

УДК 621.432.01.

Б.Т. Кононов, Р.І. Бачу, О.А. Українець

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ СТУПЕНЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛА ДИЗЕЛЯ

Обґрунтовуються шляхи підвищення точності при визначенні ступеня нерівномірності частоти обертання вала дизеля, засновані на цифровому способі вимірювання кута та використанні для цього системи фазового автоматичного підстроювання частоти й зменшенні методичної та інструментальної складової похибок вимірювання.

Ключові слова: ступінь нерівномірності частоти обертання вала дизеля, цифровий спосіб вимірювання кута, послідовне вимикання одного з циліндрів двигуна, вплив крутильних коливань.

Вступ

Постановка науково-технічної задачі. При оцінюванні технічного стану дизель-генератора, в якості параметра, за допомогою якого можливо визначити як загальний стан, так і стан окремих циліндрів двигуна, доцільно вибрати нерівномірність обертального моменту, яка проявляється в нерівномірності обертання вала дизеля.

Нерівномірність обертання вала дизеля характеризується величиною ступеня нерівномірності, а саме відношенням різниці максимальної і мінімальної кутових частот обертання до середньої кутової частоти обертання

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{\text{ср}}} \quad (1)$$

Ступінь нерівномірності частоти обертання залежить від удосконаленості процесів перетворення хімічної енергії палива в механічну роботу в кожному з циліндрів двигуна, його тактності, максимальних значень газових й інерційних зусиль, середньої кутової частоти обертання та інших чинників, що в сукупності дозволяє використати цей параметр в якості діагностичного параметра. Значення δ , зазвичай лежить в діапазоні від $\frac{1}{150}$ до $\frac{1}{300}$ [1], що вимагає високої точності при вимірюванні цієї величини, особливо враховуючи те, що миттєві значення δ , що визначаються прискоренням кутової частоти обертання вала дизеля в такті робочого ходу кожного з його циліндрів, можуть відрізнятися одне від одного лише в допустимому діапазоні. При визначенні величини δ , слід враховувати те, що нерівномірність кутової частоти обертання вала дизеля, особливо проявляється завдяки циклічності його роботи тому, що рухомі сили, які виникають в його циліндрах, діють періодично через визначений кут повороту вала.

Аналіз літератури. В [2] пропонується для визначення ступеня нерівномірності частоти обертання вала дизеля вимірювати інтервали часу, на протяжці яких відбувається поворот вала на заданий кут, який дорівнює куту повороту вала, між моментами вприскування палива в сусідніх за порядком їх роботи циліндрах.

В [3] пропонується для визначення ступеня нерівномірності частоти обертання вала дизеля вимірювати прирощення кутової частоти обертання від мінімального її значення до максимального в такті розширення для кожного i -го циліндра двигуна $\Delta\omega_i'$, вимірювати зменшення кутової частоти вала від максимального її значення до мінімального в такті стиску для кожного i -го циліндра двигуна $\Delta\omega_i''$, знаходити ступінь нерівномірності шляхом визначення відношень сум величин $\Delta\omega_i'$ та $\Delta\omega_i''$ до числа циліндрів n , а значення δ – як відношення максимальної різниці з $\Delta\omega_i'$ або $\Delta\omega_i''$ до середнього значення цієї різниці:

$$\frac{\Delta\omega_{i \max}' \cdot n}{\sum_{i=1}^n \Delta\omega_i'}; \quad \frac{\Delta\omega_{i \max}'' \cdot n}{\sum_{i=1}^n \Delta\omega_i''}$$

Для уточнення отриманої таким чином оцінки стану окремих циліндрів дизеля слід враховувати величину прискорення кутової частоти обертання його вала ε , шляхом визначення похідної:

$$\frac{d\Delta\omega_i'}{dt} \quad \text{або} \quad \frac{d\Delta\omega_i''}{dt}$$

Отримані таким чином результати мають низьку точність, що пов'язано з недостатньою точністю визначення значень $\Delta\omega_i'$, $\Delta\omega_i''$ та ε_i' , ε_i'' , які знаходяться при виконанні операцій диференціювання.

Метою даної публікації є обґрунтування шляхів підвищення точності при визначенні величини ступеня нерівномірності частоти обертання вала дизеля.

Основний матеріал

Для підвищення точності визначення ступеня нерівномірності частоти обертання вала дизеля, можливо вимірювання параметрів його роботи виконувати в спеціально організованих режимах роботи, а саме, вимірювати прискорення вала при його прокручуванні або в пусковому режимі, або в режимі гальмування. При цьому слід вимірювати час і кут повороту в межах заданих частот та порівнювати визначені при цьому величини з еталонними значеннями. Але зазначений спосіб підвищення точності визначення величини δ вимагає проведення випробувань в спеціально організованих режимах роботи дизель-генератора, що не завжди можливо в умовах експлуатації. Крім того, при вимірюванні прискорення на точність результатів впливають як похибки, що виникають при виконанні операції диференціювання, так і похибки, що пов'язані з впливом крутильних коливань на величину кута повороту вала дизеля. Для підвищення точності при визначенні кута повороту вала дизеля пропонується при вимірюванні використовувати цифровий спосіб визначення кута, для вимірювання кута використовувати систему фазового автоматичного підстроювання частоти, кутову частоту обертання вала й її прискорення визначати без використання операції диференціювання, для зменшення методичної складової похибки визначення ступеня нерівномірності частоти обертання вала вимірювання виконувати при по черговому вимиканні одного з циліндрів дизеля, а для зменшення інструментальної складової похибки враховувати при вимірюванні крутильні коливання вала.

Використання цифрового способу вимірювання кута λ між подачами палива в сусідніх за порядком роботи циліндри дизеля полягає в наступному. Величина часу t_i повороту вала на заданий кут λ дорівнює:

$$t_i = \frac{\lambda}{\omega_i}, \quad (2)$$

де ω_i - миттєве значення кутової частоти обертання вала, яке визначається величиною потужності, що розвивається в i -му циліндрі дизеля.

Якщо вимірювати величину t_i шляхом підрахунку числа імпульсів n_i , що надходять за час t_i з виходу високочастотного генератора імпульсів стабільної частоти f_r , то величина n_i буде дорівнювати:

$$n_i = \frac{t_i}{T_r} = \frac{\lambda \cdot f_r}{\omega_i}, \quad (3)$$

де T_r - період слідування імпульсів з виходу генератора стабільної частоти.

Вибір величини f_r дозволяє отримати вимагаєму точність при визначенні величини n_i , а тим самим й при визначенні величини ступеня нерівномірності

частоти обертання вала дизеля. Дійсно, величина відносної нерівномірності частоти обертання вала $\bar{\delta}$, визначається при порівнянні величин n_i та n_{i+1} відносно до порядку роботи циліндрів, й дорівнює:

$$\bar{\delta} = n_i - n_{i+1} = \frac{\lambda f_r (\omega_{i+1} - \omega_i)}{\omega_{i+1} \cdot \omega_i}, \quad (4)$$

де

$$\frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{\omega_i} = \delta,$$

$$\bar{\delta} = \frac{\lambda f_r \delta}{\omega_{i+1}}.$$

Для підвищення точності при визначенні інтервалів часу t_i , слід використовувати систему фазового автоматичного підстроювання частоти, яка складається з фазового детектора, фільтра нижніх частот та управляемого генератора імпульсів.

Фазовий детектор виконаний на базі асинхронного RS – тригера, на S – вхід якого подаються вихідні сигнали формувача імпульсів. Імпульсна послідовність, що слідує в виходу формувача імпульсів з частотою ω_1 , визначається вимірювальним перетворювачем положення вала дизеля. Часові інтервали між імпульсами при нерівномірній роботі циліндрів дизеля – неоднакові. На R- вхід RS – тригера надходять сигнали з виходу керованого генератора імпульсів, частота ω_0 яких, при відсутності керуючого впливу з фільтра низьких частот, є свідомо менша номінальної частоти обертання $\omega_{ном}$ дизеля.

Тривалість сигналу високого рівня на прямому виході RS – тригера, визначається фазовим зсувом між імпульсними послідовностями з виходу формувача імпульсів та з виходу керованого генератора імпульсів, й залежить від початкової різниці частот ω_1 та ω_0 . Напряга з виходу RS – тригера через фільтр нижніх частот подається на вхід керованого генератора імпульсів. При цьому відбувається автоматичне підстроювання частоти ω_0 керованого генератора імпульсів до значення ω_1 . Імпульсна послідовність з виходу керованого генератора імпульсів зсунута по фазі в бік відставання на кут β , який пропорційний початковій різниці частот ω_1 та ω_0 . В свою чергу величина кута зсуву фаз β пропорційна напрузі, яка необхідна для підстроювання частоти керованого генератора імпульсів ω_0 до значення ω_1 . Величина кута зсуву фаз β використовується в подальшому для визначення нерівномірності частоти обертання вала дизеля. Для цього на інтервалі часу, що відповідає кутовому відрізку β_i , підраховується число імпульсів n_i , які подаються з виходу генератора імпульсів високої частоти, вихідна частота якого f_r , на кутовому відрізку β_{i+1} відбувається зчитування числа імпульсів n_i , яке записано в реверсивному лічильнику імпульсів. Кількість імпульсів, що залишились в реверсивному

лічильнику імпульсів, пропорційно величині відносної нерівномірності частоти обертання вала. Точність знайденого значення величини δ , визначається кількістю кутових ризок вимірювального перетворювача положення вала дизеля та частотою f_r генератора імпульсів високої частоти.

Для виключення похибок, пов'язаних з виконанням операції диференціювання при визначенні кутової частоти та кутового прискорення, як вимірювач, слід використовувати активний фільтр, схема якого наведена на рис. 1.

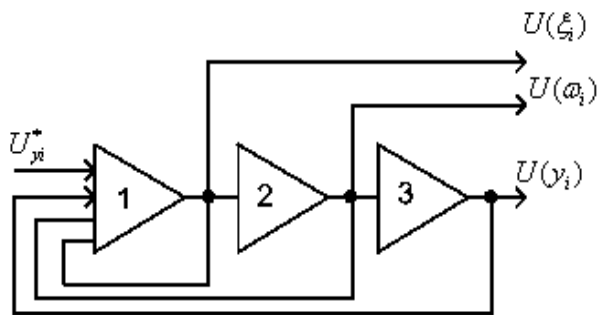


Рис. 1 Схема активного фільтра для визначення кутової частоти та кутового прискорення

Активний фільтр містить у своєму складі три послідовно ввімкнені інтегруючі операційні підсилювачі: 1, 2, 3, які охоплені зворотними зв'язками таким чином, що їх результуюча передатна функція відповідає ланці третього порядку вигляду:

$$W(p) = \frac{K}{ap^3 + bp^2 + cp + 1}, \quad (5)$$

де: K – коефіцієнт підсилення;

a, b, c – коефіцієнти при похідних;

$P = \frac{d}{dt}$ – оператор диференціювання.

Оскільки ланка, яка описується виразом (5), має певну полосу пропускання, яка залежить від вибору коефіцієнтів a, b та c , її можливо розглядати як фільтр, напруга на виході якого $U(y_i)$ пропорційна значенню кута повороту вала y_i . Оскільки при цьому напруга $U(y_i)$ є одночасно напругою на виході третього інтегруючого операційного підсилювача, то на вході цього підсилювача напруга $U(\omega_i)$ пропорційна значенню кутової частоти ω_i , відповідно на вході другого інтегруючого операційного підсилювача напруга $U(\xi_i)$, пропорційна кутовому підсиленню.

Для зменшення методичної складової похибки вимірювання ступеня нерівномірності частоти обертання вала дизеля, пропонується вимірювання виконувати при послідовному вимиканні одного з циліндрів дизеля. В процесі випробувань вимірюють тривалість циклу відповідно до порядку роботи циліндрів дизеля. Вказане вимірювання виконується для

одного вимкненого і решти працюючих циліндрів від моменту часу, що відповідає положенню вала в верхній мертвій точці в такті стиску на кутовому інтервалі, що відповідає куту між черговими спалахами в циліндрах. Далі визначають величину зменшення тривалості циклу при вимкненому циліндрі, в порівнянні з середньою тривалістю робочого циклу при всіх працюючих циліндрах.

По результатах порівняння роблять висновок щодо технічного стану дизеля та вважають циліндр несправним, якщо величина зменшення тривалості циклу при вимкненому циліндрі менше середньої тривалості робочого циклу t_{cp} , зменшеної в

$$(i-1)(1 + \delta_{доп}) \text{ разів,}$$

де i – кількість циліндрів двигуна; $\delta_{доп}$ – ступінь нерівномірності частоти обертання вала дизеля в відносних одиницях, яка є допустимою для даного типу двигуна.

Вибір величини

$$\frac{t_{cp}}{(i-1)(1 + \delta_{доп})}$$

в якості показника для оцінювання технічного стану дизеля пояснюється наступним. В випадку, коли всі циліндри дизеля знаходяться в справному стані та їх внесок в роботу двигуна рівновелик, тривалість циклу t_1 , в циліндрі при одному вимкненому циліндрі визначається при відомій середній тривалості t_{cp} робочого циклу по формулі:

$$t_1 = \frac{i}{i-1} t_{cp}. \quad (6)$$

Величина зменшення тривалості циклу Δt_{cp} , визначається співвідношенням:

$$\Delta t_i = t_i - t_1 = t_i - \frac{i}{i-1} t_{cp}, \quad (7)$$

де t_i – тривалість циклу пр. ввімкненому циліндрі дизеля. Оскільки відповідні стандарти враховують можливість нерівномірної роботи окремих циліндрів двигуна, тому цей допуск треба враховувати шляхом введення уточнення на величину $\delta_{доп}$. Тим самим, якщо час зменшення тривалості циклу Δt_i менше величини, визначеної співвідношенням:

$$\Delta t_i = \frac{t_{cp}}{(i-1)(1 + \delta_{доп})}, \quad (8)$$

то i -й циліндр розвиває неприпустимо малу потужність і його слід вважати несправним.

Для зменшення впливу на результат визначення ступеня нерівномірності обертання вала дизеля слід при вимірюванні кутових відрізків враховувати крутильні коливання. Це досягається завдяки тому, що вимірювання кутових відрізків здійснюється зі змінним масштабом часу. Для цього забезпечується подача управляючого сигналу на вхід високочастот-

ного керуемого генератору імпульсів, що дозволяє здійснювати підрахунок числа імпульсів в лічильнику імпульсів за час між спалахами в сусідніх за порядком роботи циліндрах зі змінним масштабом часу. Це дозволяє зробити висновок щодо миттєвого значення кутової частоти обертання вала. Величина керованої напруги залежить від поточного значення кута закручування, що вимірюється вимірювальним перетворювачем крутильних коливань.

Таким чином забезпечується отримання змінної частоти слідування імпульсів з виходу високочастотного генератора імпульсів, тобто отримання можливості вираховування крутильних коливань при вимірюванні інтервалів часу t_i .

Можливість технічної реалізації запропонованих рішень підтверджується авторськими свідоцтвами на винахід. [4 – 8]

Висновки

1. Для отримання інформації щодо визначення технічного стану дизель-генератора він повинен бути оснащений відповідними засобами контролю, а саме вимірювальним перетворювачем кутових відміток положення вала, вимірювальним перетворювачем крутильних коливань й мати можливість послідовного вимикання одного з циліндрів дизеля.

2. Для підвищення точності при визначенні ступеня нерівномірності частоти обертання вала дизеля пропонується використовувати цифровий спосіб вимірювання кута та використовувати для цього систему фазового автоматичного підстроювання частоти.

3. Для зменшення методичної складової похибки визначення ступеня нерівномірності частоти обертання вала вимірювання слід виконувати при почерговому послідовному вимиканні одного з циліндрів дизеля.

4. Для зменшення інструментальної складової похибки визначення ступеня нерівномірності частоти

ти обертання вала необхідно враховувати вплив крутильних коливань на результати вимірювань.

Список літератури

1. Источники и первичные преобразователи энергии. Учебник / В.К. Терещенков, Б.Т. Кононов, В.П. Морозов, Г.И. Волков, Л.М. Крутий, В.М. Тягый, МО СССР, 1979, 554с
2. Кононов Б.Т. Способ оценки технического состояния двигателя по степени неравномерности вращения его вала / Б.Т. Кононов, К.И. Гудименко // Системы обработки информации, вин 5 (21). Збірник наукових праць, – Х., НАНУ, ПАИМ, ХВУ, 2002. – С. 33-35.
3. Грачёв В.В. Устройство для диагностирования дизеля / В.В. , А.П. Болдин. Авторское свидетельство СССР №1255889, кл. СТ01М15/60 от 06.02.1985, опубликовано 07.09.1986, БИ №33.
4. Кононов Б.Т., Григоров Н.И., Загороднев М.И. Устройство для диагностики дизеля. Авторское свидетельство СССР №1404867 от 21.11.1986, опубликовано 23.06.1988, БИ №23.
5. Кононов Б.Т., Григоров Н.И., Ройк В.З., и др. Устройство для оценки неравномерности работы цилиндров двигателя. Авторское свидетельство СССР №1416822 от 19.09.1986, опубликовано 15.08.1988, БИ №30.
6. Кононов Б.Т., Григоров Н.И., Загороднев М.И., и др. Устройство для оценки двигателя внутреннего сгорания. Авторское свидетельство СССР №1469384 от 20.08.1987, опубликовано 30.03.1989, БИ №12.
7. Кононов Б.Т., Зайончковский В.Н., Заславский Е.Б. и др. Устройство для определения неравномерности работы цилиндров, двигателя внутреннего сгорания. Авторское свидетельство СССР №1474502 от 13.07.1987, опубликовано 23.04.1989, БИ №15.
8. Кононов Б.Т., Зайончковский В.Н., Заславский Е.Г., и др. Устройство для определения неравномерности работы цилиндров двигателя внутреннего сгорания. Авторское свидетельство СССР №1590949 от 20.03.1988, опубликовано 15.10.1990, БИ №33.

Надійшла до редколегії 30.05.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СТЕПЕНИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ДИЗЕЛЯ

Б.Т. Кононов, Р.И. Бачу, А.А. Украинец

Рассматриваются пути повышения точности при определении степени неравномерности частоты вращения вала дизеля, основанные на цифровом способе измерения угла, и использовании для этого систему фазовой автоматической настройки частоты и уменьшения методической и инструментальной составляющей ошибок измерения.

Ключевые слова: степень неравномерности вращения вала дизеля, цифровой способ измерения угла, последовательное отключение одного из цилиндров дизеля, действие крутящих колебаний.

ELEVATION TO THE LETTER PRECISELY HEREIN, FOR DETERMINATION EXTENT UNEVENNESS FREQUENCY ROTATION BULWARK OF DIESEL

В.Т. Kononov, R.I. Bachu, A.A. Ukrainec

The consideration roads, for elevation the letter precisely herein for determination extant unevenness frequency rotation bulwark of diesel, foundation of digital device measurement angle, and exertion for that system phasing automatically tuner frequency and diminution methodical and instrumental element of error measurement.

Keywords: extant unevenness frequency rotation bulwark of diesel, digital device measurement angle, consistency disconnection one of cylinder of diesel, action twiddles sways.