УДК 620.178.16 : 621.892
А. В. Захарченко, старший викладач
Університет «Україна», Україна

ОСОБЛИВОСТІ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАСТИЛЬНОЇ ДІЇ ТРАНСМІСІЙНИХ ОЛИВ І СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ

A. V. Zakharchenko, senior lecturer

FEATURES STATISTICAL ANALYSIS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE LUBRICATION ACTION OF TRANSMISSION OILS AND CONDITION THE SURFACE LAYERS OF FRICTION UNITS

Більшість визначальних факторів стану робочої поверхні зразка та їх поєднання мають випадковий характер, і сам процес формування робочої поверхні зразка також можна вважати випадковим. Тому параметри робочої поверхні розглядають як випадкові величини і при їх оцінці використовують методи математичної статистики. Найбільш важливі застосування теорії лінійного прогнозу, що пов'язані з прогнозуванням стаціонарних випадкових процесів. Процес формування шорсткості відноситься до стаціонарних випадкових процесів. Стаціонарність – важлива властивість, що дозволяє в якості початку відліку прийняти будь-який момент часу. Стосовно до шорсткості це означає, що вимірювання висот нерівностей можна починати у будь-якій точці.

Статистично основними умовами стаціонарності випадкового процесу є: 1) незалежність його основних імовірнісних характеристик від аргументу (математичне сподівання $m(x) = const$, дисперсія $D(x) = const$); 2) згасання нормованої кореляційної функції $\rho(x) = R_x(\tau) / D \rightarrow 0$ (тут $R_x(\tau)$ – кореляційна функція).

Метод багатофакторного дисперсійного аналізу є одним з якісних методів активного експерименту. Він дозволяє дати порівняльну оцінку силі впливу одного або декількох вхідних якісних факторів мінливості на вихід об'єкта. Однак цей метод можна застосовувати лише для аналізу даних спеціально організованого активного експерименту. У відповідності з методикою проведення активних експериментів число дослідів при вимірюванні кожного з фіксованих параметрів визначалося залежно від статистичної достовірності результатів представницької (репрезентативної) вибірки на рівні $S = 0,95$ при помилці середнього $\leq 0,1$. Перевірка однорідності для дисперсії функції відгуку дубльованих дослідів здійснювалася за допомогою критерію: 1) Кохрена – при рівному числі повторів кожного експерименту; 2) Фішера або Бартлетта – при різних кількостях повторів кожного експерименту. Необхідно додати, що при рівномірному дублюванні дослідів на практиці можна використовувати еквівалентну схему обробки результатів, що враховує усереднення безпосередньо.

Спектральна щільність являє собою щільність розподілу дисперсій параметра профілю по частотах безперервного спектру. Спектром є функція, що описує розподіл амплітуд по різних частотах. Спектр показує, якого роду коливання переважають у даному процесі; спектральна щільність $S_x(f)$ стаціонарного випадкового процесу (тут f – частота процесу) виражається через кореляційну функцію $R_x(\tau)$ випадкового процесу (тут τ – довільний інтервал часу) за допомогою пари перетворень Фур'є (теорема Вінера-Хінчина): $S_x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_\chi(\tau) \times e^{-j2\pi f\tau} \times d\tau$; $R_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_\chi(f) \times e^{j2\pi f\tau} \times df$.

Спряження зразка і контртіла характеризується взаємною спектральною щільністю стаціонарно пов'язаних випадкових процесів X(t) і Y(t) у вигляді перетворення Фур'є від взаємної кореляційної функції цих процесів: $S_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{\chi\gamma}(\tau) \times e^{-j2\pi f\tau} \times d\tau$.

Розробленість методів перетворення Фур'є і можливість відносно простої інтерпретації результатів, що одержуються, зумовили широке поширення спектрального аналізу випадкових тимчасових рядів і динамічних систем як непараметричного методу ідентифікації. При якому модель динамічної системи задається ваговою функцією, передатною функцією, розкладеннями в різні ряди (Ерміта, Вольтера, Фур'є і т. д.).

Застосування параметричних методів найбільш доцільно при невеликих обсягах вибірок (спостережень), коли дохід, що отримується в результаті правильного вкладу у параметричну модель, досить високий. Якщо число спостережень велике (близько 1000), то застосування параметричних моделей вимагає введення великої кількості параметрів для адекватного опису часового ряду. Інтерпретація фізичного сенсу таких параметрів практично неможлива. В умовах, коли є велике число спостережень (типово для фрикційних систем) і аналіз даних необхідний для вивчення характеру і джерел їх статистичної мінливості, доцільно використання непараметричних методів.

Найбільш повно відображають картину напруженого стану поверхневих шарів (ПШ), зміни деформаційних і міцнісних властивостей обраної траси сканування, їх однорідність, такі статистичні критерії, як спектральна щільність $S_x(f)$ і дисперсія $D(x)$ випадкового процесу тертя індентора по поверхні, що досліджується.

Саме у функції спектральної щільності $S_x(f)$ – енергетичному спектрі, який показує розподіл енергії процесу по частоті, зв'язок між досліджуваними параметрами на різних інтервалах, міститься найбільш повна інформація по структурному стані ПШ.

У зв'язку з тим, що алмазний індентор рухається з постійною швидкістю, то аргументу функції $S_x(f)$ можна надати сенс протяжності середньостатистичних ділянок ПШ вздовж траси сканування, якщо скористатися формулою: $l = U / 2f$,
де: U – швидкість відносного переміщення дослідного зразка і індентора; f – частота гармонійних складових у спектрі коливань сили контактного деформування.

В результаті порівняння експериментальних форм графіків $S_x(f)$ з типовими, представляється можливим охарактеризувати ПШ з позицій їх однорідності і зносостійкості.

Дисперсія – величина завжди позитивна і розмірна. Її розмірність дорівнює квадрату розмірності даної випадкової величини. Процес формування шорсткості робочої поверхні володіє властивістю ергодичності – математичним очікуванням, отриманим по одній реалізації, що дорівнює математичному очікуванню, отриманому по безлічі реалізацій. При вирішенні практичних задач це дозволяє визначати статистичні характеристики процесу на одній ділянці спостережень, тобто по одній серії вимірювань. Для стаціонарного ергодичного випадкового процесу вираження дисперсії приймає вигляд: $D_x = M\{[x(t)]^2 - m(x)^2\} = \overline{x}^2(t) - [\overline{x}(t)]^2$,
де: m(x) – математичне сподівання випадкової функції; x(t) – тимчасове середнє випадкової функції, що характеризується постійним числом.

Для трибоспектрального методу мікромеханічних випробувань дисперсія D нормальної (тангенціальної) складової сил контактного деформування характеризує середню потужність, яка витрачена на подолання фрагментів різної міцності щодо їх середньої міцності, тобто розкид міцнісних і деформаційних властивостей обраної траси сканування. Ця величина пов'язана з однорідністю властивостей поверхні вздовж траси сканування і чисельно визначається як площа під кривою спектральної щільності $S_x(f)$.

Для збору і статистичної обробки експериментальних даних використовувалися статистичні методи, що реалізовані універсальними системами комп'ютерної математики. Системи Mathematica (і особливо новітня Mathematica 10) мають великі можливості для аналітичного проведення перетворень Фур'є. Цікаво відзначити, що використана нами версія системи Mathematica 7 здатна вирішувати деякі завдання, які не вирішує конкуруюча система Maple. Втім, серйозно ставитися до подібних аргументів про переваги тих чи інших систем не варто.