

PRINCIPII METODOLOGICE DE CERCETARE A TRIBOSISTEMULUI CU ALUNECARE LA MIȘCĂRI CICLICE DE TIP PISTON-CILINDRU

A. POȘTARU¹, V. CEBAN¹, GH. POȘTARU¹, D. CROITORU²

¹ Universitatea Tehnică a Moldovei

² Institutul de Fizica Aplicata

Abstract: The paper addresses the methodological issues of research regarding the behaviour of the tribosystems with cyclic slip in terms of contact dynamics processes. Considering the fact that in the contact occur simultaneously processes of different origin (mechanical, thermal, hydrodynamic, electrical, chemical) that affect each other, their dynamics can only be equated with the energy. As dynamic variables one can use the local power dissipation of energy on the race course, the energy dissipated in a cycle and the temperature in the contact area. These variables are registered in the experiment in form of time series, which, processed by nonlinear dynamics methods allow the assessment and forecasting of the developmental process in the tribosystem.

Key words: Tribosistem, Stare, Dinamic, Disipare, Evoluție.

INTRODUCERE

Tribosistemele cu mișcări ciclice de alunecare de tip piston-cilindru sunt părți constructiv-funcționale principale ale unor sisteme mecanice cum sunt motoarele cu ardere internă, mașini și dispozitive hidraulice, compresoare. Particularitățile constructive ale pieselor și a formei suprafețelor de contact, mișcarea lor relativă și modul de încărcare, precum și poziția în ansamblul mecanismului (mașinii) creează condiții dificile de funcționare a tribosistemului (uneori extreme) care conduc la evoluții dinamice a proceselor de contact. Complexitatea și diversitatea condițiilor de lucru impun abordări atât fundamentale cât și fenomenologice de cercetare a dinamicii proceselor de contact a tribosistemului.

ASPECTE METODICE ȘI REZULTATE EXPERIMENTALE

Cinematica mișcării relative, caracteristicile ciclului (implicit frecvența ciclică și durata de realizare locală a contactului), aspectele constructive ale triboelementelor (forma, dimensiunile și starea microgeometrică a suprafețelor de contact), mediul de lucru și de interpunere, în complex cu caracteristicile și proprietățile materialelor triboelementelor influențează direct interacțiunile în zona contactului și proprietățile tribolegăturii dintre suprafețele de frecare [1]. Sub influența parametrilor de comandă a tribosistemului (forța normală exterioară F_n și frecvența ciclică de alunecare n_c a contactului) procesele de contact evoluționează într-un domeniu cu comportament neliniar, în care se intensifică regimul dinamic [4], provocând oscilații aperiodice locale a triboelementului mobil. În cazul pierderii stabilității, oscilațiile pot căpăta un caracter haotic [5]. Pe perioade mari de timp perturbațiile se pot extinde și destabiliza sistemul la nivel global. În astfel de situații modelul dinamic neliniar al sistemului mecanic perturbat prin intermediul legăturii tribologice de tribosistem conform [2] are următoarea formă:

$$m \frac{d^2 X}{dt^2} + h \frac{dX}{dt} + cX = F(X, \frac{dX}{dt}, V, p) + U \quad (1)$$

unde: $X = \{X_1, X_2\}^T$ - vectorul coordonatelor locale curente ale triboelementului mobil în zona mediului de interpunere dintre triboelemente;

$F(X, \frac{dX}{dt}, V, p) = \{F_1(X, \frac{dX}{dt}, V, p), F_2(X, \frac{dX}{dt}, V, p)\}^T$ - vectorul funcțiilor forțelor interne a legăturii tribologice în contact ($F_1 = F_f(x)$) - reacția pe direcția tangențială; F_2 - reacția pe direcția normală a contactului);

$p = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ - componentele neliniare ale parametrilor vectorului funcției interacțiunilor;

m, h, c - corespunzător, matricele maselor generalizate, a coeficienților de disipare și de rigiditate ale elementelor sistemului;

U - vectorul sarcinilor exterioare de încărcare a contactului;

$V = V_{(x)}$ - viteza de alunecare a contactului pe cursele ciclului.

Comportamentul în funcționare deosebit de complicat al tribosistemului cu alunecare ciclică impune extinderea modelului dinamic. Situația se complică esențial în cazul realizării diferitor regimuri de frecare-ungere atât la nivel local (pe interiorul ciclului), cât și global. Aceasta practic reduce posibilitățile unor cercetări prin metode pur analitice (în baza modelelor dinamice), din care cauză se recurge la utilizarea metodelor experimentale. La tribomodelare se impune îndeplinirea următoarelor condiții: a - respectarea cinematicii deplasării contactului pe cursă; b - respectarea particularităților constructive concrete ale triboelementelor; c - respectarea condițiilor de încărcare a contactului; d - similitudinea proceselor de contact; e - stabilirea variabilelor și parametrilor sistemului pentru monitorizare în timp real, care în mod adecvat determină stările prin care trece tribosistemul în procesul de evoluție; f - metodele de prelucrare, analiză, prezentare și interpretare a datelor experimentale reflectă evoluția proceselor tribologice ale tribosistemului.

Pe perioada executării experimentului, înregistrarea variabilelor dinamice se face sub formă de serii temporale pentru diferite valori ale parametrilor de comandă. Semnificative pentru tribosistem sunt următoarele variabile: x - deplasarea contactului pe cursă în limitele ciclului; $v(x)$ - viteza relativă de alunecare a contactului pe cursă; $F_f(x)$ - forța de frecare locală; grosimea $h(x)$ a stratului de lubrifianț (în cazul regimului fluid de ungere); temperatura locală $T(x)$ în zona contactului.

O secvență tipică a experimentului în care se ilustrează caracterul dinamic ale proceselor de contact este prezentată în fig.1, unde: **a** - oscilogramele variației în limitele ciclului a forței de frecare (1) și a grosimii filmului de lubrifianț (2) la variația temperaturii în zona contactului; **b** - variația temperaturii în zona contactului pentru diferite sarcini de încărcare; **c** - oscilogramele forțelor de frecare (1) și a grosimii filmului de lubrifianț (2) pentru regimuri de stabilitate în funcționare a tribosistemului la diferite sarcini de încărcare.

Pentru prelucrare și interpretare, datele experimentale înregistrate sub formă de serii temporale se transferă în spațiile stărilor construite în coordonatele vectorului variabilelor: forța de frecare $F_f(x)$ - deplasarea contactului pe cursă x și viteza relativă de alunecare $v(x)$ (fig.2, 3).

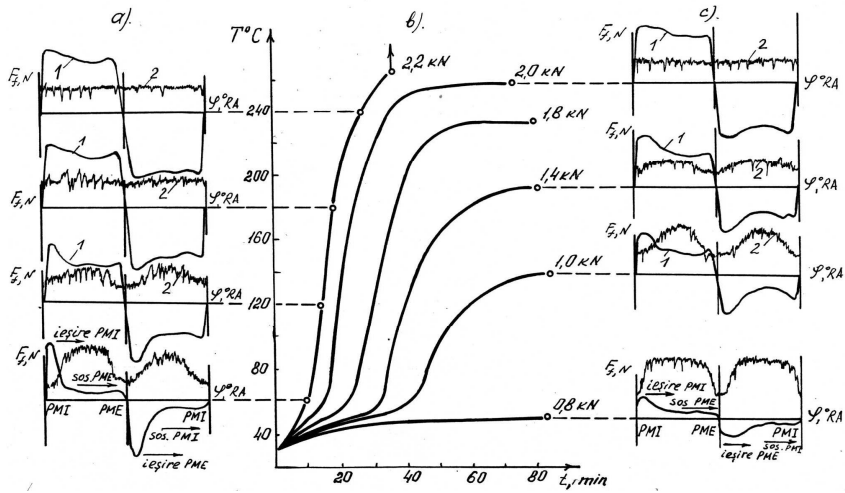


Fig. 1. Secvență experimentală tipică a tribosistemului cu alunecări ciclice de translație

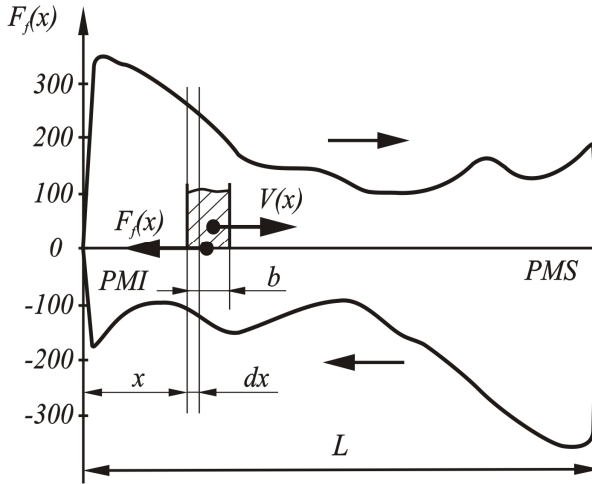


Fig. 2. Spațiul stărilor în coordonatele: forța de frecare; - deplasarea contactului pe cursă

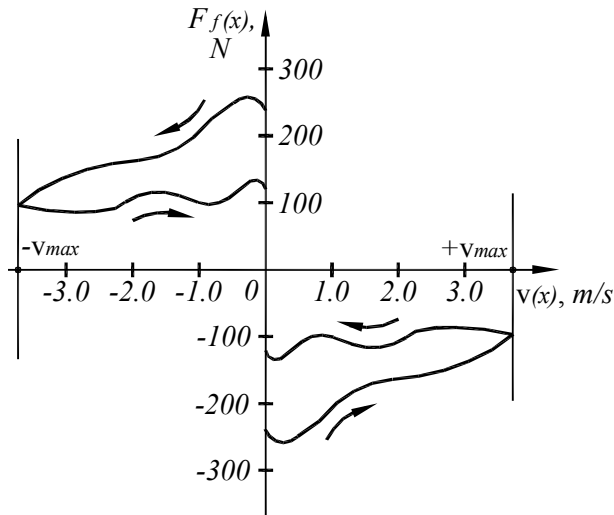


Fig. 3. Spațiul stărilor: forța de frecare-viteza de alunecare relativă.

Starea energetică locală definită de lucrul elementar al forțelor de frecare $\Delta A_f(x)$ și puterea locală $P(x)$ disipată de forțele de frecare la deplasarea contactului în zona punctului cu coordonata x se determină în rezultatul prelucrării datelor din spațiile stărilor conform relațiilor 2 și 3.

$$\Delta A_{f(x)} = \int_{x-b/2}^{x+b/2} F_f(x) dx \quad (2)$$

$$P(x) = F_f(x) \times v(x) \quad (3)$$

unde: b - lățimea contactului.

Topologia traiectoriilor forței de frecare în spațiile stărilor, în complex cu parametrii energetici de disipare (lucrul și puterea forțelor de frecare), reprezintă sursa informativă primară a comportamentului dinamic al sistemului în limitele ciclului.

În rezultatul procesului de disipare pe perioade mari de timp în elementele sistemului se produc acumulări interne de energie, distribuinduse prin difuzie și transfer din spațiile locale ale contactului în spațiile de nivel global. La atingerea unor valori critice, de nivelul pragurilor energetice ale materialelor, se produc destabilizări atât locale (de frecvență medie și înaltă), cât și globale (de frecvență joasă). Anume, starea energetică globală determină direcția de evoluție a stratului de interpunere, prin intermediul căruia se realizează legătura tribologică dintre elemente. De starea și proprietățile legăturii tribologice depinde stabilitatea și echilibrul dinamic al proceselor de contact. Din acest motiv, deosebit de importantă devine problema de studiere a dinamicii stratului de interpunere și a legăturii tribologice în complexul proceselor de contact sub influența parametrilor sistemului. Problema impune formalizarea sistemului în vectorul variabilelor dinamice și a parametrilor caracteristici nivelului global. Pentru sisteme cu mișcare ciclică starea globală se generalizează la nivelul ciclului de lucru unde se încadrează tot spectrul de stări ai contactului. Vectorul variabilelor dinamice globale pe deplin determină direcția procesului de evoluție.

Pentru aprecierea stării energetice în calitate de variabilă dinamică globală se acceptă „energia mecanică disipată pe un ciclu”- echivalent al lucrului la învingerea forțelor de frecare în limitele unui ciclu $A_{f(c)}$, care se determină prin integrarea forțelor locale de frecare $F_f(x)$ la deplasarea contactului pe cursele L (fig.2) conform relației 4.

$$A_{f(c)} = \int_0^{2L} F_f(x) dx \quad (4)$$

Energia disipată contribuie la: modificarea stării termodinamice a sistemului, modificări structurale a stratului de interpunere și uzura suprafețelor de contact ale triboelementelor. Un rol important asupra proceselor de contact îl are temperatura. Valoarea medie T a temperaturii în zona contactului se determină conform relației 5.

$$T = \frac{1}{2L} \int_0^{2L} T(x) dx \quad (5)$$

Fluctuațiile energiei pe unele segmente ale traiectoriei de evoluție conduce la fluctuații esențiale corelative ale temperaturii în zona contactului (fig.4). Din această cauză temperatura poate fi cu succes utilizată în calitate de variabilă dinamică

complementară a stării și direcției evoluției contactului. Problemele de apreciere și prognozare a comportamentului tribosistemului în procesul de evoluție, de reconstruire sau precizare a modelului dinamic al sistemului mecanic la interacțiunea cu tribosistemul se soluționează prin stabilirea metodei adecvate de prelucrare a seriilor temporale ale variabilelor dinamice. Actualmente, aparatul metodologic de prelucrare și analiză al seriilor temporale a atins o amplă dezvoltare atât la nivel fundamental cât și aplicativ, care cu succes se utilizează în soluționarea problemelor de dinamică neliniară [2, 3]. Aceste metode creează o baza metodologică nouă de cercetare a comportamentului tribosistemelor din aspect dinamic. Principial, prin această metodologie se caută punctele și condițiile de „echilibru dinamic” ale sistemului. Proprietățile legăturilor tribologice, influențate de procesele neliniare de contact, depind de starea (stabilă sau instabilă) a acestor puncte. În condițiile realizării unei stabilități asimptotice pe perioade relativ îndelungate de timp, în spațiul stărilor pot apărea atractori simpli de tip punct-focar stabil, linie-ciclu limită, varietate sau mulțime mai complicată cu structură de fractal-ator straniu (haotic). Atractorul este o mulțime de stări invariante la dinamica sistemului. Cu dimensiunea atractorului se apreciază structura modelului dinamic a sistemului în cazul realizării stabilității asimptotice concrete. Sistemul dinamic poate avea o mulțime de atractori. Părăsirea atractorului curent se produce prin punctele de bifurcare. În aceste puncte sistemul își schimbă structura la nivel calitativ. Evoluția ulterioară spre stabilitate se va face spre un alt atractor, distinct de cel precedent.

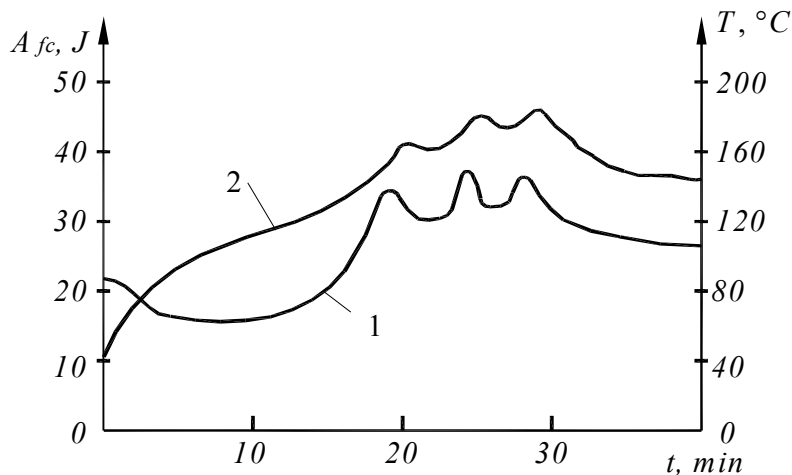


Fig. 4. Curbele de corelare în timp: 1-a lucrului forțelor de frecare A_{fc} ; 2- a temperaturii medii T în zona contactului.

Cercetarea atractoarelor permite aprecierea comportamentului, complexității și structurii sistemului pe traiectoria de evoluție. În cazul pierderii stabilității, la părăsirea domeniului de atracție, traiectoria evoluează spre stare catastrofală. Cercetarea comportamentului sistemului în astfel de situații permite analiza, prognozarea și prevenirea stărilor de gripare în evoluția tribosistemelor.

CONCLUZII

Tribosistemele cu alunecări ciclice reprezintă sisteme dinamice disipative

deschise, pentru care decurgerea proceselor de contact se descrie cu ajutorul sistemului de ecuații diferențiale neliniare. Procesele de contact deosebit de complicate practic exclude stabilirea unui model dinamic general al sistemului. Dinamica evoluției acestui tip de tribosisteme poate fi apreciată cu ajutorul variabilelor dinamice energetice determinate în rezultatul prelucrării datelor experimentale înregistrate sub formă de serii temporale.

BIBLIOGRAFIE

1. Ajder, V., Crudu, I., Poștaru, Gh., Tomescu, L. Tribomodeling the contact between piston-ring and cilinder in internal combustion engines. Acta tribologica, V. 2 nr. 1/1994, University of Suceava, Romania, p. 73-77.

2. Заковоротный, В.Л., Нгуен Донг Ань, Фам Динь Тунг. Устойчивость эволюционной траектории механической системы, взаимодействующей с трибосредой. Вестник ДГТУ, Т.7, №4(35), 2007.

3. Малинецкий, Г.Г., Потапов, А.Б.. Современные проблемы нелинейной динамики. М.: Едиториал УРСС, 2002.

4. Мусалимов, В.М., Валетов, В.А. Динамика фрикционного взаимодействия. СПб: СПбГУ ИТМО, (2006), 191 с.

5. Шустер, Г. Детерминированный хаос. Введение. М.: Мир. 1988, 240 с.