

УДК

В.П.Матейчик¹, В.В. Яновський¹, О.В. Захарчук²¹Національний транспортний університет²Луцький національний технічний університет

ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА З ГАЗОВИМ ДВИГУНОМ У ЇЗДОВОМУ ЦИКЛІ

Описана математична модель руху колісного трактора з газовим двигуном за їздовим циклом, наведена методика перевірки її адекватності та результати перевірки.

Ключові слова: математична модель, колісний трактор, газовий двигун, їздовий цикл, дорожні випробування, перевірка адекватності.

Загальновідомо, що сільськогосподарська техніка обладнана дизелями, які є невибагливими в експлуатації та обслуговуванні. Однак, зростання вимог до екологічних показників транспортних машин, в тому числі сільськогосподарського призначення, потребує удосконалення їх конструкції, яке забезпечить суттєве зменшення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Як показали попередні наукові дослідження [1], одним із ефективних способів поліпшення екологічних показників колісних тракторів з дизелями є їх переобладнання для роботи на природному газі (ПГ), в тому числі з можливістю роботи на біометані, який є продуктом сільськогосподарського виробництва.

Переобладнанням та доведенням дизелів для роботи на ПГ, на сьогоднішній день займаються провідні наукові, науково-дослідні та двигунобудівні організації та компанії: MAN, Scania, Nissan, Mercedes-Benz, МАДИ, ХНАДУ, ВНИИГАЗ, ІПМаш, та ін.

Однак питання визначення оптимальних значень параметрів керування переобладнаним з дизеля газовим двигуном та трансмісією транспортного засобу не досліджувались.

В той же час використання колісних тракторів для транспортних робіт є досить значним і складає близько 40-45% від річного об'єму робіт [2]. Тому дані дослідження є актуальними.

Вибір доцільного порядку переключення передач та параметрів керування газовим двигуном при розгоні колісного трактора, здійснювався шляхом моделювання руху на математичній моделі колісного трактора з причепом в прийнятому їздовому циклі, який показаний на рис. 1.

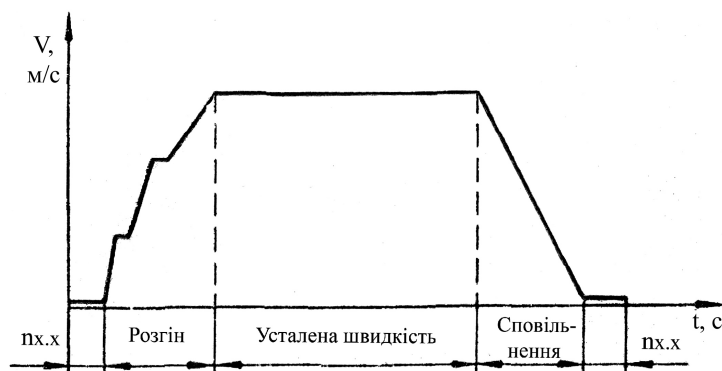


Рис. 1. Їздовий цикл колісного трактора

Математична модель [3] представлена низкою диференціальних і алгебраїчних рівнянь, що описують закономірності зміни швидкості трактора, витрати палива і викидів шкідливих речовин (ШР) у відпрацьованих газах (ВГ) на кожній елементарній ділянці їздового циклу. Вхідними параметрами математичної моделі прийнята величина відкриття дросельних заслінок φ_{op} і швидкість V_{op} відкриття дросельних заслінок газоповітряного змішувача, передаточне число U_i коробки передач, час переключення передач t_{cki} і частота обертання двигуна n_d , при якій оператор

включає більш високу передачу при розгоні. Задані оператором φ_{dp} , V_{dp} і n_d визначають розрідження у впускному трубопроводі $\square p_k$. Розрідженням у впускному трубопроводі і частотою обертання визначаються режими роботи двигуна, годинні витрати газу $G_{газ}$ і повітря $G_{пов}$, вміст у ВГ оксидів вуглецю CO , вуглеводнів C_mH_n і оксидів азоту NO_x [4].

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

В математичній моделі імітується рух колісного трактора з причепом по дорозі, визначаються в кожний момент виконання циклу режими роботи його двигуна (частота обертання і розрідження за дросельними заслінками газоповітряного змішувача), виходячи з яких за експериментально визначеними в роботі характеристиками з урахуванням особливостей роботи двигуна в неусталених режимах та виду палива розраховується витрата палива, шкідливі викиди, тягово-швидкісні властивості тракторного поїзда на елементарній ділянці шляху, в цілому в режимі та за весь цикл руху трактора.

Наприклад, рушання трактора з пробуксовуючим зчепленням описується рівняннями для двигуна і веденої частини зчеплення.

Рух двигуна описується рівнянням:

$$\frac{dn_d}{dt} = (M_{кш} - M_{зч}) \cdot \frac{30}{J_d \cdot \pi}, \quad (1)$$

де $\frac{dn_d}{dt}$ – сповільнення чи прискорення колінчастого вала двигуна, $xv^{-1}c^{-1}$; J_d – момент інерції двигуна, $(кг \cdot м^2)$; $M_{кш}$ – крутний момент двигуна в неусталеному режимі роботи, $Нм$; $M_{зч}$ – момент тертя зчеплення, $Нм$.

Положення дросельних заслінок (%) в процесі розгону описується залежністю:

$$\varphi_{dp} = \varphi_{dpmin} + V_{dp} \cdot t \quad (2)$$

де φ_{dpmin} – положення дросельних заслінок при мінімальній частоті обертання холостого ходу, %; V_{dp} – швидкість відкриття дросельних заслінок, %/с; t – поточне значення часу, с.

Рівняння руху трактора, отримане з тягового балансу, має вигляд:

$$\frac{dV_{np}}{dt} = \frac{1}{\delta \cdot (M_0 + M_{np} + M_e) \cdot \left(1 + \frac{\lambda \cdot U_i^2 \cdot U_0^2 \cdot U_k^2 \cdot \eta_T}{\delta \cdot (M_0 + M_{np} + M_e) \cdot r_k \cdot r_d} \right)} \times \left(\frac{M_k \cdot U_i^2 \cdot U_0^2 \cdot U_k^2 \cdot \eta_T}{r_d} - P_f \pm P_i - P_w - P_{кр} \right), \quad (3)$$

де M_0 – маса колісного трактора, кг; M_{np} – маса причепа, кг; M_e – маса вантажу, кг; r_d – динамічний радіус колеса, м; U_i – передаточне число i -ї передачі; U_0 – передаточне число головної передачі; U_k – передаточне число колісної передачі; P_f , P_i , P_w – сили опору відповідно коченню, підйому та повітря, H ; δ – коефіцієнт, який враховує маси трактора, що обертаються; λ – експериментальний коефіцієнт неусталеного режиму; η_T – ККД трансмісії; $P_{кр}$ – сила тяги на кривоку, H .

Перевірка адекватності математичної моделі руху колісного трактора проводилась шляхом порівняння розрахункових швидкостей трактора з даними експериментальних досліджень, отриманих при реалізації їздового циклу на колісному тракторі.

Дорожні випробування трактора МТЗ-80 з газовим двигуном та з причепом 2ПТС-4, який перевозив вантаж, проводились за прийнятим їздовим циклом. Тракторний дизель було переобладнано в газовий двигун з іскровим запалюванням для роботи на природному газі.

Під час дорожніх випробувань визначались витрата газу $G_{\text{газ}}$, швидкість руху V , час t руху трактора в циклі та відстань S , на якій проводились дослідження руху колісного трактора.

Для перевірки адекватності математичної моделі створений спеціальний програмно-апаратний комплекс, який дає можливість вимірювати і реєструвати параметри дослідного зразка в режимі реального часу під час руху в їздовому циклі [5].

Наприклад, для визначення частоти обертання колеса трактора виготовлено пристрій на основі датчика Холла. Датчик встановлено на ведуче колесо колісного трактора. При русі трактора за їздовим циклом безперервно записувались значення частоти обертання ведучого колеса на персональний комп'ютер (ПК).

Програмна частина комплексу призначена для запису та збереження сигналів на ПК і також дозволяє в режимі реального часу спостерігати за значеннями досліджуваних параметрів та їх зміною.

Розрахунки на математичній моделі за режимами спрощеного їздового циклу проводились для трактора масою 3160 кг з причепом з вантажем масою 2550 кг. Коефіцієнт опору кочення прийнятий $f=0,016$.

На рис. 3. показано фрагмент їздового циклу колісного трактора з газовим двигуном при дорожніх випробуваннях та при моделюванні руху на математичній моделі.

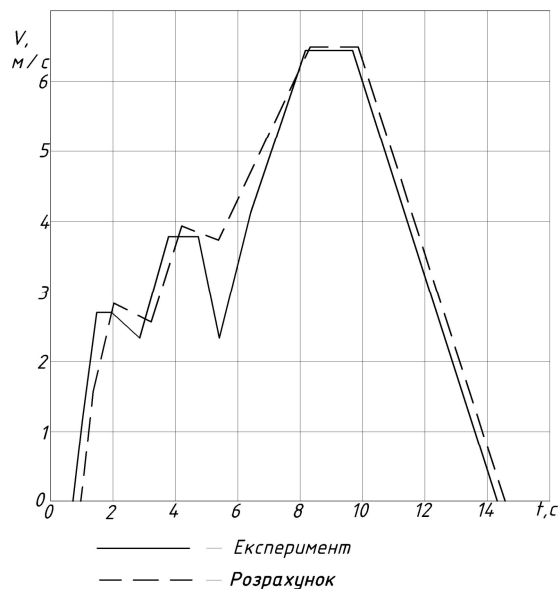


Рис. 2. Залежність швидкості колісного трактора від часу руху за їздовим циклом при дорожніх випробуваннях та при моделюванні руху на математичній моделі

За даними рис. 2 видно, що час t та швидкість руху V , отримані шляхом розрахунку, відрізняється від даних, отриманих в результаті експерименту, на 2,6% та 1,5%. Витрата газу $G_{\text{газ}}$, отримана в результаті експерименту, відрізняється від розрахункових даних на 5,7%.

Математична модель досить точно описує характер руху колісного трактора в їздовому циклі і може бути використана для вибору доцільного порядку переключення передач та параметрів керування газовим двигуном при розгоні колісного трактора та за режимами їздового циклу, що дозволяє оцінити вплив параметрів керування на показники колісного трактора. Наприклад, на рис. 3 показано отримані розрахунком на математичній моделі, залежності показників колісного трактора при розгоні: питома витрата газу $g_{\text{газ}}$, сумарні питомі викиди ШР, приведені до оксиду вуглецю $g\Sigma CO$ та час розгону колісного трактора t_p , від кута відкриття дросельних заслінок. Для досягнення найменшої витрати палива та мінімальних питомих викидів шкідливих речовин рекомендується забезпечувати величину відкриття дросельних заслінок газоповітряного змішувача при розгоні колісного трактора в діапазоні 50...60 %.

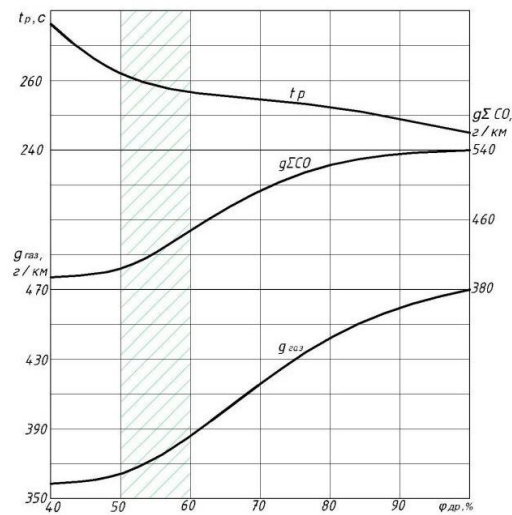


Рис. 3. Залежності показників колісного трактора при різних кутах відкриття дросельних заслінок

Висновки

Математична модель руху колісного трактора достатньо адекватно описує рух колісного трактора з газовим двигуном в експлуатаційних умовах і може бути використана для оцінки ефективності заходів, направлених на зменшення витрати газу та шкідливих викидів колісного трактора в умовах експлуатації.

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. Білоконь Я.Ю., Окоча А.І. Трактори і автомобілі. – К.:Урожай, 2002. – 324 с.
3. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях. – К.: Выща шк., 1991. – 179 с.
4. Захарчук О.В. Особливості математичної моделі руху колісного трактора з газовим двигуном// Наукові нотатки: Міжвузівський збірник. За напрямом "Інженерна механіка". – Випуск 28. – 2010.
5. Захарчук О.В., Сітовський О.П. Експериментальні дослідження колісного трактора при роботі на альтернативному паливі// Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – №6. – 2010.