

С.В. Мельничук

МОДЕЛЬНІ ВИПРОБОВУВАННЯ НЕЛІНІЙНОЇ РЕКУПЕРАТИВНОЇ СИСТЕМИ СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКІВ ГТД НА МЦВ

(Представлено доктором технічних наук, професором Грабаром І.Г.)

Для досягнення енергозбереження при випробовуваннях дисків роторів на МЦВ була розроблена схема стенда на основі кривошипно-кулісного механізму. Система стенда передбачає випробовування одночасно двох дисків у протифазі, що забезпечує режим рекуперації енергії. Дослідження функціональних характеристик даної системи проводились за допомогою модельних випробовувань. Результати досліджень показали, що при випробовуваннях дисків економія енергії складає порядку 70 % на кожному диску.

Дослідження дисків ГТД на малоциклову втому (МЦВ) досить енергомісткий процес. Надто висока вартість випробовувань часто є бар'єром при освоєнні модернізованої та нової техніки. Пошук нових енергозберігаючих технологій випробовувань є в значній мірі актуальною задачею сьогодення при значному зростанні цін на енергоносії.

Для створення рекуперативного енергозберігаючого режиму при випробовуваннях тіл обертання на МЦВ та скорочення часу випробовувань розглядалась можливість одночасного дослідження двох роторів у протифазному режимі навантаження. Попередній аналіз механізмів показав, що даний режим може задати кривошипно-кулісний механізм, який має змінне передавальне відношення протягом одного оберту кривошипа [1-3]:

$$i = \frac{m^2 + 1 + 2m \cos \varphi_1}{1 + m \cos \varphi_1}, \quad (1)$$

де m – характеристика механізму, рівна відношенню ексцентриситету між валами кривошипа та куліси e до плеча кривошипа r , φ – кут, що задає положення кривошипа.

На основі кривошипно-кулісного механізму 3 була розроблена схема випробовувального стенда для циклічних випробовувань одночасно двох дисків (рис. 1).

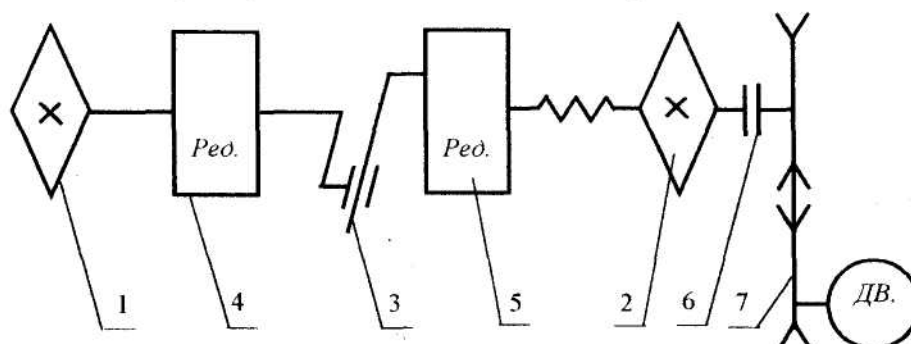


Рис. 1. Кінематична схема випробовувального стенда для одночасного дослідження двох роторів

За схемою диск 1 через редуктор-мультиплікатор 4 з постійним передавальним відношенням зв'язаний з валом кривошипа, диск 2 зв'язаний через постійний редуктор-мультиплікатор 5 з валом куліси. Завдяки тому, що вали кривошипа та куліси обертаються у протифазі, циклічно змінюючи амплітуду кутової швидкості, диски 1 та 2 будуть навантажуватись у рекуперативному режимі: енергія розігнаного до максимальних обертів диска буде передаватись другому диску, що знаходиться на стадії розгону. Після досягнення другим диском максимальних обертів процес рекуперації енергії буде проходити у зворотному напрямку. При цьому система вимагає додаткової енергії лише на компенсацію втрат, пов'язаних з тертям в опорах і кінематичних зв'язках та аеродинамічним опором.

Для компенсації втрат енергії у схему через центробіжну муфту 6 та пасову передачу 7 був включений двигун Д. Муфта 6 була відрегульована на кутову швидкість

$$\omega_M = K_{\text{втрат}} \omega_{2\text{max}}, \quad (2)$$

де $K_{\text{втрат}}$ – коефіцієнт енергетичних втрат, розрахований за рекомендованими коефіцієнтами тертя в механічних передачах [2]; $\omega_{2\text{max}}$ – максимальне задане значення кутової швидкості другого диска. При цьому, коли кутова швидкість диска 2 досягала значення ω_M , включалася муфта М2 і двигун Д2 підключався до системи. Дійшовши до максимальних обертів, диск 2 починає віддавати накопичену кінетичну енергію першому диску, зменшуючи свою кутову швидкість. При досяганні кутової швидкості ω_M муфта 6 виключається і двигун Д переходить в економічний режим холостого ходу.

Для проведення експериментальних досліджень системи випробувального стенда його робоча модель була підключена за блок-схемою (рис. 2) до апаратного комплексу, який включав:

- крейтову систему управління сигналами та LM-модулі;
- операційну плату АЦП серії L-1250;
- персональну ЕОМ.

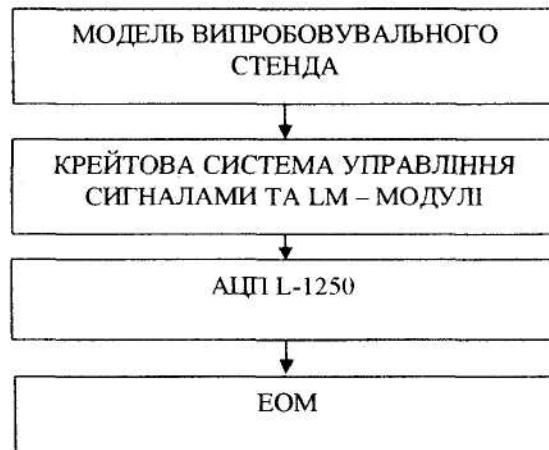


Рис. 2

Крейтова система збору та обробки даних [4] призначена для вводу та виводу за допомогою однієї плати АЦП серії L-1250 до 512 аналогових або 1024 цифрових каналів та для узгодження входу плати АЦП з будь-якими датчиками і для перетворення аналогових сигналів у цифрову інформацію для персональних ЕОМ.

Зняті та перетворені сигнали оброблювались за допомогою сучасного програмного продукту ПОС [5], який є інструментальним програмним забезпеченням для повного циклу робіт з вимірною інформацією. В комплексі з ПЕОМ ІВМ РС та апаратними засобами збору інформації, що описані вище, ПП ПОС представляє програмно-апаратний комплекс з контролю, моніторингу та діагностики машин та механізмів.

За допомогою такого програмно-апаратного комплексу знімалися дані проведених експериментів та проводився безпосередній візуальний аналіз роботи моделі випробувального стенда в реальному масштабі часу, що дозволило виробити подальшу методологію обробки результатів.

Перетворення числового вигляду інформації про роботу моделі стенда у графічний вигляд здійснювалось за допомогою програмного продукту Excel 97.

Щоб отримати характеристику зміни кутових швидкостей дисків протягом циклу навантаження, було необхідним безперервно в часі фіксувати їх значення. Для виконання цієї задачі була застосована електромагнітна схема (рис. 3).

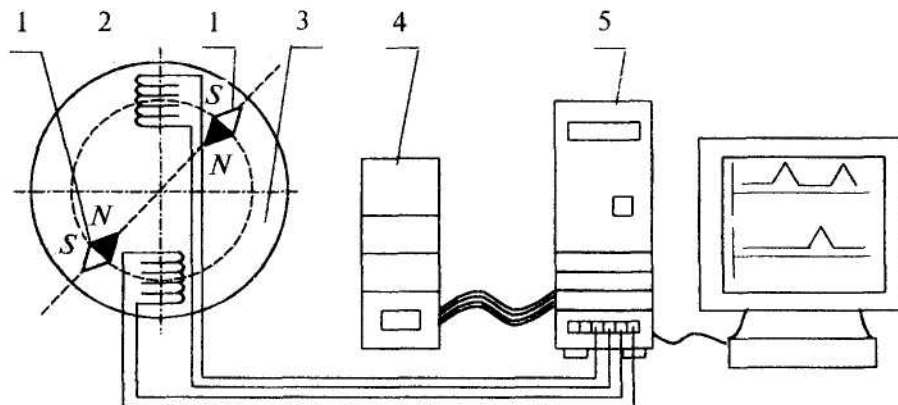


Рис. 3. Принципова схема вимірювання кутових швидкостей дисків

Принцип дії схеми вимірювання кутових швидкостей базується на явищі електромагнітної індукції. На диски 3, що були встановлені на моделі випробувального стенда, були по периферії симетрично на однаковому діаметрі наклеєні два постійних магніти 1. При такому положенні на диску магніти, обертаючись разом з ним, мають практично однакову лінійну швидкість

$$V_i = \omega_i d / 2, \tag{2}$$

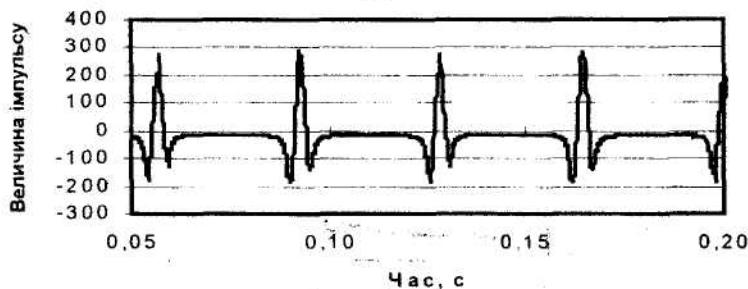
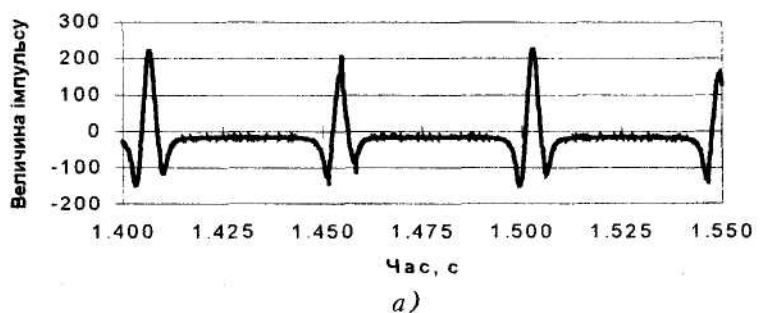
де V_i – лінійна швидкість магніту в поточний момент часу t_i ; ω_i – кутова швидкість диска в той самий момент часу; d – діаметр, на якому закріплені магніти.

Проходячи мимо котушки індуктивності 2 зі швидкістю V_i , магніт викликає в ній електрорушійну силу індукції ϵ_i , значення якої пропорційне лінійній швидкості магніту, а, у свою чергу, і кутовій швидкості диска:

$$\epsilon_i \sim V_i \sim \omega_i. \tag{3}$$

З котушок індуктивності 1 електромагнітний імпульс подавався на вхід крейтової системи обробки сигналів 4. Після цього підсилений сигнал фіксувався за допомогою комп'ютера 5 і представлявся у вигляді таблично заданої функції $Q = f(t)$, де Q – величина сигналу, t – час, та у вигляді динамічної діаграми сигналу на моніторі комп'ютера.

Фрагменти діаграми поведінки сигналу при кутових швидкостях диска, що відповідають 629 об/хв, 842,7 об/хв та 1278 об/хв, показані на рис. 4,а, 4,б, 4,в відповідно.



б)

Рис. 4

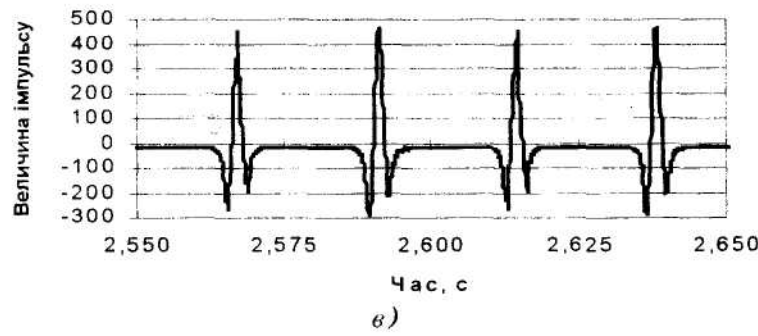


Рис. 4

Аналіз графіків сигналів та візуальне спостереження за сигналом у реальному режимі часу за допомогою динамічних діаграм дали два варіанти оцінки кутової швидкості дисків: за поточною величиною проміжку часу між сусідніми максимумами імпульсу та за величиною самого максимуму імпульсу. Обидві величини змінюються пропорційно кутовій швидкості диску.

В результаті обробки даних модельних випробовувань, знятих та оброблених за вищевказаною методикою, були отримані діаграми частот обертання дисків при різних характеристиках системи випробовувального стенда. На рис. 5 показана діаграма кутових швидкостей при однакових моментах інерції дисків ($J_1 = J_2 = 3,27 \times 10^{-4}$ кг/м²) та при характеристиці кривошипно-кулісного механізму $m = 0,4$.

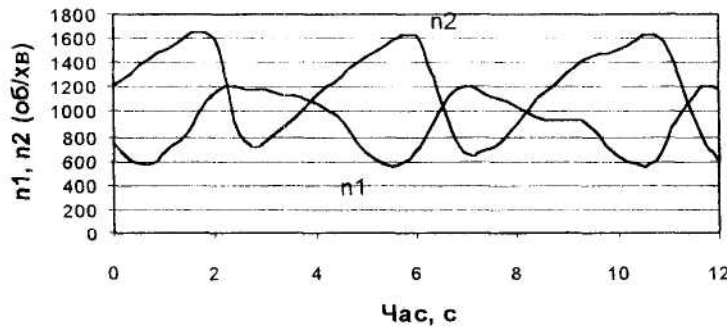


Рис. 5

Візуальний аналіз діаграми дає змогу отримати повну інформацію про кінетику циклу навантаження в даній системі випробовувального стенда.

Для з'ясування можливостей зміни кутових швидкостей обох дисків, тобто задавання необхідного циклу навантаження було проведено ряд експериментів, в яких керуючим параметром була характеристика кривошипно-кулісного механізму m . В результаті проведеного аналізу результатів отримані значення екстремумів кутових швидкостей при відповідних значеннях m , за якими були знайдені робочі діапазони зміни кутових швидкостей обох дисків (рис. 6):

$$R_1 = 0,8219e^{3,1253m}, \tag{4}$$

$$R_2 = 110,42m^4 - 28,75m^3 - 0,7292m^2 + 0,8821m + 1,265, \tag{5}$$

де R_1, R_2 , – діапазони регулювання кутових швидкостей першого, другого дисків у системі стенда (рис. 1). Коефіцієнти кореляції отриманих залежностей дорівнюють 0,9347 і 0,9997 для дисків 1 та 2 відповідно.

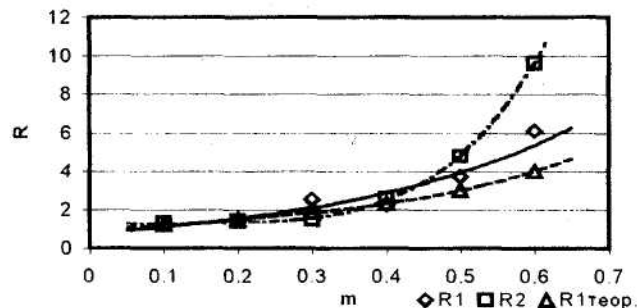


Рис. 6

На діаграмі (рис. 6) поміщений також графік діапазону кутової швидкості $R_{i\text{теор}}$ в системі з одним диском та без пружинного елемента, значення якого знайдені за формулою $R_{i\text{теор}} = \frac{1+m}{1-m}$. Аналіз діаграми діапазонів показує значне розширення можливостей регулювання кутових швидкостей у системі з двома ротаторами та з пружинним елементом.

В ході аналізу діаграм частот обертання дисків виявилось, що період T зміни кутових швидкостей дисків у даній системі випробовувального стенда не є постійною величиною. Значення T (рис. 7) з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9545$ підлягають лінійному закону:

$$T = 6,57m + 2,5897. \quad (6)$$

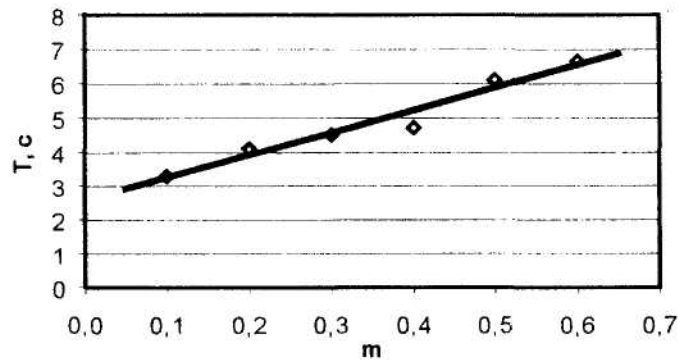


Рис. 7

Користуючись залежністю (6) та підбором передавального відношення редукторів 5 і 6 (рис. 1), можна задавати за допомогою даного випробовувального стенда будь-який період навантаження дисків при необхідному діапазоні регулювання кутових швидкостей.

Енергетичні дослідження системи стенда на основі кривошипно-кулісного механізму для одночасного випробовування двох ротаторів показали, що протягом циклу навантаження система вимагає відновлення порядку 30 % повної енергії. Це означає, що при випробовуваннях буде економитись до 70 % енергії.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Артоболовский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1975.
2. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1973.
3. Грабар И.Г. Термоактивационный анализ и точки бифуркации и пластического деформирования ОЦК. ТЦК металлов. Диссертация на соискание степени доктора технических наук. – Киев: КПИ, 1993.
4. Крейтова система управления сигналами и LM-модули. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: АОЗТ "L-card", 1995.
5. Пакет обработки сигналов. Руководство пользователя. – Мытищи: НПП "Мера", 1995.
6. Платы серии L-1250, L-305, N-1250. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: АОЗТ "L-card", 1995.

МЕЛЬНИЧУК Сергій Володимирович – асистент кафедри "Автомобілі та механіка технічних систем" Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- динаміка та міцність машин і механізмів;
- енергозбереження при випробовуваннях.