lumart@bk.ru

¹ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

²ООО «Револмод»

Ключевые слова:

трибологические
испытания,
трение,
износ,
дизельное топливо,
бензин,
эффективная
мощность,
механические
потери,
дымность,
токсичность
отработавших газов

Аннотация

В статье рассматривается принцип организации комплексной обработки поршневого ДВС, включающей в себя безразборную обработку основных узлов трения двигателя триботехническим составом, в ходе которой производится частичное восстановление их геометрии и формируются специальные защитные слои, снижающие мощность трения в них. Одновременно с использованием специальных многофункциональных присадок в топливо обеспечивается очистка рабочих поверхностей камеры сгорания, впускной и выпускной системы. Это улучшает процесс сгорания топлива и процесс наполнения цилиндров, стабилизирует температурное состояние двигателя без

вывода двигателя из штатной эксплуатации. Методика иллюстрируется результатами, полученными в ходе стендовых моторных испытаний полноразмерного двигателя. Помимо данных результатов, применение описанной триботехнической обработки позволяет снизить интенсивность изнашивания узлов трения двигателя, повысить надежность его работы, а также улучшить пусковые характеристики двигателя в холодное время года. Кроме того, позволяет снизить расход масла на угар и повысить ресурс работы моторного масла, что в совокупности существенно снижает эксплуатационные затраты на обслуживание парка транспортных средств.

Investigation of the mechanisms of influence of Revolmod performance preparations on the characteristics of internal combustion engines

A. Yu Shabanov¹, PhD of Engineering – Associate Professor, Aush2003@Mail.ru

A. A. Sidorov¹, PhD of Engineering – Associate Professor, Turbomotor@Mail.ru

I. F. Pustovoy² – Director of Innovation, Putovoi@yandex.ru

E. O. Sushkov² – Chief Engineer, lumart@bk.ru

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)

²Revolmod LLC

Key words:

tribological tests,
friction,
wear,
diesel fuel,
gasoline,
effective power,
mechanical losses,
smokiness,
exhaust gas toxicity

Abstract

The article discusses the principles of organizing of reciprocating internal combustion engine complex processing, which includes the non-disassembly treatment of the main friction units of the engine with a tribotechnical composition, during which their geometry is partially restored and special protective layers are formed that reduce the friction power in them; at the same time, the use of special multifunctional additives in fuel ensures cleaning of the working surfaces of the combustion chamber, intake and the exhaust system. This leads to an improvement in the fuel combustion process and the cylinder filling process, stabilizes the tempera-

ture state of the engine without taking the engine out of normal operation. The technique is illustrated by the results obtained during bench motor tests of a full-size engine. In addition to the illustrated results, the use of tribotechnical processing described in the article reduces the intensity of wear of the friction units of the engine, increases the reliability of its operation, and also improves the starting characteristics of the engine in the cold season, in addition, reduces oil consumption for carbon monoxide and increases the service life of the engine oil, which together significantly reduces the operating costs of fleet maintenance vehicles.

Технологии безразборного восстановления узлов двигателя путем использования различного рода препаратов автохимии является одним из перспективных направлений, цель которого – уменьшение эксплуатационных затрат, а также повышение характеристик двигателя (увеличение мощности, снижение расхода топлива, токсичности и дымности отработавших газов).

Подобного рода технологии активно развиваются как в Российской Федерации, так и в ряде зарубежных стран. Известны технологии ХАДО [1–4] (Украина–Россия), Энергия 3000 (Россия–Франция) [3, 4], TFT (Россия–Вьетнам), ART (Россия–Китай). Однако единого мнения об уровне применения этих технологий и механизмов влияния их компонентов на процессы, происходящие в реальном ДВС, до настоящего времени нет [1–6].

В статье будут представлены результаты исследования новой технологии «Револомд», разработанной в С.-Петербурге, на основе параллельной обработки двигателя присадкой в моторное масло (триботехнический состав «Револомд») и многофункциональной присадкой в топливо (МФП) – «Револомд-бензин» или «Револомд-дизель» (в зависимости от типа обрабатываемого двигателя).

С целью определения степени эффективности этой технологии, а также изучения механизма воздействия различных компонентов на физические процессы, определяющие итоговые показатели поршневого двигателя внутреннего сгорания, было проведено специальное расчетно-экспериментальное исследование. Данное исследование включало:

- серию моторно-стендовых испытаний дизельного двигателя КАМАЗ-740 и бензинового двигателя семейства ВАЗ;
- трибологические испытания с использованием машины трения, чтобы определить изменения основных трибопараметров (степени шероховатости поверхности и коэффициентов трения) до и после обработки узлов трибосоставом;
- доработку численной модели процессов трения и износа основных сопряжений в условиях трибообработки ДВС [7–9] с учетом данных эксперимента;
- анализ полученных результатов.

Далее в статье описаны результаты исследования. Для объективности изложения сначала приведены результаты экспериментального исследования на полноразмерных двигателях, а затем сделана попытка объяснить полученные результаты с помощью современных подходов теории ДВС и прикладной трибологии.

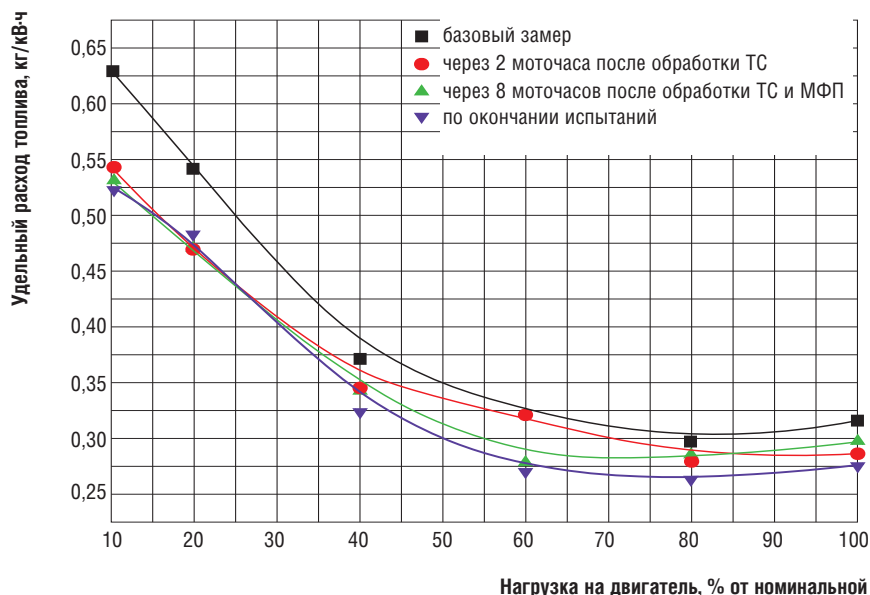
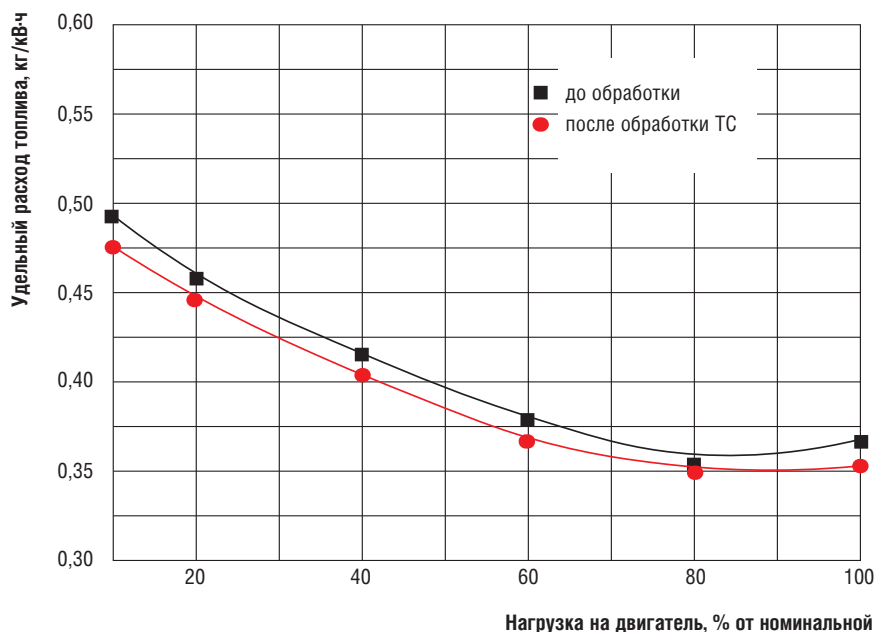


Рис. 1. Удельный расход топлива бензинового двигателя при его работе по нагрузочной характеристике до и после обработки трибосоставом «Револомд»

Испытания проводились на двух типах двигателей – бензиновом ВАЗ-2112, с распределенным впрыском, и дизельном ЯМЗ-238 НБ. Двигатели полноразмерные, установлены на стендах с тормозными устройствами разных типов: бензиновый – с электрическим, дизельный – с гидравлическим. Стенды позволяют проводить испытания во всем диапазоне нагрузок и частот вращения коленчатого вала.

Комплексная обработка двигателей по ресурсосберегающей технологии с использованием составов «Револомд» предусматривает параллельную обработку узлов трения двигателя трибологическим составом, вводимым в моторное масло, а также очистку камеры сгорания, впускной системы, распылителей форсунок препаратом, вводимым в топливо.

Рис. 2. Удельный расход топлива дизельного двигателя при его работе по нагрузочной характеристике до и после обработки трибосоставом «Револомд»



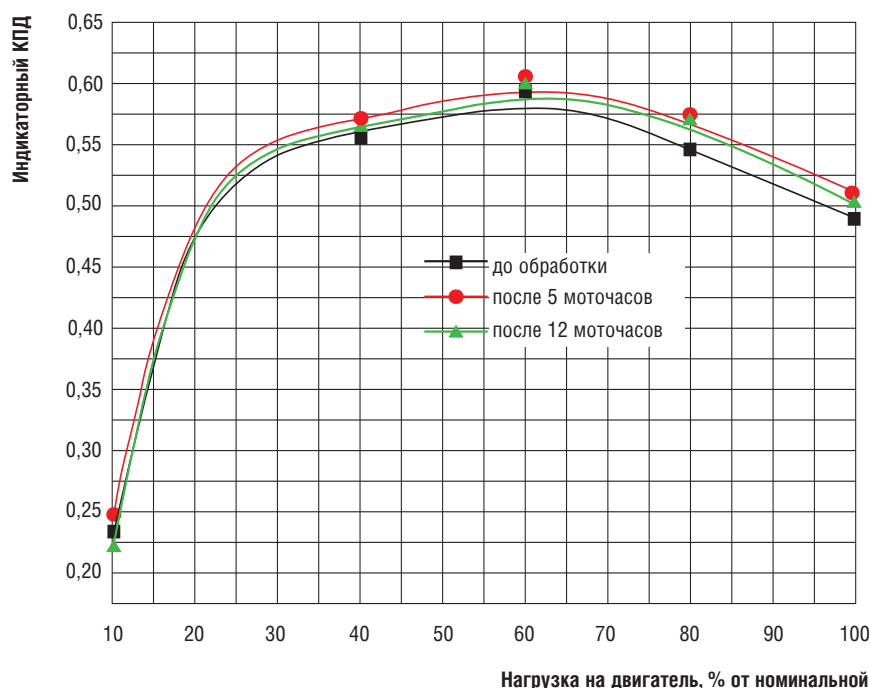
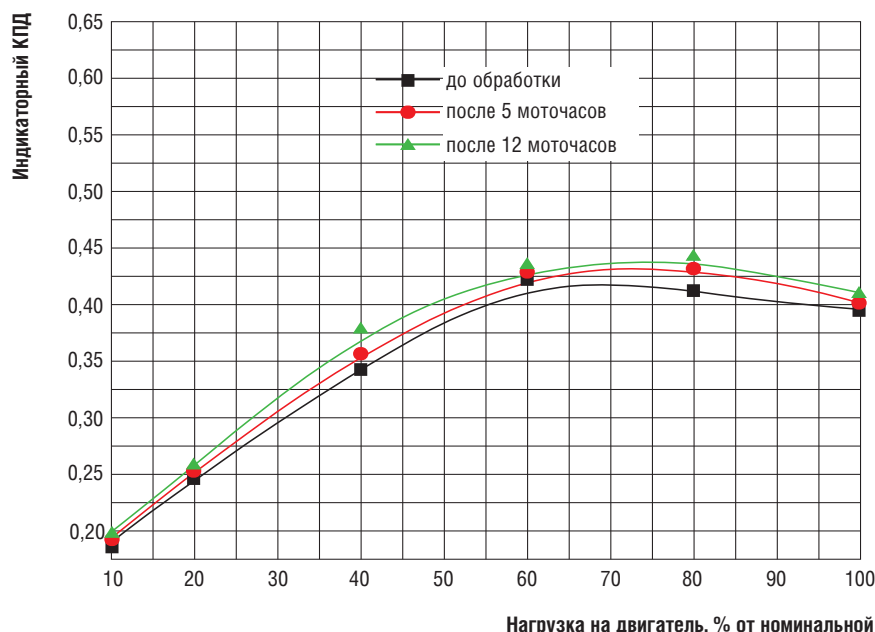


Рис. 3.
Изменение индикаторного КПД цикла дизельного двигателя на разных стадиях обработки по технологии «Револмод» - «Дизель» при работе по нагрузочной характеристике

Рис. 4.
Изменение индикаторного КПД цикла бензинового двигателя на разных стадиях обработки двигателя по технологии Револмод-Бензин при работе двигателя по нагрузочной характеристике



Для разделения эффектов работы вводимых компонентов методика проведения испытаний предусматривала последовательную обработку двигателя — сначала трибосоставом, потом составом, вводимым в топливо. Длительность каждой серии испытаний составляла 12 моточасов. По итогу каждой стадии испытаний производился замер основных показателей двигателя на десяти идентичных нагрузочных режимах двух нагрузочных характеристик. Результаты моторно-стендовых испытаний, полученных на этой стадии исследования, приведены ниже.

В процессе испытаний для обоих двигателей было зафиксировано снижение удельного расхода топлива во всем диапазоне работы по

частоте вращения коленчатого вала и по нагрузке. Графики, иллюстрирующие полученный эффект, представлены на рис. 1, 2.

Для того чтобы выяснить механизм формирования эффектов, получаемых при обработке бензинового и дизельного двигателей, надо первоначально определиться с механизмами ухудшения качества рабочих и трибологических процессов в процессе штатной эксплуатации двигателя.

Теоретически очевидно, что суммарное воздействие на процессы в двигателе определяется изменением под влиянием эксплуатационных факторов рассматриваемых препаратов на индикаторные показатели цикла (в частности, на индикаторный КПД цикла η_i) и на механические потери (механический КПД η_m).

Снижение индикаторного КПД, обусловленное износом двигателя, связано со следующими основными факторами [1, 8, 9, 10]:

1. Загрязнение рабочих поверхностей камеры сгорания и элементов топливной аппаратуры, что нарушает штатное протекание процессов смесеобразования и сгорания. Кроме того, наличие больших отложений на поверхностях камеры сгорания нарушает процесс теплообмена в цилиндре, что также снижает эффективность рабочего цикла;

2. Увеличение протечек из камеры сгорания, вызванное ростом зазоров в ЦПГ, что способствует снижению КПД цикла, особенно это проявляется на режимах с низкими частотами вращения коленчатого вала;

3. Высокая степень загрязненности впускной и выпускной системы двигателя, особенно клапанов, нарушает качество процесса газообмена и ухудшает наполнение цилиндров. Для дизеля это снижает величину локальных коэффициентов избытка воздуха в зоне сгорания, ухудшая качество сгорания. Для бензинового двигателя ухудшение наполнения снижает массу топливовоздушной смеси, поступающей в цилиндры, что непосредственно влияет на показатели мощности и экономичности мотора.

С точки зрения роста потерь трения и снижения механического КПД, важнейшим фактором является ухудшение условий смазывания рабочих поверхностей пар трения, которое определяется увеличением зазоров в них, приводящих к снижению давления масла в системе смазывания и ухудшению маслоснабжения зон трения. Уменьшается несущая способность цилиндрических подшипников коленчатого вала и плоских подшипников ЦПГ (поршневых колец и тронков поршней) из-за появления на этих поверхностях дефек-

тов трения, искажающих эпюру гидродинамической подъемной силы. С этим связано уменьшение толщины масляных разделяющих слоев, рост протяженности зон граничного трения и длины путей трения.

Отсюда можно определить пути воздействия испытуемых препаратов семейства «Револомод» на процессы в двигателе, которые объясняют зафиксированные в ходе испытаний эффекты:

1. Активация сгорания, вызванная вводом в топливо МФП. Подробно механизм их влияния на процесс сгорания описан в работах [3, 4, 6, 11]. Активатор сгорания, входящий в состав испытуемых многофункциональных присадок повышает скорость сгорания, сдвигая выделение теплоты в зону минимальных объемов цилиндра, повышает термическую эффективность цикла. При этом растут термодинамические параметры рабочего тела в цилиндре (давление и температура). Все это можно было увидеть в ходе первой серии испытаний (топливных присадок), где наблюдалось повышение индикаторного КПД цикла как бензинового, так и дизельного двигателя (рис. 3, 4). Усиление эффекта роста КПД цикла, очевидно, связано с усилением эффекта очистки камеры сгорания, клапанов и топливной системы от отложений по мере увеличения времени наработки двигателя на топливе с МФП.

2. Улучшение процессов наполнения, очевидно вызванных уменьшением массы отложений во впускной системе, что подтверждается данными весового анализа и эндоскопирования цилиндров двигателя, проводимого на разных этапах испытаний МФП, а также сравнительным анализом данных при замерах расхода воздуха (рис. 5, 6).

В процессе обработки двигателей трибосоставом наблюдалось определенное снижение мощности механических потерь, которое связано, вероятно, с уменьшением сил трения, действующих в основных трибоузлах двигателя, в первую очередь, в зоне работы поршневых колец. Экспериментально мощность механических потерь определялась двумя методами – экстраполяцией часового расхода топлива и методом прокрутки двигателя от стенда. Результаты ее замеров для двух типов двигателей на разных стадиях испытаний представлены на рис. 7.

Кроме того, наблюдался определенный рост компрессии и ее выравнивание по отдельным цилиндрам (рис. 8, 9). Также отмечено существенное улучшение трибологического качества поверхностей трения [10–14], уменьшение степени шероховатости поверхностей

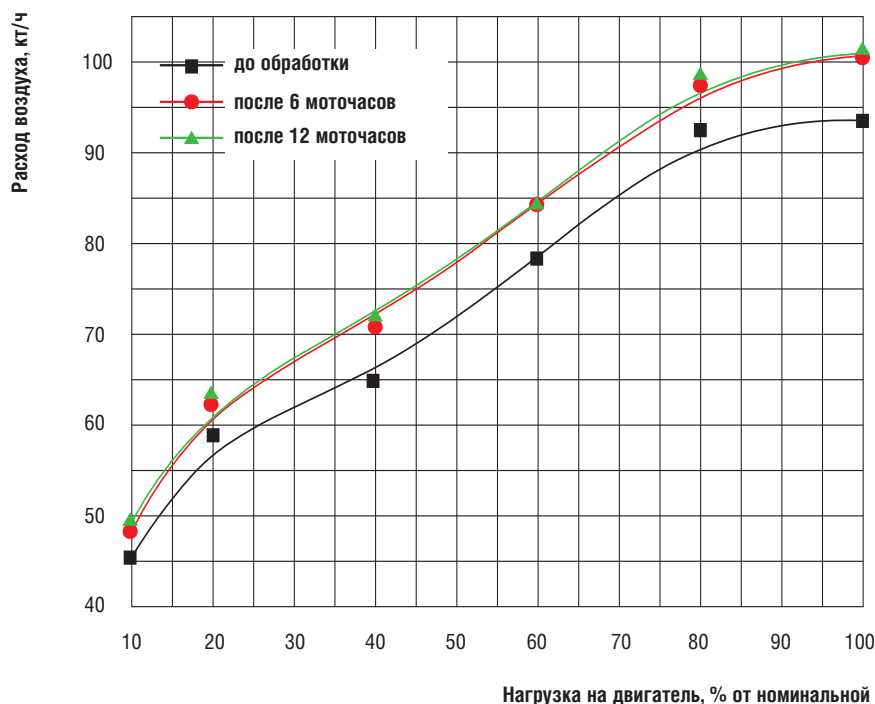
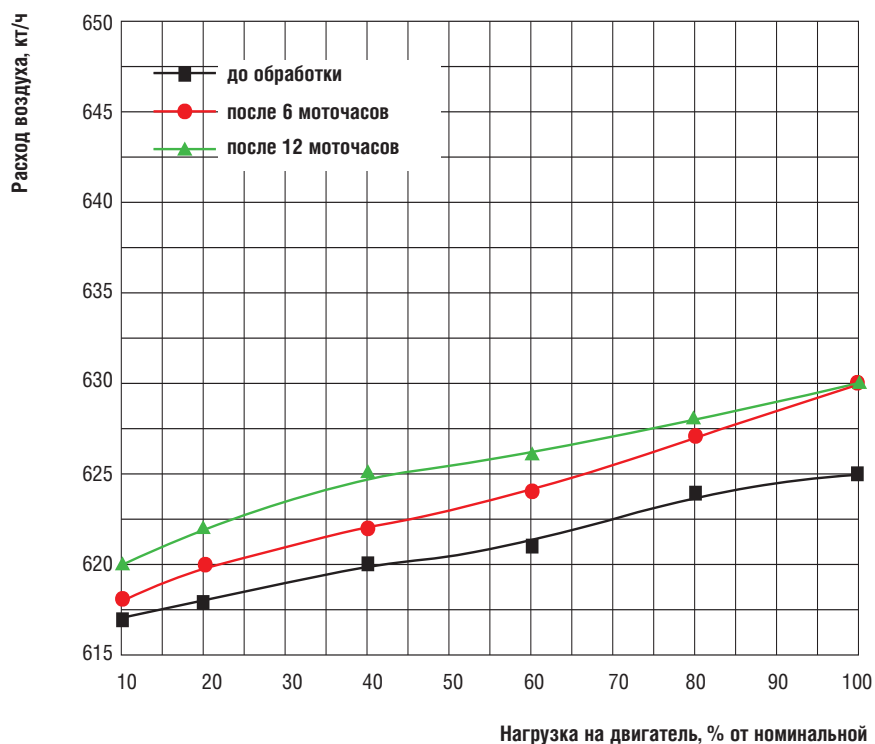


Рис. 5. Результаты изменения расхода воздуха на бензиновом двигателе на различных этапах испытаний МФП в топливо

(так, параметр R_z после обработки двигателя трибосоставом «Револомод» снизился на 40 %).

Это, в свою очередь, отодвигает границу перехода гидродинамического трения в граничное трение в основных узлах двигателя, формирующих мощность механических потерь. В данном случае это цилиндропоршневая группа (зона работы поршневых колец). В сочетании со снижением коэффициента трения в зоне граничного трения это приводит к существенному уменьшению мощности

Рис. 6. Результаты измерения расхода воздуха на дизельном двигателе на различных этапах испытаний МФП в топливо



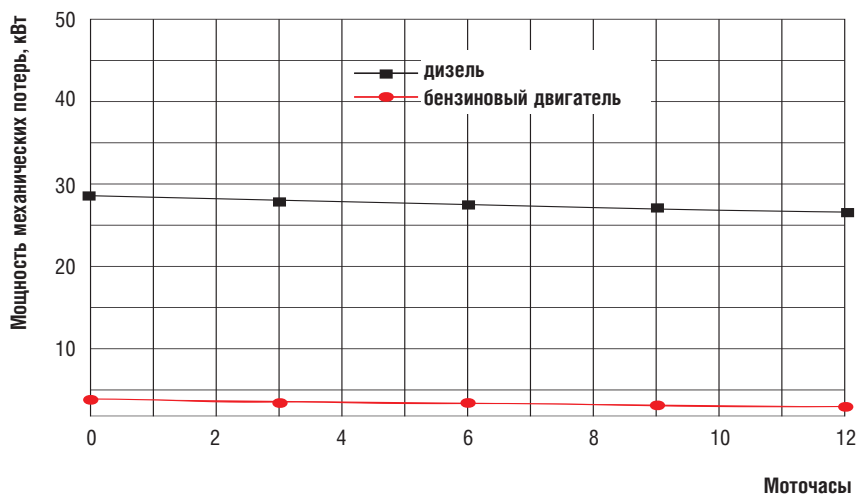


Рис. 7. Изменение мощности механических потерь на фиксированном режиме для бензинового и дизельного двигателей в процессе их обработки трибосоставом «Револомд»

Рис. 8. Изменение компрессии по цилиндрам левого блока дизельного двигателя по итогам его обработки трибосоставом

механических потерь и одновременно с этим — росту индикаторного КПД цикла вследствие уменьшения потерь рабочего тела из камеры сгорания из-за протечек. В итоге мы получаем рост механического КПД цикла двигателя.

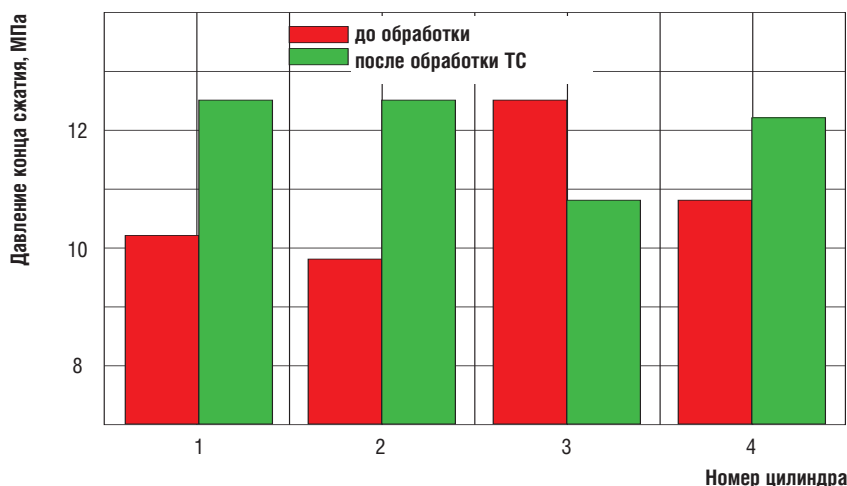
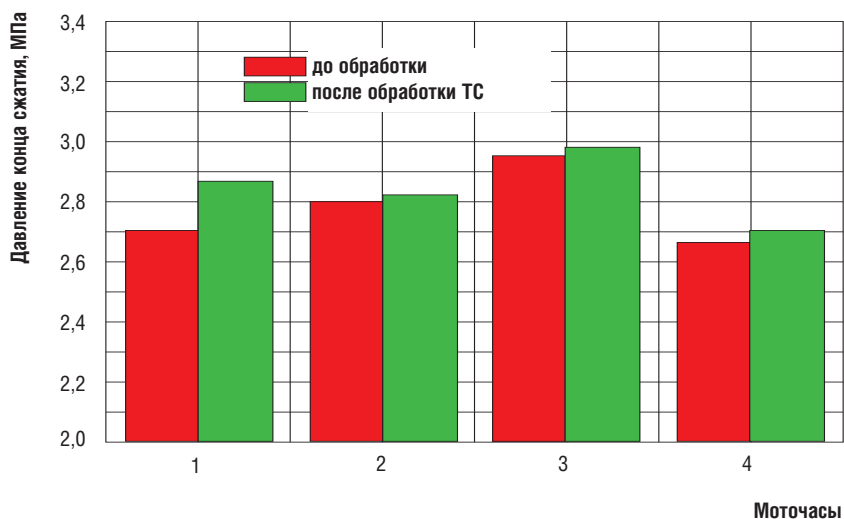


Рис. 9. Изменение компрессии по цилиндрам бензинового двигателя по итогам его обработки трибосоставом

Для выяснения механизма улучшения условий работ трибоузлов двигателя при обработке трибосоставом «Револомд» было проведено моделирование работы комплекта поршневых колец двигателя по модели, созданной в ВШЭМ ИЭ СПбПУ [3, 4, 7, 8] и доработанной с учетом особенностей работы узлов трения в процессе обработки трибосоставом. На рис. 10, 11 представлены результаты моделирования толщин смазочных слоев, формируемых поршневыми кольцами дизельного двигателя в процессе работы на фиксированном режиме работы.

Из расчета следует, что уменьшение сил трения в этом узле в целом является следствием совокупного действия четырех основных факторов:

- улучшение гидродинамического качества рабочих поверхностей поршневых колец и втулок цилиндров двигателя, что приводит к повышению несущей способности колец и увеличению толщин смазочного слоя;
- уменьшение пороговой толщины смазочного слоя, при котором происходит переход от гидродинамического к граничному режиму трения, в результате существенно уменьшается длина пути трения. Эта толщина определяется ориентировочно как утроенная суммарная микронеровность [3, 4] рабочих поверхностей R_{max} , которая существенно уменьшается по итогам трибообработки двигателя;
- уменьшение коэффициента трения в зоне граничного трения с 0,11 до 0,05...0,06;
- рост температуры в трибоузле (как следствие частичной адиабатизации его при уменьшении теплопроводности формируемого трибосоставом композитного слоя), приводящей к снижению вязкости моторного масла и вместе с тем — сил гидродинамического трения в паре «кольцо-гильза» цилиндра.

Таким образом, полученный на натурном эксперименте результат, показавший существенное снижение удельного расхода топлива, находит свое теоретическое подтверждение при исследовании процесса с применением современных экспериментально-теоретических методов моделирования процессов в ДВС. При этом реальный положительный результат, получаемый за счет комплексной обработки двигателя по предлагаемой безразборной технологии, не исчерпывается описанными в статье результатами. На практике наблюдается снижение вероятности отказов и повышение надежности работы двигателя, снижение скорости износа, увеличение срока службы моторного масла, улучшение пусковых характеристик и т.д. **Д**

Список использованных источников

1. Школьников В. М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Справочное пособие. – М: Техинформ, 1999. – 596 с.

2. Сафонов А. С. Автомобильные топлива. Химмотология, эксплуатационные свойства, ассортимент / А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, И. В. Чечкенов. – СПб: НПИКЦ, 2002. – 264 с.

3. Шабанов А. Ю. Современная автохимия. Теория и практика применения. – СПб: Изд. Любавич. – 2016. – 287 с.

4. Шабанов А. Ю. Многофункциональные присадки к дизельному топливу. механизм действия, эффективность, проблемы / А. Ю. Шабанов, А. С. Алешина, А. А. Сидоров, О. В. Абызов // Турбины и дизели. – 2023. – № 4 (109). – С. 70-75.

5. Mingsheng W. Effects of different gasoline additives on fuel consumption and emissions in a vehicle equipped with the gdi engine / W. Mingsheng, Y. Zenghui, Z. Zunqing [et al.] // Front. Mech. Eng., 22 July 2022Sec. Engine and Automotive Engineering. – 2022. – V. 8. <https://doi.org/10.3389/fmech.2022.924505>.

6. Ashok B. Multi-functional fuel additive as a combustion catalyst for diesel and biodiesel in CI engine characteristics/ B. Ashok, K. Nanthagopal [et al.] // Fuel. – 15 October 2020. – 278. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118250>.

7. Элементы математического обеспечения САПР ДВС/ Под редакцией Петриченко Р. М. // Л.: Машиностроение. – 1990. – 356 с.

8. Петриченко Р. М. Трение и теплообмен в поршневых кольцах ДВС / Р. М. Петриченко, А. Ю. Шабанов // Л.: Изд. ЛГУ. – 1990. – 287 с.

9. Галышев Ю. В. Теория рабочих процессов в ДВС. Учебное пособие/ Ю. В. Галышев, А. Б. Зайцев, А. Ю. Шабанов // СПб: Изд. СПбПУ. – 2018. – 198 с.

10. Шабанов А. Ю. Влияние степени поврежденности поверхности трения на показатели работы поршневого двигателя внутреннего сгорания/ Шабанов А. Ю. // М.: Труды ГосНИТИ. – 2011. – т. 109, ч.1. – С. 154-158.

11. Шабанов А. Ю. Исследование эффективности моющих присадок на моторном стенде/ А. Ю. Шабанов, А. Б. Зайцев, Ю. В. Галышев // Двигателестроение. – 2012. – № 1. – С. 40-43.

12. Шабанов А. Ю. Технология обработки «Автоминерал» для высокооборотных автомобильных двигателей/ А. Ю. Шабанов, И. Ф. Пустовой, В. Ф. Городецкий, А. А. Сидоров // Двигателестроение. – 2007. – № 1. – С. 46-49.

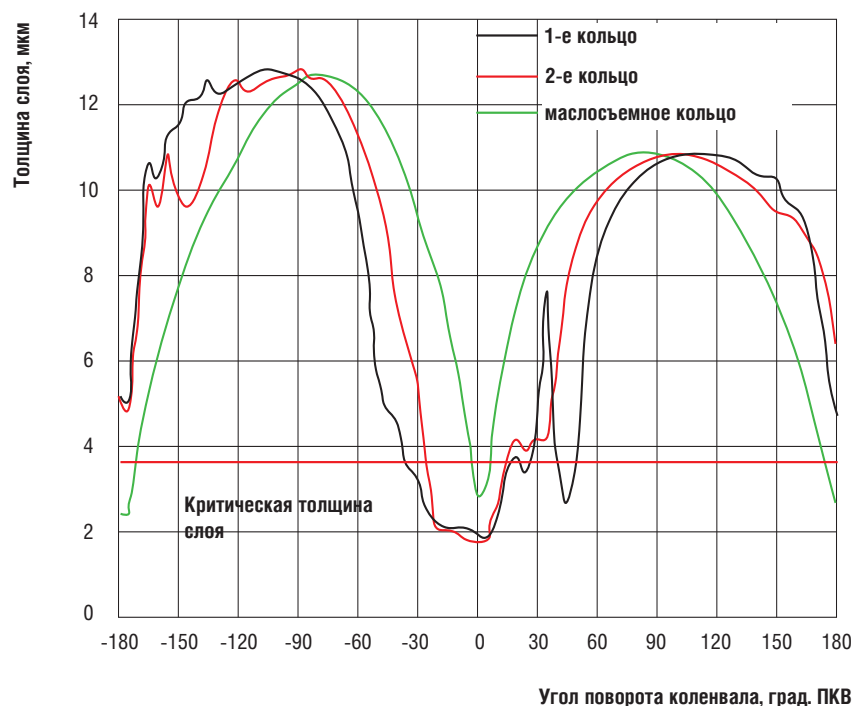


Рис. 10.

Распределение толщин смазочного слоя под поршневыми кольцами дизельного двигателя до обработки трибосоставом

13. Долгополов К. Н. Эксплуатационные эффекты применения минералов как активных агентов смазочных сред/ К. Н. Долгополов, Д. Н. Любимов, И. Ф. Пустовой [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2015. – № 3. – С. 41-46.

14. Lyubimov D. Estimation the ultimate size of the antifrictional protective layer containing mineral friction modifiers/ D. Lyubimov, V. Goldade, I. Pustovoi, A. Dunaev // International Scientific Journal Theoretical & Applied Science. – 2017. – № 8. – С. 89-94.

Рис. 11.

Распределение толщин смазочного слоя под поршневыми кольцами дизельного двигателя после обработки трибосоставом

