

МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ ЦИКЛІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ВИПРОБУВАЛЬНИХ МАШИН

Розроблено метод реалізації циклічного навантаження із використанням електромеханічної випробувальної установки для циклічних випробувань на основі поєднання цифрових, аналогових та програмних підходів. Розроблена адаптивна система керування, що дозволяє усунути перевантаження механічної та електричної частин установки FP-100.

Вступ

Стандартні випробувальні машини для досліджень механічних властивостей матеріалів не завжди забезпечують необхідні умови випробування, тому іноді необхідна їх модернізація [1-6].

Визначення похибки відпрацювання заданих законів навантаження, дотримання режимів випробувань в умовах втоми-повзучості є особливо актуальним для електромеханічних випробувальних машин, оскільки в їх механізмах є стрибкоподібні переходи від тертя спокою до тертя руху, флуктуації моменту навантаження.

При довготривалих випробуваннях на втому важливим є забезпечення стабільності закону навантаження, визначення та усунення можливих похибок для електромеханічних систем, де зношення вузлів тертя спричиняє зміну якості системи в цілому.

Аналіз досліджень, в яких започатковано розв'язок даної проблеми

Є ряд праць, у яких розглядаються проблеми забезпечення стабільного відпрацювання заданого закону навантаження на початковому етапі випробувань [1-5] та упродовж всього циклу експлуатації [2].

Дані питання є особливо актуальними для електромеханічних випробувальних машин із гвинтовими передачами, оскільки при відпрацюванні закону навантаження при зміні напрямку навантажування є втрати часу на вибірку зазору між гвинтом та гайкою, що призводить до зменшення чутливості системи автоматичного керування та неплавного відпрацювання закону навантаження зразка [2].

Хоча для передачі гвинт-гайка можливе усунування люфтів завдяки використанню безлюфтової кулькогвинтової передачі, появу основних люфтів у роз'ємних з'єднаннях та силових редукторах електромеханічної випробувальної установки при реверсуванні двигуна усунути ефективно неможливо. Крім того, оскільки при циклічному навантаженні змінюються геометричні параметри гвинтової передачі внаслідок її зношування, важливо забезпечити стабільне відпрацювання без динамічних перевантажень, усунути похибки, спричинені тривалою експлуатацією машини.

Існуючі на даний момент підходи до вирішення задачі метрологічного забезпечення автоматизованих систем контролю та керування не дають можливості отримати необхідні метрологічні характеристики об'єкта в режимі реального часу. Тому важко вибрати регулюючий вплив для зменшення похибки, однією з причин цього є складність оцінки метрологічних характеристик вимірювальних каналів безпосередньо на об'єкті, яке обумовлено неконтрольованістю зовнішніх впливів і неперервним режимом експлуатації вимірювальних каналів [7].

Дана робота присвячена розробці методу забезпечення стабільності відпрацювання заданої форми циклу навантаження без динамічних процесів, при тривалих випробуваннях, на основі запропонованої методики визначення початкових характеристик точності випробувальних машин, їх періодичного контролю, забезпечення під час експлуатації, а також метод ефективного зменшення (усунення) похибки відпрацювання заданого режиму навантаження.

Методика забезпечення відпрацювання заданої форми циклу без динамічних перевантажень

Модернізовано випробувальну машину FP-100 для забезпечення циклічного навантажування зразка за трикутним, трапецевидним, синусоподібним циклами навантаження, з коефіцієнтом асиметрії циклу навантаження $R = \frac{P_{min}}{P_{max}} = 0$, частотою навантаження від 0,01 до 0,1 Гц, режимом навантаження - м'яким ($\Delta P = P_{max} - P_{min} = const$), тут P_{min} та P_{max} - відповідно найменше та найбільше зусилля при циклічному навантаженні [5].

Завдання форми і параметрів сигналу навантаження, тривалості циклу t_c в цілому і окремих ділянок навантаження, зокрема часу витримки, здійснюється програмно, з комп'ютера типу IBM Pentium II, частота регулюється.

При значних швидкостях навантаження необхідно враховувати вплив динамічних процесів, пов'язаних із виникненням інерційних навантажень в системі.

Дане завдання було вирішено із використанням методів оптимізації, найбільш значимим з яких є метод оптимальної швидкодії технологічного процесу.

В системі (електричній та механічній частинах) в моменти переключень, пов'язаних із зміною напрямку, можуть відбуватись стрибкоподібні зміни швидкості двигуна, які розглядаються як вплив збурення значної величини, тобто даний перехідний процес буде супроводжуватись значними ударними навантаженнями, що приводять до зношення електричної та механічної частин.

Перехідні процеси в технологічних задачах поділяються за наступними режимами:

Пуск (початок); постійний режим (усталений); розгін (прискорення); гальмування (зменшення швидкості); реверс (рух у зворотньому напрямку); зупинка (перехід вихідного параметра у нульове значення).

Математичний опис перелічених режимів можна подати у вигляді трьохпараметричної функції [8]:

$$SH(t) = \frac{A+B}{2} + \frac{T(B-A)(t-T)}{T^2 + (t-T)^2}, \quad (1)$$

де $2T$ - проміжок часу перехідного процесу ($0 \leq t \leq 2T$), упродовж якого функція $SH(t)$ (1), початкове значення якої рівне A , монотонно досягає кінцевого значення B . Оскільки процеси, що розглядаються, є неперервні, то значення функції (параметр A) в новому режимі в початковий момент часу завжди співпадає із значенням функції (параметр B) в кінці попереднього циклу роботи установки.

Похідна функції (1) згідно [8]:

$$SH'(t) = T(B-A) \frac{T^2 - (t-T)^2}{[T^2 + (t-T)^2]^2} \quad (2)$$

дорівнює нулю при $t=0$ та $t=2T$, що забезпечує відсутність значних ударних навантажень в момент переключення.

Класична теорія удару передбачає наступні умови для здійснення динамічного процесу:

1. Дія ударних навантажень приводить до значної зміни швидкостей точок тіла протягом часу удару.
2. Тривалість перехідного процесу складає від кількох десятитисячних до мільйонних долей секунди.
3. Ударні або миттєві сили зростають до дуже значних величин.

Реалізований у модернізованій установці FP100 [5] метод формування управляючого впливу дозволяє усунути вище наведені умови виникнення ударних

навантажень, оскільки величину впливу перехідних процесів можна регулювати за допомогою системи, яка дозволяє задавати та змінювати швидкість навантаження випробувальної машини.

Граничне значення зміни швидкості навантаження $\left(\frac{dP}{dt}\right)_{crit}$, при якому можна не враховувати динамічну похибку системи, визначали відповідно до методики [6].

Характеристика запропонованих технічних рішень щодо усунення динамічних перевантажень та підвищення точності роботи системи

На рис.1 подана структурна схема забезпечення циклічного навантаження електромеханічної випробувальної установки без динамічних перевантажень, для реалізації якої використано блок регулювання циклічного навантаження 3, розроблений та виготовлений у лабораторії тріщиностійкості Тернопільського державного технічного університету.

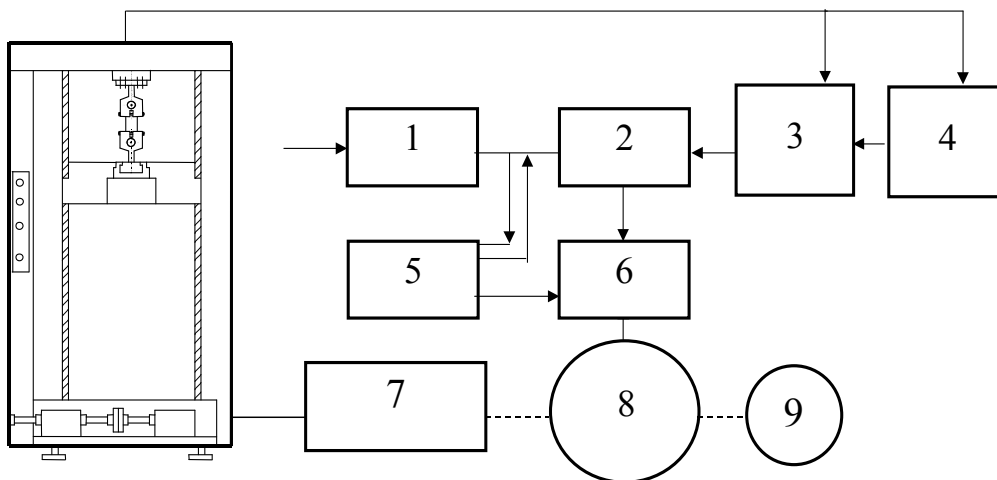


Рис. 1. Структурна схема забезпечення циклічного навантаження електромеханічної випробувальної установки без динамічних перевантажень:

- 1– система захисту тиристорного випрямляча; 2– тиристорний випрямляч; 3 – блок регулювання параметрів циклічного навантаження; 4 - комп'ютер типу IBM Pentium II; 5 – вузол обслуговування та керування; 6 - реверсивне керування контактами; 7 –чотирьохступеневий механізм переключення; 8 – двигун постійного струму; 9 – тахогенератор.

Форма управляючого сигналу задається програмно з комп'ютера 4, блок 3 забезпечує режим циклічного навантаження та регулювання і оптимізацію швидкості обертання приводу. Напруга з тиристорного випрямляча подається на ротор та статор двигуна 8, причому напруга ротора регулюється на основі завдання з блоку 3. При цьому задається та підтримується значення швидкості двигуна 8, яке відповідає оптимальному відпрацюванню заданого закону навантаження. Аналізуються значення швидкості обертання валу електродвигуна, отримане тахогенератором 9 та значення, отримане вимірювальним трансформатором струму. Зміна напрямку обертання виконується із допомогою реверсивного керування контактами 6. Система захисту тиристорного випрямляча 1 забезпечує захист індуктивного давача зусилля від накладання пікових навантажень.

Здійснюючи регулювання швидкості двигуна, можна підібрати такі її значення, які дозволяють максимально зменшити похибку відпрацювання.

Блок регулювання параметрів циклічного навантаження 3 обмежує максимальну швидкість обертання двигуна 8 приводу установки при дуже великій розузгодженості між сигналами завдання та відпрацювання.

Наростання швидкості навантаження здійснюється більш плавно, оскільки при жорсткому керуванні на обмотках двигуна будуть значні динамічні навантаження (стрибки напруги).

Блок оснащений регулятором, що пропорційно масштабує всю нелінійність характеристик слідкуючої схеми, й може використовуватись для вибору діапазону регулювання й адаптації блоку регулювання циклічного навантаження до характеру завдання.

Оскільки однією з найбільших проблем систем керування є нестабільність відпрацювання, тобто дрейфи метрологічних характеристик, викликані внутрішніми факторами [4] (зміна коефіцієнту тертя в передачах, зношення гайок траверси та ходових гвинтів) запропоновано метод управління машиною із передспотворенням форми сигналу навантаження (рис.2). Даний метод дозволяє більш точно адаптувати систему керування машини до вимог механічної частини. В залежності від величини похибки, можна коригувати форму відпрацьованого сигналу, регулюючи форму сигналу завдання.



Рис. 2 Схема сигналів завдання та відпрацювання із використанням передспотворення: 1 – задаючий сигнал із передспотворенням; 2 – сигнал відпрацювання.

Таким чином, із частковою зміною сигналу генератора, вводячи передспотворення, з'явилась можливість зменшити (компенсувати) інертність та люфти механічної системи машини. Крім того, запропоновано здійснювати розбивку ділянки циклу, сигналу завдання на періоди (рис.3), що дає можливість задавати форму сигналу кожної окремої ступені циклу, з періодом 10 с та з частотою дискретизації близько 10 Гц. Це дозволяє адаптувати сигнал завдання до механічної частини машини, з урахуванням зношення упродовж експлуатації рухомих вузлів установки.

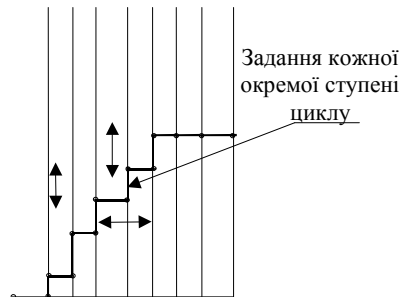


Рис. 3 Схема розбивки та коригування окремих ділянок сигналу завдання

Також у базову програму «17000» додано лічильник циклів, що дозволяє візуально спостерігати та записувати у протокол досліджень кількість відпрацьованих в ході експерименту циклів навантаження.

Лічильник циклів виставляється в нуль при конфігуруванні кожного нового експерименту, забезпечує скидання даних проміжних точок та прив'язку даних до кожного конкретного файлу. Здійснюється запис у файл номера кожної точки циклу із дискретністю 10 точ./с, що полегшує обробку даних експерименту, оскільки дані текстового файлу реєстрації можуть бути легко експортовані у EXCEL, ORIGIN або інший пакет.

Аналіз даних протоколів запису навантаження зразка

Проаналізуємо ділянку протоколу запису за трикутного циклу навантаження (рис. 4). Записували зміну величини керуючого сигналу, що поступає на електродвигун зі слідкуючої схеми. Виявлено, що в точках зміни напрямку обертання двигуна відбувається стрибок напруги. На ділянках плавного наростання сигналу напруга залишається незмінною, що свідчить про наростання навантаження із певною сталою швидкістю.

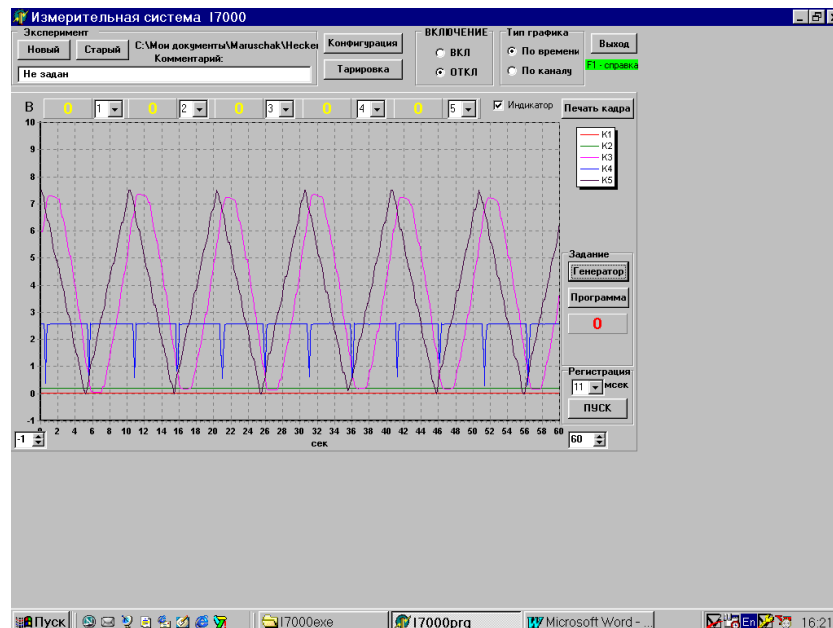


Рис. 4 Протокол ділянки запису циклічного навантаження в режимі осцилографа за пилоподібною формою циклу
 1 – сигнал завдання; 2 – сигнал відпрацювання;
 3 – сигнал напруги з слідкуючої схеми; 4 – сигнали з тензодавачів

Максимальна похибка від квантування неперервного сигналу буде в місці, де похідна даного сигналу від часу рівна нулю. Це точка зміни полярності сигналу.

Максимальна фазова помилка сигналу при переході через нуль, обумовлена дискретним характером АЦП, буде $\Delta T \leq \frac{T}{2}$, де T – період дискретизації сигналу при заданому алгоритмі переходу через нуль, в нашому випадку дорівнює 0,1с;

Відносно максимальну похибку роботи АЦП визначали за формулою [9]:

$$\delta_{\max} = \pi f T, \quad (3)$$

де f – частота навантаження, Гц;

Для даного випадку: $\delta_{\max} = \pi \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 0,0314$ або 3,14%.

Використання в системі керування АЦП із більшою частотою дискретизації було б недоцільне, оскільки механічна частина установки має величину інерційності на порядок вищу, ніж електронна частина, саме це й дозволяє уникнути автоколивань при навантажуванні, але дає запізнення відпрацювання відносно завдання. Величина даного запізнення може регулюватись.

Для покращення системи керування та забезпечення достовірності результатів значна увага приділялась вдосконаленню механічної частини машини.

Одним з завдань роботи була мінімізація люфтів у механічній системі машини, тому для проведення випробувань розроблені захоплюючі пристрої, в яких конструктивно виключені з'єднання з люфтами. Розроблена програма "Захват" з використанням пакету MathCad 2001 Professional. Програма "Захват" дозволяє виявити напруження, що створюються в перерізі зразка під час затиску, та оптимізувати параметри затиску зразка у захоплювачі.

Висновки

Розроблено метод забезпечення циклічного навантаження із використанням електромеханічної випробувальної установки .

Спроековано та реалізовано адаптивну систему керування, що усуває динамічні перевантаження електричної та механічної частин установки FP – 100 під час циклічного навантаження.

Запропоновано методику забезпечення стабільних метрологічних характеристик системи керування модернізованої випробувальної установки FP100 при довготривалих циклічних випробуваннях.

Для забезпечення стабільності та зменшення похибки відпрацювання запропоновано використовувати сигнал завдання із різними видами передспотворення на основі розробленого програмного генератора.

In article is developed methodology of increase of the period of operation of the electromechanical test machine for cyclic loading on the basis of the complex approach c by use analog, digital and program methods.

Designed and realized adaptive control system , that excludes dynamic shock overloads of the electrical and mechanical parts of machine FP - 100.

Робота виконана за рахунок бюджетних коштів Державного фонду фундаментальних досліджень, номер державної реєстрації (0101U006829).

Література

1. Прочность материалов и элементов конструкций в экстремальных условиях / Под. общ. ред. Г.С.Писаренко.- Киев: Наукова думка , 1980. – Т.1. – 535 с.
2. А.И.Петренко. К методике механических испытаний материалов с винтовыми нагружающими устройствами // Проблемы прочности. - 2001.- №2. - С. 142-146.
3. Ф.Ф.Гигиняк, О.К.Шкодзинский, Р.К.Федоров, М.В.Сторчак, В.В.Башта. Автоматизированный стенд для испытаний конструкционных материалов в условиях сложного напряженного состояния // Проблемы прочности. - 1991.- №10.- С. 70-74.
4. А.А.Богомолов, В.А.Борисенко. Установка для испытания композиционных материалов на кручение при температурах до 3300 К // Проблемы прочности. - 1992. - №1. - С. 87-88.
5. П.В.Ясній, П.О.Марущак. Автоматизований електромеханічний стенд для випробувань матеріалів в умовах втоми та втоми-повзучості // Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. - №3. - Т. 8.- 2003. - С. 5-11.
6. В.И.Литвак. Вопросы автоматизации метрологического обеспечения машин для прочностных испытаний // Проблемы прочности. - 1992. - №6, С. 51-58.
7. В.Н.Балаев. Особенности метрологического обеспечения автоматизированных систем контроля и управления // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - 1998.- Выпуск 12. - С. 89-91.
8. В.Ф.Шумилов Оценка динамичности нагружения инженерных систем // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - Т. 65. - 1999.- №4. - С. 52-54.
9. В.Т.Трощенко, В.С.Каленчук, Л.А.Хамаза, В.Г.Гришко. Методика исследования усталостного повреждения металлов с автоматической обработкой информации на ЭВМ // Проблемы прочности. - № 10, 1972. - С. 26-32.

Одержано 14.01.2004 р.