

АПРОКСИМАЦІЯ ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНІВ АВТОТРАКТОРНОГО ТИПУ

Варваров Л.М., к.т.н., проф.

*Харківський Національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка*

Запропоновані рівняння, які апроксимують швидкісні характеристики двигунів автотракторного типу сталої потужності.

Вступ. Останнім часом у тракторній енергетиці існує усталена тенденція до збільшення коефіцієнта пристосованості двигунів, який визначається запасом крутного моменту на рівні 25...40 %. Такі двигуни мають назву двигунів постійної потужності (ДПП). У довідкових джерелах приводяться технічні дані ДПП із запасом крутного моменту до 50...65% [1].

ДПП, як правило, розробляються на основі серійних дизельних двигунів з турбонаддувом. Досвід створення таких двигунів свідчить за те, що значного поліпшення показників ДПП може бути досягнуте завдяки використанню систем регулювання тиску наддуву. Такі системи достатньо складні технічно і їх запровадження пов'язано із суттєвими технологічними і матеріальними витратами. Але завдяки цьому забезпечується оптимізація тягового зусилля і швидкості руху мобільного засобу при практично повному використанні потужності двигуна та достатньо високій паливній економічності [2].

Кількісна оцінка міри ефективності використання ДПП зазвичай виконується методом тягового розрахунку відповідного мобільного засобу. При цьому поза залежністю від складності методики тягового розрахунку попередні вихідні дані мають бути надані у вигляді, так званої, теоретичної швидкісної характеристики двигуна.

Відомі методи апроксимації швидкісних характеристик реальних двигунів (принаймні для ДПП) дають суттєві якісні та кількісні розбіжності. Тому завдання їх адаптації для ДПП з подальшим використанням при дослідженнях техніко-економічних показників мобільних енергетичних засобів автотракторного типу слід вважати як актуальні.

Аналіз основних публікацій досліджень. Швидкісна характеристика двигуна представляє залежність потужності – N , крутного моменту – M та інших параметрів (наприклад, питомої витрати палива від швидкості обертання колінчастого валу, яка надається числом обертів – n ($хв.^{-1}$) або частотою обертання – ω ($с^{-1}$))

Для оцінки властивостей швидкісної характеристики використовують такі основні показники: коефіцієнт пристосованості – K_n та коефіцієнт зниження частоти обертання колінчастого валу – $a_{об}$. Формули для визначення цих показників відомі як з теорії двигунів внутрішнього згорання, так і з теорії колісних і гусеничних машин: $K_n = M_{max} / M_n$; $a_{об} = \omega_m / \omega_n$ (де M_{max} –

максимальний крутний момент; M_n – значення крутого моменту на номінальному режимі; ω_m – частота обертання на режимі максимального моменту; ω_n – частота обертання на номінальному режимі) [2].

Зв'язок запасу крутного моменту – параметру, який широко використовується у технічній літературі (ΔM_ϕ), і коефіцієнта пристосованості (K_n) може бути наданий так: $\Delta M_\phi = (K_n - 1) \cdot 100\%$.

Найбільш достовірною інформацією щодо параметрів швидкісної характеристики двигуна може бути отримана експериментально (наприклад, методом стендових випробувань). Якщо відомі тільки параметри номінального режиму, то швидкісна характеристика, як правило, визначається за емпіричними формулами, одна з яких при проведенні розрахункових досліджень є традиційною і має назву “рівняння Р. Лейдермана” [3]:

$$N_x = N_n \cdot \left[A_1 \cdot \left(\frac{\omega_x}{\omega_n} \right) + A_2 \cdot \left(\frac{\omega_x}{\omega_n} \right)^2 + A_3 \cdot \left(\frac{\omega_x}{\omega_n} \right)^3 \right], \quad (1)$$

де: A_1, A_2, A_3 – коефіцієнти, що характеризують тип двигуна (для двигунів із безпосереднім впорскуванням палива рекомендуються такі значення: $A_1 = 0,5$; $A_2 = 1,5$; $A_3 = 1,0$);

N_x, ω_x – потужність та частота обертання колінчастого валу двигуна на режимах швидкісної характеристики. Значення крутного моменту на на режимах швидкісної характеристики визначаються як $M_x = N_x / \omega_x$.

Досвід використання рівняння (1) для визначення параметрів теоретичної характеристики дизельних двигунів із коефіцієнтом пристосованості на рівні $K_n = 1,06 \dots 1,15$ свідчить за достатню адекватність розрахункових і експериментальних даних. Але для двигунів із більш високими значеннями K_n кількісна розбіжність результатів достатньо значна, хоча якість протікання характеристик зберігається (рис.1).

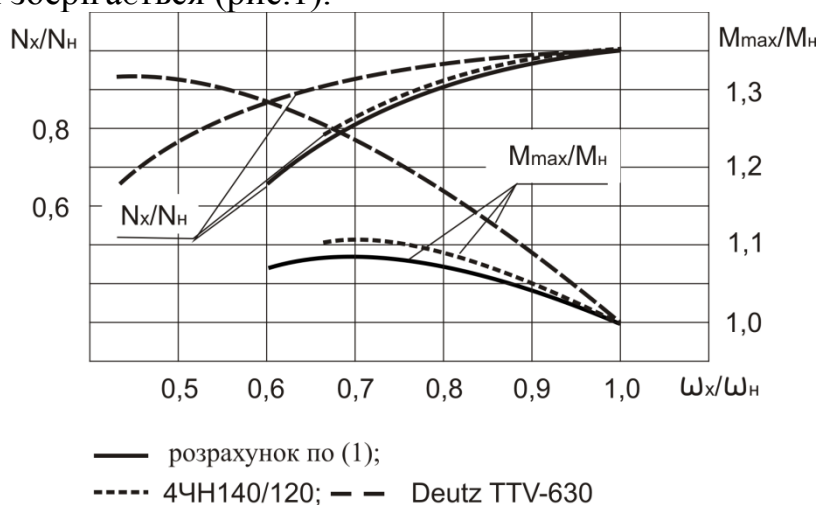


Рис. 1 – Теоретичні (розрахункові) і досвідні швидкісні характеристики дизельного двигуна

На рис.1 надані результати обробки досвідних даних по таким дизельним

двигунам: 4ЧН 140/120 ($K_n = 1,11$); Deutz TTV-630 ($K_n = 1,31$).

Теоретична (розрахункова) характеристика отримана за рівнянням (1) з використанням значень коефіцієнтів, які були показані вище. Параметри номінального режиму двигуна такі: $N_n = 164$ кВт; $\omega_n = 220$ с⁻¹; коефіцієнт пристосованості $K_n = 1,08$.

У контексті наведеного матеріалу можна припустити, що при корегуванні значень коефіцієнтів, які входять у формулу (1), структура “рівняння Р. Лейдермана” відповідає характеру протікання швидкісних характеристик реальних двигунів, у тому числі і двигунів постійної потужності.

Мета дослідження. Розробка підходів до визначення коефіцієнтів рівняння (1) в залежності від рівня запасу крутного моменту двигуна, що пропонується для певного мобільного засобу як енергетична установка.

Результати дослідження. Аналіз даних по параметрам швидкісних характеристик вітчизняних і зарубіжних двигунів автотракторного типу дозволив розподілити їх по групах в залежності від рівня коефіцієнта пристосованості у межах $K_n = 1,05 \dots 1,55$. Для кожної групи були визначені вірогідні значення K_{nx} (де x – номер групи) і, відповідно до них, реальні двигуни, характеристики яких апроксимувалися рівнянням $y = A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2 + A_3 \cdot x^3$. Статистична обробка результатів апроксимації дозволила визначити коефіцієнти функцій, значення яких стосовно груп K_n представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів A_1, A_2, A_3

Група	1	2	3	4	5
K_{nx}	1,09	1,16	1,31	1,40	1,50
A_1	0,6	0,79	1,11	1,26	1,41
A_2	1,41	1,21	0,89	0,74	0,59
A_3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Якщо по коефіцієнтам, наведеним у таблиці 1, підрахувати за формулою (1) поточні по швидкісній характеристикі значення потужності двигуна, а потім відповідно до них перерахувати значення крутного моменту, то можна отримати теоретичну швидкісну характеристику – $M_x = f(\omega_x)$. Такі характеристики (стосовно раніш встановленим групам зміни K_{nx}) у відносних координатах $M_{\max} / M_x, \omega_x / \omega_n$ представлені на рис. 2.

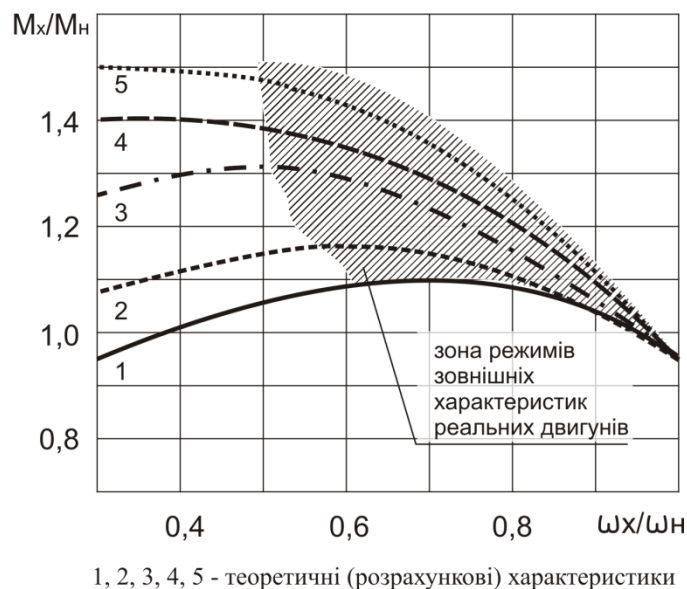


Рис. 2 – Швидкісні характеристики по групах “ K_{nx} ” (табл. 1)

Зіставлення наведених характеристик із очікуваною зоною можливих режимів характеристик реальних двигунів (на рис. 2 ця зона показана заштрихованою ділянкою) свідчить за їх достатню збіжність. Деяка відмінність розрахункових характеристик і даних по реальним двигунам (на рівні 5...6 %) спостерігається тільки для двигунів із $K_n > 1,45$.

Слід також звернути увагу на те, що по мірі збільшення K_n режими максимального крутного моменту по теоретичним характеристикам зміщуються у бік низьких частот обертання колінчастого валу. При цьому досягаються коефіцієнти зниження обертів $a_{об} < 0,5$, що не відповідає умовам усталеної роботи двигунів.

Наведені зауваження без особливих труднощів можуть бути усунені подальшим (після проведення розрахунків) корегуванням теоретичних швидкісних характеристик як по рівню K_n , так і по $a_{об}$.

Для забезпечення зручності практичного використання отриманих даних доцільно надати значення коефіцієнтів A_1 , A_2 , A_3 у функції коефіцієнта пристосованості (рис. 3). Екстраполявання функцій $A_1 = f(K_n)$, $A_2 = f(K_n)$, дозволяє охопити більш ширші зони зміни коефіцієнта пристосованості, що є необхідним для проведення аналізу властивостей ДПП.

Наведені графічні залежності дозволяють визначити коефіцієнти A_1 , A_2 , A_3 для будь-якого значення запасу крутного моменту двигуна в діапазоні від $K_n = 1,1$ до $K_n = 1,6$. Наприклад для двигуна із $K_n = 1,45$ – $A_1 = 1,33$; $A_2 = 0,68$; $A_3 = 1,00$, а для двигуна із $K_n = 1,58$ – $A_1 = 1,54$; $A_2 = 0,47$; $A_3 = 1,00$.

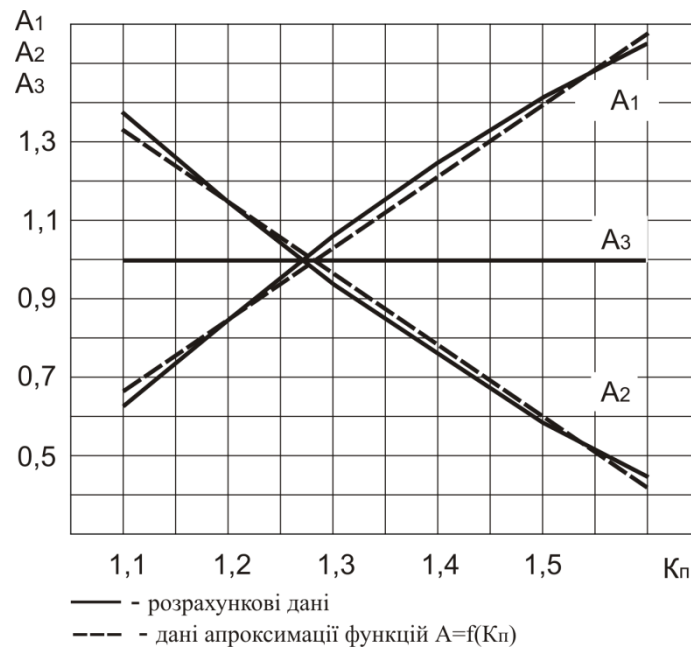


Рис. 3 – Апроксимація функцій $A = f(K_n)$

Використання знайдених коефіцієнтів у формулі (1) дає можливість отримати теоретичну характеристику двигуна із заданим коефіцієнтом пристосованості, у тому числі і двигуна постійної потужності.

Вочевидь, і це затверджено практикою, що використання даних у графічному форматі по функціях, які розглядаються, є не завжди достатньо зручним. Для розрахунків, особливо з допомогою сучасних засобів обчислювальної техніки, зручніше надавати вихідну інформацію у вигляді аналітичних залежностей.

Аналіз розрахункового матеріалу, наведеного на рис. 3 (суцільні криві), показала, що функції $A_1 = f(K_n)$, $A_2 = f(K_n)$, з незначною похибкою (2...4%) можуть бути апроксимовані лінійними функціями вигляду $A = a \cdot K_n + b$ (штрихові криві).

Статистична обробка графіків дозволила визначити коефіцієнти функцій, що апроксимують ці залежності, тобто коефіцієнти a , b .

Як результат:

для визначення залежності $A_1 = f(K_n)$, рекомендується рівняння

$$A_1 = 1,87 \cdot K_n - 1,41; \quad (2)$$

для залежності $A_2 = f(K_n)$:

$$A_2 = -1,87 \cdot K_n + 3,41 \quad (3)$$

Швидкісні характеристики двигуна із заданим коефіцієнтом пристосованості ($K_n = 1,4$) розраховані за формулою (1) з використанням коефіцієнтів, які визначалися по даних таблиці 1 і по рівнянням (2), (3), представлені на рис.4. Наведене зіставлення свідчить за те, що похибка у визначенні параметрів швидкісних характеристик не перевищує 2...2,5 %.

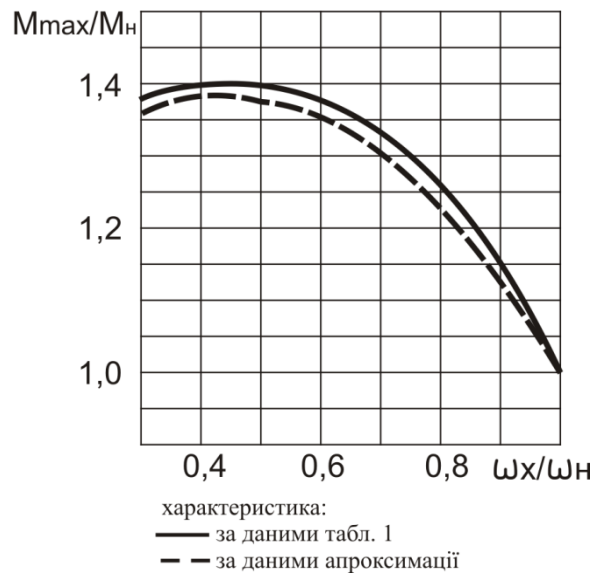


Рис. 4 – Зіставлення даних розрахунків і апроксимації

Висновки. 1. Структура “рівняння Р. Лейдермана” дозволяє розраховувати зовнішню швидкісну характеристики двигунів постійної потужності тільки після уточнення значень коефіцієнтів, які входять до складу рівняння.

2. Для визначення значень коефіцієнтів “рівняння Р. Лейдермана”, в залежності від заданого K_n , можуть бути з достатньою для практичного використання точністю прийняті лінійні функції вигляду $A = a \cdot K_n + b$.

Список використаних джерел

1. [htt: //NE](http://NE). Tractor test publicftions [Текст] / Електронне джерело.
2. Городецкий, К.И., Титов А.И. Предпосылки формирования рабочих скоростей сельскохозяйственных тракторов [Текст] / К.И. Городецкий, А.И. Титов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 11. – С. 30–33.
3. Гоц, А.Н. Моделирование регуляторных характеристик дизеля на стадии проектирования [Текст] / А.Н. Гоц // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. –№ 3. –С. 19–22.

Аннотация

АПРОКСИМАЦИЯ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОГО ТИПА

Варваров Л.

Предлагаются уравнения, которые аппроксимируют скоростные характеристики двигателей автотракторного типа постоянной мощности.

Abstract

APPROXIMATION OF THE VELOCITY CHARACTERISTICS ENGINES SUCH AS AUTOMOBILE AND TRACTOR

L. Varvarov

Proposed equations that approximate the performance characteristics of engines autotractor type of constant power.