ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978

Seria: ENERGETYKA z. 66 Nr kol. 562

Wojciech SIŁKA
Wyższa Szkoła Inżynierska w Opolu

PRZEBIEG MOMENTU OBROTOWEGO SILNIKA GAŹNIKOWEGO PRZY ROZPĘDZANIU SAMOCHODU

Streszczenie. Dla określenia przebiegu momentu obrotowego silnika w funkcji prędkości obrotowej wykorzystano równanie empiryczne odwzorowujące rzeczywisty przebieg rozpędzania samochodu. Umożliwiło to wykorzystanie warunku równowagi sił na kołach do wyprowadzenia równania siły napędowej, a następnie momentu obrotowego silnika. Wyprowadzone zależności wykorzystano do porównania przebiegu charakterystyki silnika przy rozpędzaniu z charakterystyką dla ustalonych warunków pracy.

Przy rozpędzaniu samochodu jego silnik pracuje w warunkach nieustalonych i stąd przebieg momentu obrotowego w funkcji prędkości obrotowej jest odmienny niż na charakterystyce szybkościowej. W nieustalonych warunkach pracy występuje w silniku szereg nie rozpoznanych dotąd bliżej zjawisk jak zakłócenia w procesach tworzenia mieszanki, spalania i wymiany ładunku czy też zmienność oporów mechanicznych. Próby przybliżonego opisu matematycznego charakterystyki silnika przy rozpędzaniu zawiera szereg prac opublikowanych. Jednakże z reguły w pracach tych problem jest rozpatrywany jednostronnie, to jest z pominięciem wpływu parametrów konstrukcyjno-ruchowych odbiornika, powodujących pracę silnika w warunkach nieustalonych. Jedynie nieliczne opracowania, w tym prace [1], [2], ujmują łącznie wpływ parametrów silnika oraz samochodu. Tymczasem pomiędzy rozpędzanym samochodem a jego silnikiem istnieje rodzaj sprzężenia zwrotnego. Zmienność sumarycznej siły oporów ruchu przy rozpędzaniu stanowi bowiem przyczynę nieustaloności warunków pracy silnika, która z kolei oddziaływuje na przyspieszenie samochodu będące podstawowym składnikiem siły oporu bezwładności. Nie można więc dokonać ściślejszej analizy pracy silnika w warunkach rozpędzania, pomijając charakterystykę odbiornika. Wobec braku równań opisujących ściślej pracę silnika przy rozpędzaniu można określić jego charakterystykę na podstawie wykresu uzyskanego w wyniku przeprowadzonej drogowej próby rozpędzania samochodu [1]. W metodzie tej poprzez graficzne lub numeryczne różniczkowanie wykresu rozpędzania można obliczyć siłę oporu bezwładności a następnie siłę napędową na kołach oraz moment obrotowy silnika. Ten sposób jednak nie pozwala na określenie badanych zależności równaniem umożliwiającym dokonanie analizy wpływu poszcze-

gólnych czynników. Dlatego poniżej przedstawiono analityczną metodę określania charakterystyki silnika opartą o równanie empiryczne odwzorowujące rzeczywisty przebieg rozpędzania samochodu.

Podczas próby rozpędzania samochód porusza się po poziomej drodze o gładkiej nawierzchni, przy czym jego silnik pracuje przy pełnym otwarciu przepustnicy gaźnika. Stąd równanie bilansu sił działających na koła napędzane przyjmuje postać:

$$R(v) = m\delta\frac{dv}{dt} + W_{tp}(v) \tag{1}$$

gdzie:

- $R(v)$ - siła napędowa na kołach przy pełnym otwarciu przepustnicy gaźnika,
- m - masa samochodu,
- δ - współczynnik mas wirujących,
- v - prędkość,
- t - czas,
- $W_{tp}(v)$ - suma siły oporu toczenia i powietrza.

Sumę siły oporów toczenia i powietrza określa się zazwyczaj wzorem:

$$W_{tp}(v) = c_1 + c_2v^2 \tag{2}$$

gdzie c_1 i c_2 są stałymi dla danego samochodu.

Równanie (1) jest wykorzystywane do analitycznego określenia zdolności przyspieszania samochodu, która może być wyrażana w oparciu o różne wielkości [4]. W obliczeniach trakcyjnych samochodu zakłada się, że różnica siły napędowej określonej w oparciu o charakterystykę szybkościową silnika oraz siły W_{tp} zużywa się na pokonanie siły oporu bezwładności $m\delta\frac{dv}{dt}$. Tego rodzaju założenie stanowi zbyt daleko idące uproszczenie zważywszy, że charakterystyka szybkościowa dotyczy wyłącznie ustalonych warunków pracy silnika.

Dla określenia siły napędowej z równania (1) należy przyjąć zależność określającą rzeczywiste przyspieszenie w funkcji prędkości. Ponieważ odwzorowanie przebiegu przyspieszania równaniem liniowym pierwszego rzędu [3] nie jest dokładne, poniżej wykorzystano empiryczne równanie czasu rozbiegu [5] w postaci:

$$\Delta t = m\frac{V}{A_i - B_i V} \tag{3}$$

gdzie:

- Δt - czas rozbiegu liczony od prędkości początkowej,
- V - różnica prędkości chwilowej i początkowej dla danego biegu,
- A_i, B_i - stałe dla danego biegu.

Wyrażenie zawarte w mianowniku równania (3) jest wprost średnią siłą przyspieszającą [4], [5].

Dokładność i zakres stosowalności powyższego równania sprawdzono na podstawie analizy danych szeregu samochodów różnej konstrukcji przy wykorzystaniu maszyny cyfrowej. Analiza danych umożliwiła również określenie związków pomiędzy stałymi A_i oraz B_i a parametrami konstrukcyjno-ruchowymi samochodu i silnika. Stwierdzono również, że równanie (3) może być stosowane począwszy od prędkości, przy której na pierwszym biegu moment obrotowy silnika osiąga wartość maksymalną aż do prędkości nieco niższej od maksymalnej.

Dla wykorzystania przyjętego równania do określenia siły oporu bezwładności należy je przyrównać do czasu rozbiegu wyliczonego z zależności (1):

$$\Delta t = m\delta \int_0^V \frac{dv}{R - W_{tp}} \tag{4}$$

Przyrównując prawe strony równań (3) i (4), otrzymuje się po obustronnym zróżniczkowaniu i przekształceniu wzór określający siłę oporu bezwładności:

$$R - W_{tp} = \delta A_i - \delta(2B_i V - \frac{B_i^2}{A_i} V^2) \tag{5}$$

Równanie (5) po wprowadzeniu w miejsce W_{tp} zależności określającej siły oporu toczenia i powietrza w funkcji różnicy prędkości "V" pozwala wyznaczyć siłę napędową na kołach:

$$R = R_p - (2a_i V - b_i V^2) \tag{6}$$

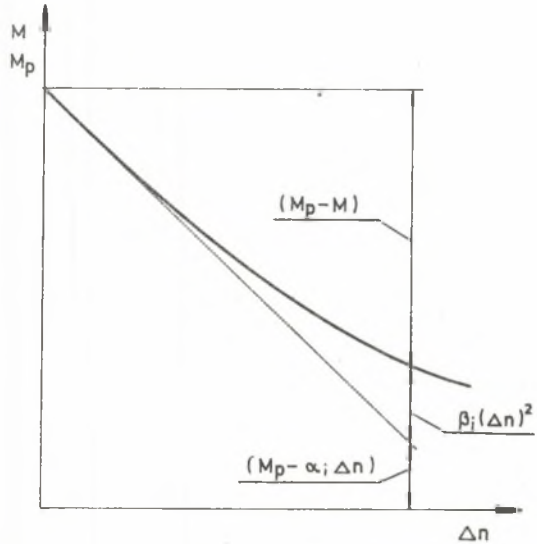
gdzie:

R_p - siła napędowa przy prędkości początkowej, to jest dla V = 0,

a_i, b_i - stałe dla danego przełożenia.

Na podstawie badań drogowych przeprowadzonych na samochodzie FIAT 125P przy użyciu piątego koła firmy PEISELER stwierdzono, że siłę R_p można określić w oparciu o wartość momentu obrotowego dla ustalonych warunków pracy silnika. Stałe a_i oraz b_i uwzględniają siłę W_{tp} dla prędkości początkowej, siłę R_p, stałą c_2, prędkość początkową oraz wartości siły napędowej i prędkości dla dwóch wybranych punktów charakterystyki szybkościowej silnika.

Przy pominięciu poślizgu kół oraz zmienności sprawności mechanicznej układu napędowego samochodu moment obrotowy silnika określa zależność:



Rys. 1. Wykres funkcji M(Δn) według równania (9)

$$M = \frac{R}{2\pi \gamma_i \eta_m} \tag{7}$$

przy czym

$$\gamma_i = \left(\frac{n}{v}\right)_i = \frac{i_c}{2\pi r} \tag{8}$$

gdzie:

- M - moment obrotowy silnika,
- n - prędkość obrotowa silnika,
- i_c - przełożenie całkowite układu przeniesienia napędu,
- r - promień ogumienia,
- η_m - sprawność mechaniczna układu napędowego.

Wprowadzając do wzoru (7) siłę napędową z równania (6) oraz zastępując różnicę prędkości liniowej różnicą prędkości obrotowej z zależności (8), otrzymuje się ostatecznie:

$$M = M_p - \left[\alpha_i \Delta n - \beta_i (\Delta n)^2\right] \tag{9}$$

przy czym:

$$\alpha_i = \frac{a_i}{\pi \gamma_i^2 \eta_m} \tag{10}$$

$$\beta_i = \frac{b_i}{2\pi \gamma_i^3 \eta_m} \tag{11}$$

gdzie:

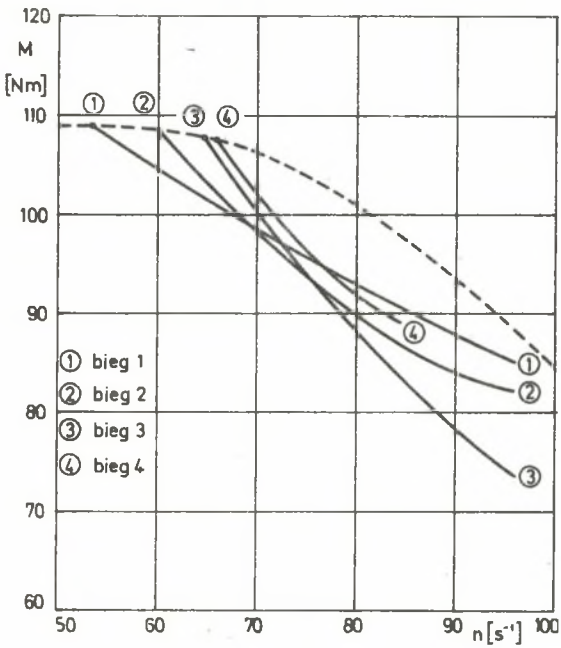
M_p - moment obrotowy silnika określony z charakterystyki szybkościowej dla prędkości początkowej,

Δn – różnica prędkości obrotowej proporcjonalna dla danego przełożenia do różnicy V,

α_i, β_i – stałe dla danego przełożenia.

Stałe α_i oraz β_i zawierają przełożenie całkowite, promień ogumienia, sprawność oraz wymienione poprzednio wielkości ujęte w stałych a_i i b_i.

Graficznym odwzorowaniem funkcji $M(\Delta n)$ według równania (9) jest wykres przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 2. Przebiegi funkcji M(n) na poszczególnych biegach dla samochodu FIAT 125P 1500

Równanie (9) z pewnym nieuniknionym przybliżeniem stanowi zapis matematyczny charakterystyki silnika przy rozpędzaniu samochodu. Dzięki temu można je wykorzystać w badaniach zależności pomiędzy parametrami konstrukcyjno-ruchowymi samochodu a charakterystyką silnika w warunkach rozpędzania. Różnice pomiędzy przebiegiem funkcji opisanej równaniem (9) a rzeczywistym przebiegiem momentu obrotowego silnika przy rozpędzaniu wynikają z aproksymacji rzeczywistego wykresu rozpędzania wg wzoru (3) oraz z pominięcia w równaniu (7) poślizgu kół i zmienności sprawności mechanicznej.

Na rysunku 2 przedstawiono wykres funkcji M(n) sporządzony na podstawie równania (9) dla samochodu FIAT 125P 1500. Na rysunku tym naniesiono również, dla porównania linią przerywaną przebieg momentu obrotowego według charakterystyki szybkościowej.

Wykresy funkcji M(n) dla poszczególnych biegów różnią się ze względu na różne wartości przełożeń, siły R_p oraz prędkości początkowych, decydujących o wielkości stałych α_i i β_i. Z przedstawionego wykresu jednoznacznie wynika, że w przypadku rozpędzania nie można określać siły napędowej na kołach na podstawie charakterystyki szybkościowej silnika, tak jak to jest praktykowane w obliczeniach trakcyjnych samochodu.

Powyższe rozważania, przedstawione w sposób skrótowy, stanowią fragment obszernego i złożonego problemu rozpędzania samochodu, który w szerszym zakresie zostanie rozpatrzony w przygotowanej do druku pracy.

LITERATURA

[1] Cichy M.: Wyznaczenie parametrów stanu nieustalonego silnika gaźnikowego na podstawie próby rozpędzania samochodu. Zeszyty Naukowe PG, nr 43. Mechanika VI, Gdańsk 1963.

[2] Cichy M.: Wpływ własności roboczych silnika na przebieg rozpędzania samochodu. Technika Motoryzacyjna Cz. I, nr 1/1964 Cz. II, nr 2/1964.

[3] Fiala E.: Eine Naherungslösung für die Ermittlung des Beschleunigungsverhaltens von Strassenfahrzeugen. ATZ Vol. 64 nr 4/1962.

[4] Siłka W.: O niektórych wielkościach charakteryzujących przebieg rozpędzania samochodu. Zeszyty Naukowe WSI w Opolu. Nr 22 Mechanika z. 6 Opole 1976.

[5] Siłka W.: Średnia siła przyspieszająca jako wielkość charakteryzująca zdolność przyspieszania samochodu. Materiały z Konferencji KONMOT 76. Wyd. Oddział Krakowski PAN i Polit. Krakowska. Kraków 1976.

ПРОТЕКАНИЕ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА КАРБЮРАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАЗГОНЕ АВТОМОБИЛЯ

Р е з ю м е

Для определения протекания вращающего момента двигателя в функции скорости вращения применено эмпирическое уравнение, отражающее действительное протекание разгона автомобиля. Это позволило использовать условие равновесия сил для выведения уравнения тяговой силы на колёсах, а потом уравнения момента вращения двигателя. Полученное уравнение использовано для сравнения протекания характеристики двигателя при разгоне с характеристикой для зафиксированных режимов работы.

COURSE OF A CARBURETTOR ENGINE TORQUE IN ACCELERATION CONDITIONS

S u m m a r y

In order to define the course of a carburettor engine torque in its rotational speed function, an empirical equation reflecting the real acceleration course has been applied. That allowed for the use of equilibrium conditions to derivate a driving force equation on wheels and consequently the engine torque equation. The derivated equation has been used to compare the engine characteristics in acceleration with fixed working conditions characteristics.