

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА НА БАЗІ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

**Зайченко Стефан Володимирович**, докт. техн. наук, професор каф. Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів, КПІ ім. Ігоря Сікорського Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
e-mail: [zstefv@gmail.com](mailto:zstefv@gmail.com), ORCID: [0000-0002-8446-5408](https://orcid.org/0000-0002-8446-5408)

**Жукова Наталія Іванівна**, канд. техн. наук, доцент каф. геоінженерії, КПІ ім. Ігоря Сікорського Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
e-mail: [nataliaz127@ukr.net](mailto:nataliaz127@ukr.net), ORCID: [0000-0002-4215-6981](https://orcid.org/0000-0002-4215-6981)

**Шао Мінгхуй**, магістр, КПІ ім. Ігоря Сікорського Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», e-mail: [shao-minghui@iit.kpi.ua](mailto:shao-minghui@iit.kpi.ua)

**Чжанг Венцюн**, магістр, КПІ ім. Ігоря Сікорського Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», e-mail: [zhang-wenjun@iit.kpi.ua](mailto:zhang-wenjun@iit.kpi.ua)

Серед енергетичного обладнання, що забезпечує безперебійну роботу підприємств у випадках аварій основної мережі, а також у випадках мобільних енергоустановок, генератора на базі двигуна внутрішнього згорання. Енергоефективність генераторів на базі двигуна внутрішнього згорання в першу чергу залежить від стану компресії циліндропоршневої групи [1].

Невідповідність сучасного вітчизняного та зарубіжного обладнання існуючому рівню експлуатації в умовах постійних пошкоджень енергосистеми призводить до непередбачених збоїв, невиправданих замін агрегатів, простоїв обладнання і так далі. Єдиним шляхом у вирішенні проблеми надійності генеруючого обладнання на базі двигуна внутрішнього згорання є застосування і широке впровадження методів і засобів технічної діагностики. В результаті їх використання скорочується час простою обладнання, збільшується коефіцієнт технічної готовності, підвищується рівень і якість виконання ремонтно-експлуатаційних впливів. Однією з найбільш трудомістких операцій з діагностики двигуна є визначення стану компресії циліндропоршневої групи (герметичності верхнього простору).

Одним із найвідоміших способів оцінки герметичності є вимірювання прямого стиснення за допомогою простих приладів, таких як компресори чи компресійні пристрої. Однак цей метод є дуже часто є не працезатратним. Головною проблемою є те, що він допускає часті некваліфіковані втручання та часткове розбирання двигуна, іноді зовсім непотрібне.

Для оцінки технічного стану дизельного двигуна за параметрами герметичності також існують кілька непрямих методів оцінки компресійних властивостей, які є менш обтяжливими. Зокрема, популярні методи включають оцінку рівномірності розподілу стиснення за нерівномірністю обертання колінчастого валу двигуна внутрішнього згорання в режимі, коли паливо не вводиться, а

також запис та аналіз пульсації струму або напруги стартера. Ці методи вбудовані на програмному рівні в сучасні засоби діагностики, проте базуються виключно на відносному порівнянні діагностичних параметрів між собою у відсотковому співвідношенні[2].

При цьому діагностика повинна враховувати такі суперечливі вимоги, як максимальна інформативність і надійність визначення технічного стану з одного боку, та мінімізація праці - з іншого. З цієї причини пошук неконтрольованого методу діагностики, що дозволяє оцінити герметичність простору переливу дизельного палива не тільки у відносному, але і в абсолютному значенні з мінімальними витратами, стає актуальним завданням.

Метою аналітичних досліджень є створення математичної моделі системи технічного діагностування генератора на базі двигуна внутрішнього згорання з використанням інтерактивного інструменту (програмного забезпечення).

Досягнення мети передбачає виконання наступних завдань:

- створення математичної моделі системи технічного діагностування генератора на базі двигуна внутрішнього згорання з використанням компресорного способу визначення стану компресії циліндропоршневої групи (герметичності верхнього простору) на основі головних диференційних рівнянь стартера у формі Коші та навантаження від ДВЗ;
- побудова багаторівневої ієрархічної багатокомпонентної моделі математичної моделі системи технічного діагностування генератора на базі двигуна внутрішнього згорання з використанням компресорного способу.

Процес діагностики двигуна внутрішнього згорання електростанції проходить без подачі палива і з відключеним навантаженням на електростартер.

Блок-схема процесу діагностики генератора представлена на рис. 1. Основними елементами цієї системи є генератор - 1, двигун внутрішнього згорання - 2, зубчаста передача - 3, стартер - 4 джерела постійного струму - 5, датчики Хола - 6, 7, аналогово-цифровий перетворювач - 8 і комп'ютер - 9. Процес отримання діагностичних даних проходить з фіксацією комп'ютером - 9 положень колінчастого валу двигуна внутрішнього згорання - 2 і струму статора - 4. Дана діагностична система дозволяє виявити залежність струму статора від кута повороту колінчастого валу.

Основними елементами кінематичної схеми (рис. 2) цієї діагностичної системи, що впливають на інерційну складову, є елементи кривошипно-шатунного механізму, поршня 1, штока 2 і колінчастого валу 3, ротора генератора 4, маховика 5, ротора стартера 6.

Основною змінною компонента в балансі моменту механічних втрат є момент опору від сил стиснення циліндра  $P_c$ , який визначається:

$$M_c \approx p_c F_c R \left( \sin(\varphi) + \frac{\lambda}{2} \sin(2\varphi) \right) \quad (1)$$

де  $F_c$  – площа поршня;  $p_c$  – поточний тиск у циліндрі;  $R$  – радіус кривошипа;  $\lambda = R/L$  - відношення радіуса кривошипа  $R$  до довжини шатуна  $L$ .

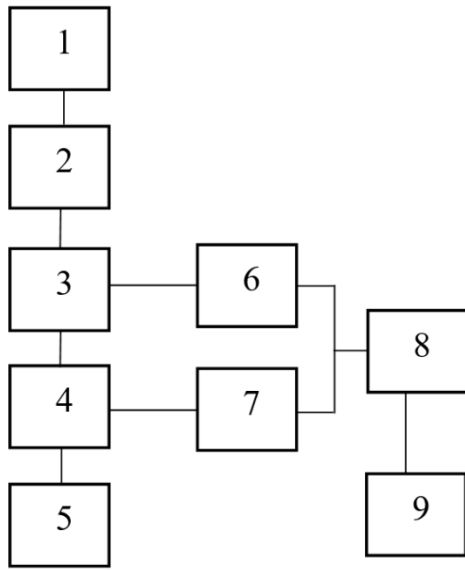


Рисунок 1 – Блок-схема процесу діагностики генератора

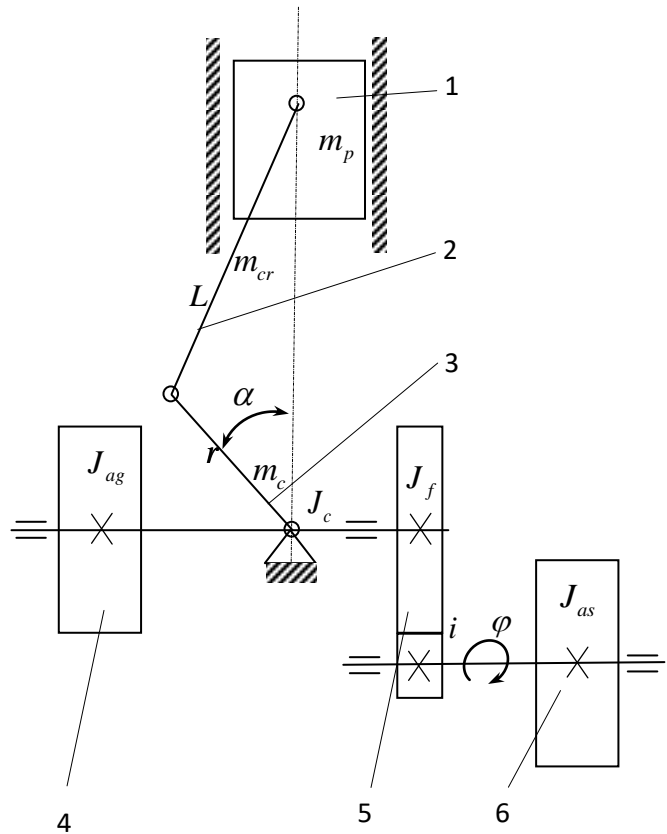


Рисунок 2 – Кінематична схема діагностики двигуна внутрішнього згорання

Приведений момент інерції з урахуванням коефіцієнта передачі маховика складається з постійного і змінного моменту зміни інерції компонента

$$\begin{aligned}
 J_0 = J_1 + J_2 = J_{as} + (J_f + J_{ag} + J_c + m_2 R^2) \left( \frac{1}{i_g} \right)^2 + \\
 + (m_p + m_1) \left( \frac{r \left( \sin \left( \frac{\varphi}{i_g} \right) + \frac{R}{2L} \sin 2 \frac{\varphi}{i_g} \right)}{i_g} \right)^2,
 \end{aligned} \quad (2)$$

де,  $m_1$ ,  $m_2$  – розділена маса шатуна, який з'єднує поршень і колінчастий вал;  $i_g$  – передаточне відношення редуктора.

Рівняння, що описують роботу стартера є диференціальні рівняння в нормальній формі Коші для двигуна постійного струму з незалежним збудженням від постійних магнітів:

$$\begin{cases}
 U_a - R_a I_a - k_\omega \frac{d\varphi}{dt} = L_a \frac{dI_a}{dt}; \\
 k_m I_a - b \frac{d\varphi}{dt} - M_c \cdot i_g = J_0 \frac{d^2\varphi}{dt^2};
 \end{cases} \quad (4)$$

де  $U_a$  - напруження джерела живлення постійного струму;  $R_a$  і  $L_a$  - активний опір і індуктивність якірної обмотки;  $k_\omega$  - стала електро-рухомої сили двигуна;  $k_m$  - стала моменту двигуна;  $b$  - опір в'язкого тертя.

При побудові багаторівневої ієрархічної багатокомпонентної моделі системи технічного діагностування генератора на базі двигуна внутрішнього згорання (рис. 3) використано систему рівнянь (1-4)

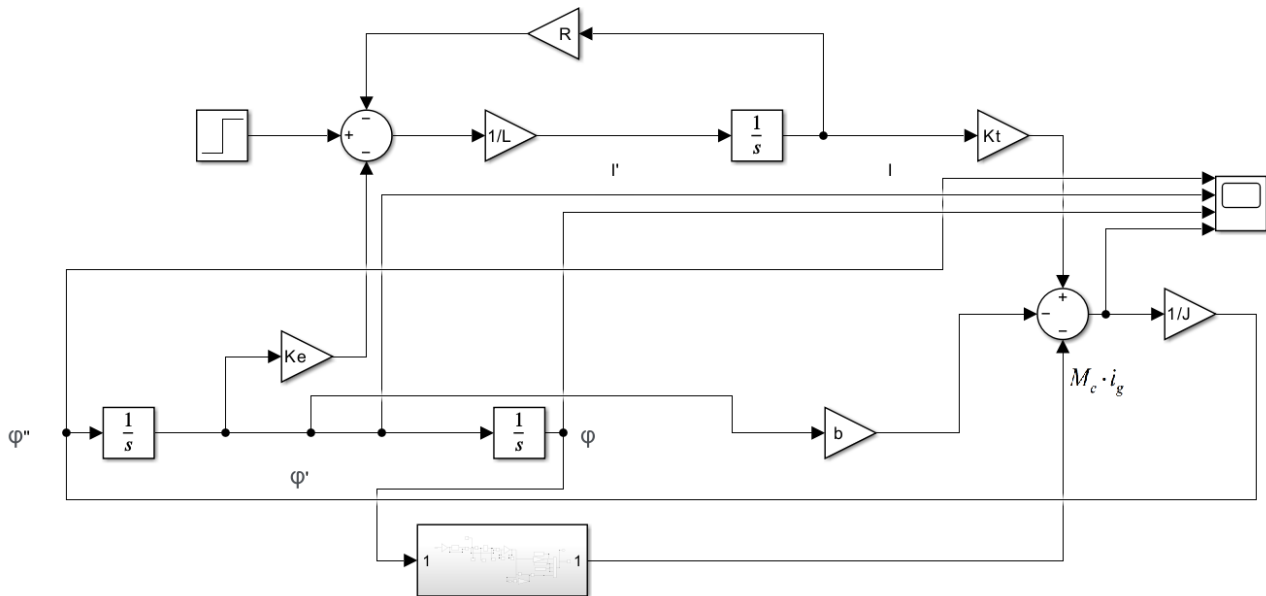


Рисунок 3 – Багатокомпонентна модель системи технічного діагностування генератора на базі двигуна внутрішнього згорання

## Висновки

В результаті проведених досліджень створено багаторівневої ієрархічної багатокомпонентної моделі системи технічного діагностування генератора на базі двигуна внутрішнього згорання, що дозволяють прогнозувати діагностичні параметри об'єкту дослідження і підібрати необхідні засоби діагностування.

## Література

1. Zaichenko, S., & Derevianko, D. (2023). Comparison of the Energy Efficiency of Synchronous Power Generator with Spark Ignition Engine Using Different Types of Fuels. In *Systems, Decision and Control in Energy V* (pp. 155-177). Cham: Springer Nature Switzerland. available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-35088-7\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-35088-7_10).

2. Zaichenko, S., Shevchuk, S., Kulish, R., Denysiuk, S., Derevianko D., Opryshko, V.: Identification of the least reliable elements of autonomous power plant based on internal combustion and diesel engines by the method of the lowest residual entropy. In *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, vol. 1, pp. 549–552, September (2021), available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9570078>