

УДК 621.43+629.33

С.А. Горожанкин, профессор, д-р техн. наук,

Н.В. Савенков, ассистент,

Б.В. Овчарук, ассистент

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,

ул. Державина, 2, Макеевка, 86123,

romirem2@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВС НА ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

В статье предложен подход для экспериментального построения эффективных характеристик современных автомобильных ДВС с учётом неустановившихся режимов работы. Это позволит разработать более точную математическую модель для выполнения исследований путём численного моделирования процесса движения транспортного средства.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, Эффективные характеристики ДВС, переходные режимы работы, тормозной стенд, активный динамометр, производительность форсунки.*

Постановка проблемы. Известно, что исследования, связанные с численным моделированием процесса движения автомобиля, позволяют получить приближённую оценку изучаемых характеристик, слишком сложных для аналитического описания.

ДВС, как агрегат автомобиля, занимает особое место, при построении математической модели изучаемого процесса, т.к. его работой решающим образом определяются экономические, динамические и экологические качества транспортного средства в целом. Существующая классическая теория автомобиля рассматривает эффективные характеристики двигателя только на установившихся режимах, что не отражает реальной работы ДВС в обычных нормальных условиях его эксплуатации. Известно, что ДВС транспортного средства значительную часть времени работает на неустановившихся (переходных) режимах [1]. В связи с этим, эффективные характеристики, их связь между собой и характер изменения, очевидно, будут иметь другие закономерности по сравнению с установившимися режимами и требуют других методов оценки.

Цели и задачи исследования. Основная цель работы: повышение достоверности результатов исследования величин экономических, динамических и экологических качеств автомобиля применением в процессе численного моделирования движения транспортного средства эффективных характеристик ДВС, учитывающих его работу на переходных режимах.

Для достижения поставленных целей решались следующие задачи: систематизация и анализ существующих типов эффективных характеристик ДВС, подходов к их организации и построению; определение типа характеристики, наиболее подходящего для построения математической модели эффективных показателей автомобильного двигателя; рассмотрение вопросов индикации параметров характеристики при выполнении экспериментальных исследований на примере конкретного автомобильного ДВС.

Материалы и результаты исследования. Известно, что при неизменной регулировке систем подачи топлива и зажигания, при одинаковых внешних условиях, эффективные характеристики ДВС являются некоторыми функциями от оборотов коленчатого вала и нагрузки. Данные зависимости, описанные графическим или аналитическим образом, в литературных источниках именуется различным образом: многопараметровая характеристика [2,с.99], [3,с.284] или универсальная характеристика [4,с.242]. В данном исследовании предлагается классифицировать рассматриваемую систему уравнений, применительно к автомобильному транспорту, как «универсальная статическая характеристика» (УСХ) ДВС, что указывает на принадлежность к установившимся режимам работы двигателя. Таким образом, данная характеристика определяется зависимостями эффективной мощности и удельного расхода топлива (или эффективного КПД) как функциями от основных параметров регулирования двигателя – частоты вращения коленчатого вала и коэффициента использования мощности:

$$N_e = f(n, k), \quad (1)$$

$$\eta_e = f(n, k), \quad (2)$$

где N_e - эффективная мощность; η_e - эффективный КПД ДВС; n - частота вращения коленчатого вала; k - коэффициент использования мощности, определяется зависимостью:

$$k = \frac{N_{e(n)}}{N_{eMAX(n)}} = \frac{M_{e(n)}}{M_{eMAX(n)}}, \quad (3)$$

где $N_{e(n)}$ - текущее значение эффективной мощности при частоте n ; $N_{eMAX(n)}$ - максимальное значение эффективной мощности при частоте n (при работе ДВС по внешней скоростной характеристике (ВСХ)); $M_{e(n)}$ - текущее значение крутящего момента при частоте n ; $M_{eMAX(n)}$ - максимальное значение крутящего момента при частоте n (при работе ДВС по ВСХ).

Для автомобильных ДВС эффективная мощность и эффективный КПД при работе на неустановившихся режимах в значительной мере отличаются от значений, полученных на соответствующих установившихся режимах работы [5, с. 130]. В частности, значения данных функций могут снижаться на 40% [5, с. 47,130]. Поэтому на режимах разгона эффективные характеристики двигателя будут некоторыми зависимостями не только от скоростного режима и нагрузки, но и от интенсивности их изменения [5, с. 44].

В данном исследовании модель эффективных характеристик автомобильного двигателя на переходных режимах работы предлагается классифицировать как «универсальную динамическую характеристику» (УДХ) ДВС, под которой подразумевается система функций эффективных характеристик, аргументами которых являются параметры регулирования (частота и нагрузка), а также их производные (согласно рекомендациям исследования [5], количество аргументов ограничивается только первой производной, что обеспечивает достаточную достоверность результатов исследования):

$$N_e = f(n, \varepsilon, \lambda, \delta), \quad (4)$$

$$\eta_e = f(n, \varepsilon, \lambda, \delta), \quad (5)$$

где ε - угловое ускорение коленчатого вала; λ - коэффициент нагрузки; δ - скорость изменения нагрузки.

Коэффициент нагрузки определяется текущим положением регулирующего органа нагрузки ДВС (например, отношением напряжений на ДПДЗ бензинового двигателя). В функциях УДХ параметр нагрузки ДВС рекомендуется оцениваться именно коэффициентом нагрузки λ , вместо коэффициента использования мощности k , т.к. при постоянном значении рассматриваемого коэффициента положение органа регулирования нагрузки ДВС (коэффициент λ), не является постоянным.

Таким образом, УСХ является частным случаем УДХ (при $\varepsilon=0$ и $\delta=0$).

Процесс индикации эффективных характеристик ДВС на неустановившемся режиме представляет собой определённую сложность: частота измерения величин должна быть не менее 4 Гц [5,с.37]; балансирная динамо-машина не может быть применена в качестве измерителя крутящего момента, т.к. относится к динамометрам реактивного типа и имеет значительную инерционность срабатывания; определение расхода топлива за каждый рабочий цикл ДВС требует специального оборудования, и т.д.

На рисунке 1 приведена электрокинематическая схема принципиальная тормозного стенда, рекомендуемого для определения УДХ бензинового ДВС, оснащённого распределённым впрыском топлива с постоянным давлением в рампе (преимущественно экологический стандарт Евро-3 и выше) и механическим приводом дроссельной заслонки.

Величина крутящего момента определяется активным динамометром торсионного типа, который, в отличие от реактивных (или тормозных) динамометров, выполняет функцию только измерительного прибора и работает практически безынерционно. На рисунке 2 приведена схема предлагаемой конструкции динамометра [6]. Размещать данный агрегат рекомендуется непосредственно на выходном валу ДВС. Это необходимо с целью исключения влияния на результаты измерений маховых масс трансмиссии, неравномерности вращения валов дополнительных агрегатов, таких как редукторы и карданные шарниры.

На рисунке 1 цифровыми позициями обозначены следующие элементы: 1 – ДВС; 2 – устройство для измерения крутящего момента; 3 – карданная передача; 4 – электромашина асинхронная; 5 – обмотка статора; 6 – обмотка ротора; 7 – автотрансформатор; 8 – блок резисторов; 9 – балансирная машина; 10 – форсунки системы питания ДВС; 11 – дроссельная заслонка ДВС; 12 – датчик положения дроссельной заслонки ДВС; 13 – электромеханический привод дроссельной заслонки; 14 – блок отдельного управления нагрузкой электромашины и ДВС; 15 – блок обработки сигналов; 16 – персональный компьютер; 17 – полупроводниковый выпрямитель; 18 – датчик абсолютного давления во впускном коллекторе; 19 – топливный манометр.

В качестве тормозного устройства применяется асинхронная электромашина с фазовым ротором.

На рисунке 2 цифровыми позициями обозначены следующие элементы: 1,2,3 – оптические щелевые (или магнитные) датчики; 4,5 – диски измерительные; 6,7 – счётчики; 8 – расчётный блок; 9,10 – фланцы; 11,12 – подшипники; 13 – корпус; 14 – вал торсионный.

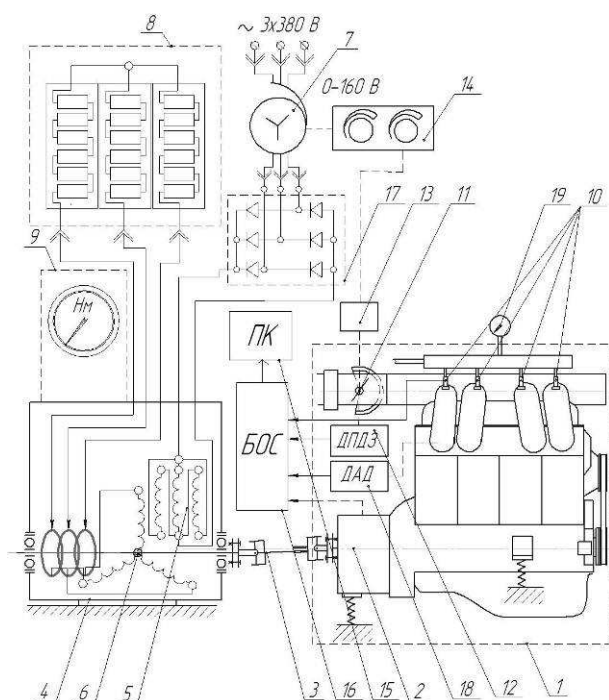


Рисунок 1 – Электрокинематическая схема принципиальная тормозного стенда для определения УДХ ДВС.

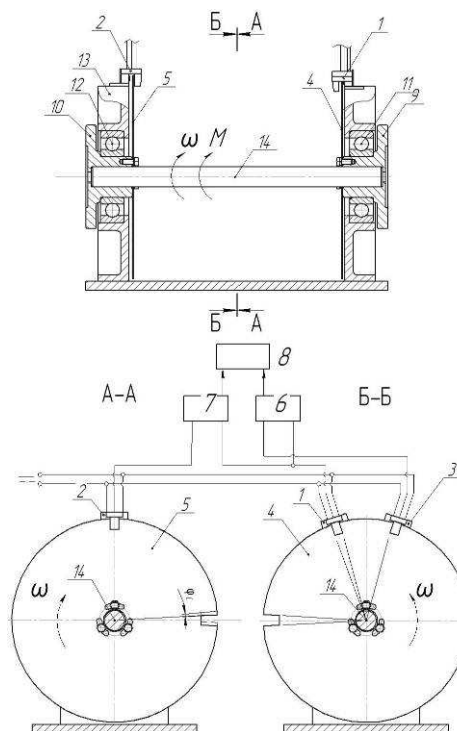


Рисунок 2 – Устройство активного динамометра торсионного типа, предлагаемого для определения УДХ ДВС.

При вращении торсионного вала 14 датчики 1,2,3 поочередно фиксируют относительное положение измерительных дисков 4 и 5. В расчетном блоке 8 определяется величина относительного времени прохождения отметок: $A=t_2/t_1$. Таким образом, при калибровке устройства создаются зависимости $\varphi_c=f(A)$ и $M=f(\varphi_c)$, которые записываются в расчетный блок [6].

Способы определения расхода топлива за рабочий цикл для различных типов двигателей имеют некоторые отличия между собой в силу конструктивного различия топливных систем. Рассмотрим процесс определения расхода топлива за рабочий цикл на примере двигателя УМЗ-4216 (Евро-3) автомобиля ГАЗ-3302 «ГАЗель Бизнес».

Величина производительности форсунки зависит от длительности открытия и перепада давления ($Q=f(t, \Delta P)$). На рисунке 3 приведена диаграмма динамической производительности форсунок модели 6354 фирмы «SIEMENS deka», которыми оснащается система питания рассматриваемого ДВС. Зависимость получена экспериментально с помощью прибора ТФМ-3 производства ООО «А2», г. Ульяновск.

Таким образом, величина расхода топлива за рабочий цикл ДВС определяется выражением:

$$Q_{ц} = \sum Q(t, \Delta P) \cdot t \cdot 10^3, \text{ мл/с} \quad (6)$$

Величина ΔP определяется рабочим давлением в топливной рампе и давлением во впускном коллекторе (для измерения данной величины может быть применён автомобильный датчик абсолютного давления (ДАД, MAP), который должен быть размещён в близости к форсунке). Если система питания вместо редукционного клапана содержит вакуумный регулятор (преимущественно топливные системы экологического стандарта Евро-2 и ниже), то для учёта влияния его инерционности на переходных режимах ДВС, кроме ДАД необходим ещё и датчик давления топлива в рампе.

Аналогичный подход определения расхода топлива за рабочий цикл двигателя может быть применён к ДВС, системы питания которых содержат электромагнитные форсунки (бензиновые двигатели с непосредственным впрыском, дизельные, оборудованные системой Common-Rail). Исследование карбюраторных двигателей и дизельных с механическими форсунками требует установку специального измерительного оборудования в топливную систему – термоанемометров и т.п. [5, с.111].

Величина часового расхода топлива за один оборот ДВС:

$$G_{ч} = \frac{Q_{ц}(t, \Delta P) \cdot n \cdot 60 \cdot \rho}{10^3}, \text{ кг/ч} \quad (7)$$

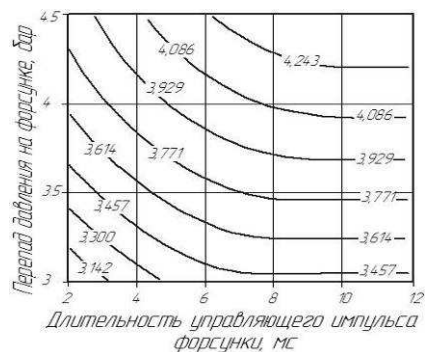


Рисунок 3 – Диаграмма динамической производительности форсунки «SIEMENS deka» мод. 6354.

где n – средняя частота вращения коленчатого вала за оборот, мин^{-1} , ρ – плотность топлива.

Удельный расход топлива, определяется выражением:

$$g_e = \frac{G_q \cdot 10^3}{N_e} = \frac{G_q \cdot 10^6 \cdot 60}{M_e \cdot n \cdot 2 \cdot \pi}, \text{ г/кВт ч} \quad (8)$$

Таким образом, УДХ ДВС, может применяться при построении математической модели эффективных характеристик двигателя при его работе, как на переходных, так и на установившихся режимах, что в сочетании с известной характеристикой внешней нагрузки обеспечивает условия для получения высокой достоверности результатов исследования при численном моделировании изучаемого процесса.

Выводы. В работе выполнена систематизация и анализ существующих типов эффективных характеристик ДВС,

рассмотрены сферы их применения. Также предложена классификация данных характеристик автомобильных ДВС – УСХ и УДХ, которые применяются при численном моделировании различных режимов движения автотранспортных средств. Кроме того, на примере ДВС УМЗ-4216, рассмотрен процесс индикации параметров УДХ. Приведенные в статье принципы построения эффективных характеристик ДВС при его работе на переходных режимах могут быть применены в процессе стендовых испытаний автомобильных двигателей на тормозных стендах.

Библиографический список использованной литературы

1. ДСТУ UN/ECE R 83-02ABC-2002. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів стосовно викидів забруднюючих речовин залежно від палива, необхідного для двигунів (Правила ЕЭК ООН № 83-02-ABC:1993, IDT)
2. Литвинов А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин – М.: Машиностроение, 1989. – 240с.: ил.
3. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания: учебник для вузов / И.Я. Райков. – М., «Высш. школа», 1975. – 320 с.: ил.
4. Володин А.И. Локомотивные двигатели внутреннего сгорания / А.И. Володин. – 2е изд., перераб. и доп. – М. Транспорт, 1990. – 265 с.
5. Работа автомобильного двигателя на неустановившемся режиме / Е.М. Акатов, П.М. Белов, Н.Х. Дьяченко, В.С. Мусатов/ – М-Л: Машгиз, 1960, – 282 с.
6. Пат. 72893 Україна, МПК G 01 L 3/10. Пристрій для виміру крутного моменту на обертовому валу з мінливою частотою [Текст]/ заявники та патентовласники: Горожанкін С.А., Криволап В.В., Савенков М.В., Валева А.С. (Україна); заявл. 03.04.12 ; опубл. 27.08.12, Бюл. № 4. – 4с. : ил.
7. Чернопяттов Н.Н. Использование асинхронных двигателей в качестве синхронных генераторов/ Н.Н. Чернопяттов, Г.А. Петров, В.Ф. Емец, А.В. Частовский // Изв. вузов, серия: Энергетика, 1983, – №9.

Поступила в редакцию 17.05.2013 г.

Горожанкін С.А., Савенков М.В., Овчарук Б.В. Особливості дослідження ефективних характеристик автомобільних ДВЗ на змінних режимах роботи

У статті запропоновано підхід для експериментальної побудови ефективних характеристик сучасних автомобільних ДВЗ із урахуванням несталих режимів роботи. Це дозволить розробити більш точну математичну модель для виконання досліджень шляхом чисельного моделювання процесу руху транспортного засобу.

Ключові слова: двигун внутрішнього згорання, ефективні характеристики ДВЗ, перехідні режими роботи, гальмівний стенд, активний динамометр, продуктивність форсунки.

Gorozhankin S.A., Savenkov N.V, Ovcharuk B.V. Features of performance studies on the transient operating conditions of the vehicle combustion engine

An approach for the construction of the experimental effective characteristics of modern vehicle engine with the transient modes. This will develop a more accurate mathematical model for research through numerical modeling of the vehicle.

Keywords: the internal combustion engine, characteristics of combustion engine, transient modes, brake stand, active dynamometer, performance jets.