

УДК. 621.431.73

О.Миронюк; Р.Паславський, канд. техн. наук
Львівський державний аграрний університет

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ДВИГУНА ПЛОДОЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ ВУМ-15

Подано результати стендових випробувань двигуна Д-21А плодозбиральної машини ВУМ-15, виконаних шляхом зняття зовнішньої і часткових швидкісних характеристик з регуляторними гілками. Отримано функціональні залежності крутного моменту, який розвиває двигун від кутової швидкості обертання колінчастого вала і кута відхилення важеля управління регулятором паливної помпи високого тиску для регуляторних і коректорної гілок характеристики, що лягли в основу моделі двигуна. Проаналізовано відмінності характеристики, отриманої в стаціонарних умовах від розгінної (за умови неусталеного режиму роботи).

Умовні позначення

α – кут відхилення важеля управління регулятором паливної помпи високого тиску від вертикального положення;

M_{∂} – крутний момент двигуна;

$n_{\partial}, \omega_{\partial}$ – частота і кутова швидкість обертання колінчастого вала двигуна;

N_e – потужність, яку розвиває двигун;

G_m – витрата палива, в кг/год;

g_e – питома ефективна витрата палива;

$\omega_{xx}^{\alpha}, \omega_p^{\alpha}$ – кутові швидкості холостого ходу і початку дії регулятора, що відповідають кутові α відхилення важеля регулятора від вертикального положення;

$\omega_{\partial.min}$ – мінімальна стійка кутова швидкість обертання колінчастого вала двигуна.

Дослідження розгону системи “двигун – струшувач” у процесі реалізації рівномірного способу знімання плодів [1] потребує її попереднього аналізу – розгляду окремих складових частин. Зокрема з метою отримання вихідних даних для математичного моделювання динаміки системи “двигун – струшувач – дерево” виконувались стендові випробування двигуна Д-21А плодозбиральної машини ВУМ-15.

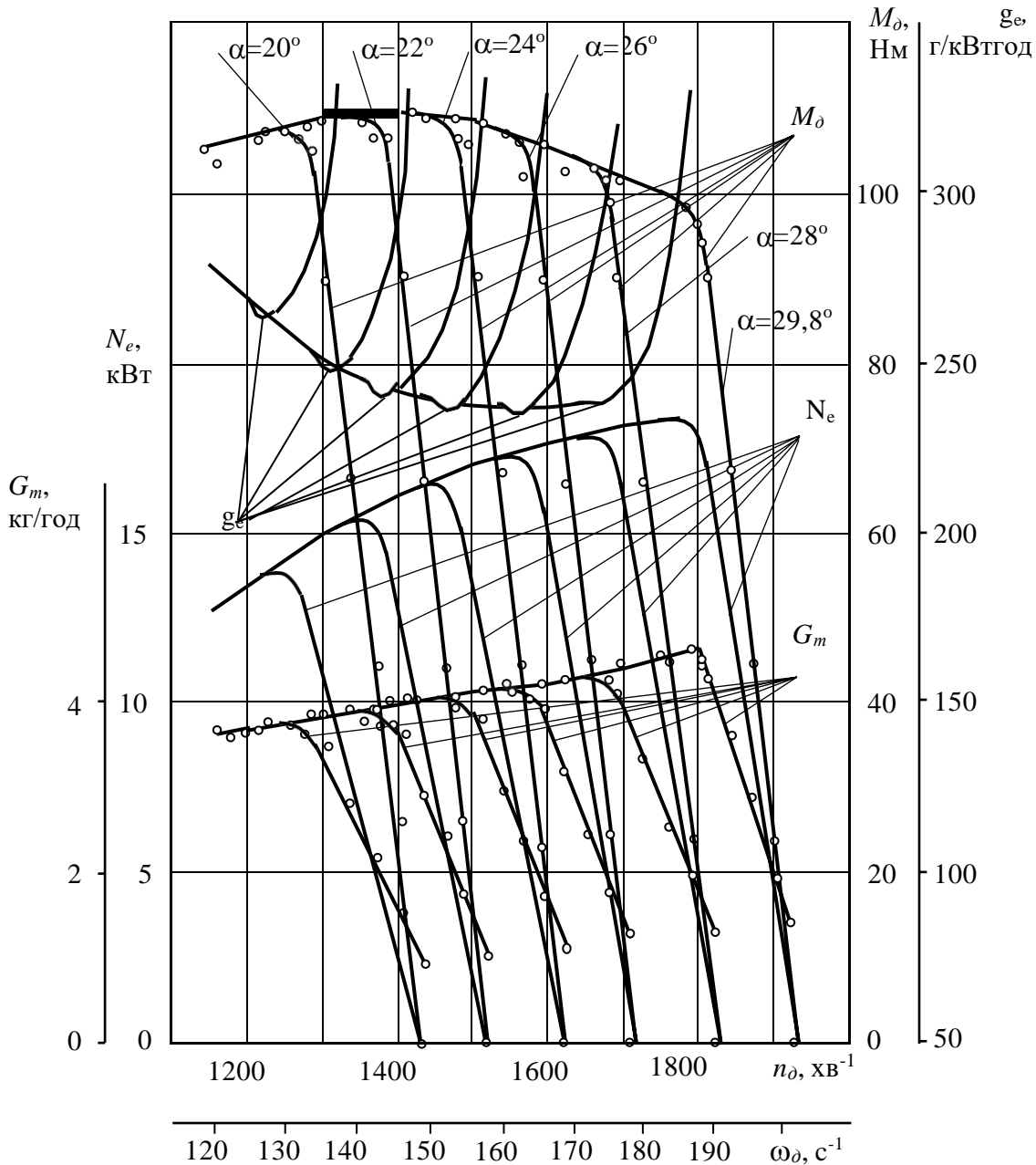


Рис. Зовнішня і часткові швидкісні характеристики з регуляторними гілками двигуна Д-21А плодозбиральної машини ВУМ-15.

Найбільш повно функціональну залежність швидкісного режиму двигуна від його навантаження для різних експлуатаційних умов роботи відображають отримані під час стендових випробувань зовнішня і часткові швидкісні характеристики з регуляторними гілками. Швидкісною характеристикою дизельного двигуна з регуляторною гілкою вважається залежність ефективної потужності N_e , крутного моменту M_δ , годинної G_m і питомої g_e витрат палива та інших показників від частоти обертання n_δ колінчастого вала двигуна при незмінному положенні органа, що регулює подачу палива (важеля управління регулятором). Це одна з основних статичних характеристик, що визначає тягово-динамічні властивості енергетичного засобу. За

нею, зокрема, аналізується вплив коливань навантаження на енергетичні показники трактора. При цьому оцінюються динамічні якості двигуна, його здатність долати короткочасні опори під час виконання плодозбиральним засобом операції знімання.

Зовнішня швидкісна характеристика двигуна Д-21А (рис.) одержана при положенні важеля управління регулятором ($\alpha = 29,8^\circ$), що відповідає повній подачі палива, відображає максимально допустові техніко-економічні показники двигуна. Гілка від холостого ходу ($n_d = 1927 \text{ хв}^{-1}$) до максимальної потужності ($n_d = 1798 \text{ хв}^{-1}$) є основною частиною зовнішньої характеристики і представляє режими, що встановлюються регулятором. У межах цієї гілки відбувається основне переміщення дозатора паливної помпи під дією всережимного регулятора, і поряд з цим змінюється кількість палива, що надходить до циліндрів. Крутний момент M_d і потужність N_e у межах цієї гілки змінюються лінійно від нуля (режим холостого ходу) до 97,86 Нм і 18,42 кВт (номінальний режим). Годинна витрата палива G_m у режимі холостого ходу становить 1,43 кг/год, номінальному режимі – 4,59 кг/год. Питома витрата палива g_e визначається на підставі характеристик $G_m(n_d)$ і $N_e(n_d)$. Під час роботи на регуляторній гілці в процесі зменшення навантаження збільшується відносна величина механічних втрат і разом з нею питома ефективна витрата палива. За умови зниження навантаження до нуля гілка питомої ефективної витрати палива переходить у нескінченність. На номінальному режимі роботи $g_e = 249,18 \text{ г/кВт}\cdot\text{год}$.

Зростання моменту опору вище від значення моменту двигуна під час номінального режиму роботи викликає більш різкий спад частоти обертання, ніж у зоні дії регулятора. Двигун переходить у стан перевантаження, і починає працювати коректор. Після досягнення максимального значення крутного моменту ($M_{d,max} = 109,29 \text{ Нм}$ при частоті 1377 хв^{-1}), коректор припиняє додаткове збільшення циклової подачі палива, у результаті чого частота обертання, потужність, крутний момент починають різко зменшуватися, двигун починає працювати нестабільно. Годинна витрата палива за рахунок зменшення частоти обертання також зменшується. Залежність $g_e(n_d)$ на цій ділянці характеристики є ввігнутою кривою, мінімальне значення якої $g_{e,min} = 241,89 \text{ г/кВт}\cdot\text{год}$ при частоті обертання вала двигуна $n_d = 1515 \text{ хв}^{-1}$.

Коли за умовами роботи необхідно перейти на меншу частоту обертання, важіль управління встановлюється у проміжне положення ($9 \leq \alpha < 29,8^\circ$) і двигун працює на часткових режимах. Так, у всьому швидкісному діапазоні при відповідних навантаженнях, двигун Д-21А працює згідно з частковими швидкісними характеристиками, отриманими при постійних проміжних положеннях важеля управління регулятором.

Характер залежностей $N_e(n_d)$, $M_d(n_d)$, $G_m(n_d)$ на регуляторних гілках часткових режимів аналогічний зовнішній характеристиці, проте точки на вісі абсцис, що відповідають режимові холостого ходу, залежно від зміни натягу пружини регулятора, зміщуються вліво менше і, ніж точки, що відповідають початковій дії регулятора для цих режимів роботи. Це пояснюється тим, що у двигунах, які обладнуються всережимними регуляторами під час зміни швидкісного режиму, рівень нерівномірності регулятора змінюється; із зменшенням швидкісного режиму працездатність інерційних регуляторів зменшується. Рівень нерівномірності регулятора за зовнішньою характеристикою становить 0,066. У випадку встановлення важеля управління регулятором у положення $\alpha=20^\circ$ ступінь нерівномірності дорівнює 0,119. Коректорні гілки за всіма показниками на часткових режимах збігаються з аналогічними гілками зовнішньої характеристики, різниця лише в тому, що значення мінімально стійких обертів зміщується у бік менших частот.

Під час дослідження роботи двигуна, як правило, використовують лінеаризовані диференціальні рівняння [2]. Це означає, що нелінійну характеристику елемента замінюють лінійною на невеликій ділянці, де відбуваються коливання відносно якогось середнього положення. Проте такої суттєвої нелінійності системи, як злам регуляторної характеристики на стику регуляторної і коректорної гілок, не можна лінеаризувати без великої похибки. Тому функціональну залежність $M_d(\omega_d)$ пропонується розглядати

автономно для обох ділянок характеристики, окресливши їх у моделі умовами застосування. Ці залежності згідно з випробуваннями виглядають так:

$$\left. \begin{aligned}
 M_{\delta} &= (-259,74 \cdot 10^{-8} (\omega_p^{\alpha})^4 + 161,8 \cdot 10^{-5} (\omega_p^{\alpha})^3 - 379,49 \cdot 10^{-3} (\omega_p^{\alpha})^2 + \\
 &\quad + 395,39 \cdot 10^{-1} \omega_p - 1429,6) \frac{\omega_{\delta} - \omega_p^{\alpha}}{\omega_p^{\alpha} - \omega_{xx}^{\alpha}}, \quad \text{якщо } \omega_{xx}^{\alpha} \geq \omega_{\delta} > \omega_p^{\alpha}; \\
 M &= -259,74 \cdot 10^{-8} \omega_{\delta}^4 + 161,8 \cdot 10^{-5} \omega_{\delta}^3 - 379,49 \cdot 10^{-3} \omega_{\delta}^2 + \\
 &\quad + 395,39 \cdot 10^{-1} \omega_{\delta} - 1429,6, \quad \text{якщо } \omega_{\delta, \min} \leq \omega_{\delta} \leq \omega_p^{\alpha}.
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Крім того, крутний момент двигуна є функцією $M_{\delta}(\omega_{\delta}, \alpha)$ двох змінних – кутової швидкості обертання вала двигуна ω_{δ} і кута α відхилення важеля управління регулятором. Кут α з моделлю двигуна узгоджується за допомогою опорних точок регуляторної гілки: кутових швидкостей початку дії регулятора ω_p^{α} і холостого ходу ω_{xx}^{α} , отриманих із зовнішньої і часткових швидкісних характеристик двигуна Д-21А при різних положеннях α . Рівняння регресії, які описують залежності кутових швидкостей ω_{xx}^{α} холостого ходу і початку дії регулятора ω_p^{α} залежно від кута α відхилення важеля регулятора виглядають так:

$$\omega_{xx}^{\alpha} = 519,58 \cdot 10^{-2} \alpha + 454,21 \cdot 10^{-1}; \quad (2)$$

$$\omega_p^{\alpha} = 534,65 \cdot 10^{-2} \alpha + 268,66 \cdot 10^{-1}. \quad (3)$$

Робочі органи плодозбиральної машини ВУМ-15 розганяються за умови неусталеного режиму роботи двигуна Д-21А. На основі теоретичних міркувань і спостережень за роботою двигунів у експлуатаційних умовах [3] можна вважати, що під час прискорення коефіцієнт наповнення циліндрів свіжим зарядом трохи знижується за рахунок зменшення впливу інерційного наддуву. Його зменшення тим суттєвіше, чим більший розгін. Крім того, під час прискорення збільшується механічний та індикаторний коефіцієнти корисної дії за рахунок того, що в'язкість масла і тепловий стан двигуна не встигають відповідати новому режимові; коливання кутової швидкості колінчастого вала згідно з [2] викликають порушення у роботі системи регулювання, що полягають у фазових зсувах між вхідними і вихідними координатами системи (момент опору, переміщення дозатора паливної помпи, крутний момент двигуна). Отже, за рахунок впливу інерційних теплових процесів, відмінності у наповненні циліндрів, інерційності регулятора подачі палива, крутний момент при певній кутовій швидкості вала двигуна у процесі розгону не дорівнює моментові, що відповідає тій же кутовій швидкості під час усталеного режиму роботи. У результаті розгін відбувається за так званою розгінною характеристикою.

Відповідність розгінної характеристики стаціонарній в умовах експлуатації значно залежить від темпу увімкнення муфти зчеплення. Дослідження [2] стверджують, що номінальне значення моменту $M_{\delta n}$ із збільшенням темпу увімкнення муфти зчеплення зміщується у бік нижчих значень кутової швидкості ω_{δ} вала двигуна. У випадку миттєвого увімкнення муфти зчеплення за 0,1 с, значення $M_{\delta n}$ досягається при кутовій швидкості, яка на 22% менша від статичного режиму. Це зміщення за умови увімкнення муфти за 1,5 сек становить 3,5%. На максимальний крутний момент $M_{\delta \max}$ двигуна динамічні перехідні режими практично не впливають. Щодо безрегуляторної гілки характеристики, то статична і динамічна зміни крутного моменту двигуна збігаються.

Таким чином, під час дослідження розгону двигуна Д-21А, з урахуванням також значного моменту інерції рухомих мас, приведених до колінчастого вала двигуна,

плавне увімкнення муфти зчеплення і загальний час розгону струшувача (до 12 сек), за основу можна прийняти характеристики, зафіксовані у статичних умовах. Тоді спільний розгляд виразів (1), (2) і (3), які становлять модель двигуна, дозволить встановити залежність між положенням важеля управління регулятором (α), навантаженням на двигун (M_d) і кутовою швидкістю (ω_d), яка за цих умов встановлюється для максимального і часткових режимів роботи.

The block test results of the fruit gathering machine engine Д-21А, carried out by external and partial high-speed characterization with regulator branches are submitted. The functional dependencies of the moment developed by the engine from angular speed of crankshaft rotation and corner deviation of the regulator of the high pressure fuel pump lever for regulator and corrector branches of the characteristic, which stand in basis of the engine model are received. The differences of the characteristic received in stationary conditions from chasing – under condition of unsteady mode of operations are analyzed.

Література

1. Шевчук Р.С., Миронюк О.С. Технологічна характеристика і режими роботи системи “двигун внутрішнього згоряння – інерційний лінійний струшувач плодів” //Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. –Львів: ЛДАУ.- 1997.–№1.–С. 28–31.
2. Кутьков Г.М. Тяговая динамика тракторов. –М.: Машиностроение, 1980. –215 с.
3. Болтинский В.Н. Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке. –М.: Сельхозгиз, 1949. –216 с.

Одержано 30.03.01 р.