

## III ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

УДК 621.436:621.824.32

### ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

*Анісімов Віктор Федорович д.т.н., професор*

*Єленіч Микола Павлович ст. викладач*

*Мельник Віталій Володимирович магістр*

*Вінницький національний аграрний університет*

*Anisimov V.*

*Elenych N.*

*Melnik V.*

*Vinnitsia National Agrarian University*

**Анотація:** в даній статті розглядається дослідження нерівномірності частоти обертання колінчастого вала дизельних двигунів. Під час обертання колінчастого вала, деталі кривошипно-шатунного механізму (КШМ) двигуна здійснюють три основних види руху: обертальний, зворотно-поступальний і плоско-паралельний. Це призводить до постійної зміни приведенного моменту інерції КШМ двигуна відносно осі обертання колінчастого вала. Однак, при розгляданні флуктуації частоти обертання колінчастого вала приведенного моменту інерції КШМ двигуна вважаються постійними. Флуктуація частоти обертання колінчастого вала також є результатом зміни проміжного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму двигуна внутрішнього згоряння.

**Ключові слова:** обертання, дизельний двигун, колінчастий вал.

Для поршневих двигунів з кривошипно-шатунним механізмом характерним є зміни кутової швидкості ( $\omega$ ) обертання по куту повороту колінчастого вала, яке виникає внаслідок непостійності індикаторного моменту ( $M_i$ ) та моменту механічних втрат ( $M_m$ ). Оцінку зміни кутової швидкості проводять за ступенем нерівномірності обертання колінчастого вала двигуна :

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{cp}},$$

де  $\omega_{max}$ ,  $\omega_{min}$ ,  $\omega_{cp}$  – відповідно максимальна, мінімальна та середня кутові швидкості обертання колінчастого вала двигуна при постійному режимі.

Враховуючи, що приймають :

$$\omega_{cp} = \frac{\omega_{max} + \omega_{min}}{2},$$

Отримаємо:

$$\delta = \frac{\omega_{max}^2 - \omega_{min}^2}{2\omega_{cp}^2}$$

Розрахунковим шляхом зміну швидкості обертання колінчастого вала двигуна визначають виходячи з закону руху:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_{cv}$$

де  $J$  – сумарний момент інерції усіх мас деталей двигуна, які рухаються та споживача, який приведений до осі колінчастого вала.

Момент інерції двигуна виражається наступними складовими:

$$J = J_{К.В} + J_2 + J_M + J_{П.Д} + J_a + J_{азм}$$

де  $J_{К.В}$  - момент інерції колінчастого вала;

$J_2 + J_M + J_{П.Д} + J_a + J_{азм}$  - моменти інерції, приведені до осі колінчастого вала, відповідно, маси нижньої частини шатуна, приведеної до осі шатунної шийки, маховика та мас деталей кривошипно-шатунного механізму, які рухаються поступально, а також агрегатів та механізмів, які приводяться в рух від колінчастого вала двигуна внутрішнього згорання.

Момент інерції колінчастого вала двигуна в свою чергу має наступні складові:

$$J_{К.В} = J_k + J_{ш} + J_{щ} + J_{пш} + J_{д}$$

де  $J_k$  - момент інерції корінних шийок;

$J_{ш}$  - момент інерції шатунних шийок, приведений до осі корінних шийок;

$J_{щ}, J_{пш}$  - момент інерції щоки та противаг, які приведені до осі корінних шийок (вала);

$J_{д}$  - в двигуні з демпфером – момент інерції частини демпфера, яка жорстко зв'язана з колінчастим валом.

Момент інерції корінної шийки являє собою циліндричне тіло в загальному випадку з циліндричною порожниною та визначають його за формулою:

$$J_k = \frac{\pi(d_k^4 - \delta_k^4)}{32} l_k \gamma$$

де  $d_k, \delta_k$  - зовнішній та внутрішній діаметри корінної шийки;

$l_k$  - довжина корінної шийки;

$\gamma$  - густина матеріалу, з якого виготовлено вал.

Момент інерції шатунної шийки відносно осі обертання знаходять за формулою:

$$J_{ш} = \frac{\pi(d_{ш}^4 - \delta_{ш}^4)}{32} l_{ш} \gamma + \frac{\pi(d_{ш}^4 - \delta_{ш}^4)}{4} l_{ш} \gamma r^2$$

де  $d_{ш}, \delta_{ш}$  - діаметри шатунної шийки та порожнини в ній;

$l_{ш}$  - довжина шатунної шийки;

$r$  - радіус кривошипа.

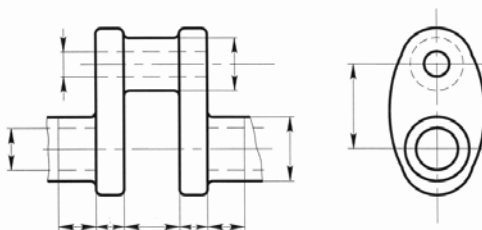


Рис. 1.1. Схема корінної шийки для визначення моменту інерції

Момент інерції маси шатуна приведений до осі шатунної шийки:

$$J_2 = m_2 r^2$$

Моменти інерції щоки та противаг, які мають складну форму, визначають як суму моментів інерції складових елементів простої форми, на які їх розбивають. Таким же чином поступають і при визначення моментів інерції демпфера та маховика.

Момент інерції мас кривошипного-шатунного механізму, які рухаються зворотно – поступально  $J_{п.д}$  визначають, замінюючи їх еквівалентним диском, який отримують з порівнювання кінетичних енергій:

$$\frac{m_{н.д} v^2}{2} = J_{н.д} \frac{\omega^2}{2}$$

де  $m_{н.д}$  - маса частин, які мають зворотно – поступальний рух.

Враховуючи, що швидкість руху поршня:

$$v = r\omega \left( \sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)$$

Отримаємо:

$$J_{н.д} = \frac{r^2 m_{н.д}}{2\pi} \left[ \int_0^{2\pi} \sin^2 \varphi d\varphi + \lambda \int_0^{2\pi} \sin\varphi \sin 2\varphi d\varphi + \frac{\lambda^2}{4} \int_0^{2\pi} \sin^2 2\varphi d\varphi \right].$$

Рішення, входячи в це рівняння, має вид:

$$\begin{aligned} \int_0^{2\pi} \sin^2 2\varphi d\varphi &= \int_0^{2\pi} \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\varphi \right) d\varphi = \left| \frac{\varphi}{2} - \frac{\sin 2\varphi}{4} \right|_0^{2\pi} = \pi; \\ &\int_0^{2\pi} \sin\varphi \sin 2\varphi d\varphi = 0 \\ &\int_0^{2\pi} \sin^2 2\varphi d\varphi = \pi. \end{aligned}$$

Підставляючи вирази отримаємо:

$$J_{н.д} = \frac{m_{н.д} r^2}{2} \left( 1 + \frac{\lambda^2}{4} \right) \approx m_{н.д} r^2 / 2.$$

Момент інерції  $J_{д.с}$  маси, яка зв'язана з колінчастим валом понижуючою передачею, приводять з урахуванням передаточного відношення:

$$J_{н.п} = J_{д.с} / i^2,$$

А при підвищеній передачі:

$$J_{н.п} = J_{д.с} i^2$$

На рис. 1.2 зображено графіки зміни крутного моменту двигуна та кутової швидкості по куту повороту колінчастого вала двигуна. Її визначають виходячи з рівняння:

$$d\omega = \frac{M - M_{ср}}{J} dt,$$

Звідки

$$\omega_2 - \omega_1 = \frac{1}{J} \int_{t_1}^{t_2} (M - M_{ср}) dt,$$

де  $t = \frac{\varphi}{\omega_1}$  – час, за який вал повернеться на кут  $\varphi$ , який відповідає повороту колінчастого вала від кутової швидкості  $\omega_1$  до кутової швидкості  $\omega_2$

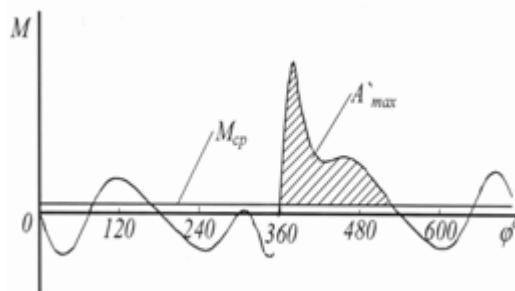


Рис. 1.2. Зміна крутного моменту двигуна та максимальна надлишкова робота

### Література

1. Славукий В.М. Эксплуатационные методы улучшения показателей тракторных дизелей. Научн. Труды ЛСХИ. Л.: 1981, том 403.
2. Сельцер А.А. Обнаружение и устранение неисправностей тракторов. – М.: Агропромиздат, 1987.- 271 с.
3. Ждановський Н.С., Николаенко А.В., Надєжність і довговєчність автотракторних двигателєй. – Л.: Колос, Ленінгр. Отд-ние, 1981,-295с.
4. Бельських В.И. Справочник по техническому обслуживанию и диагностованию тракторов. – М.: Россельхозиздат, 1975.- 400 с.
5. Борисенко А.Н., Заславский Е.Г., Еникеев А.Ф., Невязжский Г.Я., Соболев В.Н. Анализ работы ДВС по флуктуации частоты вращения коленчатого вала//Двигателестроение.-Л.: Машиностроение.-1988.-№8.-С. 22-25.
6. Ушаков М.Ю., Мокроусов А.В.. Методика оценки устойчивости частоты вращения ДВС//Двигателестроение. Л.: Машиностроение – 1990.-№12.-С. 46-48.
7. Крутов В.И., Васильев-Южин Р.М. Задачи и перспективы развития САР и технического диагностирования дизелей.//Двигателестроение, 1988,№6, с.3-7

### References

1. Slavukiy V.M. Ekspluatatsionnyye metody uluchsheniya pokazateley traktornykh dizeley . Nauchn . Trudy LSKHI . L :1981 , tom 403.
2. Sel'tser A.A. Obnaruzheniye i ustraneniye neispravnostey traktorov . - M : . . Agropromizdat , 1987 - 271 s.
3. Zhdanovs'kiy N.S. , Nikolayenko A.V. , Nadezhnost' i dovgovechnost' avtotraktornykh dvigateley . - L : Kolos , Leningr .Otd - niye , 1981, 295s - .
4. Bel'skikh V.I. Spravochnik po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i diagnostovaniyu traktorov . - M : . Rossel'khozizdat , 1975 - 400 s. .
5. Borisenko A.N. , Zaslavskiy Ye.G. , Yenikeev A.F. , Nevyazhskiy G.YA. , Sobol' V.N. Analiz raboty DVS po fluktuatsii chastoty vrashcheniya kolenchatogo vala // Dvigatolestroyeniye . -L : . . Mashinostroyeniye . - 1988 - № 8.-S. 22-25
6. Ushakov M.YU. , Mokrousov A.V. . Metodika otsenki ustoychivosti chastoty vrashcheniya DVS . / / Dvigatolestroyeniye . L : . . Mashinostroyeniye - 1990 - № 12.-S. 46-48 .
7. Krutov V.I. , Vasil'yev - Yuzhin R.M. Zadachi i perspektivy razvitiya SAR i tekhnicheskogo diagnostirovaniya dizeley . // Dvigatolestroyeniye , 1988, № 6 , s.3 -7

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Аннотация:** в данной статье рассматривается исследование неравномерности частоты вращения коленчатого вала дизельных двигателей. Во время вращения коленчатого вала, детали кривошипно-шатунного механизма (КШМ) двигателя осуществляют три основных вида движения: вращательный, возвратно-поступательное и плоско-параллельный. Это приводит к постоянной смене приведенного момента инерции

*КШМ двигателя относительно оси вращения коленчатого вала. Однако, при рассмотрении флуктуации частоты вращения коленчатого вала приведенного момента инерции КШМ двигателя считаются постоянными. Флуктуации частоты вращения коленчатого вала также является результатом изменения промежуточного момента инерции кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания.*

**Ключевые слова:** *вращение, дизельный двигатель, коленчатый вал.*

## **STUDY OF IRREGULARITY OF FREQUENCY OF ROTATION OF CRANKSHAFT OF DIESEL ENGINES**

**Summari:** *this article discusses a study of irregularity of frequency of rotation of crankshaft of diesel engines. During rotation of the crankshaft, details of the crank mechanism (cm) motor is implemented by three main types of motion: rotating, reciprocating and plane-parallel. This leads to constant change transferred the moment of inertia CRG engine relative to the axis of rotation of the crankshaft. However, when considering the fluctuations in the frequency of rotation of a cranked shaft is transferred the moment of inertia of the engine the engine is considered permanent. Fluctuations in the frequency of rotation of a cranked shaft is also a result of the intermediate moment of inertia of the crank mechanism of the internal combustion engine.*

**Keywords:** *rotation, diesel engine crankshaft.*