

УДК 621.43

М.І. Міщенко¹, д.т.н., професор, зав. кафедри «Автомобільний транспорт»

В.Г. Заренбін², д.т.н., професор, зав. кафедри «Експлуатація і ремонт машин»

Т.М. Колеснікова², асистент кафедри «Експлуатація і ремонт машин»

Ю.В. Юрченко¹, асистент кафедри «Автомобільний транспорт»

В.Л. Супрун¹, асистент кафедри «Автомобільний транспорт»

В.С. Шляхов¹, аспірант кафедри «Автомобільний транспорт»

О.Г. Підлісний¹, магістрант кафедри «Автомобільний транспорт»

¹—Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ»

вул. Кірова, 51, м. Горлівка, Україна, 84646

yu83@mail.ru

²— Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

вул. Чернишевського, 24а, м. Дніпропетровськ, Україна, 49600

postmaster@mail.pgasa.dp.ua

ДВИГУН GOENGINE ЗІ ЗМІННИМ ХОДОМ ПОРШНЯ Й РЕГУЛЬОВАНИМ СТУПЕНЕМ СТИСКУ. СИЛИ ІНЕРЦІЇ, РОЗРАХУНОК, АНАЛІЗ

У даній статті представлений метод розрахунку сил інерції в двигуні GoEngine. Формули для сил інерції базуються на аналітичних залежностях кінематики цього двигуна, отриманих раніше в АДІ ДВНЗ «ДонНТУ». Результати розрахунку показують, що амплітуда незрівноваженої сили інерції від зворотно-поступальних мас m_A в двигуні GoEngine перевищує аналогічну силу інерції в класичному двигуні на 30...40%. Зі всіх незрівноважених сил інерції найбільшу амплітуду має сила інерції від мас, зв'язаних з кривошипною шийкою колінчастого вала. Ця сила інерції більш ніж в 4 рази перевищує силу інерції від мас m_A . Наголошується, що в двигуні GoEngine сила інерції від мас m_A має в двох послідовних оборотах колінчастого вала різний характер зміни і амплітуду, що приводить до додаткової незрівноваженості двигуна.

Ключові слова: двигун GoEngine, силовий механізм, сили інерції, аналітичні залежності

Вступ

Унаслідок зростання цін на паливо багато виробників і винахідників двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) активно шукають шляхи зниження витрати палива. Вони мало що можуть зробити для зниження цін на паливо, проте економічно ефективніша робота ДВЗ дійсно дозволяє понизити експлуатаційні витрати. Узв'язку з цим виправданою є заміна існуючих двигунів економічнішими так званими нетрадиційними силовими агрегатами. До таких агрегатів, реалізованих на сьогодні у вигляді експериментальних зразків, можна віднести ДВЗ, в яких застосовані інші, відмінні від кривошипно-шатунної, схеми силового механізму – двигуни: Pouliot [1], FEV [2], MCE-5 [3, 4], Mayflower [5], HAMI [6], GoEngine [7] і ін. Серед відомих схем найпривабливішою є схема силового механізму двигуна

GoEngine, яка передбачає одночасне регулювання і ступеня стиску, і ходу поршня (тобто робочого об'єму).

В АДІ ДВНЗ «ДонНТУ» були розроблені методики розрахунку кінематики і характеристик силового механізму, а також метод розрахунку параметрів робочого циклу двигуна GoEngine. У даній роботі приведені деякі результати розрахунку та аналізу сил інерції двигуна GoEngine.

Сили інерції

У двигуні GoEngine можна розрізнити три типи сил інерції (рис. 1):

– сила інерції P_A від мас m_A , що рухаються зворотно-поступально і зосереджені на осі поршневого пальця (точка A);

– відцентрова сила інерції P_C обертових мас m_C , приведені до радіуса кривошипа R (точка C);

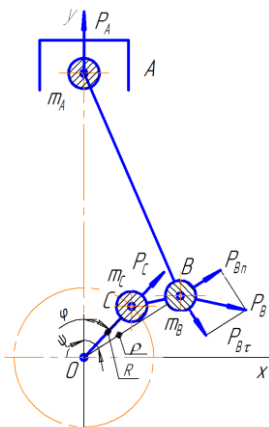


Рис. 1. Приведені маси і сили інерції в двигуні GoEngine

– сила інерції P_B від мас, що здійснюють складний плоско-паралельний рух і приведені до полярного радіуса ρ (осі ексцентрикової шийки, точка B).

Маса m_B створює наступні сили інерції в силовому механізмі:

а) нормальну силу інерції, що діє по осі OB (полярному радіусу ρ)

$$P_{Bn} = -m_B j_\rho; \quad (1)$$

б) дотичну силу інерції, що діє перпендикулярно вектору ρ

$$P_{B\tau} = -m_B \rho \varepsilon_\rho. \quad (2)$$

Результуюча сила інерції від мас m_B

$$P_B = \sqrt{P_{Bn}^2 + P_{B\tau}^2}. \quad (3)$$

Сила інерції від мас m_C , зосереджених на осі кривошипної шийки

$$P_C = -m_C R \omega^2. \quad (4)$$

Сила інерції від мас m_A

$$P_A = -m_A j, \quad (5)$$

де j – прискорення поршня, визначається із залежності

$$j = \omega \frac{d^2 s_y}{d\varphi^2}. \quad (6)$$

Тут s_y – переміщення поршня в двигуні GoEngine, що визначається за наступною залежністю

$$s_y = R_G \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{1}{\lambda_G} (\cos \alpha - \cos \beta) - 2\mu \cos(\Theta - \frac{\varphi}{4}) \sin(\frac{\varphi}{4}) \right], \quad (7)$$

де R_G – радіус кривошипа двигуна GoEngine;

λ_G – безрозмірний конструктивний параметр силового механізму двигуна;

α – кут між віссю шатуна й віссю циліндра при кутах $\varphi = 0$ і $\theta > 0$;

β – відхилення шатуна від осі циліндра при поточному куті φ ;

μ – відносна величина ексцентриситету;

θ – кут фазового зрушення (провороту) ексцентрика, що змінює хід поршня і супутній ступінь стиску.

Величини, що входять до рівняння (7), обчислюються по формулам

$$\mu = \frac{e}{R_G}; \quad \alpha = \arcsin(\lambda_G \mu \cos \Theta); \quad \beta = \arcsin[\lambda_G (\sin \varphi + \mu \cos x)]; \quad x = \Theta - 0,5\varphi; \quad R_G = \frac{S}{\sigma_G(\Theta = 0, \varphi = 180^\circ)}; \\ \sigma_G = (1 - \cos \varphi) + \frac{1}{\lambda_G} (\cos \alpha - \cos \beta) - \mu (\sin \Theta - \sin \varphi); \quad \lambda_G = \frac{R_G}{L_G}; \quad S = \frac{V_h}{\varepsilon - 1}, \quad (8)$$

де S – хід поршня в класичному двигуні;

V_h – робочий об'єм циліндра;

ε – ступінь стиску, що встановлюється заводом-виробником для номінального режиму двигуна.

Розрахунок

Для двигуна з кривошипно-шатунним механізмом приймаємо: радіус кривошипа $R = 35,5$ мм; конструктивний параметр КШМ $\lambda = 0,279$; маса, яка рухається зворотно-поступально $m_j = 0,64$ кг.

На основі аналізу твердотільної моделі силового механізму двигуна GoEngine орієнтовно приймаємо:

маса, що рухається зворотно-поступально

$$m_A = 0,67 \text{ кг};$$

маса, яка рухається обертально

$$m_C = 2,04 \text{ кг};$$

маса, яка здійснює плоско-паралельний рух

$$m_B = 1,232 \text{ кг}.$$

Графіки зміни сил інерції, що діють у двигуні GoEngine, наведені на рис. 2–5.

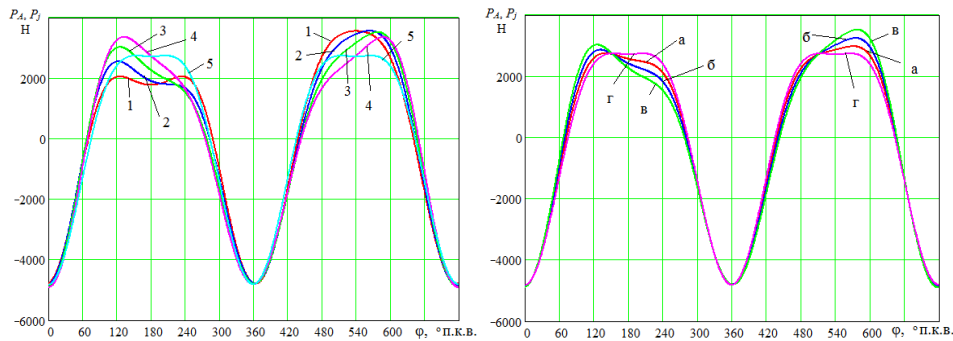


Рис. 2. Графіки сил інерції: P_A – для двигуна GoEngine; P_j – для КШМ;
 $R_G = 35,5$ мм; $n = 4000$ хв⁻¹; $\lambda = 0,279$; $\lambda_G = 0,279$; 1 - $\theta = 0^\circ$; 2 - $\theta = 30^\circ$; 3 - $\theta = 60^\circ$;
 4 - $\theta = 90^\circ$; 5 - P_j ; а - $e = 5$ мм; б - $e = 10$ мм; в - $e = 15$ мм; г - P_j

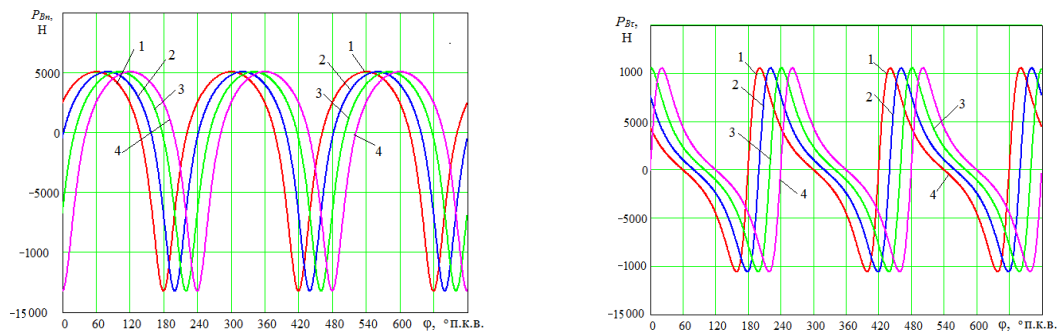


Рис. 3. Графіки нормальної сили інерції P_{Bn} , що діє на ексцентрикову шийку вздовж полярного радіуса ρ :

$$R_G = 35,5 \text{ мм}; n = 4000 \text{ хв}^{-1}; \lambda_G = 0,279;$$

$$e = 15 \text{ мм}; 1 - \theta = 0^\circ; 2 - \theta = 30^\circ; 3 - \theta = 60^\circ, \theta = 90^\circ$$

Рис. 4. Графіки дотичної сили інерції P_{Bt} , що діє на ексцентрикову шийку перпендикулярно полярному радіусу ρ :

$$R_G = 35,5 \text{ мм}; n = 4000 \text{ хв}^{-1}; \lambda_G = 0,279;$$

$$e = 15 \text{ мм}; 1 - \theta = 0^\circ; 2 - \theta = 30^\circ; 3 - \theta = 60^\circ, \theta = 90^\circ$$

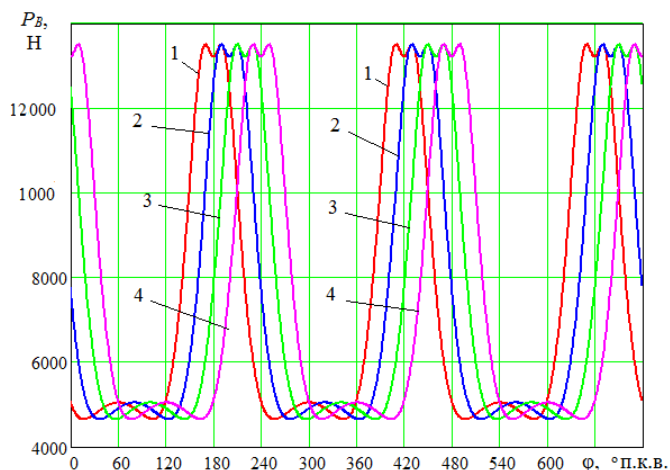


Рис. 5. Графіки результуючої сили інерції P_B , що діє на ексцентрикову шийку:

$$R_G = 35,5 \text{ мм}; n = 4000 \text{ хв}^{-1}; \lambda_G = 0,279; e = 15 \text{ мм};$$

$$1 - \theta = 0; 2 - \theta = 30^\circ; 3 - \theta = 60^\circ; \theta = 90^\circ$$

значеннях ексцентриситету e незрівноважені сили інерції P_A можуть перевищувати силу P_j на 30–40 %.

Маси m_B , що приведені до осі ексцентрикової шийки (точка B на рис. 1) і рухаються плоско-паралельно, створюють сумарну силу інерції P_B , яка більше ніж в чотири рази перевищує сили інерції P_A та P_j від мас, що рухаються зворотно-поступально (рис. 2 і 5). Ця сила інерції створює значні навантаження на опори колінчастого вала, є незрівноваженою і спричиняє вібрацію двигуна.

Як видно з рис. 2, в двигуні GoEngine сили інерції P_A , що діють уздовжосі циліндра, на ділянках повороту колінчастого вала $0 \dots 360^\circ$ і $360 \dots 720^\circ$ мають різний характер зміни і амплітуду в той час, як в класичному ДВЗ сила інерції P_j на цих ділянках однакова. Різниця сил інерції в двох послідовних поворотах колінчастого вала приводить до додаткової незрівноваженості двигуна від сил інерції і моментів від цих сил.

Сумарні сили інерції P_B і P_A від чотирьох циліндрів мають надзвичайно високу незрівноважену величину (у даній статті сумарні сили інерції не розглядаються).

Висновок

Зіставлення сил інерції P_A , P_B , P_C із силами інерції сучасного двигуна із традиційним кривошипно-шатунним механізмом дозволяє встановити, що в силовому механізмі ДВЗ GoEngine інерційні навантаження значно більші.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Pouliot H. N., Delameter W. R. and Robinson C. W. A Variable- DisplacementSpark-Ignition Engine, SAE Techn. Pap. Series, 770114, March 1977.
2. Speckens F-W, Scheid E. 25 Jahre FEV. Die Gegenwartgestalten, die Zukunftentwickeln. MTZ, 10/2003 Jahrgang 64, pp. 794–801.
3. Пат. № 2786530 Франція. Dispositif de transmission mecanique pour moteur a cylindree variable. RabhiVianney. –Опубл. 19.01.2001.–Бюл. № 01/03.
4. Зленко М. Д., Петриков А. М. Двигатели необычных схем с управляемым движением поршней / Зленко М. А., Петриков А. М. //Автомобили и двигатели: Сб.науч. тр.- М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2002.–Вып.230.– С. 34–45.
5. DowsettS. Mayflowerunveils "revolutionary" engine, REUTERS, October 2, 2001.
6. Тер-Мкртчян Г.Г. Вопросы теории двигателей с управляемым движениемпоршней с плоскими преобразующими механизмами / Г. Г. Тер-Мкртчян, В. Ф.Кутенев, А. И. Яманин.– М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ».– 2004.–240с.
7. www.gomecsys.com/index2.asp.

Н.И. Мищенко, В.Г. Заренбин, Т.Н. Колесникова, Ю.В. Юрченко, В.Л. Супрун, В.С. Шляхов, А.Г. Подлесный Двигатель GoEngine с переменным ходом поршня и регулируемой степенью сжатия. Силы инерции, расчет, анализ

Аналіз

З графіків на рис. 3, 4 і 5 витікає, що в силовому механізмі двигуна GoEngine має місце високий рівень незрівноважених сил інерції. У даному двигуні виникає значна незрівноважена сумарна сила інерції P_B (рис. 1), яка діє як уздовж вертикальної осі Oy , так і уздовж горизонтальної осі Ox . Причиною цьому є наявність додаткової ланки – сателіта у вигляді шестерні, встановленої на шатунній шийці, з якою зв'язаний шатун. До того ж, шестерня обертається з кутовою швидкістю в 1,5 раза більшою, ніж кутова швидкість колінчастого вала.

Амплітуда незрівноваженої сили P_A від зворотно-поступальної маси m_A (рис. 1) в двигуні GoEngine на 7-10% перевищує амплітуду сили інерції P_j в звичайному двигуні (рис. 2). При інших

В данной статье представлен метод расчета сил инерции в двигателе GoEngine. Формулы для сил инерции базируются на аналитических зависимостях кинематики этого двигателя, полученных ранее в АДИ ДонНТУ. Результаты расчета показывают, что амплитуда неуравновешенной силы инерции от возвратно-поступательных масс m_A в двигателе GoEngine превышает аналогичную силу инерции в классическом двигателе на 30...40 %. Из всех неуравновешенных сил инерции наибольшую амплитуду имеют силы инерции от масс, связанных с кривошипной шейкой коленчатого вала. Эта сила инерции более чем в 4 раза превышает силу инерции от масс m_A . Отмечается, что в двигателе GoEngine сила инерции от масс m_A имеет в двух последовательных оборотах коленчатого вала разный характер изменения и амплитуду, что приводит к дополнительной неуравновешенности двигателя.

Ключевые слова: двигатель GoEngine, силовой механизм, силы инерции, аналитические зависимости

N.I. Mishchenko, V.G. Zarenbin, T.N. Kolesnikova, Y.V. Yurchenko, V.S. Shliahov, V.L. Suprun, A.G. Pidlisniy EngineGoEngine with the variable piston stroke and the adjustable compression ratio. Forces of inertia, calculation, the analysis

In this article the method of calculation of forces of inertia is presented in the engine of GoEngine. Formulas for forces of inertia are based on analytical dependences of kinematics of this engine, got before in ADI «DonNTU». The results of calculation show that amplitude of unstable force of inertia from recurrent-forward the masses of m_a in the engine of GoEngine exceeds analogical force of inertia in a classic engine on 30...40 %. From all unstable forces of inertia most amplitude is had force of inertia from the masses related to the crank-type neck of crankshaft. This force of inertia more than in 4 times exceeds force of inertia from the masses of m_a . It is marked that in the engine of GoEngine force of inertia from the masses of m_a has different character of change and amplitude in two successive turns of crankshaft, that results in additional mental instability of engine.

Keywords: engine GoEngine, power mechanism, forces of inertia, analytical dependences