

ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ОСОБЛИВОЇ ГРУПИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИЙМАЧІВ

*Зайченко С. В., проф., д.т.н. (каф. ЕМОЕВ КПІ ім. Ігоря Сікорського);
Шевчук С. П., проф., д.т.н. (каф. ЕМОЕВ КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Анотація. Розглянуті питання підвищення надійності джерел безперебійного живлення особливої групи електричних приймачів. Запропоновано систему діагностування двигуна внутрішнього резервного джерела живлення особливої групи електричних приймачів з використанням рівня струму стартера у якості діагностичного параметра.

Ключові слова: інерційні параметри, діагностична система, момент інерції двигуна внутрішнього згорання.

Abstract. Discussed issues of improving the reliability of uninterruptible power supplies of a special group of electrical receivers are considered. A system is proposed for diagnosing an internal backup power source of a special group of electrical receivers using the starter current level as a diagnostic parameter.

Keywords: inertial parameters, diagnostic system, moment of inertia combustion engine.

Вступ. Серед організаційно-технічних засобів спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини під час трудової діяльності особлива увага приділяються особливій групі електричних приймачів. Особлива група електричних приймачів виділяється зі складу електричних приймачів I категорії надійності, безперебійна робота яких необхідна для безаварійного зупину виробництва, з метою запобігання загрози життю людей. Для запобігання загрози життю людей передбачається додаткове живлення від третього незалежного взаємно резервуючого джерела живлення. Єдиним рішенням додаткового живлення від третього незалежного взаємно резервуючого джерела живлення у випадку аварій основної мережі є використання енергогенеруючих електростанцій з двигунами внутрішнього згорання. Основою надійної роботи електротехнічного обладнання є проведення комплексу діагностичних процедур для визначення технічного стану і своєчасного ремонту. В основі процесу діагностування є отримання експериментальних даних, діагностичних ознак, які в залежності від ступені інформативності визначають стан об'єкта, що досліджується. Основною причиною втрати справного стану енергогенеруючих електростанцій з двигунами внутрішнього згорання є зношування циліндро-поршньової групи. Для діагностування двигунів внутрішнього згорання передбачено цілий ряд діагностичних методів, які дозволяють в більшості випадків шляхом порівняння отриманих експериментальних даних з нормативними, встановити технічний діагноз. Одним з прогресивних методів, який дозволяє провести діагностування герметичності простору циліндро-поршньової групи є вимірювання компресії за допомогою компресометрів і компресографів. До

недоліків даного методу можливо віднести високу трудоемність, пов'язану з розборкою двигуна і неточність отриманих даних.

Вказаних недоліків позбавлені системи діагностування двигуна внутрішнього згорання з використанням рівня струму стартера у якості діагностичного параметра [1, 2]. Данні системи ґрунтуються на аналізі зміни моменту прокручування колінчастого валу двигуна без подачі палива в компресорному режимі, шляхом вимірювання рівня струму і напруги двигуна стартера. Прикладами діагностичних комплексів, які використовують даний метод діагностування є мотор-тестери: КАД-300-03, МЗ-2, МТ3500 і т.д. Застосування даного методу дозволяє суттєво підвищити інформативність і достовірність результатів отриманих результатів з одночасним зменшенням трудовитрат. Однак даний метод діагностування, як збільшить методів потребує для своєї реалізації попередньо встановлених даних про значення струмів в і напруги двигунів стартерів, що суттєво обмежує застосування даного методу, а у випадках створення нових зразків двигунів робіть неможливим.

Аналіз стану питання. Технічний стан циліндро-поршньової групи двигунів внутрішнього згорання на пряму впливає на головні показники і визначає ресурс двигуна. Саме тому опису процесу роботи циліндро-поршньової групи присвячення цілий ряд робіт, які можливо розділити на два основних типи. До першого відносяться дослідження стану циліндро-поршньової групи при роботі двигуна в різних режимах на основі аналізу таких параметрів, як кут, швидкість, прискорення, момент обертання колінчастого валу [3-5], витрата і тисків газів [6, 7]. Другий тип досліджень передбачає діагностування циліндро-поршньової групи без подачі палива з примусовим прокручуванням колінчастого валу у компресорному режимі або з нагнітанням повітря [8-10] з реєстрацією аналогічних параметрів.

Спільними ознаками вказаних робіт є використання для опису процесу діагностування теорій машин і механізмів для опису кінематики і динаміки кривошипно-шатунного механізму, теорій термодинамічних процесів реальних і ідеальних газів. Проте більша частина робіт не має остаточних рішень які описують зміну параметрів діагностичних систем від кута повороту колінчастого валу, що ускладнює їх використання.

Слід виділити окрему групу робіт які досліджують процеси діагностування циліндро-поршньової групи двигунів внутрішнього згорання в компресорному режимі по току стартера [11-15]. З причини того, що при діагностуванні даним методом головний опір прокручуванню колінчастого валу двигуна створюють гази, що стискаються одним з варіантів побудови моделі є визначення навантаження на стартер від компресійної складової. Сумісне використання рівнянь кінематики і статички для динаміки кривошипно-шатунного механізму, рівнянь головних параметрів двигуна постійного струму дозволяють отримати аналітичні залежності зміни струму від параметрів діагностичної системи. Проте застосування статопараметричного методу без

врахування інерційної складової і сил тертя призводять до отримання зменшених значень струмів.

Аналогічний підхід шляхом побудови математичної моделі з врахуванням сил тертя, які виникають під час пуску у двигуні запропоновано для діагностування системи запалювання, зокрема акумуляторної батареї [16]. При описі процесу роботи стартера автори особливу увагу приділяють інерційній складовій при визначенні крутного моменту під час пуску [17, 18]. При визначенні приведенного моменту інерції автори використовують загальну масу рухомих частин.

З огляду на складність аналітичного рішення у більшості досліджень використано числові методи рішення інтерактивного інструменту імітації та аналізу динамічних систем Simulink /Matlab [16]

З проведеного аналізу математичних моделей процесу діагностування двигунів необхідно відзначити про суттєве значення інерційної складової при визначенні моменту обертання стартером. Найбільший вплив інерційної складової слід очікувати при розгоні двигуна. Існуючі моделі потребують уточнення з врахуванням окремих законів руху окремих мас системи (поршня, шатуна, колінчастого валу).

Мета роботи: Метою даного дослідження є визначення інерційних параметрів системи з врахуванням складного руху елементів циліндро-поршнєвої групи одноциліндрового двигуна внутрішнього згорання при діагностуванні без подачі палива за струмом стартера.

Методики, матеріали і результати досліджень. Процес діагностування двигуна внутрішнього згорання електричної станції проходить без подачі палива і з відключеним навантаження на електричний генератор. До основних елементів кінематичної схеми (рис. 1) даної діагностичної системи, які впливають на інерційну складову є елементи кривошипно-шатунного механізму, поршень 1, шатун 2 і колінчастий вал 3, ротор генератора 4, маховик 5, ротор стартера 6. Визначимо приведений до валу стартера момент інерції системи J_0 . В загальному випадку приведений момент інерції системи:

$$J_0 = \sum_{i=1}^n \left[m_i \left(\frac{V_i}{\omega_1} \right)^2 + J_i \left(\frac{\omega_i}{\omega_1} \right)^2 \right], \quad (1)$$

де n - кількість елементів системи; m_i , J_i - маса і момент інерції елемента; V_i , ω_i - лінійна і кутова швидкість елемента.

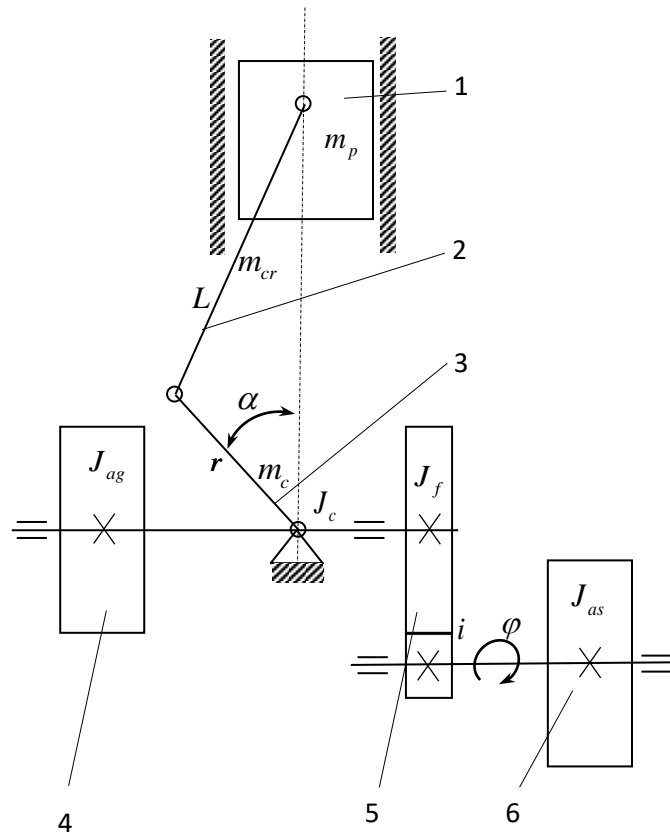


Рис. 1. Кінематична схема діагностування двигуна внутрішнього згорання

Приведений до валу стартера момент інерції J_0 визначено з умови приєднання ваги шатуна до поршня і колінчастого валу:

$$m_{cr} = m_1 + m_2, \quad (2)$$

де m_1, m_2 - маса шатуна, яка приєднується до поршня і колінчастого валу.

Приєднані маси m_1, m_2 знаходяться в певних пропорційних відношеннях від маси шатуна m_{cr} :

$$m_1 = (0,2 \dots 0,3) m_{cr}; \quad (3)$$

$$m_2 = (0,7 \dots 0,8) m_{cr}. \quad (4)$$

Момент інерції системи J_0

$$J_0 = J_{as} + (J_f + J_{ag} + J_c + m_2 r^2) \left(\frac{\omega_c}{\dot{\phi}} \right)^2 + (m_p + m_1) \left(\frac{V_p}{\dot{\phi}} \right)^2, \quad (5)$$

де J_{as}, J_f, J_{ag}, J_c - момент інерції стартера, маховика, альтернатора і колінчастого валу; ω_c - кутова швидкість колінчастого валу; $\dot{\phi}$ - кутова швидкість стартера; V_p - лінійна швидкість поршня.

Лінійна швидкість поршня V_p :

$$V_p = r \omega_c \left(\sin \alpha + \frac{r}{2L} \sin 2\alpha \right), \quad (6)$$

де r - радіус колінчастого валу; L - довжина шатуна; α - кут повороту колінчастого валу.

Остаточний момент інерції системи враховуючи передаточне відношення маховика i складається з постійної J_1 і змінної J_2 складової зміни моменту інерції:

$$J_0 = J_1 + J_2 = J_{as} + (J_f + J_{ag} + J_c + m_2 r^2) \left(\frac{1}{i}\right)^2 + (m_p + m_1) \left(\frac{r(\sin(\varphi/i) + \frac{r}{2L} \sin 2\varphi/i)}{i} \right)^2. \quad (7)$$

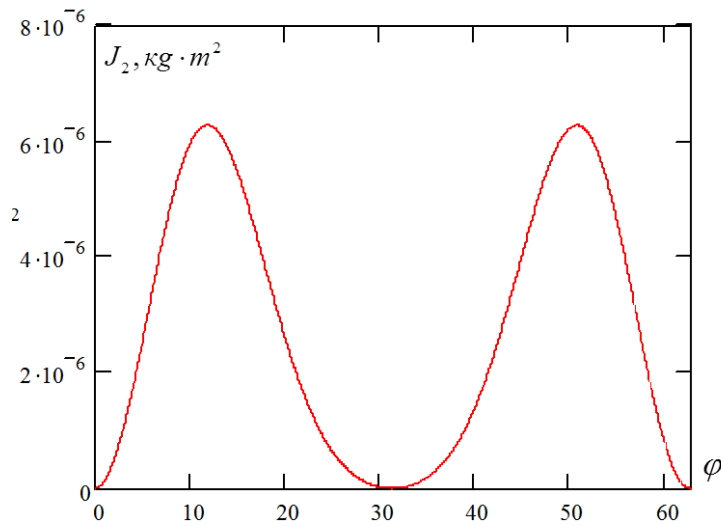
Розглянемо зміну моменту інерції системи на конкретному прикладі одного з розповсюджених генераторів з стартерним пуском Hyundai HNY3000FE. Даний генератор має одноциліндровий двигун внутрішнього згорання Hyundai IC210 об'ємом циліндра $2,08 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ з ходом поршня $5,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, який розвиває потужність $5,2 \text{ кВт}$. Однофазній альтернатор КТ-2 розвиває потужність $2,5 \text{ кВт}$. Представлені данні дозволяють встановити орієнтовні значення мас і моментів інерції за значеннями питомих конструктивних параметрів двигунів (табл. 1).

Таблиця 1

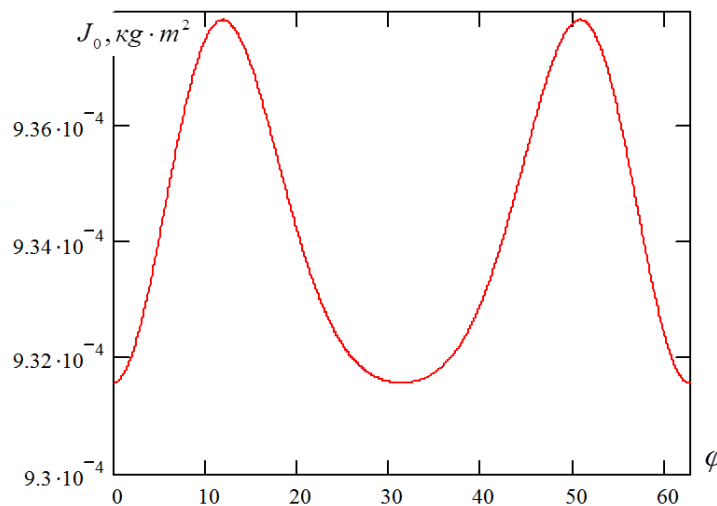
Інерційні характеристики ситеми

	Маса, kg	Момент інерції, $kg \cdot m^2$
Поршень	0,5	-
Шатун	0,7	-
Колінчастий вал	1,7	0,0008
Маховик	1,7	0,003
Ротор альтернатора	3,4	0,004
Ротор стартера	0,8	0,00085

На графіку (рис. 2, а, б) представлено залежність зміни складових моменту інерції системи діагностування двигуна внутрішнього згорання енергогенеруючої станції за один оберт колінчастого валу. З графіка змінної складової J_2 (рис. 2, а) можливо відзначити гармонічний характер зміни протягом обертання колінчастого валу, проте її вплив на приведений момент інерції J_0 складає в межах 0,8%.



а



б

Рис. 2. Графік зміни складових моменту інерції системи

Враховуючи незначний вплив змінної складової інерції J_2 приведений момент інерції системи можливо розраховувати без суттєвої втрати точності тільки за першою складовою:

$$J_0 = J_1 = J_{as} + (J_f + J_{ag} + J_c + m_2 r^2) \left(\frac{1}{i} \right)^2. \quad (8)$$

Встановлення інерційних параметрів системи діагностування двигуна внутрішнього згорання енергогенеруючої станції дозволяє описати процес використовуючи числові методи рішення інтерактивного інструменту імітації та аналізу динамічних систем Simulink / Matlab.

Висновки. Для прогнозування реальних інерційних складових зусиль, які виникають при діагностуванні двигунів внутрішнього згорання енергогенеруючих станції розроблено математичну модель, яка враховує ефект змінення приведенного моменту інерції. Встановлено, що зміна приведенного

моменту інерції за один оберт колінчастого валу складає в межах 0,8%
Враховуючи незначний вплив змінної складової інерції приведений момент інерції системи можливо розраховувати без суттєвої втрати точності тільки за постійною складовою.

Література

1. Тыманюк К. С., Костенко В. Л. Разработка автоматизированной системы итеративного контроля технического состояния систем двигателя автомобиля //Технологический аудит и резервы производства. – 2016. – №. 1 (2). – С. 77-82.

2. Бабошин, А. А. Оценка технического состояния двигателей по току, потребляемому стартером при прокрутке двигателя [Текст] / А. А. Бабошин, А. С. Косарев, В. С. Малышев // Вестник Мурманского государственного технического университета. - 2013. - Т. 16, № 1. - С. 33-39.

3. Савченко О. Ф., Добролюбов И. П. Методические аспекты создания математической модели для диагностирования автотракторных двигателей //Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация. – 2016. – С. 143-153.

4. Добролюбов И. П. и др. Разработка компьютерной настраиваемой модели двигателя внутреннего сгорания //Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18. – №. 6.

5. Альт В. В. и др. Разработка динамической модели ДВС //Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 118. – С. 8-15.

6. Гриценко А. В. и др. Диагностирование систем двигателя по параметрам давления //АПК России. – 2017. – Т. 24. – №. 2. – С. 402-410.(давление газов)

7. Бабошин А. А., Косарев А. С., Малышев В. С. Оценка технического состояния двигателей внутреннего сгорания по давлению во впускном и выпускном коллекторах //Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2013. – Т. 16. – №. 1.

8. Ларин, О. Н., Куков, С. С., Гриценко, А. В., & Глемба, К. В. (2016). Результаты диагностирования цилиндропоршневой группы способом оценки динамической компрессии. АПК России, 23(3), 619-625.

9. Куков С. С., Гриценко А. В., Бакайкин Д. Д. Совершенствование процесса диагностирования цилиндропоршневой группы //Материалы LV Междунар. науч.-техн. конф.«Достижения науки–агропромышленному производству». Челябинск: ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ. – 2016. – С. 77-82.

10. Куков С. С., Гриценко А. В. Аспекты диагностирования цилиндропоршневой группы в режиме прокрутки двигателя стартером транспортных и технологических машин агропромышленного комплекса //АПК России. – 2016. – Т. 23. – №. 2. – С. 400-407.

11. Нечаев В. В., Воробьев Е. В., Тарасенко А. А. Методики технического диагностирования цилиндропоршневой группы дизелей холодной пусковой прокруткой коленчатого вала. – 2007.
12. Кривцов С. Н., Упкунов Ю. Н., Кривцова Т. И. Теоретические предпосылки метода диагностирования компрессионных свойств дизельного двигателя по параметрам тока //Вестник ИрГСХА. – 2010. – №. 38. – С. 71-77.
13. Бажинов А. В., Серикова Е. А. Программно-аппаратный комплекс оценки остаточного ресурса двигателя внутреннего сгорания //Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2009. – №. 45.
14. Нечаев В. В., Капустин В. П., Кораблин И. И. Безразборный метод определения состояния цилиндропоршневой группы двигателя по разбросу компрессии //наука, образование и инновации в современном мире. – 2018. – С. 346-352.
15. Нечаев В. В. математические зависимости, позволяющие определить разброс компрессии в цилиндрах двигателя без его пуска //Национальные приоритеты России. Серия 1: Наука и военная безопасность. – 2017. – №. 2. – С. 15-18.
16. Averbukh M., Rivin B., Vinogradov J. On-Board Battery Condition Diagnostics Based on Mathematical Modeling of an Engine Starting System. – SAE Technical Paper, 2007. – №. 2007-01-1476.
17. Jang B. C. Mechatronic v8 engine start capabilities of an automotive starter/generator system at the super cold weather //KSME international journal. – 2002. – Т. 16. – №. 7. – С. 942-949.
18. Lefter E. et al. Aspects of simulating the behavior of an internal combustion engine for electric starter testing //Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2014 6th International Conference on. – IEEE, 2014. – С. 35-38.