

## УДАЛЕНИЕ НАГАРА В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

*Н.Н. Бирюков, ген. директор, Д.Н. Мудрецов, зам. ген. директора  
ООО «ТЕХНО-ХИЛЛ КЛАБ», Москва  
В.А. Марков, д.т.н., профессор, зав. кафедрой  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
Е.Ф. Поздняков, к.т.н., ген. директор  
ЗАО «Форант-Сервис», г. Ногинск  
Ф.С. Карпец, аспирант  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

Проанализированы основные факторы, влияющие на процессы отложения нагара и кокса на деталях двигателя. Рассмотрены основные неисправности деталей двигателей, вызванные нагарообразованием и коксообразованием. Предложен способ очистки деталей двигателя внутреннего сгорания от нагара путем подачи в цилиндры двигателя водородно-воздушной смеси. Объектом исследования являлась установка Leader-4M генерирующая водородно-воздушную смесь. Приведены ее основные характеристики и результаты экспериментальных исследований на моторном стенде. Подтверждена эффективность установки при очистке деталей двигателей от нагара и кокса.

Бесперебойная и надежная работа транспортных средств возможна лишь при их регулярном техническом обслуживании (ТО). Основной целью прохождения плановых и внеплановых ТО и ремонта является обеспечение безотказного функционирования всех систем автомобиля, в первую очередь его силовой установки. Следовательно проведение ТО — основополагающий фактор длительной безаварийной эксплуатации автомобиля и обеспечения личной безопасности автовладельца [1, 2].

Эксплуатационные характеристики транспортного средства — приемистость, топливная экономичность, экологические показатели в значительной степени определяются характеристиками двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [3, 4]. При этом в силу ряда факторов техническое состояние автомобиля и его ДВС изменяется при их длительной эксплуатации [5, 6]. Наибольшая эффективность ТО транспортных средств достигается при реализации и использовании современных методов и средств технической профилактики состояния основных узлов автомобилей [7].

Один из основных факторов изменения технического состояния ДВС в процессе эксплуатации транспортного средства — нагарообразование и коксообразование в камере сгорания (КС) [5, 8, 9]. При сгорании топлива наблюдается нагарообразование на деталях, образующих КС, впускных и выпускных клапанах, свечах зажигания, распылителях и иглах распылителей форсунок. На стенках камеры сгорания, днищах поршней и клапанах образуется плотный твердый нагар темного цвета, а на распылителях и иглах распылителей форсунок — мягкий, смолистый нагар желтоватого цвета, иногда в виде светло-коричневой лаковой пленки [8–10].

Склонность к нагарообразованию зависит от химического и фракционного состава топлива, а также от свойств применяемого масла [10–13]. Основная причина нагарообразования в ДВС — неполное сгорание топлива и масла, попавших на поверхности головки цилиндра, поршня и стенки цилиндра, находящейся в зоне высоких температур. При этом большая часть продуктов сгорания выбрасывается вместе с отработавшими газами (ОГ) в атмосферу, а часть оседает на поверхностях головки блока цилиндров и поршня, особенно на таких важных элементах КС, как седла выпускных клапанов и жаровой пояс поршня. Наиболее опасная зона — канавки поршневых колец и маслоъемного кольца. Это связано с тем, что часть рабочей смеси с температурой 1500–2000 °С поступает в поршневую канавку. Газообразные продукты сгорания взаимодействуют с маслом, находящимся в поршневой канавке, окисляют его, образуя новый нагар, а уже имеющийся нагар коксует. Происходит постепенное заполнение зазоров и коксование компрессионного кольца, которое теряет свою подвижность относительно поршня и цилиндра, пригорает к поршню, становится жестким, в результате чего на стенке цилиндра появляются задиры, приводящие к заклиниванию поршня и поломке двигателя. Кроме того, прорываясь в картер двигателя,

отработавшие газы ухудшают технические свойства масла и уменьшают его ресурс.

Следует отметить, что нагарообразование характерно как для дизельных, так и для бензиновых двигателей. Вместе с тем, более тяжелый фракционный состав дизельных топлив по сравнению с автомобильными бензинами (у бензинов диапазон температур выкипания фракций составляет 30–200 °С, у дизельных топлив – 180–360 °С) [14, 15] способствует более интенсивному нагарообразованию в дизелях.

В камерах сгорания автомобильных ДВС нагар может образоваться уже после 12–15 тысяч километров пробега автомобиля. При этом наибольшее количество нагара образуется на деталях камеры сгорания. В дизелях из-за отложений нагара и кокса на распылителях форсунок и в распыливающих отверстиях наблюдается ухудшение качества распыливания топлива и смесеобразования.

Нагарообразование на деталях КС дизелей, закоксовывание отверстий распылителей дизельных форсунок и зависание игл форсунок интенсифицируется с увеличением содержания смол в топливе, с ростом зольности и коксемости дизельного топлива [10, 12, 16]. При этом зольность характеризует содержание в топливе несгораемых примесей, которые образуют нагар, увеличивая

его абразивные свойства. Повышение содержания серы в топливе при его сгорании приводит к увеличению отложений нагара и лака, причем плотность нагара значительно возрастает. Смолообразование в значительной степени зависит от содержания в топливе нестойких непредельных углеводородов, которые при контакте с кислородом воздуха образуют высокомолекулярные продукты окисления — смолы. При хранении моторных топлив, особенно в неблагоприятных условиях (плохая герметизация резервуаров, наличие в них осадков и воды, хранение при повышенной температуре), количество смол увеличивается.

К известным способам уменьшения нагаро- и коксообразования относится подача в цилиндры двигателя водородно-воздушной смеси. Установки для генерирования и использования такой смеси для удаления нагара и кокса в ДВС уже производятся в ряде европейских стран, в частности, во Франции. В ООО «ТЕХНО-ХИЛЛ КЛАБ» (TECHNO-HILL CLUB, Москва) разработана установка Leader-4M (ТУ 28.29.12-002-51033879-2018) по удалению нагара (окалины) в ДВС с помощью водородно-воздушной смеси [17, 18]. Эта установка — аналог французской установки, но ее стоимость примерно в три раза меньше. Общий вид установки *Leader-4M* показан на рис. 1, технические характеристики приведены в табл. 1.



Рис. 1. Общий вид установки Leader-4M

Таблица 1

**Технические характеристики установки Leader-4M**

| Наименование параметра                                   | Значение параметра    |
|--|-----------------------|
| Производитель  | ООО «ТЕХНО-ХИЛЛ КЛАБ» |
| Стоимость установки, руб.                                | 19 5000               |
| Стоимость процедуры очистки, руб.                        | от 1000               |
| Внешние габариты: длина × ширина × высота, мм            | 320 × 320 × 800       |
| Вес, кг  | 29                    |
| Рабочий объем обрабатываемых двигателей, см <sup>3</sup> | 125-25000             |
| Наиболее распространенный рабочий объем, л               | 2-3                   |
| Напряжение питания, Вольт (постоянный ток)               | 12-14                 |
| Сила тока, ампер (от аккумулятора)                       | 14-24                 |
| Рабочая температура, °С                                  | 0-60                  |
| Вместимость электролизера, л                             | 2,5                   |
| Объем выделяющегося газа, л/мин                          | до 6                  |
| Срок службы электролизеров, лет                          | 8                     |
| Гарантия на установку, лет                               | 1                     |

Таблица 2

**Рекомендуемая продолжительность очистки двигателя внутреннего сгорания от нагара с помощью установки Leader-4M в зависимости от объема двигателя**

|          |                 |                 |                 |             |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|
| до 2,0 л | от 2,0 до 3,0 л | от 3,0 до 4,0 л | от 4,0 до 5,5 л | свыше 5,5 л |
| 30 мин   | 40 мин          | 45 мин          | 50 мин          | 60 мин      |

Установка *Leader-4M* предназначена для очистки деталей ДВС с помощью водородно-воздушной смеси, генерируемой из специального раствора за счет энергии постоянного электрического тока, получаемой от аккумулятора двигателя. Стоимость процедуры очистки двигателя от нагара устанавливается покупателями оборудования — установки *Leader-4M*. Обычно она колеблется от 1000 до 5000 руб. в зависимости от объема обрабатываемого двигателя. Рекомендуемая продолжительность процедуры очистки ДВС от нагара зависит от объема двигателя и устанавливается с помощью таймера на панели управления установки индивидуально (табл. 2).

Процедура очистки ДВС от нагара водородно-воздушной смесью с помощью установки *Leader-4M* не требует замены масла, использования других расходных материалов и абсолютно безопасна для автомобиля. Установка отличается простотой технического обслуживания, максимальным уровнем безопасности, мобильностью (она компактна и помещается в багажник практически любого автомобиля), а также автономностью (работает от аккумулятора автомобиля). Следует отметить и небольшую продолжительность очистки деталей ДВС от нагара с помощью установки (см. табл. 2).

Для оценки эффективности использования установки проведены исследования на экспериментальном стенде ЗАО «Форант-Сервис» (г. Ногинск Московской обл.). Основной элемент стенда — дизель типа Д-243 (4С11/12,5) производства Минского моторного завода (ММЗ). Это дизель без наддува с полуразделенной КС типа ЦНИДИ номинальной мощностью  $P_e = 36$  кВт при частоте вращения коленчатого вала  $n = 1500$  об/мин. Дизель был оснащен топливной аппаратурой разделенного типа с рядным четырехплунжерным топливным насосом высокого давления (ТНВД) типа РР4М10U1f фирмы «Motorpal». В ТНВД установлены плунжеры диаметром  $d_{пл} = 10$  мм и их полным ходом  $h_{пл} = 10$  мм. Длина нагнетательных топливопроводов составляла  $L_r = 540$  мм. Используются форсунки типа ФДМ-22 производства ОАО «Куроаппаратура» (г. Вильнюс) с распылителями фирмы «Motorpal» типа DOP 119S534 с пятью распыливающими отверстиями диаметром  $d_p = 0,34$  мм и эффективным проходным сечением распылителя в сборе  $\mu_p f_p = 0,250$  мм<sup>2</sup>. Давление начала впрыскивания форсунок составляло  $p_{ф0} = 21,5$  МПа.

При создании стенда использована серийно выпускаемая на ММЗ дизель-генераторная установка (ДГУ) с генератором переменного тока типа ЕСО-ЕСР производства фирмы RINA (Италия). При испытаниях вырабатываемая электрогенератором электроэнергия потреблялась тремя те-

пловентиляторами, максимальная мощность каждого из которых составляет 12 кВт (они могут также работать с электрической нагрузкой, равной 6 кВт). Таким образом, возможна реализация шести нагрузочных режимов с эффективной мощностью от 0 кВт (режим холостого хода), до 36 кВт (режим максимальной мощности).

При испытаниях дизеля Д-243, кроме штатных параметров двигателя — эффективной мощности  $P_e$ , частоты вращения коленчатого вала  $n$ , расходов воздуха  $G_{air}$ , топлива  $B$  и некоторых других параметров, необходимых для расчета показателей топливной экономичности двигателя, определялись показатели дымности и токсичности ОГ. Дымность ОГ измерялась с помощью дымомера «Инфракрас Д1.01» предприятия «Западприбор» (Москва) с погрешностью измерения  $\pm 5$  %. Концентрации в ОГ нормируемых токсичных компонентов (оксидов азота  $NO_x$ , монооксида углерода  $CO$ , легких несгоревших углеводородов  $CH_x$ ) определялись газоанализатором «Инфракрас 5М-3.01» предприятия «Западприбор» (Москва) с погрешностями измерения указанных компонентов  $\pm 5$  %.

Дизель типа Д-243 при испытаниях на моторном стенде работал по нагрузочной характеристике при частоте вращения коленчатого вала  $n = 1500$  об/мин. Наклон нагрузочной характеристики (ее степень неравномерности  $\delta$ ) дизеля был равен  $\delta = 3,7$  %, что приводило к увеличению частоты вращения коленчатого вала до  $n = 1550$  об/мин на режиме холостого хода ( $P_e = 0$  кВт). При испытаниях угол опережения впрыскивания топлива был установлен равным  $\theta = 13^\circ$  ПКВ до ВМТ.

Методика проведения испытаний дизеля Д-243 состояла в определении параметров двигателя до удаления нагара в двигателе, последующей реализации цикла очистки двигателя от нагара и в определении параметров двигателя после очистки. Цикл очистки автомобильного ДВС от нагара с использованием установки *Leader-4M* обычно предусматривает работу двигателя на форсированных режимах с повышенной частотой вращения коленчатого вала, обеспечивающих эффективное выгорание нагара и кокса. Но поскольку дизель работал в составе ДГУ невозможно было реализовать режимы с повышенной частотой вращения (это обязательное условие процедуры очистки автомобильных ДВС от нагара с использованием установки *Leader-4M*). В связи с этим пришлось увеличить общее время очистки двигателя. При этом в процессе испытаний был реализован следующий цикл очистки двигателя от нагара. Сначала в течение 30 минут двигатель работал на режиме с 50 %-ной нагрузкой ( $P_e = 18$  кВт), затем он поочередно работал на режимах

с нагрузкой  $P_e = 0$  кВт (режим холостого хода),  $P_e = 12$  кВт (треть от полной нагрузки),  $P_e = 24$  кВт (две трети от полной нагрузки),  $P_e = 36$  кВт (полная нагрузка), далее на режимах с  $P_e = 24$  кВт,  $P_e = 12$  кВт и  $P_e = 0$  кВт. На каждом режиме двигатель работал в течение 5 минут. Далее в течение одного часа двигатель работал на режиме холостого хода. В процессе цикла очистки от нагара в двигатель непрерывно подавалась водородно-воздушная смесь от установки *Leader-4M*. Некоторые результаты проведенных испытаний представлены на рис. 2 и 3. Состояние деталей КС после очистки оценивалось без разборки двигателя с использованием видеоэндоскопа, видеоэлемент которого устанавливался в КС через отверстие для установки дизельной форсунки. На рис. 2 показан вид на днище поршня до и после испытаний. Представленные фотографии свидетельствуют о том, что после процедуры очистки на внутренней поверхности днища поршня вновь проявились технологические

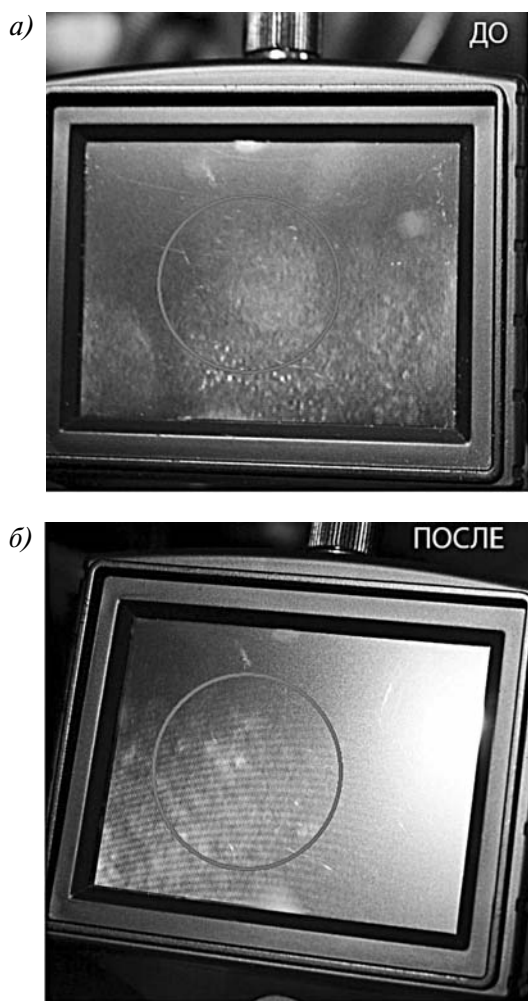


Рис. 2. Вид на днище поршня двигателя до (а) и после (б) его очистки от нагара с использованием установки *Leader-4M*

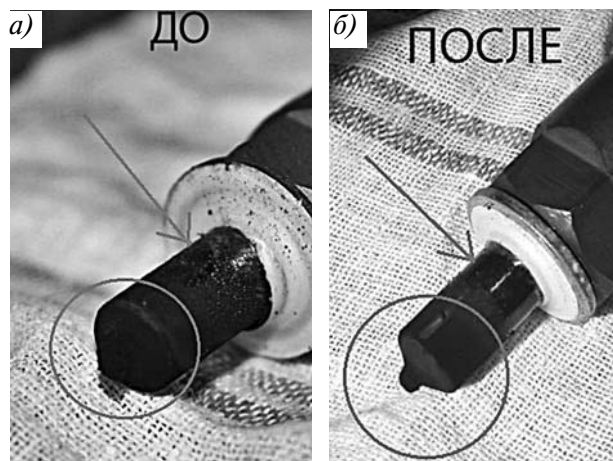


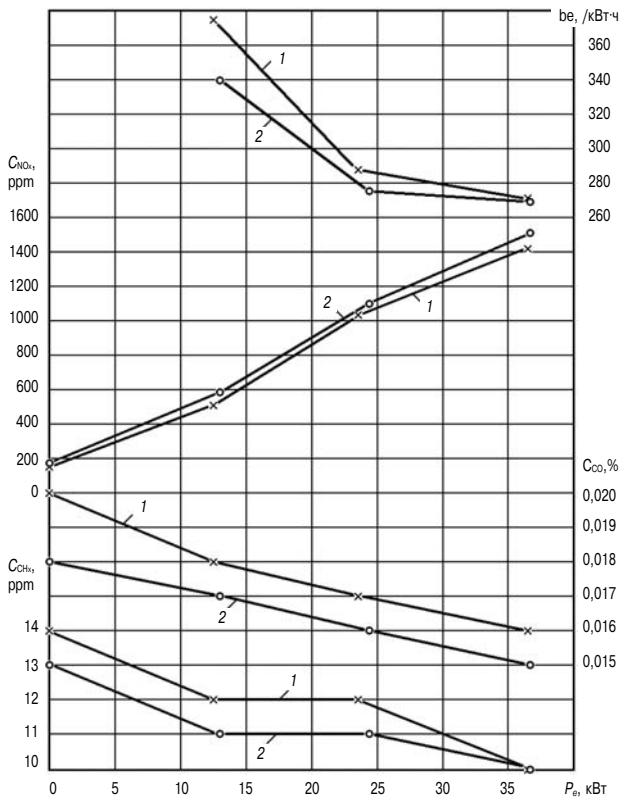
Рис. 3. Фотографии форсунок, сделанные до (а) и после (б) процедуры очистки двигателя от нагара с использованием установки *Leader-4M*

канавки (кольца, образованные при токарной обработке днища поршня резцом), которые до очистки были заполнены слоем нагара. На рис. 3 представлены фотографии форсунок, сделанные до и после очистки, свидетельствующие о том, что форсунки заметно очистились от нагара, значительно уменьшилась рыхлая часть нагара на верхней части распылителей форсунок.

При проведении экспериментальных исследований были определены параметры дизеля Д-243 до удаления нагара в двигателе и после очистки двигателя. Результаты испытаний приведены на рис. 4.

Они свидетельствуют о том, что во всем диапазоне изменения нагрузок отмечено повышение эффективности сгорания — снижение значений удельного эффективного расхода топлива  $b_e$  и увеличение значений эффективного КПД дизеля  $\eta_e$  после проведения процедуры очистки двигателя от нагара. Причем наибольший эффект от указанной процедуры отмечен на режимах с неполной нагрузкой — при  $P_e = 12,5–24,4$  кВт. На режиме с  $P_e = 12,5–13,0$  кВт удельный эффективный расход топлива  $b_e$  уменьшился с 375,0 до 338,8 г/(кВт·ч), т. е. на 9,7 %. На режиме с полной нагрузкой ( $P_e = 36,6–36,7$  кВт) удельный эффективный расход топлива  $b_e$  снизился с 270,5 до 268,9 г/(кВт·ч), т. е. на 0,6 %, но это снижение соизмеримо с точностью определения этого параметра.

Проведение процедуры очистки оказало влияние на содержание в ОГ и других компонентов (рис. 4). В первую очередь необходимо отметить рост выбросов оксидов азота  $NO_x$ , свидетельствующий о повышении эффективности процесса сгорания после очистки двигателя от нагара. Следует также отметить тенденцию к снижению выбросов продуктов неполного сгорания топли-



**Рис. 4. Зависимости удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  и объемных концентраций оксидов азота  $C_{NOx}$ , монооксида углерода  $C_{CO}$  и несгоревших углеводородов  $C_{CHx}$  в ОГ дизеля типа Д-243:**

1 — до очистки деталей двигателя с помощью водородно-воздушной смеси; 2 — после очистки

ва — монооксида углерода  $CO$  и легких несгоревших углеводородов  $CH_x$  — после проведения указанной очистки. Выброс этих токсичных компонентов ОГ зависит от температур сгорания. После проведения процедуры очистки двигателя от нагара содержание в ОГ этих токсичных компонентов ( $C_{CO}$  и  $C_{CHx}$ ) снизилось на 5–10 %. Подтверждением более полного сгорания топлива после процедуры очистки двигателя от нагара является снижение концентрации в ОГ кислорода  $CO_2$  и увеличение концентрации углекислого газа  $C_{CO_2}$ .

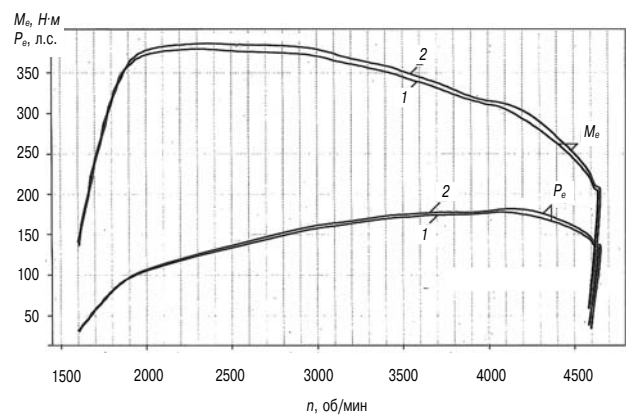
Полученные экспериментальные данные также подтверждают снижение дымности ОГ после очистки двигателя от нагара. На режиме с полной нагрузкой ( $P_e = 36,6–36,7$  кВт) до проведения процедуры очистки дымность ОГ составляла  $K_x = 10,1$  % по шкале Хартриджа, а после очистки она снизилась до  $K_x = 9,1$  % по шкале Хартриджа. Таким образом, снижение дымности ОГ составило около 10 %.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили эффективность очистки деталей дизельного двигателя от нагара с использованием установки *Leader-4M* и улучшение показателей

его топливной экономичности и токсичности ОГ после проведения этой процедуры.

Некоторые особенности образования нагара и его влияние на рабочий процесс ДВС свойственны бензиновым двигателям. Большое количество нагара на деталях бензинового двигателя приводит к уменьшению объема КС и, как следствие, — к детонации. Нагар, образовавшийся в КС, часто становится причиной возникновения детонации и калильного зажигания, что может закончиться серьезной поломкой двигателя. Слой нагара отличается плохой теплопроводностью, поэтому он ухудшает отвод теплоты в системы охлаждения и смазки, что приводит к перегреву двигателя, ухудшению топливной экономичности и показателей токсичности ОГ, ухудшению других характеристик двигателя, уменьшению его ресурса. Возможно отложение нагара на свечах зажигания, что при длительной эксплуатации приводит к выходу их из строя. Все эти факторы свидетельствуют о целесообразности периодической очистки деталей бензинового двигателя от нагара.

На моторном стенде *SuperFlow Win Dym tm V2.8*, предоставленном компанией WINDE (автосервис, Москва), проведены моторные испытания бензинового двигателя автомобиля BMW X1 2.0td после его пробега 88 495 км. Испытания проведены до очистки деталей двигателя с помощью водородно-воздушной смеси и после очистки от нагара с использованием установки *Leader-4M*. До технического обслуживания двигателя с применением этой установки на режиме максимальной мощности она составляла  $P_e = 178,0$  л.с. (130,9 кВт) при  $n = 4097$  об/мин. Режим максимального крутящего момента ( $M_e = 379,3$  Н·м) соответствовал частоте вращения  $n = 2398$  об/мин. Продолжительность процедуры очистки двигателя от нагара составляла 40 минут в



**Рис. 5. Внешняя скоростная характеристика бензинового двигателя автомобиля BMW X1 2.0td:**

1 — до очистки деталей двигателя с помощью водородно-воздушной смеси; 2 — после очистки

соответствии с литражом двигателя и его пробегом. Замеры мощности и крутящего момента двигателя после обработки дали следующие результаты: максимальная мощность увеличилась до  $P_e = 181,7$  л.с. (133,6 кВт), а максимальный крутящий момент — до  $M_e = 386,2$  Н·м (рис. 5). Таким образом, после очистки деталей двигателя от нагара максимальная мощность увеличилась на 2,1 %, а максимальный крутящий момент — на 1,8 %.

#### Заключение

1. Реализован эффективный способ очистки деталей ДВС от нагара путем подачи в цилиндры водородно-воздушной смеси. Создана установка *Leader-4M* для удаления нагара в двигателях внутреннего сгорания, генерирующая водородно-воздушную смесь.

2. Проведены испытания дизельного двигателя типа Д-243 (4Ч11/12,5) в составе дизель-генераторной установки до и после удаления нагара. Наибольший эффект от указанной процедуры отмечен на режимах с неполной нагрузкой — при  $P_e = 12,5$ –24,4 кВт. На режиме с  $P_e = 12,5$ –13,0 кВт удельный эффективный расход топлива  $b_e$  уменьшился на 9,7 %. После удаления нагара отмечены небольшой рост выбросов оксидов азота  $\text{NO}_x$  и снижение продуктов неполного сгорания топлива.

3. После очистки деталей двигателя от нагара максимальная мощность двигателя увеличилась на 2,1 %, а максимальный крутящий момент — на 1,8 %.

#### Литература

1. Кузьмин Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности. М. : Изд-во «Форум», 2011. 208 с.
2. Аллилуев В.А., Ананьин А.Д., Михлин В.М. Техническая эксплуатация машинно-транспортного парка. М. : Агропромиздат, 1991. 367 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия. Том IV. Двигатели внутреннего сгорания / Л.В. Грехов, Н.А. Ивашенко, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, Н.А. Ивашенко. М. : Машиностроение, 2013. 784 с.
4. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей /

В.П. Алексеев, В.Ф. Воронин, Л.В. Грехов и др. Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. М. : Машиностроение, 1990. 288 с.

5. Кузьмин Н.А., Борисов Г.В. Научные основы процессов изменения технического состояния автомобилей. Нижний Новгород : Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. 270 с.

6. Охотников Б.Л. Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания. Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2014. 140 с.

7. Яцура А.И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования: Справочник. М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. 360 с.

8. Кузьмин Н.А., Зеленцов В.В., Донато И.О. Исследование отложений в автомобильных двигателях // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2010. № 2. С. 156–165.

9. Ждановский Н.С., Николаенко А.В. Надежность и долговечность автотракторных двигателей. Л. : Колос, 1981. 295 с.

10. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / К.М. Бадыштова, Я.А. Берштадт, Ш.К. Богданов и др. Под ред. В.М. Школьников. М. : Химия, 1989. 432 с.

11. Гуреев А.А., Азев В.С. Автомобильные бензины. Свойства и применение. М. : Нефть и газ, 1996. 444 с.

12. Гуреев А.А., Азев В.С., Камфер Г.М. Топливо для дизелей. Свойства и применение. М. : Химия, 1993. 336 с.

13. Сафонов А.С. Ушаков А.И. Гришин В.В. Химмотология горюче-смазочных материалов: СПб. : НПИКЦ, 2007. 488 с.

14. ГОСТ 32513–2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. М. : Стандартиформ, 2014. 15 с.

15. ГОСТ 305–2013. Топливо дизельное. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2014. 15 с.

16. Ждановский Н.С., Николаенко А.В., Зуев В.П., Беляков В.В. Комплексный метод ускоренных испытаний форсунок дизелей на отказ по причине закоксовывания распылителей // Двигателестроение. 1979. № 10. С. 19–23.

17. Технический паспорт «Установка для удаления окислов азота в двигателях внутреннего сгорания. Leader-4M. ТУ 28.29.12-002-51033879-2018». М. : ООО «ТЕХНО-ХИЛЛ КЛАБ», 2018. 21 с.

18. Технические условия «Установка для удаления окислов азота в двигателях внутреннего сгорания. Leader-4M. ТУ 28.29.12-002-51033879-2018». М. : ООО «ТЕХНО-ХИЛЛ КЛАБ», 2018. 29 с.