Научная статья
УДК 629.018

Метод определения характеристик двигателей автомобильной гибридной силовой установки в процессе дорожных испытаний

Никита Владимирович Савенков[1], Олег Олегович Золотарев[2]

[1,2]ФГБОУ ВО Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДонНАСА), Макеевка, Россия
[1]n.v.savenkov@donnasa.ru
[2]o.o.zolotarev@donnasa.ru

Аннотация. В работе рассмотрена проблематика и соответствующие ограничения применения известных способов определения характеристик двигателей тормозным методом при испытаниях автомобилей, оснащенных гибридными силовыми установками (ГСУ). Основная цель статьи заключается в разработке и обосновании соответствующего метода для исследования характеристик агрегатов ГСУ последовательно-параллельного типа.

Предложенный метод является расчётно-экспериментальным и основан на последовательной организации процесса дорожных испытаний. Методикой предусмотрено применение диагностического оборудования для получения данных бортовой телеметрии, а также динамометрического устройства, позволяющего определять крутящий момент на ведущем колесе – предложена соответствующая конструкция и рассмотрен рабочий процесс.

На первом этапе выполняются измерения при движении автомобиля исключительно на электрической тяге. Второй этап испытаний, при комплексном учете данных первого этапа, позволяет определить характеристики остальных агрегатов ГСУ. В качестве примера в статье рассмотрен автомобиль Toyota Prius 2015 модельного года.

Разработанный метод предназначен для определения механических характеристик электрических машин и характеристик их КПД в двигательном и генераторном режимах, а также частичной скоростной характеристикой ДВС по эффективной мощности и удельному эффективному расходу топлива.

Ключевые слова: гибридное транспортное средство, измерение крутящего момента, методика измерения, автомобиль, силовая установка.

Для цитирования: Савенков Н.В., Золотарев О.О. Метод определения характеристик двигателей автомобильной гибридной силовой установки в процессе дорожных испытаний // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. №2 (40).

Original article

Method for determining the characteristics of engines of a car equipped with a hybrid power unit control system during road tests

Nikita V. Savenkov [1], Oleg O. Zolotarev [2]

[1,2]Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture" (DonNACEA), Makeevka, Russia
[1]n.v.savenkov@donnasa.ru
[2]o.o.zolotarev@donnasa.ru

Abstract. The paper examines the problems and corresponding limitations of using known methods for determining the characteristics of engines using the braking method when testing vehicles equipped with hybrid power units (HPU). The main goal of the article is to develop and justify an appropriate method for studying the characteristics of series-parallel type HPU units.

The proposed method is computational and experimental and is based on the sequential organization of the road-testing process. The technique is based on the use of diagnostic equipment to obtain on-board telemetry data, as well as a dynamometer device that allows you to determine the torque on the drive wheel – an appropriate design is proposed and the working process is considered.

On the first, changes are made when the car is moving in various modes exclusively on electric traction. The second stage of testing, with comprehensive consideration of the data from the first stage, makes it possible to determine the characteristics of the remaining HPU units. As an example, the article considers the Toyota Prius 2015 model year.

The developed method is intended to determine the mechanical characteristics of electric machines and their efficiency characteristics in motor and generator modes, as well as the partial speed characteristics of internal combustion engines in terms of effective power and specific effective fuel consumption.

Keywords: Hybrid vehicle, torque measurement, measurement technique, vehicle, power plant.

For citation: Savenkov N.V., Zolotarev O.O. Method for determining the characteristics of engines of a car equipped with a hybrid power unit control system during road tests. Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. 2024. №2 (40).

Введение

На текущем этапе научно-технического прогресса совершенствование конструкции современного автомобиля сопряжено с усложнением его узлов и агрегатов, а также с ужесточением предъявляемых требований по обеспечению комплексной безопасности. При этом для различных этапов его жизненного цикла неизбежно развиваются соответствующие методы контроля и диагностирования требуемых параметров, предназначенные в том числе и для опытного исследования характеристик агрегатов силовой установки с целью оценки эффективности реализуемого рабочего процесса, а также поиска рациональных путей ее повышения.

Эти методы основаны на применении определенной номенклатуры оборудования в соответствии с установленной программой испытаний. Так, например, для лабораторных исследований автомобильных двигателей на предмет определения условных механических потерь, показателей на холостом ходу, мощностных и экономических показателей при полных и частичных нагрузках, равномерности работы цилиндров, безотказности работы, дымности отработавших газов, применяются обкаточно-тормозные стенды [1]. Одним из вариантов оборудования, предназначенного для испытания автомобилей на предмет определения расхода топлива и электрической энергии, удельных выбросов вредных веществ, а также характеристик агрегатов и узлов силовой установки, являются мощностные (динамометрические) стенды [2, 3], в том числе, оснащенные беговыми барабанами [4], и предназначенные для процедур официального утверждения автотранспортных средств [5].

Известны методики, позволяющие с помощью колесных стендов (в т.ч. с беговыми барабанами) безразборным способом определять мощностные характеристики ДВС автомобилей с традиционной силовой установкой. Различные варианты методик и применяемого оборудования позволяют учитывать сопутствующие при этом механические потери в агрегатах

трансмиссии разными способами – прокручиванием, расчётными методами и т.д. При этом применение соответствующих безтормозных методов с позиции достоверности получаемых результатов является менее предпочтительным [6].

Рассматриваемая в настоящей статье задача безразборного определения мощностных характеристик агрегатов автомобильной ГСУ тормозным методом, с помощью приведенных выше известных методик, сопряжена со следующими проблемами, требующими разрешения:

1. Применяемый силовой стенд должен обеспечивать как двигательный, так и тормозной режимы работы нагрузочного устройства – соответственно для воссоздания тягового режима движения автомобиля и режима рекуперации; при этом оборудование стенда должно обеспечивать возможность регулирования момента сопротивления на этих режимах [7].

2. Рассматриваемые стенды для испытания автомобилей позволяют определить составляющие энергосилового потока только в одной точке силовой установки – на движителях. ГСУ, в зависимости от их компоновки, могут содержать одну или несколько степеней свободы в распределении этих параметров между агрегатами. Это требует достоверного разрешения данной неопределенности при последующем определении их мощностных характеристик.

Для разрешения приведенных проблем авторами разработан соответствующий метод определения характеристик агрегатов автомобильной ГСУ безразборным способом путем проведения стендовых или дорожных испытаний.

Основная часть

Предлагаемый метод с целью разрешения рассмотренной и обоснованной во вводной части исследования проблемы №1 может быть реализован в ходе дорожных испытаний. При этом вместо

динамометрического стенда применяется устройство для изменения крутящего момента на ведущем колесе.

В качестве примера для выполнения исследований выбран автомобиль Toyota Prius 2015 модельного ряда, оснащенный ГСУ последовательно-параллельного типа, содержащей две электрические машины и ДВС, который находится в дифференциальной связи с одной из них [8].

Схема соответствующей гибридной силовой установки с размещением необходимых приборов и оборудования, необходимого для реализации испытаний по разработанному методу, приведена на рис. 1.

Применяемое устройство для измерения крутящего момента (УИМ) на ведущем колесе устанавливается между его ступицей и колесным диском. УИМ состоит из ведущей и ведомой полумуфт (поз. № 36 и поз. № 37, рис.1), соединенных через чувствительный элемент – диск (поз. № 42), нагруженный касательными усилиями (от передаваемого ведущему колесу крутящего момента) и испытывающий при этом упругую деформацию. В целях устранения влияния на деформацию диска радиальных и осевых составляющих, которые могут быть вызваны неровностями дороги, весом автомобиля, тяговой и тормозной силами, между полумуфтами установлен двухрядный радиально-упорный шарикоподшипник.

Для измерения передаваемого крутящего момента применяются тензорезисторы, которые являются базовыми электронными компонентами УИМ и размещены на диске – № 42 вид А-А рис. 1.

Электронный измерительный комплекс УИМ содержит две части – подвижную (размещена на полумуфтах и вращается вместе со ступицей и колесом) и неподвижную (размещена в салоне испытуемого автомобиля). Соответствующая электрическая схема монтажная приведена на рис.1. Подвижная часть содержит АКБ, тензорезисторный мост, микроконтроллер и радио модуль, позволяющий дистанционно передавать информацию к приемнику неподвижной части и далее к персональному компьютеру, на котором установлен программный комплекс сбора и обработки полученных данных [9].

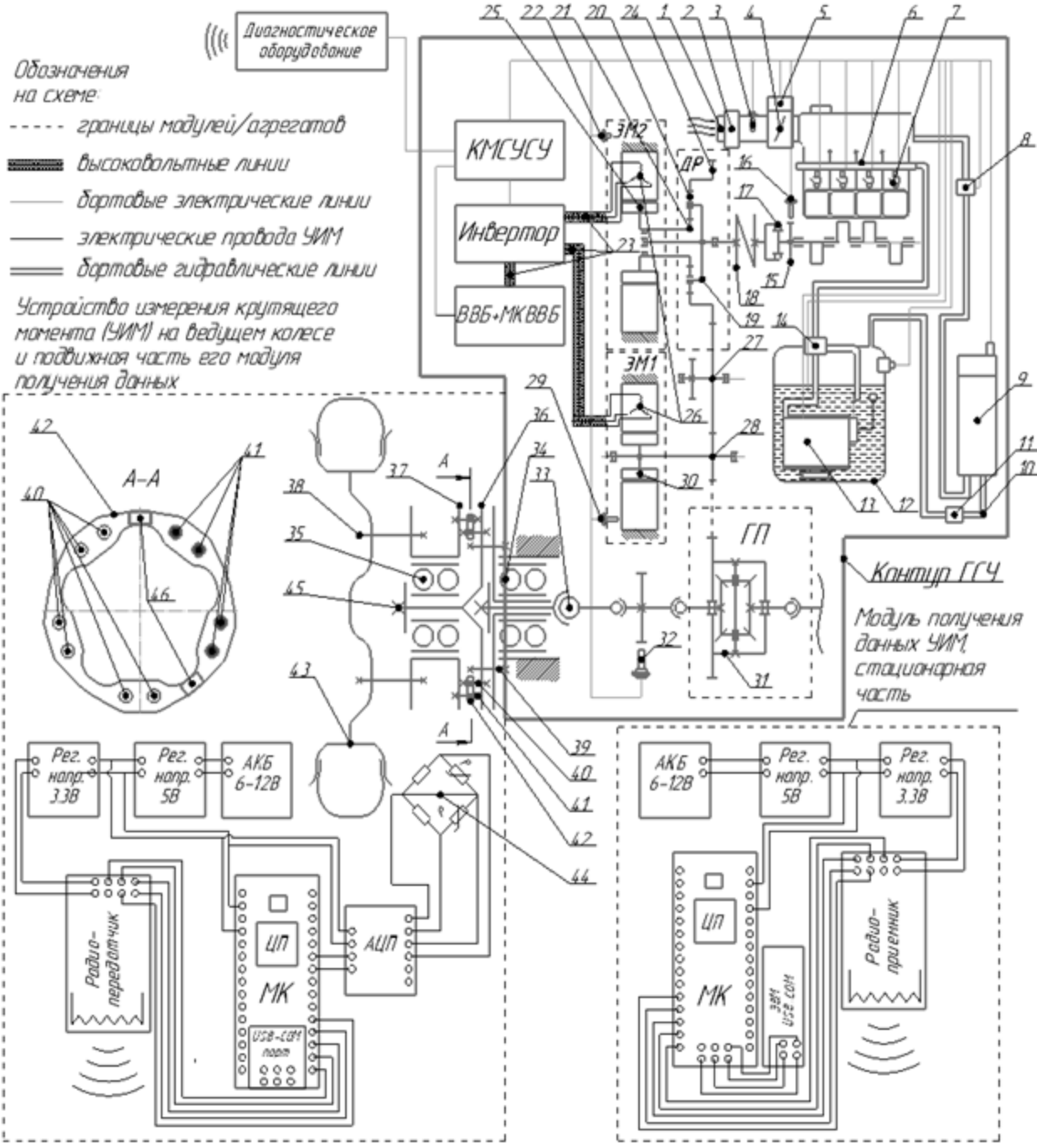

Рис. 1. Схема ГСУ с размещением необходимых приборов и оборудования

1 – впускной коллектор ДВС; 2 – датчик массового расхода воздуха (ДМРВ); 3 – датчик температуры и давления воздуха во впускном коллекторе (ДАТД); 4 – дроссельная заслонка с электрическим приводом;5 – датчик положения дроссельной заслонки (ДПДЗ); 6 – топливная рампа; 7 – форсунка; 8 – клапан адсорбера; 9 – адсорбер; 10 – воздушная магистраль продувки топливного бака; 11 – клапан продувки адсорбера; 12 – топливный бак; 13 – топливный насос; 14 – редуктор давления топлива;

15 – маховик с задающим сектором; 16 – датчик положения коленчатого вала (ДПКВ); 17 – муфта обратного хода; 18 – демпфер крутильных колебаний; 19 – водило дифференциального распределителя (ДР); 20 – сателлит ДР; 21 – солнечная шестерня ДР; 22 – резольвер, датчик частоты вращения второй электрической машины (ЭМ2); 23 – высоковольтная проводка к ЭМ1, ЭМ2, высоковольтной батарее (ВВБ); 24 – коронная шестерня ДР; 25 – ротор ЭМ2; 26 – статор ЭМ2 и ЭМ1 (электрические высоковольтные обмотки); 27 – промежуточный вал ГСУ; 28 – шестерня привода ЭМ1; 29 – резольвер, датчик частоты вращения ЭМ1; 30 – ротор ЭМ1; 31 – дифференциал; 32 – датчик частоты вращения ведущего колеса; 33 – шарнир равных угловых скоростей (ШРУС); 34 – подшипник ступичный; 35 – шарикоподшипник УИМ; 36 – полумуфта ведущая УИМ; 37 – полумуфта ведомая УИМ; 38 – болт крепления УИМ к колесному диску; 39 – болт крепления УИМ к ступице ведущего колеса; 40 – болт крепления чувствительного элемента, к ведущей полумуфте; 41 – болт крепления чувствительного элемента, к ведомой полумуфте; 42 – чувствительного элемента; 43 – диск колесный в сборе с бескамерной шиной; 44 – тензорезисторный мост; 45 – гайка ступичная; 46 – места установки тензорезисторов; ГП – главная передача; КМСУСУ – комплексная система управления силовой установкой; МКВВБ – модуль контроля ВВБ; МК – микроконтроллер; ЦП – центральный процессор микроконтроллера; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; АКБ – аккумуляторная батарея.

Работа электронных компонентов на программном уровне обеспечивается бесплатной оболочкой для написания программ, их компиляции и программирования аппаратуры. В этой оболочке имеется текстовый редактор, менеджер проектов, препроцессор, компилятор и инструменты для загрузки программы в микроконтроллер ATMEGA328P. Применяется язык программирования Arduino C.

Диагностическое оборудование, например мультибрендовое диагностическое оборудование Launch X-431, которое подключается к системе бортовой диагностики автомобиля, позволяет получить информацию

из различных блоков КМСУСУ и выполнять предварительную её обработку для определения необходимых параметров и показателей, в качестве которых для принятого автомобиля выбраны (табл. 1): частоты вращения коленчатого вала ДВС n_e и ведущих колес n_K; величины электрических напряжений U_1, U_2 и силы тока I_1, I_2 электрических машин ЭМ1 и ЭМ2 соответственно; длительность управляющего импульса форсунок топливной системы $\tau_{упрi}$, барометрическое и абсолютное давление воздуха в системе впуска B и $P_{АР}$ соответственно.

Дополнительно предполагается применение аппаратного (GPS-ГЛОНАСС трекер) и программного обеспечения, позволяющего фиксировать в ходе дорожных испытаний текущее время, местоположение и расположение автомобиля в пространстве в целях последующего корректирования параметров уравнения движения.

Предлагаемая методика испытаний включает в себя два этапа, основные параметры, последовательность проведения которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Этапы и шаги проведения эксперимента

Этапы	Первый		Второй		
Шаги	I	II	III	IV	V
Частота вращения ДВС, n_e	0	0	var	var	var
Режим ЭМ2	Н*	Н	Д**	Г***	Д
Режим ЭМ1	Д	Г	Г	Д	Д
Измеряемые параметры и показатели	$M_к$, n_K, U_1, I_1		$M_к$, n_K, n_e, U_1, I_1, U_2, I_2, $\tau_{упрi}$, $U_Ф$, $P_{АР}$		
Вычисляемые параметры и показатели	M_1, n_1, P_1, η_1		M_1, M_2, n_1, n_2, η_2, P_1, P_2, M_e, N_e g_e		
Достигаемая на этапе цель	Механические характеристики и характеристики КПД ЭМ1: $M_1 = f(n_1,P_1)$, $\eta_1 = f(n_1,P_1)$		Частичные скоростные характеристики ДВС по эффективной мощности и эффективному удельному расходу топлива, механические характеристики и КПД ЭМ2: $M_e = f(n_e, k_e)$, $g_e = f(n_e, k_e)$ $M_1 = f(n_1,P_1)$, $\eta 1 = f(n_1,P_1)$		
Н* - нейтральный; Д** - двигательный; Г*** - генераторный.					

На первом этапе определяются механические характеристики и характеристики КПД в двигательном и в генераторном режиме ЭМ1, которая соединена с трансмиссией параллельно. При этом автомобиль движется в режиме электромобиля – вторая электромашина ЭМ2 и ДВС не работают.

На втором этапе испытаний силовая установка работает в гибридном режиме. Показатели второй электромашины и ДВС определяются путем учета в балансе энергосилового потока силовой установки определенных на первом этапе характеристик ЭМ1.

Определение параметров и показателей на первом этапе испытаний.

Зависимости (1-5) предназначены для определения крутящего момента, КПД и частоты вращения ротора ЭМ1 в двигательном и в генераторном режимах.

При работе ЭМ1 в двигательном режиме:

$$M_1 = \frac{M_k \cdot 2}{U_{\text{ЭМ1}-\text{К}} \cdot \eta_{\text{ЭМ1}-\text{К}}}, \quad (1) \qquad \eta_1 = \frac{M_1 \cdot \pi \cdot n_1}{30 \cdot P_1}, \quad (2) \qquad n_1 = U_{\text{ЭМ1}-K} \cdot n_{\text{К}}, \quad (3)$$

где M_1 – крутящий момент на ЭМ1; $M_{\text{К}}$ – крутящий момент на ведущем колесе автомобиля; $U_{ЭМ1\text{-}К}$ – передаточное число от ЭМ1 к ведущему колесу; $\eta_{ЭМ1\text{-}К}$ – КПД при передаче энергосилового потока ЭМ1 к ведущему колесу; $n_К$ – частота вращения ведущего колеса; n_1 – частота вращения ротора ЭМ1; η_1 – КПД ЭМ1; P_1 – потребляемая ЭМ1 электрическая мощность (определяется измеряемым напряжением U_1 и током I_1).

При работе ЭМ1 в генераторном режиме:

$$M_1 = \frac{M_k \cdot 2 \cdot \eta_{\text{ЭМ1}-\text{К}}}{U_{\text{ЭМ1}-\text{К}}}, \quad (4) \qquad \eta_1 = \frac{30 \cdot P_1}{M_1 \cdot \pi \cdot n_1}. \quad (5)$$

Таким образом, результатом проведения первого этапа дорожных испытаний являются две характеристики ЭМ1: механическая (в двигательном и генераторном режимах) $M_1 = f(n_1, P_1)$ и соответствующая характеристика КПД $\eta_1 = f(n_1, P_1)$.

На втором этапе исследования силовая установка функционирует в гибридном режиме (все агрегаты работают). При этом определяются показатели и параметры оставшихся двух агрегатов ГСУ (ДВС и ЭМ2) путем исключения из общего баланса мощности силовой установки характеристик ЭМ1, полученных на первом этапе.

Тяговый режим движения автомобиля ($M_K>0$), ЭМ1 работает в двигательном режиме, дифференциальный механизм отдаёт механическую мощность в трансмиссию (зависимости 6-10):

$$M_{\text{кор}} = \frac{M_k - (M_1 \cdot U_{\text{ЭМ1-К}}) \cdot \eta_{\text{ЭМ1-К}}}{U_{\text{К-К}} \cdot \eta_{\text{К-К}}}, \quad (6) \qquad M_{\text{e}} = \frac{M_{\text{кор}}}{\left(1 - \frac{1}{2 \cdot U_{\text{П}}}\right) \cdot \eta_{\text{планет}}}, \quad (7)$$

$$M_2 = \frac{M_{\text{кор}}}{2 \cdot \left(1 - \frac{1}{2 \cdot U_{\text{П}}}\right) \cdot U_{\text{П}} \cdot \eta_{\text{планет}}}, \quad (8) \qquad \eta_2 = \frac{M_2 \cdot \pi \cdot n_2}{30 \cdot P_2}, \quad (9)$$

$$n_2 = U_{\text{п}} \cdot \left[2n_2 \cdot - n_{\text{кор}} \cdot \left(2 - \frac{1}{U_{\text{п}}}\right)\right], \quad (10)$$

где $M_{кор}$ – крутящий момент на коронной шестерне ДР ; $U_{К\text{-}К}$ – передаточное число от коронной шестерни ДР к ведущему колесу; $\eta_{К\text{-}К.}$ – КПД трансмиссии при передаче энергосилового потока от коронной шестерни дифференциального распределителя к ведущему колесу; M_e – эффективный крутящий момент на коленчатом валу ДВС; $U_П$ – передаточное число дифференциального распределителя; M_2 – крутящий момент на роторе ЭМ2; $\eta_{планет}$ – КПД ДР; η_2 – КПД ЭМ2; P_2 – потребляемая ЭМ2 электрическая мощность (определяется измеряемым напряжением U_2 и током I_2); $n_{кор}$ – частота вращения коронной шестерни ДР; n_2 – частота вращения ротора ЭМ2; n_e – частота вращения коленчатого вала ДВС.

Рекуперативный режим движения автомобиля ($M_K < 0$), ЭМ1 работает в генераторном режиме (зависимости 11-14):

$$M_{кор} = \frac{(M_k - (M_1 \cdot U_{ЭМ1-К}) \cdot \frac{1}{\eta_{ЭМ1-К}}) \cdot \eta_{К-К}}{U_{К-К}}, \quad (11)$$

$$M_e = \frac{M_{кор} \cdot \eta_{планет}}{1 - \frac{1}{2 \cdot U_П}}, \quad (12)$$

$$M_2 = \frac{M_{кор} \cdot \eta_{планет}}{2 \cdot (1 - \frac{1}{2 \cdot U_П}) \cdot U_П}, \quad (13)$$

$$\eta_2 = \frac{30 \cdot P_2}{M_2 \cdot \pi \cdot n_2}, \quad (14)$$

Величина удельного расхода топлива ДВС в ходе проведения испытаний определяется выражением:

$$g_e = 3600 \cdot G / N_e, \quad (15)$$

где N_e – развиваемая ДВС эффективная мощность: $N_e = M_e \cdot \pi \cdot n_e / (30 \cdot 10^3)$ кВт; G – текущий массовый расход топлива, г/с.

$$G = G_V \cdot \rho_T, \quad (16)$$

где G_V – объемный текущий расход топлива, мл/с; ρ_T – плотность топлива, г/мл.

$$G_V = A_ц \cdot n / (30 \cdot \tau), \quad (17)$$

где τ – тактность двигателя; $A_ц$ – цикловая подача топлива, мл/цикл.

$$A_ц = \sum_1^{n_ц} A_{цi} \cong n_Ц \cdot A_{цi} = 10^{-3} \cdot n_Ц \cdot \sum_1^{m_ц} (\tau_{упрij} \cdot Q_{ai}) \cong 10^{-3} \cdot n_Ц \cdot \tau_{упрi} \cdot Q_{ai}, \quad (18)$$

где $A_{цi}$ – цикловая подача топлива в i-й цилиндр ДВС, мл/цикл; $n_Ц$ – количество цилиндров в ДВС; $m_Ц$ – количество подач форсунки за рабочий цикл цилиндра (при реализации многостадийного впрыска); $\tau_{упрij}$ – j-я по счёту от начала цикла электрическая длительность впрыска топлива в i-м цилиндре, мс; Q_{ai} – производительность форсунки i-го цилиндра, мл/с; $\tau_{упрi}$ – электрическая длительность впрыска топлива в i-м цилиндре при $m_Ц = 1$ (одностадийный фазированный впрыск).

С учетом (18) зависимость (17) для четырехтактного ДВС принимает вид:

$$G_V = 10^{-3} \cdot n_Ц \cdot \tau_{упрi} \cdot Q_{ai} \cdot n / 120. \quad (19)$$

Величину Q_{ai} для топливной системы ДВС выбранного в качестве примера автомобиля (внешнее смесеобразование, фазированный распределенный впрыск через электромеханические форсунки, топливная система тупикового типа с постоянным давлением P_T) резонно рассматривать в виде функции динамической производительности [10, 11] $Q_{ai} = f(\tau_{упрi}, \Delta P_T, U_Ф)$, где ΔP_T и $U_Ф$ – соответственно перепад давления на форсунке и электрическое напряжение на её клеммах. Рассматриваемая функция

заблаговременно до выполнения предлагаемого цикла дорожных испытаний должна определяться в ходе стендовых испытаний в лабораторных условиях, например с использованием стенда AUTOOL CT-160, или NA4 200W и т.п., с последующей аппроксимацией полученных значений.

В ходе второго этапа дорожных испытаний величина Q_{ai} вычисляется на основе разработанной аппроксимирующей функции, аргументы $\tau_{\text{упрi}}$ и $U_{Ф}$ которой определяются с помощью подключаемого диагностического оборудования, а $\Delta P_T = P_T + B - P_{AP}$, где B и P_{AP} – соответственно барометрическое давление и абсолютное давление в ресивере системы впуска, определяемые на установившемся режиме работы ДВС с помощью поверенных измерительных приборов, а на неустановившихся режимах по датчику абсолютного давления, откалиброванному по этим приборам.

Выводы и рекомендации

Разработан, ожидает апробации и предложен для применения метод определения характеристик агрегатов ГСУ путем проведения серии дорожных испытаний. Основные преимущества метода:

- отсутствие необходимости в разборке силовой установки и последующих испытаниях каждого отдельного агрегата на специализируемом нагрузочно-тормозном стенде в лабораторных условиях; также отсутствует необходимость испытаний автомобиля на силовом динамометрическом стенде с беговыми барабанами;

- предлагаемая конструкция колесного динамометра позволяет сопоставлять параметры движения автомобиля с параметрами энергосилового потока в силовой установке, не прибегая к необходимости использовать уравнение движения, что направлено на повышение достоверности;

В качестве недостатка стоит отметить дополнительное влияние на получаемые характеристики агрегатов КПД трансмиссии.

Результаты работы позволяют создавать математические модели характеристик агрегатов ГСУ, а также характеристики сопротивления движению автомобиля, которые могут быть использованы для численного моделирования его движения в заданных эксплуатационных условиях с целью поиска рациональной стратегии регулирования ГСУ по предварительно выбранному критерию эффективности.

Список источников

1. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. Введ. 1982–01–01 – М.: Издательство стандартов, 2003. – 42 с.

2. Анализ характеристик современного оборудования для определения тягово-скоростных свойств автомобилей в лабораторных условиях / Н. В. Савенков, В. В. Понякин, С. А. Чекулаев, В. В. Бутенко // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2019. – Т. 16, № 3(67). – С. 276-289. – EDN TICXPC.

3. Обзор конструкций современных динамометрических стендов для испытаний колесных транспортных средств / К. Е. Бяков, В. В. Иваненков, В. Б. Холоденко, О. И. Чудаков // Транспортные системы. – 2021. – № 4(22). – С. 4-15. – DOI 10.46960/62045_2021_4_4. – EDN FFCOUE.

4. 4. ГОСТ Р 54810-2011. Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. Введ. 2011–12–13 – М.: Стандартинформ, 2012. 23 с.

5. ГОСТ Р 59890-2021. Автомобильные транспортные средства. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Технические требования и методы испытаний на базе всемирной согласованной процедуры испытания транспортных средств малой грузоподъемности и испытаний в реальных условиях эксплуатации. Введ. 2022–04–01 – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – 280с.

6. Коншин, В. М. Методы и средства диагностирования в системе сервиса строительных и дорожных машин : учеб. пособие / В. М. Коншин ; В. М. Коншин. – Москва : МАДИ (ГТУ), 2004. – 117 с. – EDN QNRAJJ..

7. О диагностике автомобильных гибридных силовых установок на стендах с беговыми барабанами / А. И. Федотов, О. С. Яньков, П. А. Киселев, Д. О. Ухватов // International Journal of Advanced Studies. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 42-61. – DOI 10.12731/2227-930X-2023-13-1-42-61. – EDN OUDNVJ.

8. Савенков, Н.В. Рациональный выбор режимных параметров автомобильной гибридной силовой установки / Н.В. Савенков, О. О. Золотарев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2023. – № 1(35). – EDN WYDHJS.

9. Разработка модуля измерения деформаций с помощью тензорезисторов с использованием arduino / А. С. Ереско, С. П. Ереско, Т. Т. Ереско [и др.] // Механики XXI веку. – 2017. – № 16. – С. 82-85. – EDN YTWCQV.

10. Горожанкин, С.А. Определение расхода топлива бензинового ДВС с рампой тупикового типа при работе на переходных режимах / С.А. Горожанкин, Н.В. Савенков // Вестник Восточно-украинского национального университета имени Владимира Даля. – 2013. – № 15. – С. 268-273.

11. Васильев, А. В. Совершенствование диагностирования электромагнитных форсунок бензиновых двигателей на основе оценки их динамической производительности/ А. В. Васильев, Д. С. Березюков // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10: Инновационная деятельность. – 2012. – № 6. – С. 11-15. – EDN PEUEKL.

References

1. Dvigateli avtomobil'nye. Metody stendovyh ispytanij, GOST 14846-81 (Automotive engines. Bench test methods, State Standart 14846-81), Moscow, Izdatel'stvo standartov, 2003, 42 p.

2. Savenkov N.V., Ponyakin V.V., Chekulaev S.A., Butenko V. V. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*, 2019, vol. 16, no. 3(67). – pp. 276-289.

3. Byakov K.E., Ivanenkov V.V., Holodenko V.B., Chudakov O.I. *Transportnye sistemy*, 2021, no. 4(22), pp. 4-15. DOI 10.46960/62045_2021_4_4.

4. Avtomobil'nye transportnye sredstva. Toplivnaya ekonomichnost'. Metody ispytanij, GOST R 54810-2011 (Automotive vehicles. Fuel efficiency. Test methods, State Standart 54810-2011), Moscow, Standartinform, 2012, 23 p.

5. Avtomobil'nye transportnye sredstva. Vybrosy zagryaznyayushchih veshchestv s otrabotavshimi gazami. Tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytanij na baze vsemirnoj soglasovannoj procedury ispytaniya transportnyh sredstv maloj gruzopod"emnosti i ispytanij v real'nyh usloviyah ekspluatacii, GOST R 59890-2021 (Automotive vehicles. Emissions of pollutants from exhaust gases. Specifications and test methods based on the worldwide harmonized light duty vehicle testing procedure and field-testing, State Standart 59890-2021), Moscow, Rossijskij institut standartizacii, 2022, 280 p.

6. Konshin V.M. *Metody i sredstva diagnostirovaniya v sisteme servisa stroitel'nyh i dorozhnyh mashin: ucheb. posobie* (Methods and means of diagnostics in the service system of construction and road machines: textbook. allowance), Moscow, *MADI*, 2004, p. 117.

7. Fedotov A.I., Yan'kov O.S., Kiselev P.A., Uhvatov D.O. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 1. – pp. 42-61. DOI 10.12731/2227-930X-2023-13-1-42-61

8. Savenkov N.V., Zolotarev O.O. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2023, no. 1(35).

9. Eresko A.S., Eresko S.P., Eresko T. T. [et al.], *Mekhaniki XXI veku*, 2017, no. 16, pp. 82-85.

10. Gorozhankin S.A., Savenkov N.V. *Vestnik Vostochnoukrainskogo nacional'nogo universiteta imeni Vladimira Dalya*, 2013, no. 15, pp. 268-273.

11. Vasil'ev A.V., Berezyukov D.S. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 10: Innovacionnaya deyatel'nost'*, 2012, no. 6, pp. 11-15.

Рецензент: П.В. Душкин, канд. техн. наук, доц., МАДИ

Информация об авторах

Савенков Никита Владимирович, канд. техн. наук, доц., ДонНАСА.
Золотарев Олег Олегович, ассистент, ДонНАСА.

Information about the authors

Savenkov Nikita V., Candidate of Sciences (Technical), associate professor, DonNACEA.
Zolotarev Oleg O., assistant, DonNACEA.

Статья поступила в редакцию 15.05.2024; одобрена после рецензирования 21.05.2024; принята к публикации 06.06.2024.
The article was submitted 15.05.2024; approved after reviewing 21.05.2024; accepted for publication 06.06.2024.