

УДК 629.424.1:621.436.004.15

ОПИС ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ КРУТНИХ МОМЕНТІВ У МЕХАНІЧНІЙ СИСТЕМІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ГАРМОНІЧНОГО АНАЛІЗУ

Канд. техн. наук О.В. Братченко

ОПИСАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ В МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Канд. техн. наук А.В. Братченко

DESCRIPTION OF THE PARTICULARITIES OF THE SHAPING TURNING MOMENTS IN MECHANICAL SYSTEM OF THE ENERGY INSTALLING THE DIESEL LOCOMOTIVE ON BASE OF THE USE THE HARMONIOUS ANALYSIS

Cand. of techn. sciences A. Bratchenko

Обґрунтовано актуальність проведення розрахунково-експериментальних досліджень напружено-деформованого стану колінчатих валів енергетичних установок тепловозів з дизелями типу Д49. Подано опис особливостей формування крутних моментів у механічній системі енергетичної установки на основі використання гармонічного аналізу. Як приклад використання розробленої математичної моделі наведено ряд гармонік, з яких складається крива зміни крутного моменту в перерізі колінчатого вала восьмого циліндрового модуля енергетичної установки Д49.

Ключові слова: енергетична установка тепловоза з дизелем Д49, механічна система, колінчатий вал, крутні моменти, гармонічний аналіз.

Обоснована актуальность проведения расчетно-экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния коленчатых валов энергетических установок тепловозов з дизелями типа Д49. Представлено описание особенностей формирования крутящих моментов в механической системе энергетической установки тепловоза на основе использования гармонического анализа. В качестве примера использования разработанной математической модели приведен ряд гармоник, из которых складывается кривая изменения крутящего момента в сечении коленчатого вала восьмого цилиндрического модуля энергетической установки Д49.

Ключевые слова: энергетическая установка тепловоза з дизелем Д49, механическая система, коленчатый вал, крутящие моменты, гармонический анализ.

Motivated urgency of the undertaking accounting-experimental studies tense-deformed conditions of the separate nodes and details of the energy installation diesel locomotive z diesel of the type D49, to which in the first place follows to refer the crankshaft. Considered importance of the creation to mathematical model, which allows on stage of the designing already or at modernizations forced much cylinders of the diesels to value the influence of the fluctuations turning moments on dynamic loads not only, which are formed in sections cylinder modules, but and on work mechanism distribution exhaust gas and presenting fuel in cylinder. The Presented description of the particularities of the shaping turning moments in mechanical system of the energy installing the diesel locomotive on base of the use the harmonious analysis. As example of the use designed mathematical model is brought row of the harmonicas, from which forms the curve of the change turning moment in section of the crankshaft eighth cylinder module of the energy installation with diesel D49.

Keywords: energy installing the diesel locomotive z diesel D49, mechanical system, crankshaft, turning moments, harmonious analysis.

Вступ. Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Зменшення витрат коштів на утримання і ремонт наявного тягового рухомого складу визначає актуальність науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробок, спрямованих на підвищення паливної економічності і надійності V-подібних енергетичних установок (ЕУ) Д49, якими обладнані понад 50 % магістральних тепловозів (2ТЕ116, ТЕП70) експлуатаційного парку Укрзалізниці [1-3]. Це визначило необхідність проведення розрахунково-експериментальних досліджень напружено-деформованого стану окремих вузлів дизеля, до яких у першу чергу слід віднести колінчатий вал (КВ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Потрібні характеристики функціонування циліндрів визначають форму колінчатих валів (КВ) відповідно до їх порядку роботи. При цьому КВ сприймають великі навантаження змінної дії, характер формування яких обумовлений особливостями функціонування механічної системи ЕУ [4-6]. Разом з тим, запропонований підхід, що описує формування сумарного крутного моменту у вигляді сукупності моментів від дії усіх циліндрових модулів (ЦМ), недостатньо розглядає питання оцінки впливу особливостей зміни крутного моменту на функціонування підсистеми розподільного вала, тобто на протікання процесів паливоподачі в ЦМ та

формування динамічних навантажень у перерізах КВ.

Це обумовлює актуальність питання створення математичної моделі, яка дозволить вже на стадії проектування або при модернізації форсованих багаточиліндрових дизелів оцінювати вплив коливань крутних моментів не тільки на динамічні навантаження, що формуються в перерізах ЦМ, а й на роботу механізмів газорозподілу та паливоподачі.

У свою чергу, вищесказане надає можливість оцінювання працездатності, довговічності, надійності та паливної економічності дизеля в цілому. Окрім цього, вирішення такої задачі забезпечує уточнений опис формування крутного моменту двигуна та характеристик функціонування пов'язаних з КВ механізмів, насамперед механізму газорозподілу чотиритактного дизеля та привода паливних насосів високого тиску [7].

Визначення мети і задачі дослідження. Метою статті є опис особливостей формування крутних моментів у механічній системі енергетичної установки тепловоза на основі використання гармонічного аналізу.

Основна частина дослідження. В процесі математичного моделювання характеристик функціонування механічної системи ЕУТ були отримані уточнені значення крутних моментів у перерізах колінчатого вала у вигляді масивів T , узагальнений запис яких має вигляд таблиці (рядки відповідають фіксованим положенням, стовпці – перерізам циліндрових модулів) [8, 9].

Таблиця

Узагальнений запис матриці T

	1	2	3	4	...	$m-1$	m
1	$T(1,1)$	$T(1,2)$	$T(1,3)$	$T(1,4)$	...	$T(1,m-1)$	$T(1,m)$
2	$T(2,1)$	$T(2,2)$	$T(2,3)$	$T(2,4)$	...	$T(2,m-1)$	$T(2,m)$
3	$T(3,1)$	$T(3,2)$	$T(3,3)$	$T(3,4)$	...	$T(3,m-1)$	$T(3,m)$
4	$T(4,1)$	$T(4,2)$	$T(4,3)$	$T(4,4)$	...	$T(4,m-1)$	$T(4,m)$
5	$T(5,1)$	$T(5,2)$	$T(5,3)$	$T(5,4)$	...	$T(5,m-1)$	$T(5,m)$
...
$a-1$	$T(a-1,1)$	$T(a-1,2)$	$T(a-1,3)$	$T(a-1,4)$	...	$T(a-1,m-1)$	$T(a-1,m)$
a	$T(a,1)$	$T(a,2)$	$T(a,3)$	$T(a,4)$	...	$T(a,m-1)$	$T(a,m)$

Примітки: m – кількість ЦМ дизеля; a – кількість фіксованих положень КВ.

Аналіз отриманих даних показав, що зміна сумарного крутного моменту має гармонічний характер. Має місце значне відхилення від середнього значення $T_{сер}^m$ (рис. 1), яке перевищує 20 % у від'ємному напрямку (T^{m-}) і 35 % у додатному (T^{m+}).

Характер наведеної кривої визначив можливість використання при розробці математичної моделі відомих методів і підходів. Одним із можливих напрямків переходу від матричного до опису у вигляді рядів Фур'є є використання гармонічного аналізу, який полягає у визначенні основних синусоїд, що описують закономірності формування кривих крутних моментів для відповідних ЦМ [10]. Наприклад,

формалізований запис кривої крутного моменту для ЦМ має вигляд

$$f(T^m) = T_{сер}^m + \sum_{k=1}^n X_k^m, \quad (1)$$

де $T_{сер}^m$ – середнє значення крутного моменту в

перерізі ЦМ m за цикл роботи механізму;

k – номер синусоїди (гармоніки);

X_k^m – гармоніки, що описують закономірності формування кривих крутних моментів у перерізі ЦМ m .

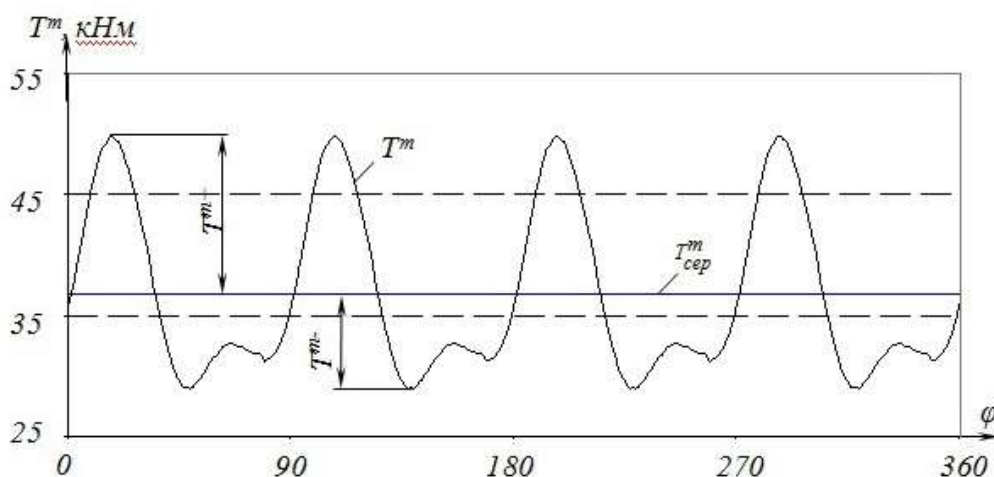


Рис. 1. Відхилення крутного моменту в перерізі КВ восьмого ЦМ ЕУТ з дизелем Д49 (T^m) від середнього значення ($T_{сер}^m$)

Математичний запис гармонік будь-якого порядку (k) для ЦМ має вигляд:

$$X_k = \sum_{i=1}^a C_k \cdot \sin(\varphi_i \cdot k + \psi_k), \quad (2)$$

де φ_i – кут повороту КВ в i -му фіксованому положенні;

C_k – амплітуда коливань;

ψ_k – початкова фаза коливань.

Амплітуда і фаза коливань визначаються за допомогою залежностей 3 та 4 відповідно.

$$C_k = \sqrt{\overline{A_k^2} + \overline{B_k^2}}; \quad (3)$$

$$\psi_k = \arctg \frac{\overline{A_k^2}}{\overline{B_k^2}}, \quad (4)$$

де $\overline{A_k}$ і $\overline{B_k}$ – середнє значення коефіцієнтів A_k і B_k .

$$A_{ki} = T_i^m \cdot \cos(k \cdot \varphi_i); \quad (5)$$

$$B_{ki} = T_i^m \cdot \sin(k \cdot \varphi_i), \quad (6)$$

де T_i^m – поточне значення крутного моменту в перерізі ЦМ m в i -му фіксованому положенні.

На основі наведеного підходу з використанням гармонічного аналізу розроблена відповідна математична модель, яка дозволяє відокремити гармоніки, з яких складається крива зміни крутного моменту. Як

приклад на рис. 2 наведено ряд гармонік, з яких складається крива зміни крутного моменту в перерізі КВ восьмого ЦМ ЕУ з дизелем Д49.

Для перевірки адекватності розробленої математичної моделі була отримана синтезована крива, що об'єднує виділені синусоїди, а також середнє значення крутного моменту (рис. 3).

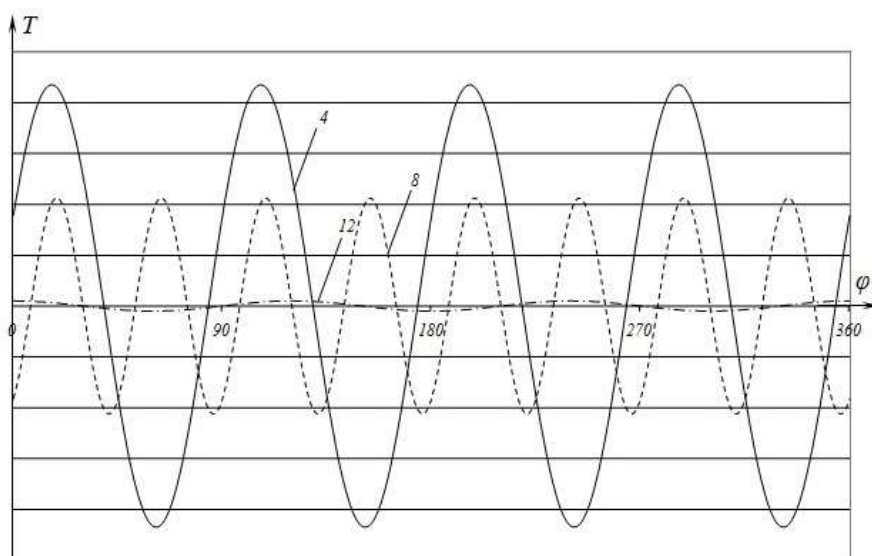


Рис. 2. Гармоніки 4-го, 8-го та 12 порядків, що входять до складу кривої зміни крутного моменту в перерізі КВ восьмого ЦМ ЕУ з дизелем Д49

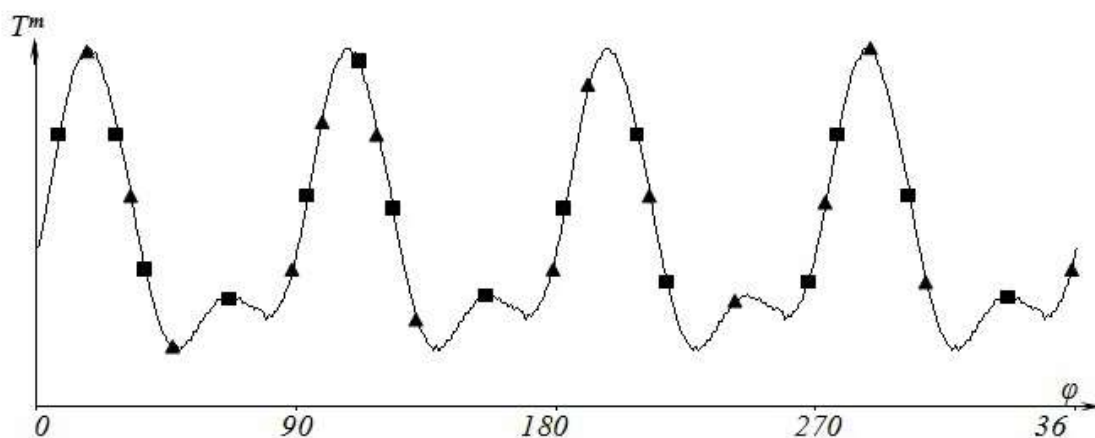


Рис. 3. Порівняння синтезованої кривої зміни крутного моменту в перерізі КВ восьмого ЦМ, отриманої в ході гармонічного аналізу (▲) та базової кривої (■)

Слід зауважити, що похибка розрахунків (різниця між вихідними даними і отриманими в ході розрахунків) не перевищила 1%, що

обґрунтовує доцільність використання розробленої математичної моделі при проведенні досліджень, спрямованих на опис

особливостей функціонування механічної системи енергетичних установок тепловозів.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розглянуті формування крутних моментів у механічній системі енергетичної установки тепловоза та отримані математичні залежності

на основі гармонічного аналізу дають змогу з високою точністю визначати основні складові циклічної зміни крутних моментів. Це має важливе значення в дослідженнях з оцінювання міцності та особливостей руху колінчатого і розподільного валів.

Список використаних джерел

1. Боднар, Б.Є. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст]: підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / Б.Є. Боднар, Є.Г. Нечаєв, Д.В. Бобир. – Дніпропетровськ: ПП «Ліра ЛТД», 2010. – 358 с.
2. Филонов, С.П. Тепловоз 2ТЭ116 [Текст] / С.П. Филонов, А.И. Гибалов, В.Е. Быковский [и др.]. — М.: Транспорт, 1985. – 328 с.
3. Быков, В.Г. Пассажирский тепловоз ТЭП70 [Текст] / В.Г. Быков, Б.Н. Морошкин, Г.Е. Серделевич, Ю.В. Хлебников, В.М. Ширяев. – М.: Транспорт, 1976. – 232 с.
4. Мороз, В.І. Методологічний аспект формалізованого описання і оцінювання механічної досконалості конструкції транспортних технічних засобів [Текст] / В.І. Мороз // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 64. – С. 31-38.
5. Мороз, В.І. Новий підхід до формалізованого описання конструкції технічних засобів залізничного транспорту [Текст] // В.І. Мороз // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 4. – С.41-42.
6. Тіщенко, В.С. Новий підхід до розрахункових досліджень механізмів локомотивної енергетичної установки з V-подібним дизелем [Текст] / В.С. Тіщенко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 117. – С. 159-163.
7. Мороз, В.І. Моделирование интегральных отклонений фаз газораспределения тепловозного четырёхтактного дизеля [Текст] / В.І. Мороз А.В. Братченко // Міжвуз. зб. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 1998. – Вип. 34. – С. 59-61.
8. Мороз, В.І. Математичне описання модульно-накопичувального формування крутних моментів багатопідциліндрових V-подібних тепловозних дизелів [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, В.С. Тіщенко // Удосконалення будівельних, колійних та перевантажувальних машин // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 88. – С.34-39.
9. Мороз, В.І. Уточнена методика силового розрахунку кривошипно-шатунного механізму V-подібного тепловозного дизеля [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, В.С. Тіщенко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 76. – С. 157-164.
10. Серебренников, М.Г. Гармонический анализ [Текст] / М.Г. Серебренников. – М.: Гостехиздат, 1948. – 504 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.В. Устенко

Братченко Олександр Васильович, канд. техн. наук, професор кафедри механіки і проектування машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-53.

Bratchenko Alexander Vasilyevich, cand. tech. sciences, professor department mechanical engineers and designing the machines Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53.