

УДК 621.017 / 621.891

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ПРИМЕНЕНИИ ДОБАВОК, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

**А.В. Левченко, к.т.н., МТУ «Николаевская политехника»,  
И.С. Наглюк, проф., д.т.н., Д.В. Осипенко, магистр,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

*Аннотация.* Предложен общий методический подход к решению задачи применения присадок к ДВС, обеспечивающих восстановление его эксплуатационных параметров без текущего ремонта, связанного с разборкой двигателя и заменой его деталей. Подход основан на моделировании и трибодиагностике работы основных узлов трения ДВС в лабораторных условиях.

*Ключевые слова:* трибосистема ДВС, износ, присадки, самоорганизация, ремонтно-восстановительный состав, исследования, трибодиагностика.

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД У ЗАСТОСУВАННІ ДОБАВОК, ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

**О.В. Левченко, к.т.н., МТУ «Миколаївська політехніка»,  
І.С. Наглюк, проф., д.т.н., Д.В. Осипенко, магістр,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

*Анотація.* Запропоновано загальний методичний підхід до вирішення задачі застосування присадок до ДВЗ, що забезпечують відновлення його експлуатаційних параметрів без поточного ремонту, пов'язаного з розбиранням двигуна і заміною його деталей. Підхід ґрунтується на моделюванні і трибодіагностиці роботи основних вузлів тертя ДВЗ у лабораторних умовах.

*Ключові слова:* трибосистема ДВЗ, зношування, присадки, самоорганізація, ремонтно-відновлювальний склад, дослідження, трибодіагностика.

## SYSTEM APPROACH IN THE USE OF ADDITIVES FOR PERFORMANCE RESTORATION OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

**A. Levchenko, Ph. D. (Eng.), ITU «Mykolayiv Polytechnics», I. Nahliuk, Prof., D. Sc. (Eng.), Osypenko, M.S., Kharkiv National Automobile and Highway University**

*Abstract.* A common methodological approach to solving the problem of using additives for internal combustion engines that provide the restoration of its operating parameters without the maintenance associated with engine disassembly and replacement of its parts is offered in the given article. The approach is based on modeling the operation of the main trybosystems of internal combustion engines in laboratory conditions, application of modern methods of trybodiagnosics and conducting performance tests.

*Key words:* trybosystem of internal combustion engines, wear, additives, self-organising, repair and refurbishment structure, testing, trybodiagnosics.

### Введение

По данным Министерства промышленной политики и Научно-исследовательского центра

безопасности дорожного движения на 2002 год автомобильный парк Украины составил около 7 млн, в 2007 году – 9 млн, а в 2012 – уже более 10 млн единиц, из них, по данным

ООН, – 6,5 млн легковых. Уровень изношенности коммерческого транспорта составил 55–70 %. Имеющая место низкая покупательная способность предприятий и физических лиц пока не позволяет обновить парк автомобилей. Поэтому в Украине сложилась и остается таковой ситуация образования и действия так называемых «разношерстных» парков техники по: возрасту, наработке, типу и маркам, условиям эксплуатации.

Отсутствие государственного мониторинга и контроля в области автотранспорта (в основном легкового) привело к следующим общеизвестным фактам: грубое нарушение правил и норм технической эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, ухудшение качества эксплуатационных материалов и запчастей, увеличение загруженности и ухудшение состояния автомобильных дорог. Все это приводит к сокращению сроков службы ДВС автомобилей. При этом остро стоит вопрос рентабельности и целесообразности капитального ремонта ДВС и контроля его качества.

В последнее время, как и 20 лет назад, широкое распространение получили методы (и философия) безразборного ремонта ДВС в процессе его эксплуатации, основанные на практике ввода добавок (составов) различного назначения и принципа действия в систему смазки двигателя. Цель этого метода состоит в восстановлении первоначальных эксплуатационных параметров двигателя, в том числе геометрических размеров изношенных деталей, или поддержании действующих. Таким образом, в существующей стратегии поддержания работоспособности машин становится возможной замена текущего ремонта эксплуатационным, то есть без остановки и разборки агрегатов машины.

#### Анализ публикаций

Вопросами исследования присадок на износостойкость узлов и агрегатов занимались авторы работ [1–5]. В основном авторы стремились получить результат без обоснования методики исследований и раскрытия механизма взаимодействия добавок с материалами сопряжений. Впервые подробный анализ и обоснование методики исследований были предложены В. Войтовым, Н. Стадниченко и др. [6]. Фундаментальные теории трения и износа школ Крагельского

И.В. и Гаркунова Д.Н., Костецкого Б.И. и Фляйшера Г. не могли четко объяснить физическую картину трибовосстановительных процессов. Поэтому теоретическую основу новых трибологических процессов на поверхности трения дала научная школа Стадниченко Н.Г. в работах [7–9]. Она же впервые для исследования этих явлений применила в качестве метода трибодиагностики акустическую эмиссию [10].

#### Цель и постановка задачи

Разнообразие на рынке Украины добавок формирует проблему их подбора к ДВС. Добавки базируются на определенных научно-практических школах, имеют свои достоинства и недостатки. Судя по рекламе этих продуктов, каждый из них феноменален по эффективности применения и универсален. Однако нет классификации этих добавок, нет предложенной и обоснованной технологии их применения (не путать с инструкцией по применению). Исходя из анализа литературы, системный подход в решении проблемы не задействован. Целью статьи является разработка системного подхода к применению добавок к ДВС, который позволит ответить на вопрос целесообразности их применения, замены традиционных методов ремонта и создать технологию безразборного восстановления геометрических параметров узлов трения и эксплуатационных показателей.

#### Ремонтно-восстановительные составы

Присадками их назвать нельзя, поскольку традиционно присадками, или добавками, мы называем вещества, вводимые в моторные масла в процессе изготовления или эксплуатации ДВС для изменения только их физико-химических свойств и эксплуатационных показателей ДВС, но не для изменения геометрических размеров деталей двигателя.

Все известные в настоящее время средства для безразборного восстановления трущихся соединений по компонентному составу, процессу их взаимодействия, свойствам получаемых покрытий следует делить на три основных группы: металлоплакирующие композиции, металлокерамические (геомодификаторы) и металлоорганические материалы. Все группы можно объединить в понятие «ремонтно-восстановительные составы» (РВС), исключив коммерческие названия реме-

ревиталлизантов и нанотехнологий. Модификаторы трения (кондиционеры металла, анамегаторы, слоистые добавки и полимеризирующиеся вещества) относятся к РВС условно – только по снижению механических потерь и скорости изнашивания трущихся деталей. Однозначно, с точки зрения вопроса повышения эксплуатационных показателей ДВС, необходимо применять добавки, которые химически нейтральны к смазочному материалу, не склонны к нагарообразованию и выделению при сгорании химически агрессивных сред. Моторное масло может выступать только в роли носителя добавки в зону трения.

Заменить капитальный ремонт применением ремонтно-восстановительных составов физически не представляется возможным и не имеет под собой никакого смысла. Увеличить срок эксплуатации ДВС – главная задача этой технологии.

### Разработка методики применения РВС

Методика применения РВС должна основываться на нескольких принципах:

1. Механизме действия РВС в реальных трибосистемах ДВС, которые могут быть сформулированы и смоделированы на основании результатов нескольких этапов рационального цикла испытаний.
2. Учете конструктивно-технологических особенностей двигателя и его трибосистем, условий его работы.
3. Диагностировании ДВС до и после применения РВС. При лабораторных испытаниях необходимо провести углубленное диагностирование пар трения во время испытаний и исследование подповерхностных слоев трения после испытаний.

Методика применения должна учитывать следующие конструктивно-технологические особенности двигателя:

- литровую мощность двигателя и емкость системы смазки;
- степень износа трибосистем двигателя;
- материалы, используемые при изготовлении трибосистем двигателя (ТС), лимитирующих его ресурс, способы их обработки, особенности их конструкции. Это определяет совместимость РВС с материалами ТС двигателя.

Испытания проводились с целью решения следующих задач:

- получения триботехнических характеристик обработанных поверхностей, необходимых для обоснованного выбора режимов нанесения состава;
- оперативного оценивания эффективности обработки РВС в качестве безразборного метода текущего ремонта ДВС, оценки надежности его ТС по параметрам износостойкости;
- определения изменений выходных параметров обработанного ДВС, контроля износостойкости поверхностей трения его деталей;
- исследования закономерностей трения и изнашивания, к которым относится комплекс работ по определению влияния различных факторов на износ;
- выбора оптимальных условий эксплуатации и режимов работы машин, подвергнутых обработке.

Каждому этапу испытаний соответствует свой комплекс совместно решаемых задач. Первый этап – это лабораторные испытания. Цель лабораторных испытаний: с помощью методики физического моделирования процессов трения и изнашивания сформулировать механизм (физическую картину) восстановления изношенных поверхностей модельных образцов ТС ДВС, изучить динамику переходных процессов трения и изнашивания, поведение ТС в процессе обработки и после ее завершения, оценить влияние условий эксплуатации ДВС и его конструктивно-технологических параметров на процесс обработки, а главное – ответить на вопрос: какова эффективность применения РВС в изношенных ТС двигателя.

Используя системный подход, необходимо выделить несколько основных ТС двигателя, определяющих его надежность и долговечность, и разработку методики применения РВС к ДВС осуществлять на основании оценки эффективности восстановления изношенной поверхности и совместимости её с ТС ДВС: поршневое кольцо – гильза, коленчатый вал – вкладыш, кулачок распредвала – толкатель.

Узлы трения ДВС являются открытыми диссипативными ТС. При исследовании таких сложных трибологических процессов физи-

ческое моделирование является наиболее подходящим и достоверным.

Наиболее удобным методом моделирования является метод подобия, основанный на теории размерностей. Его конечной целью является получение критериев подобия, на основании которых модель можно описать математически. Но в настоящее время имеется единственный реальный путь для разработки и эмпирической проверки модели процессов трения, изнашивания и смазки с использованием математики – представление исходной информации в виде системы моделей и составление для нее математического описания в виде системы совместимых уравнений. При появлении новой информации описание дополняется соответствующими уравнениями, т.е. это развивающаяся модель.

Методика физического моделирования этих нестационарных трибохимических и термодинамических процессов диссипации энергии, самоорганизации структур на поверхности должна базироваться на теории системного анализа. Входной параметр этой модели (влияющие факторы): нагрузочно-скоростной и температурный режимы, структура и свойства поверхности материалов трибосистемы, масштабный фактор (площадь поверхности трения, объем под поверхностью трения), трибологическая активность моторного масла. Влиянием окружающей среды в модельной ТС мы пренебрегаем, ввиду сложности и нецелесообразности такого моделирования при лабораторных испытаниях. Выходные параметры – скорость изнашивания, коэффициент трения, время, структура и свойства материалов, свойства и размер вторичных структур, по которым можно судить о результатах взаимодействия РВС с рабочими поверхностями элементов ТС.

Необходимым условием таких испытаний для каждого выбранного узла трения ДВС является соответствие конструкционного материала модельной ТС, технологической обработке и видом изнашивания, а достаточным условием – соответствие кинематических пар, учет масштабного фактора. Испытания должны проходить, в основном, в режиме граничной смазки.

При лабораторных испытаниях необходимо задействовать современные методы трибо-

диагностики, позволяющие регистрировать некоторые выходные параметры в реальном масштабе времени, поскольку существующие стандартные методы измерения этого сделать не позволяют. Это регистрация скорости изнашивания, размера новообразованных структур на поверхности трения, коэффициента внутреннего трения материалов образцов, их объемной температуры и температуры поверхности трения, а также изменения коэффициентов теплопроводности, по которым можно провести анализ движения термодинамических потоков в трибосистеме. Исследование внутреннего трения в материалах ТС и распределение в ней термодинамических потоков характеризуют ее диссипативную способность, которую можно оценить по коэффициенту диссипации. Коэффициент диссипации ТС – это индивидуальная физическая величина, характеризующая способность элементов ТС рассеивать подведенную к ней энергию (ее плотность) с минимальным производством энтропии. Поэтому в физической модели скорость изнашивания необходимо связать со скоростью порождения энтропии единичной массы объема поверхности трения, которая, в свою очередь, напрямую связана со скоростью относительной деформации единичной массы объема поверхности трения и скоростью реакции на поверхности трения.

Регистрацию скорости изнашивания образцов проводят с помощью метода акустической эмиссии. Скорость изнашивания связана с мощностью регистрируемых сигналов акустической эмиссии. Состав и структуру полученных (вторичных) структур на поверхностях трения в различные моменты времени, то есть критические изменения структуры основного материала образцов, можно исследовать с помощью известных методов согласно ГОСТ 30480-97.

Чтобы понять, как РВС будет взаимодействовать с рабочими поверхностями, на которых есть твердые лаковые пленки или нагар, необходимо нанести подобные покрытия на поверхности модельных образцов и провести пробную серию экспериментов с целью уточнения полученной модели. Необходимо еще до эксплуатационных испытаний определить степень влияния РВС на физико-химические свойства смазочного материала и на работу системы смазки ДВС.

В результате исследований мы получим некую модель, которая позволит нам на начальном этапе судить о механизме действия состава (что происходит на поверхностях трения и под ней, какие структурные превращения происходят в материале) и с помощью математического описания физической модели определить скорость изнашивания и восстановления, механические потери в трибосистемах реального ДВС, чтобы спрогнозировать его ресурс после обработки.

При выборе той или иной добавки необходимо знать причину неисправности деталей ДВС, остаточный ресурс этих деталей, что решается с помощью глубокой диагностики ДВС с локализацией неисправности в узлах трения. Для подтверждения теоретических выводов, сформулированных после лабораторных испытаний, анализа трибологических процессов во время и после обработки РВС реального двигателя необходима методика и средства диагностирования его ТС. Поэтому перед стендовым этапом испытаний необходимо разработать систему комплексной диагностики ДВС, главной составляющей которой будет новый метод локальной диагностики ТС ДВС по оценке состояния рабочей поверхности трения деталей ДВС (наличию, величине и характеру дефектов, скорости изнашивания), его изменения во времени. Перспективным методом диагностики ДВС, но еще практически не изученным, из-за чрезвычайной сложности анализа спектров излучения, является метод регистрации сигналов акустической эмиссии. Хотя с практической точки зрения не обязательно получать информацию из зон трения в любой момент времени. Гораздо важнее по косвенным диагностическим признакам (величина компрессии, давление картерных газов, динамика изменения продуктов износа в масле, расход топлива, мощность, параметры вибрации) убедиться в восстановлении геометрии сопряженных деталей ДВС и его показателей. Главной особенностью диагностирования ТС ДВС является обязательное исправное состояние систем управления. Таким образом, в результате общей диагностики мы можем установить наличие износа ДВС и только затем проводить локализацию неисправностей конкретно для каждого узла трения.

Цель эксплуатационных испытаний – проследить за поведением обработанного ДВС в

процессе эксплуатации, определить его характеристики, степень влияния эксплуатационных факторов на процесс обработки ДВС и оценить ресурс двигателя после безразборной технологической обработки, в результате чего отработать технологию (режимы) нанесения износостойкого покрытия без разборки двигателя.

### Выводы

Предложенный системный подход применения добавок к ДВС включает рациональный цикл испытаний и диагностику узлов трения на разных этапах с применением современного оборудования. Подход позволяет выявить положительные и отрицательные стороны средств безразборного восстановления эксплуатационных параметров ДВС, сформулировать технологию их применения. Технология применения может быть задействована не только в автомобильном транспорте, но и в железнодорожном и аграрном секторе. На примере этой технологии составы могут быть применены и в других агрегатах техники.

### Литература

1. Кузьмин В.Н. Влияние смазочных композиций с различными присадками на износ трибосопряжений / В.Н. Кузьмин, Л.И. Погодаев, П.П. Дудко // Трение, износ, смазка. – 1999. – Т.1, № 3. – С. 24.
2. Половинкин В.Н. Антифрикционная противоизносная добавка в смазочные материалы минерального происхождения (геомодификатор трения) / В.Н. Половинкин, В.Б. Лянной, Ю.Г. Лавров // Трение, износ и смазка. – 1999. – Т.1, № 1. – С. 8.
3. Аратский П.Б. Сравнительные исследования влияния присадок к смазочным маслам на показатели трения и износа узлов ДВС / П.Б. Аратский // Двигателестроение. – 1999. – № 2. – С. 30–31.
4. Перепелицын М.Г. Методика эксперимента безразборного восстановления кулачкового вала ТНВД / М.Г. Перепелицын // Совершенствование технологий, машин и оборудования в АПК: сб. науч. тр. – 2006. – С. 231–236.
5. Тарасенко Б.Ф. Физические основы инновационной технологии обработки машин и механизмов ремонтно-восстановительными составами (РВС) / Б.Ф. Тарасенко, Е.А. Шапиро // Научный

- журнал КубГАУ: Scientific Journal of KubSAU. – 2013. – № 86. – С. 34–38.
6. Технологии триботехнического восстановления. Обзор и анализ перспектив / В. Войтов, Н. Стадниченко, Р. Джус и др. // Проблемы трибології. – 2005. – №2. – С. 86–93.
  7. Методические аспекты неравновесной самоорганизации трибосистем / О.Н. Трошин, В.Н. Стадниченко, Н.Г. Стадниченко и др. // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – № 1. – С. 233–241.
  8. Стадниченко В.Н. Классификация видов наноизноса по значению коэффициента диссипации подводимой внешней энергии к трибосистеме / В.Н. Стадниченко, О.Н. Трошин, Н.Г. Стадниченко и др. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2011. – Вип. 1(27). – С. 44–49.
  9. Трошин О.Н. Синергетическая концепция самоорганизации в трибологических системах при управлении тепловыми потоками / О.Н. Трошин, В.Н. Стадниченко // Вестник НТУ «ХПИ»: сб. науч. тр. Сер. Технологии в машиностроении. – 2007. – Вып. 17. – С. 49–62.
  10. Запорожец В.В. Теоретические и экспериментальные основы акустико-эмиссионной идентификации механизмов изнашивания и прогнозирования ресурса трибосистем / В.В. Запорожец, В.Н. Стадниченко, О.М. Трошин // Проблемы трибології. – 2013. – № 1. – С. 16–29.
- Рецензент: А.Н. Врублевский, профессор, д.т.н., ХНАДУ.
- Статья поступила в редакцию 7 июня 2016 г.
-