

## ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ НЕЛІНІЙНИХ МОДЕЛЕЙ МАШИННИХ АГРЕГАТІВ

<sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

<sup>2</sup>Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”

### Анотація

Створено метод параметричного синтезу нелінійних моделей машинних агрегатів з двигуном внутрішнього згоряння. Розроблено ефективний алгоритм розв'язання задач аналізу, що використовує гармонічну лінеаризацію для інтегральних рівнянь руху, записаних за допомогою імпульсно-частотних характеристик. Побудовано динамічну модель агрегату з дизелем ЗТД. Здійснено оптимальний синтез параметрів моделі. Зіставлено результати розрахункових досліджень із даними експериментів.

**Ключові слова:** параметричний синтез, нелінійна модель, машинний агрегат, гармонічна лінеаризація, інтегральне рівняння, імпульсно-частотна характеристика.

Збільшення потужності та швидкохідності сучасних установок з ДВЗ веде до підвищення динамічних навантажень, коли все більшою мірою виявляються пружні властивості їх деталей та вузлів. Аналіз і усунення небезпечних крутильних коливань, які нерідко визначають міцність і надійність конструкції, вимагає при побудові моделей з одного боку урахування технологічних нелінійностей, а з іншого – введення пружних муфт і демпфуючих пристроїв. Зазначені фактори на сталих динамічних режимах породжують зміщення резонансів, деформування резонансних кривих, багатозначність коливань, що істотно ускладнює розв'язання задач аналізу і тим більше синтезу для моделей машинних агрегатів з ДВЗ. Методи їх розв'язання нині розроблені недостатньо.

На рис. 1. представлена кінематична схема дизеля ЗТД, з'єднаного зі споживачем (гідрогальмо): 1, 2 – ступиця і маховик демпфера; 3 – впускний колінчастий вал; 4-8 – шестірні головної передачі; 9 – випускний вал; 10 – пружна муфта з попереднім натягом на випускному валу (рис. 2); 11 – ресора приводу нагнітача; 12 – пружна муфта в приводі нагнітача; 13 – фрикційні муфти; 14 – ротор нагнітача; 15 – ресора приводу турбіни; 16 – ротор турбіни; 17 – маховик двигуна; 18 – резино-пальцева муфта; 19 – гідрогальмо.

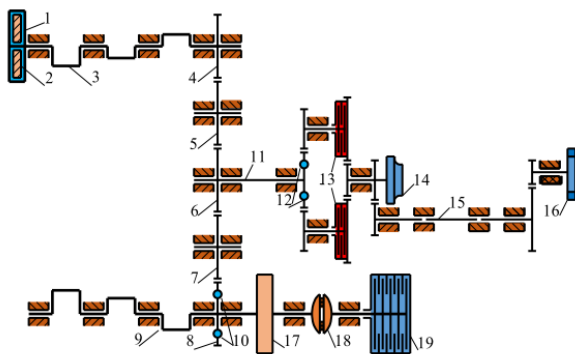


Рис. 1. Кінематична схема двигуна ЗТД із споживачем

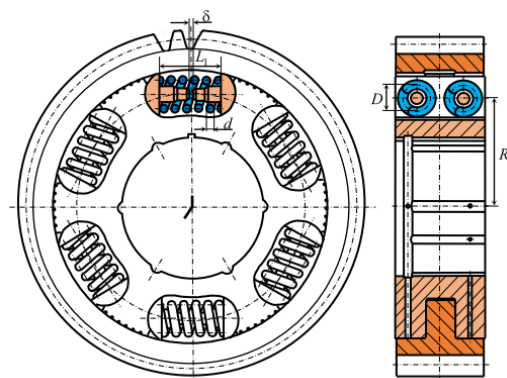


Рис. 2. Нелінійна пружна муфта

Доповідь присвячена результатам досліджень по розробки методу параметричного синтезу нелінійних моделей машинних агрегатів з ДВЗ.

1. Задача динамічного синтезу машинного агрегату сформульована як задача нелінійного програмування і полягає у визначенні параметрів, що забезпечують обрані динамічні критерії якості при урахуванні обмежень, що накладаються на параметри, які варіюються [1, 2].

2. Особливістю задач оптимізації в нелінійній динаміці машин є громіздкість і трудомісткість розв'язання задач аналізу, що пояснюється великою розмірністю досліджуваних систем, наявністю в них кількох нелінійностей, багатозначністю розв'язків тощо. В основу

ефективного алгоритму розв'язання задач аналізу покладено метод гармонічної лінеаризації з використанням нелінійних інтегральних рівнянь руху, записаних за допомогою імпульсно-частотних характеристик [2]. Головна перевага такого підходу для розв'язання задач синтезу та оптимізації в тому, що кількість рівнянь руху дорівнює числу нелінійностей і трудомісткість розв'язання задачі аналізу практично не залежить від числа степенів вільності моделі.

3. На рис. 3 зображені залежності амплітуд пружних моментів нелінійної муфти, ресор нагнітача та турбіни від частоти після оптимізації параметрів моделі. Максимальна амплітуда пружного моменту в муфті дорівнює 4992Нм і досягається при 318рад/с (1012об/хв), відповідно в ресорах нагнітача та турбіни маємо 2331Нм та 1369Нм при 278рад/с (885об/хв). До оптимізації максимальний пружний момент у головній передачі двигуна досягал майже 1кНм. На рис. 4 представлені фрагменти осцилограм з записами пружного моменту в нелінійній муфті і кутової швидкості маховика для різних обертів двигуна при їх зростанні.

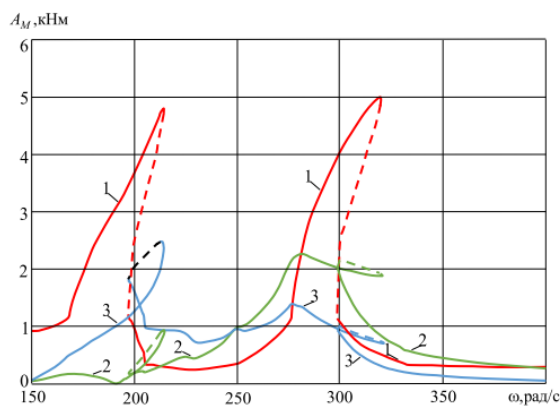


Рис. 3. Амплітуди моментів: 1 – нелінійна муфта; 2 – ресора нагнітача; 3 – ресора турбіни

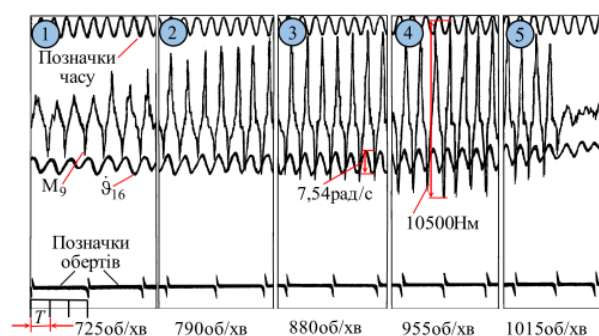


Рис. 4. Осцилограми пружного моменту в нелінійній муфті та кутової швидкості маховика

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Byrtus M. On modeling and vibration of gear drives influenced by nonlinear couplings / M. Byrtus, V. Zeman // Mechanism and Machine Theory.– 2023.– vol. 46.– № 3.– P. 375-397.
2. Шатохін В.М. Аналіз та параметричний синтез нелінійних силових передач машин: Монографія / В.М. Шатохін.– Харків: НТУ “ХПІ”, 2018.– 456 с.

**Шатохін Володимир Михайлович** – д.т.н., проф., проф. кафедри теоретичної і будівельної механіки, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, [shatokhinvlm@gmail.com](mailto:shatokhinvlm@gmail.com).

**Ярмак Микола Сергійович** – к.т.н., старший науковий спеціаліст кафедри “Інформаційні технології та системи колісних та гусеничних машин імені Олександра Морозова” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, [iarmak.n@ukr.net](mailto:iarmak.n@ukr.net).

#### *Parametric synthesis of nonlinear models of machine units*

##### **Abstract**

*A method for parametric synthesis of nonlinear models of machine units with an internal combustion engine has been created. An effective algorithm for solving analysis problems has been developed, using harmonic linearization for integral equations of motion recorded using pulse-frequency characteristics. A dynamic model of a unit with a 3TD diesel engine has been constructed. Optimal synthesis of the model parameters has been carried out. The results of computational studies have been compared with experimental data.*

**Keywords:** parametric synthesis, nonlinear model, machine unit, harmonic linearization, integral equation, impulse frequency response.

**Shatokhin Volodymyr M.** – Doct. of Sciences, Professor, Professor of the department of Theoretical and Structural mechanics, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, [shatokhinvlm@gmail.com](mailto:shatokhinvlm@gmail.com).

**Yarmak Nikola S.** – Ph.D., of Sciences, senior scientific specialist, of the department of “Information technologies and systems of wheeled and tracked vehicles named after Alexander Morozov” National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, [iarmak.n@ukr.net](mailto:iarmak.n@ukr.net).