

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЮЩИХ ПРИСАДОК К БЕНЗИНУ НА МОТОРНОМ СТЕНДЕ

Ю.В. Галышев, А.Ю. Шабанов, А.Б. Зайцев
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Предложена методика оценки эффективности моющих присадок к бензину, основанная на оценке начального эталонного загрязнения двигателя, при формировании идентичного уровня отложений на впускных клапанах и в камере сгорания. В ходе испытаний на моторном стенде выполнен анализ динамики изменения технико-экономических и экологических показателей двигателя при длительной работе на бензине с моющей присадкой, а также изменение уровня загрязнений контрольных деталей — впускных и выпускных клапанов и свечей зажигания. Анализ экспериментальных данных показал заметное снижение удельного расхода топлива и уменьшение токсичности отработавших газов за счет использования моющих присадок.

Необходимой компонентой современного автомобильного бензина являются моющие присадки, уменьшающие его склонность к отложениям на впускных клапанах и в камере сгорания. Это особенно актуально для современных инжекторных двигателей, в которых струя топлива направлена на сравнительно холодную поверхность тарелки впускного клапана. При этом для топлив определенного группового состава создаются условия для образования органических отложений во впускной системе, существенно влияющих на процесс наполнения двигателя.

Кроме того, формирование слоя топливных нагаров в камере сгорания существенно меняет уровень температурного состояния деталей ЦПГ, ухудшая теплоотвод в систему охлаждения. Это приводит к уменьшению детонационной стойкости двигателя, возможности развития процессов калильного воспламенения. При значительном уровне загрязненности камеры изменяется фактическая степень сжатия, что также негативно влияет на протекание процессов сгорания.

Таким образом, бензины, склонные к образованию отложений, при длительном использовании способны существенно ухудшить технико-экономические и экологические показатели работы бензинового двигателя.

В настоящее время основными производителями автомобильных бензинов используются

импортные пакеты моющих присадок к топливам производства фирм Lubrizol, BASF и др. Согласно рекомендациям фирм-изготовителей этих присадок, концентрация их ввода обычно одинаковая для любых типов бензинов, вне зависимости от их фракционного состава. Очевидно, что это не совсем правильно с точки зрения оптимизации концентрации присадки по соотношению «цена-качество» товарного бензина, поскольку склонность к отложениям базовых топлив существенно зависит от их группового состава.

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований, проведенных на кафедре ДВС СПбГПУ, с целью поиска решения вышеуказанной проблемы.

Испытания проводились для нескольких вариантов моющей присадки «Ultrasol» производства фирмы Lubrizol и «Kerapur» фирмы BASF. Кроме того, были проведены многочисленные испытания товарных бензинов, содержащих моющие присадки. Эти испытания выявили некие общие тенденции работы вышеуказанных присадок, что позволило обобщить результаты аналогичных циклов испытаний, проведенных с использованием бензинов, содержащих эти препараты.

Для оценки эффективности использования бензинов с моющими присадками была разработана специальная методика длительных стендовых испытаний полноразмерного двигателя. В ходе испытаний анализировалась динамика изменения технико-экономических и экологических показателей двигателя при длительной работе на бензине с моющей присадкой, а также изменение уровня загрязнений контрольных деталей — впускных и выпускных клапанов и свечей зажигания.

Отличительная особенность разработанной методики состоит в использовании метода начального эталонного загрязнения двигателя, формирующего примерно идентичный уровень отложений на впускных клапанах и в камере сгорания. Эталонное загрязнение формируется путем выработки заданного объема «загрязняющего» топлива специально подобранного состава на фиксированном цикле режимов малых нагрузок и холостого хода.

Процедура испытаний каждого из препаратов включает в себя следующие этапы:

➤ подготовку двигателя к испытаниям — демонтаж головки цилиндров, очистку внутренних поверхностей деталей от нагаров, промывку топливной системы, начальное взвешивание свечей зажигания, впускных и выпускных клапанов, сборку двигателя, монтаж на стенде;

➤ базовое загрязнение путем наработки заданного времени на эталонном загрязняющем топливе;

➤ демонтаж головки блока цилиндров, повторное взвешивание свечей зажигания, впускных и выпускных клапанов, определение начальной массы осажденных отложений, повторная сборка двигателя;

➤ определение базовых показателей двигателя после загрязнения по специальной программе, исключающей термическую самоочистку деталей;

➤ выработка топлива с моющей присадкой на фиксированном режиме работы с периодическим контролем параметров для оценки динамики работы препарата; длительность испытаний — 50 моточасов;

➤ определение итоговых показателей двигателя;

➤ демонтаж головки блока цилиндров, взвешивание свечей, впускных и выпускных клапанов, определение массы отложений после очистки.

Определение базовых и итоговых показателей двигателя проводилось на двух нагрузочных характеристиках в нижнем диапазоне нагрузок (для исключения фактора высокотемпературной самоочистки).

Анализ экспериментальных данных выявляет положительное влияние всех испытанных моющих присадок, выраженное в заметном снижении удельного расхода топлива и токсичности отработавших газов. Данный эффект более выражен для инжекторного двигателя, что, по-видимому, объясняется большей интенсивностью очистки впускной системы при подаче бензина в двигатель под давлением, через форсунки системы впрыска.

В процессе испытаний снимались показатели на четырех режимах работы через заданные интервалы времени. Эти данные характеризуют динамику работы моющей присадки. Полученные данные проиллюстрированы на рис. 1–4.

На рис. 1 приведены данные измерения расхода воздуха на двигателе ВАЗ-2111 при различных положениях дроссельной заслонки на режиме с фиксированной частотой вращения коленчатого вала (2000 об/мин).

Результаты демонстрируют тенденцию к увеличению расхода воздуха через двигатель, происходящему по мере выработки бензина, содержащего исследуемый препарат. Наибольший эффект проявляется при малых нагрузках, то есть

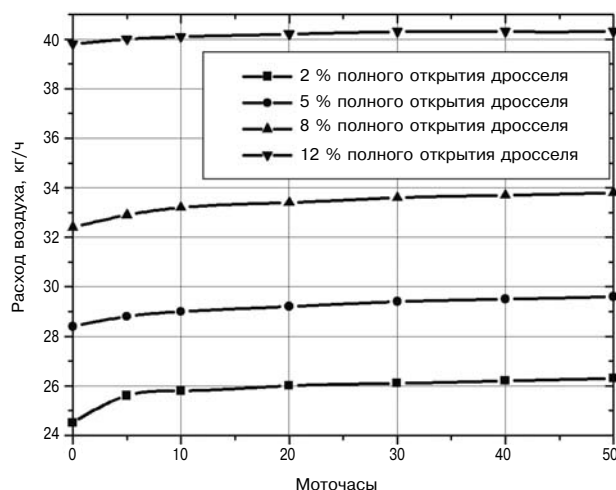


Рис. 1. Изменение расхода воздуха в процессе длительной работы двигателя ВАЗ-2111 на бензине с моющей присадкой, $n = 2000$ об/мин

при незначительном открытии дроссельной заслонки двигателя. При увеличении открытия дросселя эффект постепенно уменьшается.

На рис. 2 приведены данные об изменении эффективного КПД двигателя ВАЗ-2111 в зависимости от времени наработки на бензине, содержащем моющую присадку. Эти результаты наглядно иллюстрируют влияние препарата на эффективность рабочего процесса, суммарно выражающуюся в улучшении условий наполнения цилиндров, состава смеси, а также возможной интенсификации процесса сгорания.

Полученные результаты свидетельствуют о примерно одинаковой динамике изменения эффективного КПД на всех контрольных режимах. В начальный период наблюдается некоторое ухудшение показателей рабочего цикла двигателя, очевидно вызванного нештатным изменением сос-

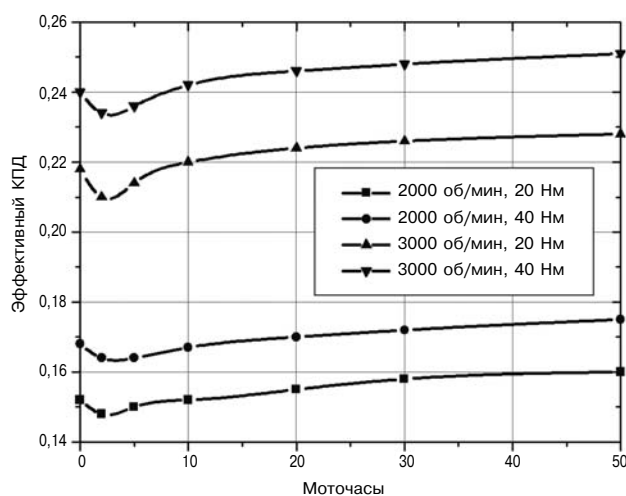


Рис. 2. Изменение эффективного КПД двигателя на фиксированных режимах работы в зависимости от времени наработки на бензине, содержащем моющую присадку

тава бензовоздушной смеси, поступающей в камеру сгорания. Попадание загрязнений, снятых с поверхности стенок топливной системы, в дозирующие элементы системы питания, снижают расход топлива, причем на средней и сильной степенях начальной загрязненности двигателя обеднение смеси лишь частично компенсируется штатной отработкой системы управления.

Аналогичная, но количественно менее выраженная картина проявлялась и на карбюраторном двигателе. Также наблюдалась некоторая неустойчивость работы, проявившаяся в колебаниях нагрузки при фиксированном положении дроссельной заслонки.

По мере очистки дозирующих элементов топливных систем штатная работа двигателей восстанавливалась и при этом наблюдалась устойчивая тенденция повышения эффективности рабочего цикла.

На рис. 3 приведены результаты измерения содержания СН в отработавших газах по мере очистки двигателя. Резкий рост СН в начальный период работы моющей присадки также определяется обеднением смеси и снижением в связи с этим скорости сгорания топлива. Кроме того, вместе с топливовоздушной смесью в камеру сгорания в этот период выносятся загрязнения, что также увеличивает уровень СН. По мере очистки деталей двигателя уровень СН постепенно снижается и в итоге стабилизируется на уровне, существенно более низком, чем начальный.

На начальном этапе работы бензина с моющей присадкой наблюдается некоторое падение содержания СО, что объясняется нештатным кратковременным обеднением смеси. Затем, по мере восстановления нормальных условий рабо-

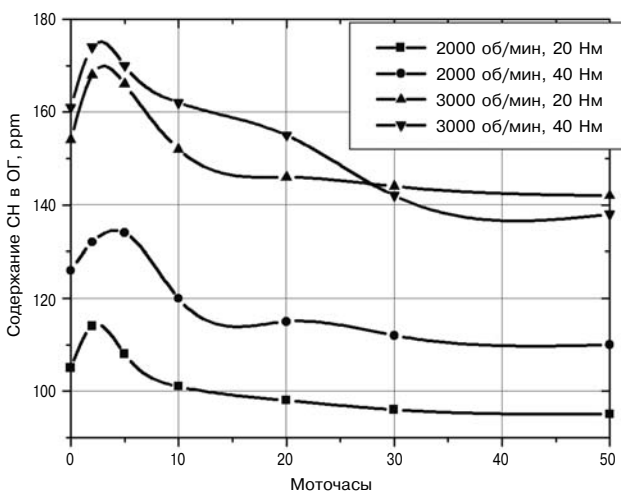


Рис. 3. Изменение содержания СН в отработавших газах двигателя на фиксированных режимах работы в зависимости от времени наработки на бензине, содержащем моющую присадку

Таблица 1

Результаты весового анализа очищающей способности моющей присадки, инжекторный двигатель ВАЗ-2111

| Деталь | Масса чистой детали, г | Масса детали после загрязнения, г | Масса начальных отложений, мг | Масса детали после очистки, г | Масса отложенной после очистки, мг | Уменьшение массы отложений, % |
|------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Впускной клапан | 73,422 | 73,447 | 25 | 73,429 | 7 | 72 |
| Выпускной клапан | 68,983 | 68,991 | 8 | 68,987 | 4 | 50 |
| Свеча зажигания | 55,278 | 55,298 | 20 | 55,289 | 11 | 45 |

Таблица 2

Результаты весового анализа очищающей способности моющей присадки, карбюраторный двигатель ВАЗ-2108

| Деталь | Масса чистой детали, г | Масса детали после загрязнения, г | Масса начальных отложений, мг | Масса детали после очистки, г | Масса отложенной после очистки, мг | Уменьшение массы отложений, % |
|------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Впускной клапан | 72,896 | 72,913 | 17 | 72,907 | 11 | 35 |
| Выпускной клапан | 68,145 | 68,157 | 12 | 68,150 | 5 | 58 |
| Свеча зажигания | 59,540 | 59,555 | 15 | 59,547 | 7 | 59 |

ты карбюратора и форсунок, уровень СО стабилизируется на уровне, практически совпадающем с начальным.

Количественная оценка качества работы моющей присадки проводилась на базе сопоставления изменения масс отложений на контрольных деталях. В качестве контрольных весовых элементов в испытаниях использовались свечи зажигания, впускные и выпускные клапаны. Масса отложений на них определялась путем взвешивания на аналитических весах с точностью до 0,0001 г.

Детали взвешивались три раза. Первый раз — до начала испытаний, для определения начальной массы чистых деталей. Второй раз — после эталонного загрязнения. Третий раз — после 50 часов работы двигателя на бензине с моющей присадкой. Данные взвешивания усреднялись по всем четырем деталям (см. табл. 1 и 2).

Эффективность очистки оценивалась по уменьшению итоговой массы отложений по отношению к начальной массе отложений, сформированной на этапе начального загрязнения, выраженной в процентах:

$$\Delta M_{от} = (M_{ит} - M_{ч}) / (M_{эз} - M_{ч}) \cdot 100 \%,$$

где $\Delta M_{от}$ — относительное уменьшение массы отложений; $M_{ч}$ — масса чистой детали; $M_{эз}$ — масса детали после эталонного загрязнения;

$M_{ит}$ — масса детали по окончании цикла испытаний на бензине, содержащем моющую присадку.

Как следует из полученных результатов, максимальная эффективность моющих присадок проявляется при удалении отложений с впускных клапанов инжекторного двигателя. Очевидно, это связано с тем, что внутренняя поверхность клапана, в отличие от других деталей, омывается направленной струей топлива, подаваемого под значительным давлением.

Кроме того, очевидно положительное действие присадки на удаление нагара в камере сгорания и на выпускных клапанах. Структура отложений на тарелке выпускного клапана показывает, что моющие присадки удаляют органическую составляющую нагаров, не воздействуя на зольные отложения.

Таким образом, разработанная методика испытаний позволяет с высокой степенью достоверности анализировать эффективность работы моющих присадок любых типов и составов.

Следует отметить, что в процессе испытаний

была выявлена характерная особенность работы моющих присадок, обычно не учитываемая их фирмами-производителями при разработке рекомендуемых рецептур их применения. Значительным объемом испытаний было показано, что эффективность работы одной и той же моющей присадки существенно зависит от группового состава базового бензина, используемого для производства товарного топлива. Так, основная масса присадок в рекомендованной фирмой-производителем концентрации более эффективно работает на базовых бензинах с большим содержанием ароматических углеводородов и малым количеством оксигенатов. При повышении количества оксигенатов или уменьшении содержания ароматических углеводородов в базовом бензине эффективность работы моющей присадки снижается. Это означает, что для достижения оптимального соотношения «цена-качество» товарного бензина необходим подбор наиболее эффективной концентрации моющей присадки с учетом состава применяемого базового топлива.

ПАМЯТИ В.А. ПУТЯТИНСКОГО

28 января 2012 г. на 78 году жизни скоропостижно скончался Заслуженный работник высшей школы РФ, почетный энергетик РФ, почетный работник ТЭК, почетный профессор ВИТУ, академик Петровской академии наук и искусств, кавалер ордена Красной Звезды, участник боевых действий в Афганистане, доктор технических наук профессор кафедры «Двигателей и энергетических установок» ВИТИ

Виктор Александрович Путятинский

В.А. Путятинский родился 15 августа 1934 г. В 1952 г. после окончания Уфимского авиационного техникума до 1953 г. работал на авиамоторном заводе. В 1958 г. окончил с отличием и золотой медалью 2-е Высшее военно-морское инженерное училище в Ленинграде. В период учебной практики участвовал в разминировании акватории Балтики, за что был награжден нагрудным знаком «За боевое траление». До 1962 г. проходил службу в РВСН на различных должностях, связанных с автономным энергоснабжением специальных объектов.

В 1962 г. В.А. Путятинский был переведен в ВИТУ ВМФ на должность младшего научного сотрудника НИЛ-3. В 1965 г. был назначен начальником лаборатории кафедры ДВС и вскоре (в 1967 г.) защитил кандидатскую диссертацию. В 1983 г. находился в длительной командировке в Афганистане, где в условиях боевых действий участвовал в организации бесперебойного энергоснабжения гарнизонов ограниченного контингента войск Советской Армии. После возвращения из Афганистана продолжил научно-педагогическую деятельность на кафедре ДВС, в 1985 г. защитил докторскую диссертацию, а в 1989 г. стал начальником кафедры.

В.А. Путятинский — талантливый ученый и педагог, внесший значительный вклад в развитие научной школы кафедры ДВС (ДЭУ) ВИТУ. Им опубликовано более 200 научно-методических трудов, в том числе три учебника, получено более 20 авторских свидетельств на изобретения.

Выпускники факультета энергетики ВИТУ разных лет вспоминают лекции профессора В.А. Путятинского по рабочим процессам ДВС как пример высшей формы методического и преподавательского мастерства.

За время многолетней службы на кафедре профессор Путятинский В.А. воспитал целую плеяду учеников, в том числе 3-х докторов и 10 кандидатов технических наук.



Редакция журнала «Двигателестроение», сотрудники кафедры ДВС (ДЭУ) ВИТУ приносят свои соболезнования семье, друзьям и коллегам д.т.н., проф. Путятинского В.А. Светлая память о нем надолго останется в наших сердцах.