

УДК 621.43+629.33

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

**Н.В. Савенков, ассистент,**

**Т.И. Степаненко, ассистент.**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,*

*ул. Державина, 2, Макеевка, 86123,*

*SavenkovNV@yandex.ru*

## **УСТАНОВКА ДЛЯ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВС НА НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ РАБОТЫ**

*В статье выполняется обзор конструкции и анализ рабочего процесса разработанной лабораторной установки для стендовых испытаний автомобильного ДВС на неустановившихся режимах работы. Результаты исследования позволят усовершенствовать математическую модель эффективных характеристик двигателя.*

**Ключевые слова:** *двигатель внутреннего сгорания, эффективные характеристики ДВС, неустановившиеся режимы работы, тормозной стенд, торсиометр.*

**Постановка проблемы.** Существующая классическая теория автомобиля рассматривает эффективные характеристики ДВС только на установившихся режимах, что не отражает действительной работы двигателя в обычных условиях его эксплуатации, работающего на автотранспортном средстве значительную часть времени работает на неустановившихся (переходных) режимах [1]. В связи с этим, эффективные характеристики, их связь между собой и характер изменения обладают другими закономерностями по сравнению с установившимися режимами и требуют других методов оценки [2].

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работах [2], [3] утверждается, что с достаточной достоверностью эффективные характеристики ДВС на неустановившемся режиме работы определяет функциональная зависимость:

$$N_e = f(n, \varepsilon, \lambda, \delta), \text{ кВт;} \quad (1)$$

$$g_e = f(n, \varepsilon, \lambda, \delta), \text{ г/(кВт ч)}, \quad (2)$$

где  $N_e$  – эффективная мощность;  $g_e$  – удельный расход топлива ДВС;  $n$  – частота вращения коленчатого вала;  $\varepsilon$  – угловое ускорение коленчатого вала;  $\lambda$  – коэффициент нагрузки;  $\delta$  – скорость изменения нагрузки.

Функции (1) и (2) являются достаточно сложными для теоретического описания и требуют экспериментальных методов определения.

**Цели и задачи исследования.** Основная цель работы: совершенствование методики и разработка соответствующего оборудования и программного обеспечения для экспериментального определения эффективных характеристик автомобильных ДВС на неустановившихся режимах работы.

Для достижения поставленных целей решались следующие задачи: рассмотрены вопросы индикации параметров характеристики при выполнении экспериментальных исследований на примере конкретного автомобильного ДВС, выполнена модернизация серийного обкаточно-тормозного стенда с учётом особенностей подобных исследований.

**Материалы и результаты исследования.** В качестве примера для выполнения исследований выбран автомобильный ДВС модели УМЗ-4216 (Евро-3), которым оснащаются автомобили ГАЗ-3302 «ГАЗель» с 2010 г. Установка для стендовых испытаний представляет собой модернизированный обкаточно-тормозной стенд КИ-5543 ГОСНИТИ. Вместо коробки передач установлено устройство для измерения крутящего момента, разработанное, построенное и прошедшее испытания в лаборатории кафедры ААХ ДонНУСА [4]. Необходимость в рассматриваемом приборе продиктована инерционностью измерительного устройства электрического тормоза [2]. Нагрузочное устройство стенда переведено из асинхронного режима работы в синхронный [5].

На рисунках 1 и 2 приведены электро-кинематическая схема и внешний вид установки, цифровым позициям соответствуют следующие структурные элементы: 1 – ДВС; 2 – Муфта сцепления (без демпфера крутильных колебаний); 3 – устройство для измерения крутящего момента (бесконтактный крутильный торсиометр); 4 – карданная передача; 5 – балансирная динамомашинка; 6 – реактивный силоизмерительный механизм (балансирный динамометр); 7 – фазовый ротор; 8 – обмотки статора; 9 – выпрямительный блок; 10 – трансформатор с регулируемым дросселем; 11 – дистанционный привод управления тормозной мощностью; 12 – амперметр для контроля величины тока в цепи ротора (возбуждения); 13 – блок нагрузочных резисторов; 14 – амперметр для контроля величины тока в цепи статора (нагрузки); 15 – вольтметр для контроля величины напряжения в цепи статора (нагрузки); 16 – автономный источник электроэнергии для питания вспомогательных устройств; 17 – топливный

бак; 18 – топливный насос; 19 – редуктор давления; 20 – топливный фильтр; 21 – манометр для контроля давления топливной рампы; 22 – датчик для дистанционного контроля давления топлива; 23 – блок

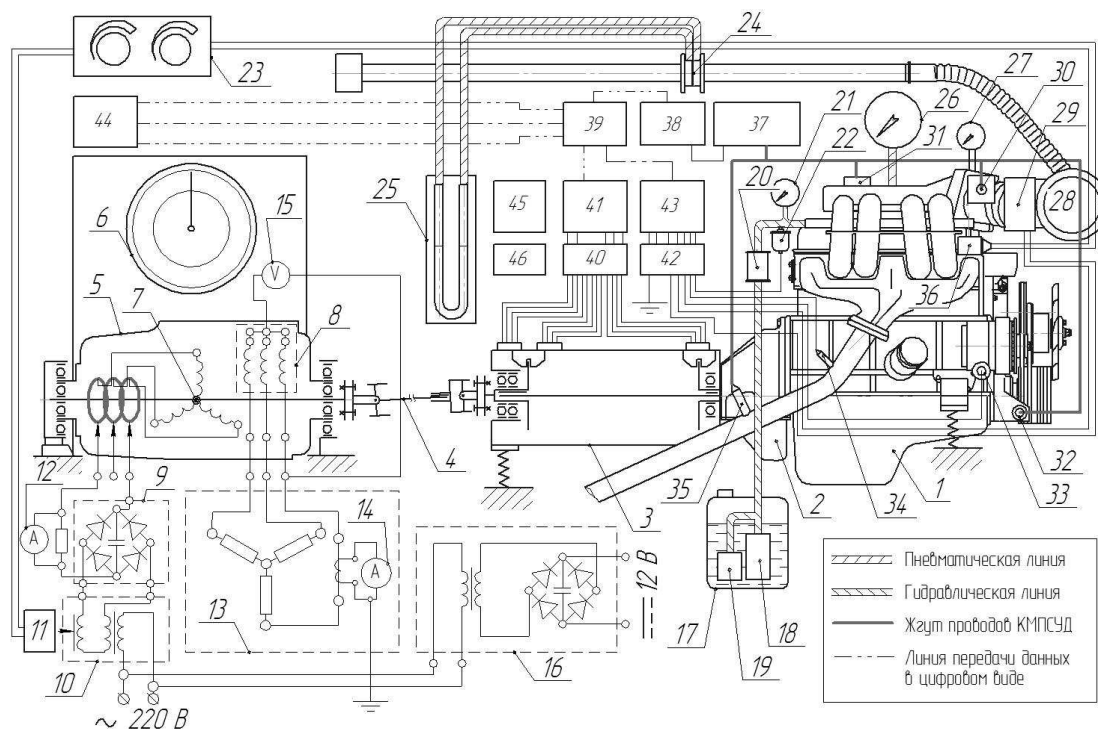


Рисунок 1 – Электро-кинематическая структурная схема стенда для исследований эффективных характеристик ДВС УМЗ-4216 на неустановившихся режимах работы

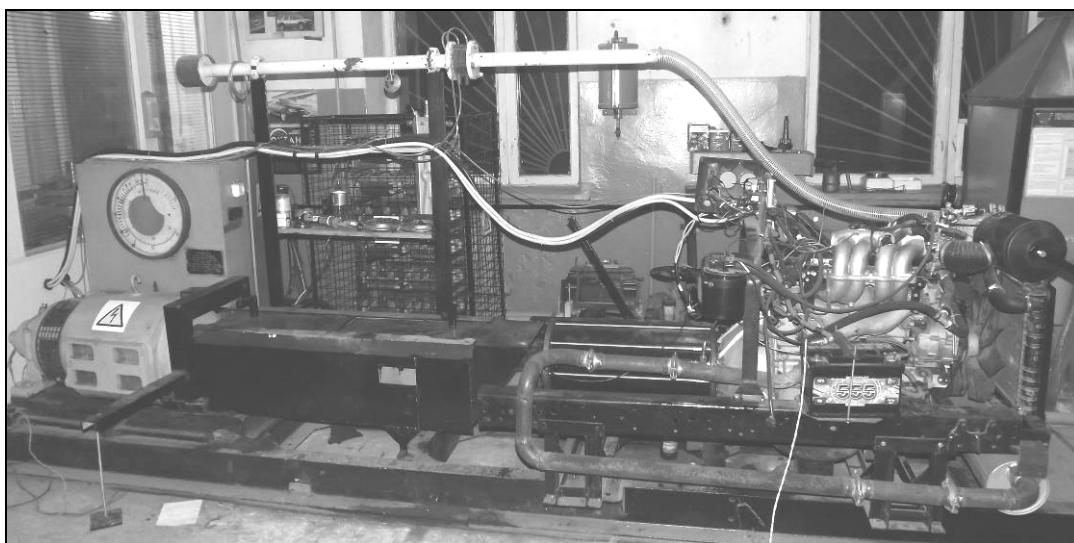


Рисунок 2 – Внешний вид стенда, построенного в лаборатории кафедры ААХ ДонНАСА, для исследований эффективных характеристик ДВС УМЗ-4216 на неустановившихся режимах работы

раздельного управления нагрузкой ДВС и тормозного устройства; 24 – расходомер воздуха; 25 – дифференциальный манометр для контроля перепада давления на сужающем устройстве расходомера; 26 – вакуумметр для контроля разрежения в ресивере впускной трубы ДВС; 27 – манометр для контроля давления масла в системе смазки ДВС; 28 – воздушный фильтр; 29 – датчик массового расхода воздуха; 30 – датчик положения дроссельной заслонки; 31 – датчик абсолютного давления и температуры воздуха в ресивере ДВС; 32 – датчик положения коленчатого вала; 33 – датчик температуры масла в системе смазки ДВС; 34 – датчик температуры отработавших газов (ОГ); 35 – датчик кислорода в системе выпуска ОГ; 36 – дистанционный привод механической дроссельной заслонки; 37 – электронный блок управления ДВС; 38 – диагностический модуль (K-Line адаптер); 39 – усилитель USB сигналов; 40 – блок подтягивающих резисторов торсионметра; 41 – автоматизированная система сбора данных;

42 – дополнительный блок подтягивающих резисторов; 43 – дополнительная автоматизированная система сбора данных; 44 – персональный компьютер; 45 – барометр-анероид; 46 – гигрометр психрометрический.

На рисунке 3 представлена кинематическая принципиальная схема бесконтактного крутильного торсиометра, цифровым позициям соответствуют следующие структурные элементы: 1, 2, 3 – датчики №1, №2 и №3 соответственно; 4 – торсионный вал; 5 – измерительные диски; 6 – корпус, 7 – подшипники, 8 – вал первичный, 9 – фланец карданного вала.

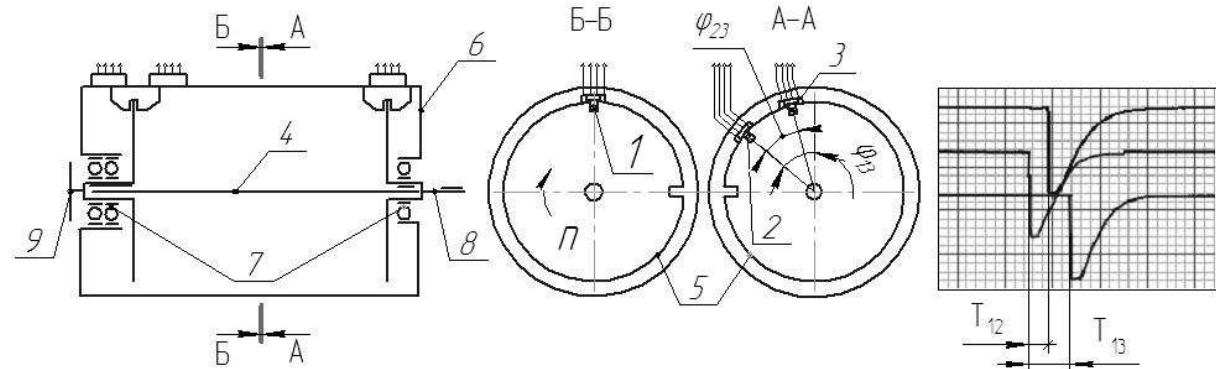


Рисунок 3 – Кинематическая принципиальная схема и осциллограмма рабочего процесса динамометра

Эффективный крутящий момент ДВС на установившемся режиме работы определяется на основании показаний весового устройства балансирующей динамомашины [6]. Применение данной величины в дальнейших расчётах ограничивается целью градуировки торсиометра. Таким образом, эффективный крутящий момент ДВС, измеряемый с помощью рассматриваемого прибора определяется функциональной зависимостью:

$$M_e = f(A) = f\left(\frac{T_{12}}{T_{13}}\right) = f\left(\frac{\varphi_{12} + \varphi_c}{\varphi_{12} + \varphi_{23} + \varphi_c}\right) = \frac{\pi \cdot G_p \cdot I_p \cdot 10^6 \cdot \frac{A \cdot \varphi_{12} + A \cdot \varphi_{23} - \varphi_{12}}{1 - A}}{L \cdot 180}, \text{ Нм}, \quad (3)$$

где  $A$  – безразмерный калибровочный параметр торсиометра;  $T_{12}$ ,  $T_{13}$  – периоды времени между импульсами датчиков №1 и №2, а также №1 и №3 соответственно, с<sup>5</sup> (рис. 3);  $\varphi_{12}$ ,  $\varphi_{23}$  – соответственно углы между датчиками №1 и №2, а также №2 и №3 в плоскости, перпендикулярной оси вращения торсионного вала;  $G_p$  – модуль упругости II рода материала торсионного вала, МПа;  $I_p$  – полярный момент инерции поперечного сечения торсионного вала, м<sup>4</sup>;  $L$  – длина торсионного вала, м;  $\varphi_c$  – угол скручивания торсионного вала, град.

Величины  $T_{12}$ ,  $T_{13}$ ,  $A$  определяются с помощью персонального компьютера (поз. 44, рис. 1) в программной среде «LabVIEW» фирмы «National Instruments» на основании данных, поступающих с автоматизированной системы сбора данных – модуля Е14-140М (поз. 41, рис. 1) фирмы «L-Card».

В начале процесса градуировки торсиометра величины  $G_p$ ,  $I_p$ ,  $L$ ,  $\varphi_{12}$ ,  $\varphi_{23}$  принимаются приближённо. Затем на любом установившемся нагрузочном режиме определяется угол  $\varphi_{23}$ :

$$\varphi_{23} = 6 \cdot 10^{-5} \cdot n \cdot (T_{13} - T_{12}), \quad (4)$$

Величина  $n$  определяется с помощью персонального компьютера и универсального мультимарочного сканера «Сканматик-2» (поз. 44 и 38 рис. 1 соотв.). Угол  $\varphi_{12}$  можно выразить из уравнения (3) аналогично на любом установившемся нагрузочном режиме ДВС. В процессе градуировки подбирается такое значение величины  $L$ , при котором значение крутящего момента торсиометра во всём диапазоне установившихся нагрузочных режимов будут соответствовать значениям крутящего момента весового механизма балансирующей динамомашины с учётом КПД подшипников её ротора и карданного вала. В зависимости от характеристик применяемых датчиков в торсиометре, а также от параметров энерго-силового потока трансмиссии, в уравнение (3) может быть введена поправочная функция, определённая в ходе серии экспериментов. Кроме того, точность работы торсиометра зависит от погрешности дискретности измерений, коэффициентов неравномерности частоты вращения и крутящего момента коленчатого вала и его углового ускорения.

Таким образом, эффективная мощность ДВС определяется величинами  $M_e$  и  $n$  [6].

Удельный расход топлива для рассматриваемого типа ДВС определяется выражением [7]:

$$g_e = \frac{10^3 \cdot G_T}{N_e} = \frac{30 \cdot A_{II} \cdot n \cdot \rho_p}{N_e} = \frac{30}{N_e} \cdot n \cdot \rho_p \cdot \sum_{1}^{n_{II}} \sum_{1}^{m_{II}} \int_0^{\tau_{упр}} Q_a(\tau_{упр}, \Delta P) d\tau, \text{ г/(кВт ч)}, \quad (5)$$

где  $G_T$  – часовой расход топлива, кг/ч;  $A_{II}$  – объёмный расход топлива за рабочий цикл ДВС, мл/цикл;  $\rho_p$  – плотность топлива в рампе, кг/дм<sup>3</sup>;  $n_{II}$  – количество цилиндров ДВС;  $m_{II}$  – количество срабатываний форсунки за рабочий цикл ДВС;  $Q_a(\tau_{упр}, \Delta P)$  – функция производительности форсунки, мл/с (определяется на основании проливочных испытаний [7]);  $\tau_{упр}$  – длительность управляющего импульса топливной форсунки, мс (определяется сканером «Сканматик-2»);  $\Delta P$  – перепад давления на топливной форсунке, бар.

Параметр  $\lambda$  является отношением текущей площади проходного сечения дроссельного патрубка (определяемой уровнем сигнала датчика положения дроссельной заслонки – поз. 30, рис. 1) к максимальной (при полном открытии дросселя) [3]. Параметры  $\varepsilon$  и  $\delta$  определяются путём дифференцирования соответствующих первообразных функций в программной среде.

**Выводы.** В работе приведен процесс экспериментальной индикации параметров эффективных характеристик с учётом переходных режимов на примере ДВС УМЗ-4216, рассмотрены конструктивные особенности модернизированного тормозного стенда, его приборов и дополнительного оборудования. Также предложена конструкция и рассмотрен рабочий процесс устройства для измерения крутящего момента в динамике переходных процессов. Таким образом, полученные результаты могут быть применены для исследований эффективных характеристик ДВС на неустановившихся режимах работы.

#### **Бібліографічний список використаної літератури**

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. Работа автомобильного двигателя на неустановившемся режиме / Е.М. Акатов, П.М. Белов, Н.Х. Дьяченко, В.С. Мусатов. – М-Л: Машгиз, 1960. – 282 с.
3. Горожанкин С.А. Особенности исследования эффективных характеристик автомобильных ДВС на переходных режимах работы / С.А. Горожанкин, Н.В. Савенков, Б.В. Овчарук // Веснік СевНТУ. Сер. Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. праць. – Севастополь, 2013. – Вип. 142. – С. 177–181.
4. 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., Валевач А.С. (Україна); заявл. 03.04.12 ; опубл. 27.08.12, Бюл. № 4. – 4с. : ил.
5. 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.
6. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний.
7. Горожанкин С.А. Определение расхода топлива бензинового ДВС с рампой тупикового типа при работе на переходных режимах / С.А. Горожанкин, Н.В. Савенков// Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимир Даля. – 2013. — № 15 (204). — Ч. 2. – С. 268–274.

*Поступила в редакцию 27.01.2014 г.*

#### **Горожанкін С.А., Савенков М.В., Степаненко Т.І. Установка для стендових випробувань автомобільних ДВЗ на несталих режимах роботи**

У статті виконується огляд конструкції та аналіз робочого процесу розробленої лабораторної установки для стендових випробувань автомобільного ДВС на несталих режимах роботи. Результати дослідження дозволять удосконалити математичну модель ефективних характеристик двигуна.

**Ключові слова:** двигун внутрішнього згоряння, ефективні характеристики ДВС, несталі режими роботи, гальмівний стенд, торсіометр.

#### **Gorozhankin S.A., Savenkov N.V., Stepanenko T.I. Unit for load-testing of automotive ICE on transient modes**

In this contribution performed overview and analysis of the design and workflow developed laboratory Unit for load-testing of automotive ICE on transient modes. This will develop a more accurate mathematical model of efficient engine performance.

**Keywords:** the internal combustion engine, characteristics of combustion engine, transient modes, brake stand, torque tester.