

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНА БУДІВЕЛЬНИХ І ДОРОЖНІХ МАШИН

**Шевченко В.О., к.т.н., доц.**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

**Краснокутський М.В., інж.**

*Південна залізниця, Харків*

*Розглянута інтерпретація динамічної характеристики двигуна БДМ з урахуванням навантаження при вирішенні завдань, пов'язаних з дослідженням їх динаміки, особливо в випадках, коли розрахунки виконуються на ЕОМ.*

**Вступ.** Режим вантаження більшості будівельних і дорожніх машин (БДМ) характеризується нелінійним характером зміни в часі значень зусиль робочого опору. Неоднорідність матеріалів, що розробляються, особливості руйнування ґрунтів викликають випадкову зміну амплітуди навантажень відносно їх середнього значення. До цього слід додати яскраво виражені динамічні навантаження ударного характеру, які завжди з'являються при виконанні окремих операцій робочого циклу: заглиблення робочого органу в середовище, що розробляється, зіткнення робочого органу з жорсткою важко визначуваною перешкодою і т.п. Така складна картина формування зовнішніх робочих опорів приводить до нестійкої роботи двигунів машин. Очевидно, що традиційний підхід, пов'язаний з використанням статичної характеристики двигуна при складанні математичної моделі переміщення БДМ та її елементів не завжди точно і повно описує реальні процеси. Попередні дослідження показують, що функціональна залежність крутного моменту двигуна від числа обертів його валу, названа характеристикою двигуна, яка реєструється при різкій зміні робочого навантаження, істотно відрізняється від статичної характеристики, що фіксується на спеціальних стендах при сталих режимах зовнішнього вантаження [1].

**Основний матеріал.** Спроби врахувати аналітично фактичну зміну крутного моменту двигуна при змінних навантаженнях відомі. Внаслідок складності протікання робочих процесів в двигуні на перехідних режимах до цих пір не вдавалося дати математичного опису його динамічної характеристики в вигляді залежності, зручної для виконання практичних розрахунків.

Відомий спосіб обліку динамічної характеристики двигунів заснований на використанні емпіричних залежностей, що встановлюють вплив на величину миттєвих значень ефективного крутного моменту не тільки кутової швидкості колінчастого валу, але і його кутового прискорення [2]. Такі залежності можуть бути отримані на підставі стендових випробувань двигуна при розгоні і гальмуванні його з різними прискореннями. Практичне застосування в

розрахунках отриманих виразів незручно і вимагає виконання громіздких і складних обчислень у зв'язку з необхідністю неодноразових переходів в процесі обчислення від одних рівнянь до інших, оскільки ці залежності для регуляторної і безрегуляторної гілок характеристики, а також для режимів гальмування і розгону двигуна машини.

На підставі ряду досліджень [3] встановлено, що без використання турбонаддуву, вплив несталого режиму на протікання робочого процесу невеликий, і основою визначальної відмінності динамічної характеристики від статичної є запізнювання реакції регулятора на зміну навантаження (швидкісного режиму двигуна). У деяких роботах [2,4] величину крутного моменту того, що розвивається двигуном, розглядають як функцію швидкості обертання колінчастого валу і циклової подачі палива, яка визначається по положенню рейки паливного насоса. Останнє у свою чергу, знаходиться з рівняння регулятора рішення якого сумісне з рівнянням двигуна і дозволяє встановити фактичну зміну розвиваємого їм крутного моменту при тій або іншій зміні зовнішнього навантаження.

Оскільки в рівняння регулятора входить ряд нелінійних залежностей, цей метод використовується навіть у тому випадку, коли розрахунки проводяться із застосуванням електронних обчислювальних машин (ЕОМ). Відомі спроби спрощення цих залежностей [4] не дають задовільних результатів у зв'язку з тим, що математична інтерпретація динамічного крутного моменту двигуна, запропонована у вказаній роботі, справедлива лише для регуляторної гілки і не відображає відмінності між динамічною і статичною характеристиками після вступу в дію коректора.

Порівняно простий і зручний математичний вираз визначення миттєвих значень крутного моменту двигуна, що дає достатньо добре наближення до реальних залежностей, може бути отримано, якщо скористатися наступними допущеннями.

Оскільки швидкісна характеристика двигуна СМД-35(А-01) [1] на безрегуляторній гілці при вимкненому коректорі має вельми полого зміну значень, вважатимемо, що при включеному коректорі величина і характер зміни крутного моменту двигуна на безрегуляторній (корректорній) гілці при зниженні його оборотів відносно номінального значення повністю визначається регулятором і не залежать від яких-небудь факторів. Припустимо далі, що в цьому випадку як в безрегуляторній, так і на корректорній гілках зовнішньої характеристики двигуна між переміщенням муфти регулятора і величиною крутного моменту, що розвивається двигуном, існує лінійна залежність.

$$M_{\partial} = k_m z, \quad (1)$$

де:  $M_{\partial}$  – крутний момент, що розвивається двигуном;

$z$  – переміщення муфти регулятора;

$k_m$  – коефіцієнт пропорційності, значення якого  $k_{m_{рег}}$  і  $k_{m_{кор}}$  для регуляторної і корректорної гілок характеристики різні.

Використовуючи рівняння регулятора, а також прийняті допущення, виразимо крутний момент двигуна через параметри регулятора і швидкість обертання колінчастого валу. Положення муфти регулятора  $z_{cm}$  на сталому швидкісному режимі визначається по рівнянню [3,4].

$$z_{cm} = \frac{1}{c} [A(z)\omega_\delta^2 - F], \quad (2)$$

де:  $c$  – приведена до муфти жорсткість пружини регулятора;  
 $A(z)$  – коефіцієнт підтримуючої сили, який є функцією положення муфти регулятора;  
 $\omega_\delta$  – кутова швидкість обертання колінчастого валу двигуна;  
 $F$  – приведене до муфти регулятора зусилля попереднього натягу пружини.

На підставі виразів (1) і (2) крутний момент двигуна  $M_{\delta cm}$ , відповідний статичній характеристиці, можна представити як

$$M_{\delta cm} = \frac{k_m}{c} [A(z)\omega_\delta^2 - F], \quad (3)$$

З іншого боку, значення крутного моменту по статичній характеристиці визначаються як функція швидкості обертання колінчастого валу:

$$M_{\delta cm} = f(\omega_\delta), \quad (4)$$

що дозволяє пов'язати параметри регулятора з характеристикою двигуна і певною мірою врахувати погрішності, що вносяться прийнятими допущеннями.

У разі зневаги приведеною масою всіх рухомих частин регулятора і без урахування сил сухого тертя [3,4] рух муфти регулятора на перехідних режимах описується наступним рівнянням:

$$v \frac{dz}{dt} = A(z)\omega_\delta^2 - cz - F, \quad (5)$$

де:  $v$  – приведений до муфти регулятора коефіцієнт в'язкого тертя (фактор гальмування);  
 $t$  – час.

Помноживши обидві частини рівняння (5) на  $k_m$  і розділивши на  $c$ , отримаємо

$$\frac{v}{c} k_m \frac{dz}{dt} = \frac{k_m}{c} [A(z)\omega_\delta^2 - F] - k_{mz}, \quad (6)$$

що справедливо як для регуляторної, так і для коректорної гілок характеристики при підстановці відповідних значень коефіцієнта  $k_m$ . Величина коефіцієнта  $v$  в цілях спрощення може бути прийнята постійною і рівною, наприклад, його значенню на номінальному швидкісному режимі.

З урахуванням виразів (1) і (3) рівняння (6) може бути представлено у вигляді

$$\frac{v}{c} \cdot \frac{dM_{\partial}}{dt} = M_{\partial cm} - M_{\partial}. \quad (7)$$

Цей вираз і є рівнянням динамічної характеристики двигуна.

**Висновки.** Таким чином, при зроблених допущеннях зміна крутного моменту автогрейдерного двигуна СМД-35 без турбонаддуву на несталих режимах роботи описується звичайним диференціальним рівнянням першого порядку, яке може розглядатися як рівняння деякої умовної аперіодичної ланки, постійна часу якого визначається як відношення фактору гальмування до приведеної жорсткості пружини регулятора. Вхідним параметром цієї ланки є крутний момент, який визначається по статичній характеристиці двигуна залежно від швидкості обертання колінчастого валу, а вихідним - миттєві значення крутного моменту який розвивається двигуном на перехідних режимах. Така інтерпретація динамічної характеристики двигуна вельми зручна при вирішенні завдань, пов'язаних з дослідженням динаміки БДМ, особливо в тих випадках, коли розрахунки виконуються на ЕОМ.

### Список використаних джерел

1. Підбір двигунів внутрішнього згорання для будівельних і дорожніх машин з урахуванням впливу несталих режимів навантаження / В.О. Шевченко, М.В. Краснокутський. – Харків, 2011.
2. Елизаров В.П., Кутько Г. М., Шлуфман М.М. Исследование динамики машинно-тракторного агрегата на аналоговых вычислительных машинах. Труды ВИМ.38,1964.
3. Настенко Н.Н., Борошок Л.А., Грунауэр А.А. Регуляторы тракторных и комбайновых двигателей. М., “Машиностроение”,1965.
4. Гайцгори М.М., Малиновский Е.Ю. Электронная модель дизеля с турботрансформатором в приводе экскаватора. ВНИИ Стройдормаш,Сб. трудов ,1964.

### Аннотация

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

Шевченко В., Краснокутский М.

*Рассмотренная интерпретация динамической характеристики двигателя СДМ с учетом нагрузки при решении задач, связанных с исследованием их динамики, особенно в случаях, когда расчеты выполняются на ЕВМ.*

## **Abstract**

### **MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMIC DESCRIPTION OF ENGINE OF BUILD AND TRAVELING MACHINES**

V. Shevchenko, M. Krasnokutskiy

*The considered interpretation of dynamic description of engine of BDM is taking into account loading at the decision of tasks, povyazanikh with research of their dynamics, especially in cases, when calculations are executed on EVM.*