

УДК 629.43

О.В.Захарчук

Луцький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА З ГАЗОВИМ ДВИГУНОМ

В роботі описана математична модель для дослідження впливу різних факторів на енергетичні, економічні та екологічні показники колісного трактора з газовим двигуном при його русі за спрощеним їздовим циклом.

Ключові слова: математична модель, колісний трактор, газовий двигун, спрощений їздовий цикл.

В лабораторії двигунів внутрішнього згоряння ЛНТУ переобладнано дизель Д-240 в газовий двигун з іскровим запалюванням. Експериментальні випробування конвертованого з дизеля газового двигуна показали, що його потужність на 2...4% більша, ніж у дизеля, а сумарна токсичність в 1,83 рази менша, ніж у дизеля [1]. Була визначена серія навантажувальних характеристик та характеристик холостого ходу двигуна з заміром токсичності відпрацьованих газів. Ці характеристики були описані поліномами для використання в математичній моделі. Наприклад, годинна витрата палива описується наступним чином:

$$G_f = 2,4509 + 0,62955 \cdot p_k - 0,79128 \cdot n_a - 0,64732 \cdot p_k^2 + 0,21317 \cdot n_a^2 - 0,28547 \cdot p_k \cdot n_a,$$

де p_k - розрідження у впускному трубопроводі, кПа; n_a - частота обертання колінчастого валу двигуна $\text{об} \cdot \text{хв}^{-1}$;

Наступним етапом роботи є дослідження показників колісного трактора при роботі його двигуна на природному газі. Випробування транспортних машин в експлуатаційних умовах за паливною економічністю та токсичністю відпрацьованих газів є складною організаційно-технічною задачею. Значно простіше це зробити з використанням математичних моделей. Такі моделі широко використовуються при дослідженнях економічних та екологічних показників автомобілів. Відомі математичні моделі, розроблені в МАДИ, НАМИ, Горьковському політехнічному інституті, ЦНІАП, а також випробувальні цикли Європейського Союзу, США, Японії, міський цикл для АТЗ повною масою більше 3,5 т, крім міських автобусів.

Оскільки стандартних їздових циклів для колісних тракторів немає, то за основу взята математична модель розрахунку витрати палива та екологічних показників автомобіля з бензиновим двигуном під час руху за режимами міського їздового циклу [2]. Дану математичну модель уточнено з метою її використання для дослідження показників колісного трактора. Це дало можливість імітувати рух тракторного поїзда за спрощеним їздовим циклом, який включає роботу двигуна на малих обертах холостого ходу, розгін тракторного поїзда з переключенням передач, рух з постійною швидкістю та сповільнення (рис.1). Основна відмінність цих математичних моделей полягає в тому, що при виконанні транспортної роботи трактор використовується з причепом (тракторний поїзд) тому необхідно враховувати опір коченню коліс причепа, а також у конструктивних відмінностях трансмісії трактора і автомобіля. В трансмісії трактора є кінцева передача, тому необхідно враховувати її передатне число.



Рис. 1. Спрощений їздовий цикл тракторного поїзда

Математична модель представлена низкою диференціальних і алгебраїчних рівнянь, що описують закономірності зміни швидкості трактора, витрати палива і викидів шкідливих речовин у ВГ на кожній елементарній ділянці їздового циклу. Вхідними параметрами математичної моделі прийнята величина $\varphi_{\dot{\alpha}\dot{\delta}}$ і швидкість $V_{\dot{\alpha}\dot{\delta}}$ відкриття дросельних заслінок газоповітряного змішувача, передаточне число U_s коробки передач, час переключення передач $t_{\dot{n}\dot{e}^3}$ і частота обертання двигуна $n_{\dot{a}}$, при якій оператор включає більш високу передачу при розгоні. Задані оператором $\varphi_{\dot{\alpha}\dot{\delta}}$, $V_{\dot{\alpha}\dot{\delta}}$ і $n_{\dot{a}}$ визначають розрідження у впускному трубопроводі $\square p_k$. Розрідженням у впускному трубопроводі і частотою обертання визначаються режими роботи двигуна, годинні витрати палива G_i і повітря $G_{i\dot{a}}$, вміст у ВГ окису вуглецю $\tilde{N}\hat{I}$, вуглеводнів $\tilde{N}_m\hat{H}_n$ і окисів азоту NO_x , двоокисів вуглецю $\tilde{N}\hat{I}_2$.

Вихідним параметром двигуна є крутний момент M_k , величина якого при заданому оператором положенні дросельних заслінок визначається умовами на виході: характеристиками дороги (подовжній ухил i , коефіцієнт опору коченню коліс трактора та причепа f), власною масою тракторного поїзда M_0 і масою вантажу $M_{\dot{a}}$, обраної оператором передачі U_s , фактором опору повітря kF , тому що ці умови визначають швидкість руху трактора і, відповідно, частоту обертання колінчастого вала двигуна.

Вихідним параметром моделі є транспортна продуктивність Π (ткм·год). Масові викиди шкідливих речовин і витрата палива віднесені до 1 км пройденого шляху ($g_{CO}, g_{CH}, g_{NO_x}, g_{CO_2}, g_i$) і до 1 ткм транспортної роботи ($g'_{CO}, g'_{CH}, g'_{NO_x}, g'_{CO_2}, g'_i$).

Розгін двигуна від мінімальної частоти обертання холостого ходу $n_{\min.xx}$ до частоти $n_{\dot{a}i}$, при якій відбувається включення зчеплення, описується рівнянням:

$$\frac{dn_{\dot{a}}}{dt} = M_k(n_{\dot{a}}; \Delta p_k) \cdot \frac{30}{I_{\dot{a}} \cdot \pi}, \quad (1)$$

де $\frac{dn_{\dot{a}}}{dt}$ – прискорення колінчастого вала двигуна, $\tilde{\omega}\hat{a}^{-1} \cdot \tilde{n}^{-1}$; $M_k(n_{\dot{a}}; \Delta p_k)$ – ефективний крутний момент двигуна, $\hat{I} \cdot \dot{i}$; $I_{\dot{a}}$ – момент інерції двигуна, $\hat{e}\tilde{a} \cdot \dot{i}^2$;

Ефективний крутний момент M_k визначається при $\varphi_{\dot{\alpha}\dot{\delta}} < 100\%$ за залежністю

$$M_k = f(n_{\dot{a}}; \Delta p_k), \quad (2)$$

де $\square p_k$ – розрідження у впускному трубопроводі, кПа.

Крутний момент двигуна під час роботи в неусталеному режимі визначаються за формулою:

$$M_{ki} = M_{k\acute{o}} - \lambda \cdot \frac{dn_{\dot{a}}}{dt} \cdot \frac{\pi}{30}, \quad (2)$$

де $M_{k\acute{o}}$ – крутний момент двигуна в усталеному режимі, $\hat{I} \cdot \dot{i}$.

Після включення зчеплення момент тертя розраховується за залежністю:

$$\dot{I}_{\zeta\dot{\alpha}\dot{\delta}} = \beta \cdot \dot{I}_{k\dot{\alpha}\dot{\delta}}, \quad (4)$$

де β – коефіцієнт запасу зчеплення; $\dot{I}_{k\dot{\alpha}\dot{\delta}}$ – максимальний крутний момент двигуна, $\hat{I} \cdot \dot{i}$.

Момент опору руху трактора в усталеному режимі визначається за формулою:

$$\dot{I}_{ii} = \frac{(\dot{I}_o + \dot{I}_{\dot{a}}) \cdot (f_o \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) \cdot r_{\dot{a}} \cdot g}{U_i \cdot U_p}, \quad (5)$$

де \dot{I}_o і $\dot{I}_{\dot{a}}$ – маса відповідно трактора і причепа та вантажу, кг; f_o – коефіцієнт опору коченню; α – кут підйому (спуску) повздовжнього профілю дороги, град; $r_{\dot{a}}$ – динамічний радіус колеса, м; g – прискорення вільного падіння, \dot{i} / \tilde{n}^2 ; U_s – передаточне число i -тої передачі; $U_{\dot{\delta}}$ – передаточне число головної та кінцевої передачі:

$$U_{\delta} = U_0 + U_{\epsilon},$$

де U_0 - передатне число головної передачі; U_{ϵ} - передатне число кінцевої передачі.

Після вирівнювання частот обертання двигуна і ведучої частини зчеплення ($n_{\bar{a}} = n_{\zeta}$) відбувається розгін трактора при заблокованому зчепленні і закінчується при заданій частоті обертання двигуна $n_{\bar{a}i}$ на i -тій передачі.

Рівняння руху трактора має вигляд:

$$\frac{dV_{\delta\delta}}{dt} = \frac{1}{\delta \cdot (M_o + M_{\bar{a}}) \cdot \left(1 + \frac{\lambda \cdot U_i^2 \cdot U_p^2 \cdot \eta_{\tau}}{\delta \cdot (M_o + M_{\bar{a}}) \cdot r_{\bar{e}} \cdot r_{\bar{a}}} \right)} \times \left(\frac{M_k \cdot U_i \cdot U_p \cdot \eta_{\tau}}{r_{\bar{a}}} - P_f \pm P_i - P_w - P_{\epsilon\delta} \right), \quad (6)$$

де P_f , P_i , P_w - сили опору відповідно коченню, підйому, повітря, $H; \delta$ - коефіцієнт, який враховує маси трактора, що обертаються; η_{δ} - ККД трансмісії; $P_{\epsilon\delta}$ - сила тяги на кріюку.

Після розгону відбувається переключення на вищу передачу, двигун при цьому працює в режимі примусового холостого ходу і описується рівнянням:

$$\frac{dn_{\bar{a}}}{dt_{\zeta}} = \dot{I}_{\delta} \cdot \frac{30}{2_{\bar{a}} \cdot \pi}, \quad (7)$$

\dot{I}_{δ} - момент механічних втрат двигуна при закритих дросельних заслінках, $\dot{I} \cdot i$.

Момент механічних втрат двигуна при закритих дросельних заслінках описується лінійною залежністю:

$$\dot{I}_{\delta} = -k_1 \cdot n_{\bar{a}}, \quad (8)$$

де k_1 - дослідний коефіцієнт.

Вибіг трактора описується рівнянням:

$$\frac{dV_{\delta\delta}}{dt} = \frac{1}{\delta_1 \cdot (M_o + M_{\bar{a}})} \cdot (-P_{f_1} \pm P_i - P_w - D_{\epsilon\delta}), \quad (9)$$

де δ_1 - коефіцієнт, який враховує маси трактора, що обертаються.

Визначення і оцінка паливної економічності, показників тягово-швидкісних властивостей та викидів ШР трактора при живленні його двигуна природним газом здійснюватиметься за наступною методикою: на математичній моделі буде імітуватися рух тракторного поїзда по дорозі з асфальтобетонним покриттям за спрощеним їздовим циклом, під час чого в кожний момент циклу визначатимуться режими роботи двигуна (частота обертання колінчастого валу і розрідження у впускному трубопроводі), виходячи з яких, за характеристиками, визначеними експериментально, з урахуванням особливостей роботи двигуна в неусталених режимах буде розраховано паливну економічність, викиди ШР та тягово-експлуатаційні показники трактора на елементарній ділянці, у відповідному режимі та в цілому за весь спрощений цикл руху. Потім за результатами дорожніх випробування трактора при роботі на природному газі із заміром витрати пального за цим же їздовим циклом буде підтверджено адекватності математичної моделі.

Аналіз уточненої математичної моделі говорить про те, що вона досить точно описує рух колісного трактора з газовим двигуном за спрощеним їздовим циклом.

1. Матейчик В.П., Захарчук В.І., Козачук І.С., Захарчук О.В. Особливості використання природного газу як моторного палива для транспортних засобів//Вісник Національного транспортного університету. - К.: НТУ, 2008. - С. 127-130.
2. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях. - К.: Высшая шк., 1991. - 179 с.

Захарчук О.В. Особенности математической модели движения колесного трактора с газовым двигателем. *В работе описана математическая модель для исследования влияния различных факторов на энергетические, экономические и экологические показатели колесного трактора с газовым двигателем при его движении за упрощенным ездовым циклом.*

O.Zakharchuk. Features of mathematical model of motion to the wheeled tractor with a gas engine. *A mathematical model is in-process described for research of influence of different factors on the power, economic and ecological indexes of the wheeled tractor with a gas engine at his motion after to simplify a driver cycle.*