

## РАСЧЕТ ВНЕШНЕЙ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Сидоров В.Н.<sup>1</sup>, Царёв О.А.<sup>1</sup>, Голубина С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Калуга, Россия (248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2), e-mail: asbina @yandex.ru*

Анализ известных методик расчета внешних скоростных характеристик двигателя внутреннего сгорания, приведенных в литературе, показал, что, как правило, расчетные внешние скоростные характеристики не совпадают с внешними скоростными характеристиками конкретных моделей двигателей, полученных экспериментальным путем. Приведена методика расчета и построения внешней скоростной характеристики двигателя внутреннего сгорания с учетом значений коэффициентов приспособляемости по моменту и по угловой скорости. Внешняя скоростная характеристика представлена параболой, которую можно легко аппроксимировать по двум точкам, одна из которых является экстремумом. Использование предлагаемой методики позволит аппроксимировать внешнюю скоростную характеристику как известных двигателей, так и на стадии расчета проектируемого двигателя. Предлагаемая методика позволяет аппроксимировать скоростные характеристики дизеля и бензинового двигателя с достаточно высокой точностью. Она является более универсальной и точной по сравнению с методиками, используемыми в настоящее время.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, внешняя скоростная характеристика двигателя внутреннего сгорания, коэффициент приспособляемости по моменту и по угловой скорости.

## THE CALCULATION OF THE EXTERNAL SPEED CHARACTERISTICS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Sidorov V.N.<sup>1</sup>, Tsarev O.A.<sup>1</sup>, Golubina S.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Bauman Moscow State Technical University Kaluga Branch, Kaluga, Russia (248000, Kaluga, Bazhenov street, 2), e-mail: asbina @yandex.ru*

Analysis of the known methods of calculating the speed characteristics of the external combustion reported in the literature has shown that, as a rule, the estimated external speed characteristics do not coincide with the external high-speed characteristics of specific models of motors produced experimentally. The methodology of calculation and construction of external high-speed characteristics of the internal combustion engine based on the values of the coefficients adaptability torque and angular velocity has been proposed. Using the method proposed one can approximate the full load curve, both of known the engines and of the engines at the stage of their calculation and design. The method proposed makes it possible to approximate the performance characteristics of diesel and gasoline engines with high accuracy. It is more accurate and versatile, if compared to the methods currently used.

Keywords: internal combustion engine, outside speed of the internal combustion engine, ratio of adaptability torque and angular velocity.

При моделировании динамической характеристики автомобиля и тяговой характеристики трактора приходится прибегать к теоретическому расчету и построению функциональных зависимостей эффективной мощности и крутящего момента от угловой скорости коленчатого вала двигателя.

В теории ДВС известна предложенная профессором И.М. Лениным [1] методика построения внешних скоростных характеристик двигателей по процентным соотношениям между текущими значениями и номинальным значением эффективной мощности для разных скоростных режимов работы двигателя:

$n_{\partial}$ , % от $n_{\partial.н}$ .....	20	40	60	80	100	120
карбюраторные двигатели						
$N_e$ , % от $N_{e.н}$ .....	20	50	73	92	100	92
дизели						
$N_e$ , % от $N_{e.н}$ .....	17	41	67	87	100	-

здесь  $N_{e.н}$  и  $n_{\partial.н}$  - номинальная эффективная мощность и частота вращения коленчатого вала при номинальной мощности;

$N_e$  и  $n_{\partial}$  - эффективная мощность и частота вращения коленчатого вала в искомой точке внешней скоростной характеристики двигателя.

Для построения внешней скоростной характеристики двигателя внутреннего сгорания А.И. Колчин [3; 5] приводит методику с использованием эмпирических зависимостей:

$$N_{ex} = N_{en} \left[ a \frac{n_x}{n_N} + b \left( \frac{n_x}{n_N} \right)^2 - c \left( \frac{n_x}{n_N} \right)^3 \right], \quad (1)$$

где  $N_{en}$  и  $n_N$  - номинальная эффективная мощность, частота вращения коленчатого вала при номинальной мощности;

$N_{ex}$  и  $n_x$  - эффективная мощность и частота вращения коленчатого вала в искомой точке внешней скоростной характеристики двигателя;

$a$ ,  $b$  и  $c$  - коэффициенты, зависящие от типа и конструктивных особенностей двигателя.

Следует отметить, что рассчитанные по рассмотренным методикам внешние скоростные характеристики, как правило, не совпадают с внешними скоростными характеристиками конкретных моделей двигателей, полученных экспериментальным путем [2; 4; 6]. На наш взгляд, причиной этого является то, что в рассмотренных выше методиках значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$  верны только для конкретных значений коэффициентов приспособляемости по моменту  $k_M$  и по угловой скорости  $k_{\omega}$ , приведенных в таблице 1.

Здесь:

$$k_M = \frac{M_{к.маx}}{M_{к.н}}; k_{\omega} = \frac{\omega_{\partial.н}}{\omega_{\partial.о}}, \quad (2)$$

где  $M_{к.н}$  и  $\omega_{\partial.н}$  - значения крутящего момента и угловой скорости двигателя при номинальной мощности;

$M_{к.мах}$  и  $\omega_{д.о}$  - максимальный крутящий момент и угловая скорость двигателя на режиме максимального крутящего момента.

**Таблица 1**

Значение опытных коэффициентов

Тип двигателя	$a$	$b$	$c$	$k_m$	$k_\omega$
Дизели с нераздельной камерой сгорания	0,87	1,13	1	1,189	0,565
Дизели с предкамерой	0,60	1,40	1	1,090	0,700
Дизели с вихрекамерой	0,70	1,30	1	1,123	0,650
Карбюраторные	1	1	1	1,250	0,500

Для учета коэффициентов приспособляемости по моменту  $k_m$  и по угловой скорости  $k_\omega$  при построении внешней скоростной характеристики конкретной модели двигателя внутреннего сгорания предлагается использовать функцию крутящего момента от угловой скорости, которая легко получается из уравнения (1):

$$M_k = M_{кн} [a + bx - cx^2], \quad (3)$$

где  $x = \omega_d / \omega_{д.н}$  - относительная угловая скорость коленчатого вала двигателя.

Функция крутящего момента от угловой скорости представляет параболу с явно выраженным экстремумом в точке  $M_k = M_{к.мах}$  (рис. 1). Уравнение такой параболы можно легко аппроксимировать по двум точкам, одна из которых и является экстремумом.

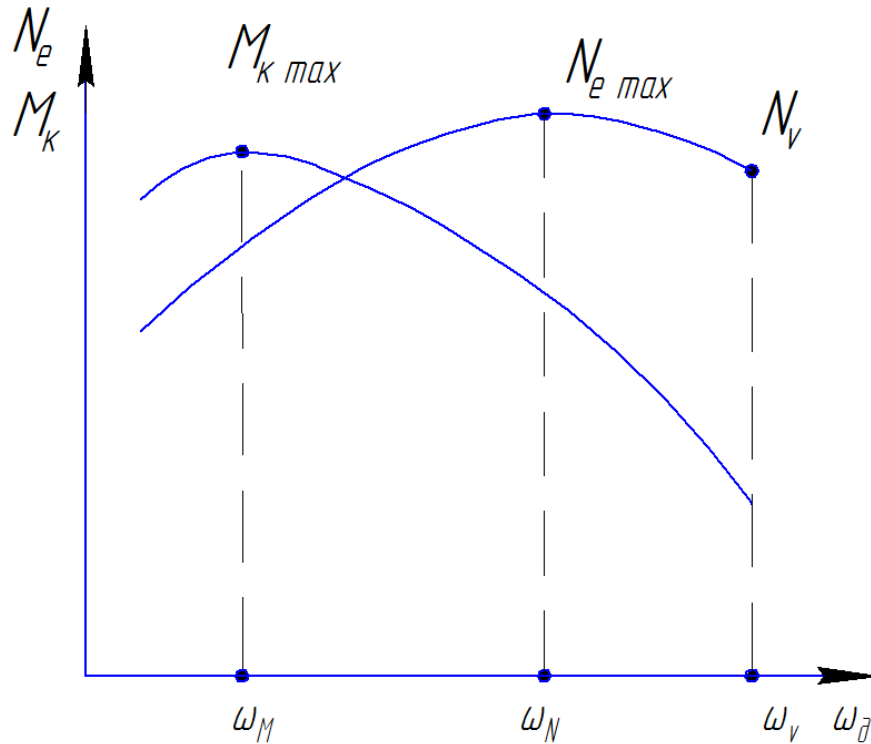


Рис. 1. Графическая схема аппроксимации внешней скоростной характеристики двигателя внутреннего сгорания

После последовательной подстановки в уравнение (3) сначала значений крутящего момента и угловой скорости для режимов номинальной мощности  $M_N$  и  $\omega_N$ , а потом - режима максимального крутящего момента  $M_{max}$  и  $\omega_M$ , получаем систему из двух уравнений с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} 1 = a + b - c \\ k_M = a + \frac{b}{k_\omega} - \frac{c}{k_\omega^2} \end{cases}$$

Для получения недостающего третьего уравнения найдем экстремум функции крутящего момента от угловой скорости, который соответствует режиму максимального крутящего момента. Для этого возьмем первую производную функции крутящего момента по относительной угловой скорости и приравняем ее нулю:

$$(M_k)'_x = (M_{kn} [a + bx - cx^2])'_x = 0.$$

Отсюда получим третье недостающее уравнение:

$$b - 2c x = 0.$$

Так как экстремум функции крутящего момента соответствует режиму максимального крутящего момента, то

$$x = \omega_{\partial} / \omega_n = \omega_M / \omega_n = k_{\omega}$$

и

$$b - 2ck_{\omega} = 0.$$

Таким образом, получаем систему из трех уравнений с тремя неизвестными, решив которую легко определить значение коэффициентов уравнения (3) для конкретного типа двигателя с учетом его приемистости по крутящему моменту и по угловой скорости:

$$a = 1 - b + c, \quad b = \frac{1 - k_M + c(1 - k_{\omega}^2)}{1 - k_{\omega}}, \quad c = \frac{(k_M - 1)}{(k_{\omega} - 1)^2}.$$

Использование предлагаемой методики позволит аппроксимировать внешнюю скоростную характеристику как известных двигателей, так и на стадии расчета проектируемого двигателя. Для этого достаточно знать значение эффективной мощности и угловой скорости двигателя для номинального режима и значение коэффициентов приспособляемости по моменту  $k_M$  и по угловой скорости  $k_{\omega}$ . Для дизелей их значения лежат в пределах  $k_M = 1,15 \dots 1,45$ ,  $k_{\omega} = 1,4 \dots 1,7$  и для бензиновых двигателей  $k_M = 1,25 \dots 1,3$ ,  $k_{\omega} = 1,7 \dots 2,0$ .

Таким образом, предлагаемая методика позволяет аппроксимировать скоростные характеристики дизеля и бензинового двигателя с достаточно высокой точностью. Она является более универсальной и точной по сравнению с методиками, используемыми в настоящее время.

### Список литературы

1. Автомобильные и тракторные двигатели / И.М. Ленин, К.Г. Попык. – М. : Высшая школа, 1969. – 368 с.
2. Болтинский В.Н. Теория, конструкция и расчет тракторных и автомобильных двигателей. – М. : Изд-во с.-х. литературы и плакатов, 1962. – 388 с.
3. Кутьков Г.М., Сидоров В.Н. Аппроксимация корректорного участка регуляторной характеристики дизеля // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 8. – С. 27-30.

4. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства : учебник. – М. : ИНФАРА-М, 2014. – 506 с.
5. Расчет автомобильных и тракторных двигателей : учеб. пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – М. : Высшая школа, 2003. – 496 с.
6. Сидоров В.Н. Моделирование внешней скоростной характеристики двигателя внутреннего сгорания // Научные технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе : материалы Всероссийской научно-технической конференции 5-7 декабря 2006 г. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – Т. 1. - С. 210-212.

**Рецензенты:**

Бульчев В.В., д.т.н., доцент, декан конструкторско-механического факультета, профессор кафедры «Технологии сварки» Калужского филиала ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», г. Калуга;

Корнюшин Ю.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматического управления» Калужского филиала ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», г. Калуга.