

© П.А. Болоев, Т.П. Очирова, И.Л. Дульчаева
Россия, Улан-Удэ, Бурятский государственный университет

Теоретические исследования влияния работы двигателей на газовом топливе на его выходные показатели

В статье рассмотрены теоретические исследования влияния работы двигателей на газовом топливе на его выходные показатели.

© P.A. Boloev, T.P. Ochirova, I.L. Dulchaeva

The theoretical investigations of the influence of engines on the gas-fuel at it's learning indexes are considered

In this article the theoretical investigations of the influence of engines on the gas-fuel at its learning indexes are considered.

В процессе эксплуатации происходит закономерное изменение технического состояния двигателя и его систем. Это самопроизвольное изменение регулировочных параметров из-за износов, вибраций и других факторов в процессе эксплуатации.

В эксплуатационных условиях влияние момента сопротивления на входе в двигатель автомобиля приводит к отклонениям показателей работы двигателя и автомобиля в целом.

Поэтому с учетом воздействий внешней среды уравнение динамики двигателя может быть выражено:

$$M_k = M_c \pm J_d(d\omega/dt), \quad (1)$$

где M_k – крутящий момент двигателя в условиях эксплуатации, Нм; M_c – момент сопротивления, Нм; J_d – приведенный к коленчатому валу момент инерции всех движущихся масс двигателя, Нм/с²; ω – угловая скорость вращения коленвала, 1/с; t – время, с.

Известно, что крутящий момент двигателя является функцией угловой скорости коленвала ω , положения дроссельной заслонки ϕ и подачи воздуха:

$$M_k = f(\omega, \phi, q_v), \quad (2)$$

Перейдя от моментов к их изменениям и разложив зависимость в ряд Тейлора и ограничившись первыми степенями переменных, запишем: $\Delta M_k =$

$$= (\partial M_k / \partial \omega) x + (\partial M_k / \partial \phi) y + (\partial M_k / \partial q_v) z, \quad (3)$$

где $x = \Delta \omega$, $y = \Delta \phi$, $z = \Delta q_v$.

На основании выражений (2.1) и (2.2) получим:

$$- J_d(dx/dt) + A_1x + A_2y + A_3z = \Delta M_k(t), \quad (4)$$

где $A_1 = \partial M_k / \partial \omega$; $A_2 = \partial M_k / \partial \phi$; $A_3 = \partial M_k / \partial q_v$.

Уравнение (4) является уравнением движения коленчатого вала двигателя в условиях эксплуатации.

Изменение крутящего момента можно рассматривать и как функцию от цикловой подачи топлива и эффективного КПД, которая в условиях эксплуатации может изменяться от технического состояния двигателя:

$$M_k = f(q_T, \eta_e) \quad (5)$$

Изменение крутящего момента от вышеприведенного параметра запишется:

$$\Delta M_k = (\partial M_k / \partial q_T) \Delta q_T + (\partial M_k / \partial \eta_e) \Delta \eta_e \quad (6)$$

Основным фактором, определяющим η_e в условиях эксплуатации и технического состояния, являются коэффициент избытка воздуха α и скоростной режим ω .

Поэтому

$$\Delta \eta_e = (\partial \eta_e / \partial \alpha) \Delta \alpha + (\partial \eta_e / \partial \omega) \Delta \omega. \quad (7)$$

Как известно

$$\alpha = q_v / I_0 q_T, \quad (8)$$

где I_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива; q_T – цикловая подача топлива; q_v – цикловая подача воздуха, равная

$$q_v = V_h p_v \eta_v, \quad (9)$$

где V_h – рабочий объем цилиндра двигателя; p_v – плотность воздуха; η_v – коэффициент наполнения.

Следовательно,

$$\alpha = (V_h \eta_v / p_o) (p_v / q_T). \quad (10)$$

Отсюда

$$a = f(p_v, q_T, \eta_v) \quad (11)$$

После разложения полученной зависимости в ряд и последующей линеаризации с учетом формулы (10) получим:

$$\Delta \alpha = (\partial \alpha / \partial p_v) \Delta p_v - (\partial \alpha / \partial q_T) \Delta q_T + (\partial \alpha / \partial \eta_v) \Delta \eta_v. \quad (12)$$

Цикловая подача топлива зависит от положения дроссельной заслонки и угловой скорости коленвала:

$$q_T = f(\varphi, \omega). \quad (13)$$

После разложения в ряд и линеаризации:

$$\Delta q_T = (\partial q_T / \partial \varphi) \Delta \varphi + (\partial q_T / \partial \omega) \Delta \omega. \quad (14)$$

Коэффициент наполнения в основном зависит от угловой скорости коленчатого вала и сопротивления воздухоочистителя:

$$\eta_v = f(\omega, \psi), \quad (15)$$

откуда

$$\Delta \eta_v = (\partial \eta_v / \partial \omega) \Delta \omega + (\partial \eta_v / \partial \psi) \Delta \psi. \quad (16)$$

Подстановка зависимостей, учитывающих условия эксплуатации и техническое состояние двигателя (10) и (16) в уравнение (5), приводит последнее к виду:

$$\begin{aligned} \Delta \eta_e = & (\partial \eta_e / \partial \alpha) [\alpha / \eta_v (\partial \eta_v / \partial \psi)] - \\ & - \alpha / q_T (\partial \eta_v / \partial \alpha) \Delta q_T + \\ & + [\alpha / \eta_v (\partial \eta_e / \partial \alpha) \partial \eta_v / \partial \omega + \partial \eta_e / \partial \omega] \Delta \omega. \end{aligned} \quad (17)$$

Механический КПД двигателя в основном зависит от нагрузки двигателя, т.е. положением дроссельной заслонки и, следовательно, цикловой подачи топлива, то в общем случае:

$$\eta_m = f(q_T), \quad (18)$$

и тогда

$$\Delta \eta_m = (\partial \eta_m / \partial q_T) \Delta q_T. \quad (19)$$

Зная выражения (17) и (19), можно определить изменение крутящего момента

двигателя в условиях эксплуатации с учетом его технического состояния:

$$\begin{aligned} \Delta M_K = & k \{ [1 + (q_T / \eta_m) d\eta_m / dq_T] \eta_e - \\ & - \alpha (\partial \eta_e / \partial \alpha) \} \Delta q_T + \\ & + k q_T \alpha [1 / \eta_v (\partial \eta_v / \partial \psi) \partial \eta_e / \partial \alpha] \Delta \psi + \\ & + k q_T [\partial \eta_e / \partial \omega + \\ & + \alpha / \eta_v (\partial \eta_e / \partial \alpha) \partial \eta_v / \partial \omega] \Delta \omega. \end{aligned} \quad (20)$$

Полученное уравнение показывает влияние рабочих параметров двигателя с учетом его технического состояния на изменение крутящего момента в условиях эксплуатации.

Момент сопротивления на входе в двигатель является в основном эксплуатационным фактором и в общем случае определяется скоростным режимом и режимом работы самого двигателя. Если показатель, характеризующий режим работы двигателя, обозначить через цикловую подачу топлива, то момент сопротивления равен:

$$M_c = f(\omega, q), \quad (21)$$

а изменение момента сопротивления:

$$\Delta M_c = (\partial M_c / \partial \omega) \Delta \omega + (\partial M_c / \partial q_T) \Delta q_T. \quad (22)$$

После постановки (17) и (22) в исходное дифференциальное уравнение (1) получим:

$$\begin{aligned} J_d (d \Delta \omega / dt) + & \{ (\partial M_c / \partial \omega) - \\ & - k q_T [\partial \eta_e / \partial \omega + \\ & + \alpha / \eta_v (\partial \eta_e / \partial \alpha) \partial \eta_v / \partial \omega] \} \Delta \omega = \\ = & k \{ [1 + (q_T / \eta_m) d\eta_m / dq_T] \eta_e - \\ & - \alpha (\partial \eta_e / \partial \alpha) \} \Delta q_T + \\ & + k q_T \alpha [1 / \eta_v (\partial \eta_v / \partial \psi) \partial \eta_e / \partial \alpha] \Delta \psi - \\ & - (\partial M_c / \partial q_T) \Delta q_T. \end{aligned} \quad (13)$$

Полученное выражение учитывает работу двигателя в эксплуатации с учетом его технического состояния. При нормальном техническом состоянии устойчивость работы двигателя характеризуется разностью F :

$$F = \partial M_c / \partial \omega - k q_T [\partial \eta_e / \partial \omega + \alpha / \eta_v (\partial \eta_e / \partial \alpha) \partial \eta_v / \partial \omega],$$

где k – постоянный коэффициент.