

ASPECTE DINAMICE ÎN COMPORTAMENTUL TRIBOSISTEMULUI CU ALUNECARE LA MIȘCĂRI CICLICE DE TIP PISTON-CILINDRU

**Poștaru Andrei - doctorand, Poștaru Gheorghe - dr., conf.,
Stoicev Petru - dr. hab., prof., Ceban Victor - dr., conf.**
(Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova)

În lucrare se abordează unele aspecte metodologice de cercetare a comportamentului tribosistemelor cu alunecare la mișcare ciclică, din punctul de vedere al dinamicii proceselor în contact. Efectul dinamic se manifestă prin evoluții cu caracter fluctuant ale variabilelor dinamice, succedate de intervale cu evoluție stabilă. Caracterul fluctuant al proceselor în contact impune condiții corespunzătoare la alegerea sistemelor de măsurare, achiziție și prelucrare a semnalelor variabilelor dinamice ale tribosistemului. Pentru înregistrarea semnalului fluctuațiilor forțelor de interacțiune în contact se utilizează oscilatorul elastic. Determinarea comportamentului dinamic al tribosistemului se face în rezultatul prelucrării seriilor temporale ale semnalelor variabilelor dinamice.

CONSIDERAȚII GENERALE

Capacitatea de funcționare și fiabilitatea unor tipuri de mașini și mecanisme, cum sunt motoarele cu ardere internă, mașinile și dispozitivele hidraulice, compresoarele, este, în mare măsură, determinată de funcționalitatea tribosistemului piston-cilindru. Având forme constructive specifice, tribosistemul piston-cilindru îndeplinește concomitent mai multe funcții (etanșarea spațiului de lucru al cilindrului; transmiterea sarcinii utile; transport de materiale; ghidarea mișcării ș. A.), din care rezultă o diversitate și o complexitate a condițiilor de lucru. Modul de încărcare, cinematica mișcării relative a suprafețelor în contact și caracteristicile ciclului, construcția triboelementelor, forma, dimensiunile și starea suprafețelor de contact constituie factorii determinanți ai evoluției tribosistemului. Sub influența acestor factori, în zona contactului, se realizează procese dinamice care evoluează pe sensuri opuse—destabilizatoare (fluctuante) și stabilizatoare (relaxante). Aceasta scoate în evidență caracterul neunivoc al evoluției, care impune cerințe deosebite pentru stabilitatea proprietăților tribologice ale materialelor, dinamicii proceselor în contact și dinamicii sistemului mecanic în ansamblu. În funcție de modul de reacționare și de capacitatea de adaptare la acțiunea parametrilor de comandă, materialele triboelementelor „în cuplu” pot fi convențional grupate în două clase, „tribostabile” și „triboactive”, cu proprietăți

tribologice și manifestări distincte în comportamentul tribosistemului [1, 2].

ASPECTE METODICE DE CERCETARE ȘI REZULTATE EXPERIMENTALE

În condițiile actuale, când se diversifică compoziția, structura și originea tribomaterialelor din noile generații, obținute prin procedee tehnologice moderne, problemele de apreciere a proprietăților tribogice devin de o importanță deosebită. Comportamentul dinamic fluctuant al tribosistemului, în cazul utilizării materialelor cu proprietăți triboactive, impune noi abordări metodice asupra cercetărilor experimentale. În situația dată tribomodelul, metodele de cercetare și tribometrul trebuie să asigure:

1. posibilitatea realizării nivelului energetic necesar în zona contactului;
2. sensibilitatea adecvată la diversele fluctuații ale proceselor în contact;
3. urmărirea, pas cu pas, a evoluției stării contactului;
4. automatizarea achiziției datelor experimentale și prelucrarea semnalelor variabilelor dinamice;
5. recunoașterea regimului de evoluție;
6. alegerea metodei de prelucrare a semnalelor variabilelor sistemului în corespundere cu regimul de evoluție stabilit pe fiecare segment al traiectoriei;
7. prezentarea datelor experimentale în format accesibil pentru interpretare.

Fluctuațiile forțelor de interacțiune (de frecare și de încărcare) influențează în mod direct starea și evoluția proceselor în contact. Variația lor într-un spectru larg de amplitudini și frecvențe impune cerințe speciale măsurătorului de forțe. Semnalele forțelor pot fi înregistrate prin intermediul oscilatorului cu element elastic. Modelul oscilatorului cu parametrii elastici și disipativi pe direcția x_1 (c_{11} , h_{11}) și x_2 (c_{22} , h_{22}), forțat de interacțiunile

în contact F_1 și F_2 , este prezentat în fig.1. Triboelementul 1 efectuează mișcări ciclice pe direcția x a cursei L cu viteză variabilă $V_{(x)}$, iar triboelementul 2 interacționează cu suprafața conjugată a triboelementului 1 prin intermediul tribostratului de interpunere 3. Interacțiunile în contact, pe direcție normală F_1 și pe direcție tangențială F_2 , apar în rezultatul acțiunii parametrilor de comandă U_1 și U_2 pe aceste direcții.

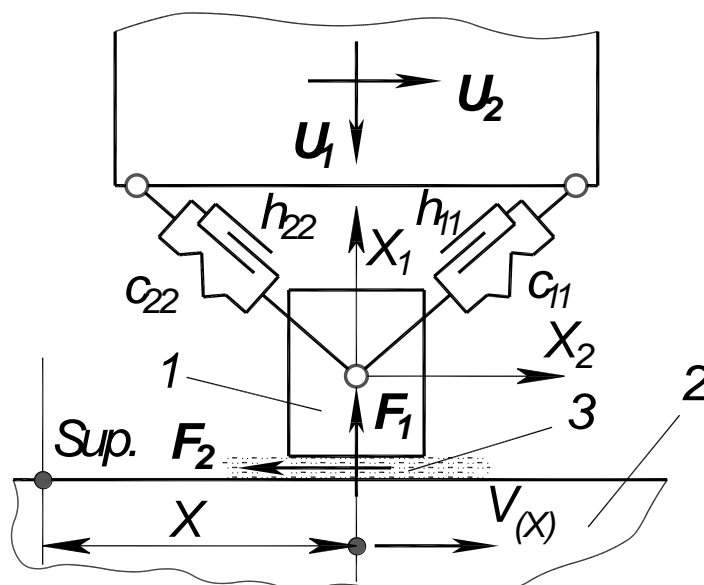


Fig. 1. Modelul tribosistemului cu alunecări ciclice a contactului.

Starea oscilatorului se descrie cu sistemul dinamic [5]:

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

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

$$F(X, \frac{dX}{dt}, V, p) = \{F_1(X, \frac{dX}{dt}, V, p), F_2(X, \frac{dX}{dt}, V, p)\}^T$$

- vectorul funcțiilor interacțiunilor în legătura tribologică pe direcțiile normală x_1 și tangențială x_2 ;

$p = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ - componentele neliniare ale parametrilor vectorului funcției interacțiunilor;
 m, h, c - matricele maselor, ale factorilor de disipare (amortizare) și de rigiditate ale elementelor sistemului;

U - vectorul sarcinilor exterioare de încărcare a contactului și parametrilor externi;

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

Parametrii oscilatorului se aleg din condiția obținerii unei sensibilități maxime la regimuri concrete de încărcare a contactului, în corespundere cu scopul pus: a. înregistrarea semnalului variației forței de frecare; b. înregistrarea impulsurilor forței. La amplitudini mici și viteze reduse, oscilatorul, practic, funcționează în regim liniar, pentru care elongația $x_{2(x)}$ este proporțională cu interacțiunea (forța de frecare) pe această direcție.

$$x_{2(x)} \sim F_{2(x)} = F_{f(x)} \quad (2)$$

În tribosisteme cu mișcări ciclice, exponent principal al informației despre starea contactului (fluctuațiilor) la nivel local este ciclul de lucru. În raport cu ciclul se determină evoluția sistemului pe spațiul suprafețelor de contact (cursa L) și în timp pe perioade îndelungate. Evoluția în timp se înregistrează sub formă de serii temporale ale ciclului pentru fiecare variabilă dinamică a sistemului. Starea contactului la macronivel este definită de

variabilele fenomenologice de bază: forța (coeficientul) de frecare și temperatura în zona contactului. Variația stărilor pe spațiul cursei și în timp determină comportamentul dinamic și evoluția tribosistemului (staționar sau nestaționar, stabil sau instabil). O oscilogramă

tipică a ciclului oscilatorului pe direcția x_2 (analogul semnalului forței de frecare) este prezentată în fig.2, din care se observă o traiectorie complicată cu fluctuații locale a variabilei $x_{2(x)}$ la deplasarea contactului pe cursa L .

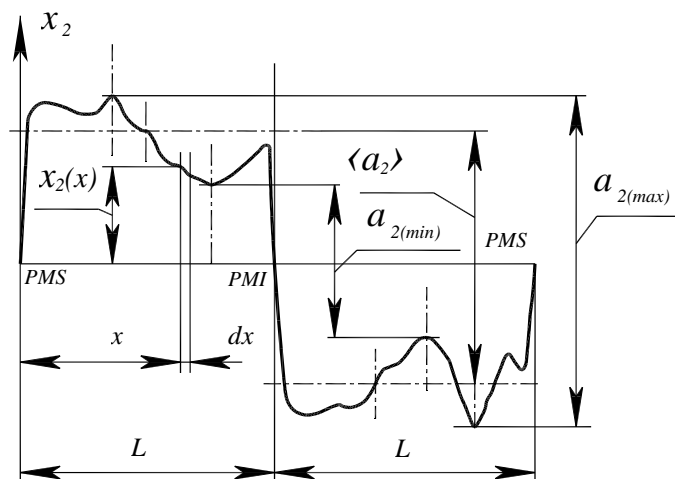


Fig. 2. Oscilogramă tipică a ciclului pe coordonata x_2 și caracteristicile de bază.

Semnificative pentru aprecierea evoluției dinamice a tribosistemului și, corespunzător, a stării stratului de interpunere în contact, sunt anvergurile elongațiilor punctelor caracteristice $a_{2(max)}$, $a_{2(min)}$ și ale altor fluctuații de diferite niveluri, înscrise în perioada ciclului T_c . Anvergura mediei integrate $\langle a_2 \rangle$ (analogul energiei disipate pe ciclu) determinată din relația (3) permite aprecierea evoluției contactului pe intervale de timp ($T > T_c$) ce depășesc perioada ciclului:

$$\langle a_2 \rangle = \frac{1}{L} \int_0^{2L} x_2 dx. \quad (3)$$

Căldura degajată la disiparea energiei mecanice se transferă din zona contactului prin câmpul de temperatură. Temperatura în câmp se manifestă în mod diferit pe zonele spațiului contactului. Pe porțiunile ariei reale de contact, la micro și mezonivel, temperatura fluctuează local până la câteva zeci de grade față de nivelul mediu de pe suprafață. Măsurarea fluctuațiilor locale ale temperaturii în zona contactului constituie o problemă deosebit de dificilă, iar, în condiții de testare apropiate de cele reale, imposibil de soluționat. Pe de altă parte, intensitatea și densitatea acestor fluctuații determină nivelul și variația gradientului temperaturii în spațiile adiacente

suprafeței. Astfel, urmărind fluctuația temperaturii în câmpul din zona suprafeței, se poate constata amploarea și direcția proceselor pe ariile reale de contact.

Evoluția proceselor în contact și comportamentul dinamic al tribosistemului, atât pe spațiul curselor ciclului T_c , cât și pe intervalele T mari de timp, sunt determinate de proprietățile tribologice ale materialelor și de reacționarea la parametrii de comandă. În baza datelor experimentale obținute pentru un eșantion de materiale de origine metalică și uleiuri de motoare, în diverse condiții de testare, s-a stabilit o evoluție diferită pentru materialele din categoriile cu proprietăți tribostabile și triboactive. Evoluția comparativă a temperaturii în zona contactului, la o sarcină de încărcare $F_n=1,8\text{kN}$, pentru cupluri reprezentative de materiale din categoria tribostabilă (1) și triboactivă (2), lubrificate cu ulei de motoare M-8V-2S, este prezentată în (fig.3).

„Tribostabilitatea” materialelor se manifestă prin răspuns de intensitate relativ redusă a tribosistemului la variația parametrilor de comandă. Pentru fiecare treaptă de încărcare procesele în contact decurg pe două direcții adverse: destabilizare și relaxare spre punctul instantaneu de echilibru dinamic. Starea contactului (în special, mecanică și

termodinamică) și direcția traiectoriei de evoluție depinde de prevalarea uneia dintre aceste direcții. La stabilizare, traiectoria de

evoluție a tribosistemului relaxează în domeniul unui atractor de tip punct sau ciclu limită.

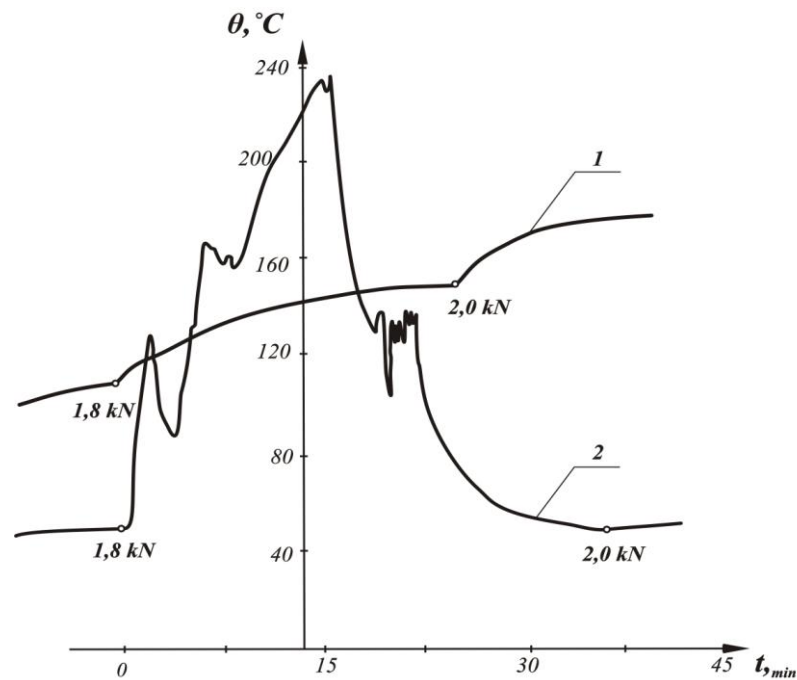


Fig. 3. Traiectoriile de evoluție a temperaturii experimentale (θ °C) în zona contactului pentru materialele cu proprietăți tribostabile (1) și triboactive (2)

În cazul utilizării materialelor „triboactive”, se diversifică variantele de răspuns a tribosistemului în raport cu variația parametrilor de comandă. Evoluția în timp se produce prin alternanța succesivă a unor perioade de instabilitate (nestaționare) cu relaxări în regimuri staționare. Perioadele nestaționare se caracterizează prin salturi și fluctuații ale variabilelor dinamice la diferite niveluri scalare. În limitele perioadelor cu comportament nestaționar, traiectoria de evoluție tranzitează prin puncte de bifurcare. În astfel de puncte se creează situații de evoluție a proceselor în contact pe direcții alternative. La finele perioadelor de relaxare, materialele triboelementelor capătă, ulterior, proprietăți tribologice performante, iar tribosistemul revine la o stabilitate deosebit de înaltă pe următoarea perioadă a traiectoriei de evoluție.

Încercări pe trubomodel au fost efectuate pentru un grup de materiale triboactive de diferită origine pentru diferite combinații în cuplu: acoperiri din aliaje și compozite metalice depuse pe suprafață din oțel prin diferite procedee tehnologice; acoperiri cu materiale compozite în bază de

polimeri cu conținut de fluor (epilam); acoperiri compozite metal-polimer; aditivi (modificatori de frecare) cu efect de placare. În calitate de lubrifianți s-au utilizat uleiuri de motoare de origine minerală și sintetică de diferite mărci. Reprezentativ pentru acest grup (fig.4 și fig.5) este comportamentul tribosistemului în cazul utilizării unui cuplu de materiale metalice compozite, placate pe suprafațe din oțel și lubrifiate cu ulei pentru motoare M-8V-2S. Rezultatele experimentale confirmă caracterul alternant al evoluției tribosistemului – evoluție caracteristică pentru sisteme dinamice neliniare disipative complexe, care tranzitează prin regimuri haotice de funcționare. Trecerea prin regim haotic, pentru aceste sisteme, este o condiție fundamentală în reorganizarea ordonată a structurii și obținerea de noi proprietăți [3].

Pe traiectoria de evoluție, variabilele dinamice $V(t)$ ale tribosistemului (temperatura și forța de frecare) alternează porțiuni cu regimuri stabile și instabile de funcționare. Salturile și fluctuațiile se produc la toate nivelurile ierarhice cu perioade și amplitudini de diferit ordin. Convențional, în raport cu

perioada ciclului T_c , salturile și fluctuațiile la macronivel se împart în două categorii:

globale – cu perioadele $T_{fg} > T_c$ și locale pe cursă – cu perioadele $T_{fl} < T_c$.

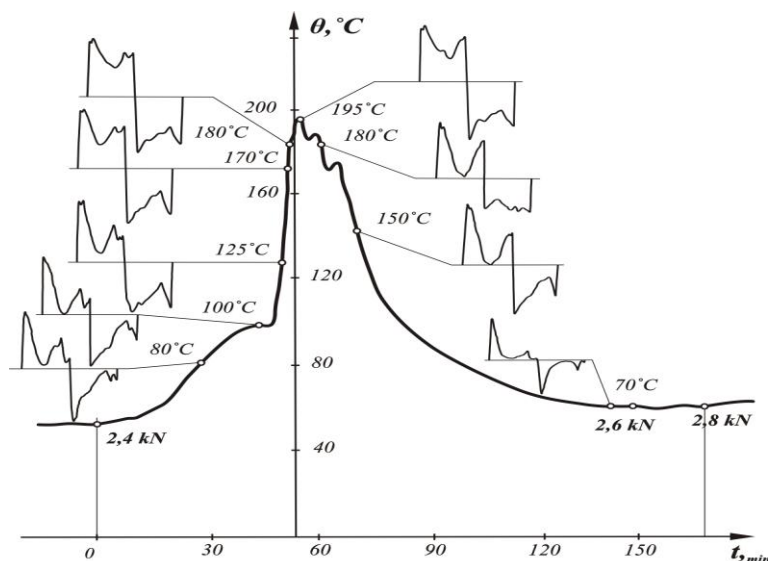


Fig. 4. Evoluția fluctuațiilor temperaturii θ °C în zona contactului și a elongației semnalului oscilatorului $x_{2(x)}$ (a forțelor de frecare locale pe ciclu) pentru materiale cu proprietăți triboactive, amorsate la sarcina $F_n=1,6$ kN.

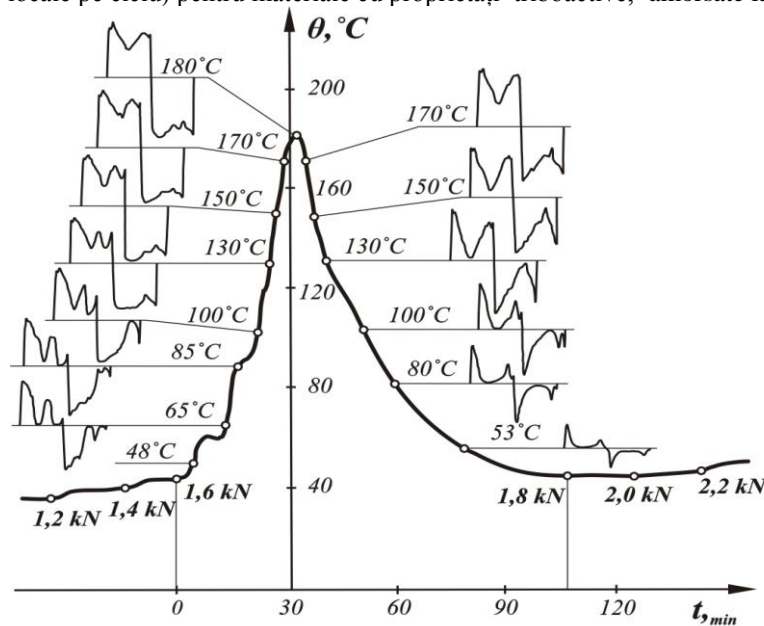


Fig. 5. Evoluția fluctuațiilor temperaturii θ °C în zona contactului și a elongației semnalului oscilatorului $x_{2(x)}$ (forțelor de frecare locale pe ciclu) pentru materiale cu proprietăți triboactive, amorsate la sarcina $F_n=2,4$ kN.

Salturile și fluctuațiile de ordin global se determină din traiectoriile evoluției temperaturii în zona contactului și a energiei disipate (a anvergurii mediei integrate $\langle a_2 \rangle$, fig.2), iar, la nivel local, se identifică din semnalele forțelor de frecare (elongațiile semnalului oscilatorului $x_{2(x)}$) pe interiorul fiecărui ciclu de lucru.

Problemele de apreciere și prognozare a proprietăților triboologice ale materialelor din noua generație se pot soluționa prin stabilirea unor metode adecvate de prelucrare și cercetare a seriilor temporale ale semnalelor variabilelor dinamice $V(t)$ pe traiectoriile de evoluție. Actualmente, aparatul metodologic de prelucrare și analiză al seriilor temporale a atins o amplă dezvoltare atât la nivel

fundamental, cât și aplicativ, care se utilizează cu succes în soluționarea problemelor de dinamică neliniară. Aceste metodologii, prin dezvoltare și particularizare, pot fi acceptate drept bază la elaborarea unor noi metode de cercetare a comportamentului tribosistemelor sub aspect dinamic.

CONCLUZII

1. Datele experimentale obținute pentru tribosisteme cu mișcare ciclică de tip „segment de piston-cilindru” au scos în evidență un comportament dinamic fluctuant în evoluția tribosistemului, însoțit de modificări esențiale ale proprietăților materialelor tribosistemelor.
2. Caracterul dinamic al proceselor de contact în tribosisteme cu alunecare la mișcare ciclică impune abordări calitativ noi în elaborarea metodelor de cercetare.
3. Obținerea unui tablou adecvat al stării contactului și a direcției de evoluție se poate realiza doar cu sisteme dinamice de măsurare.
4. Pentru măsurarea interacțiunilor în contact, în calitate de sistem dinamic, se utilizează oscilatorul mecanic cu element elastic.
5. Pentru aprecierea comportamentului dinamic și a direcției de evoluție a tribosistemului, se impune dezvoltarea și particularizarea pe domeniul tribologiei a

metodelor de prelucrare a seriilor temporale ale semnalelor variabilelor dinamice.

BIBLIOGRAFIE

1. POȘTARU, V. A.; CRUDU, I.; POȘTARU, A.; CEBAN, V. Principles and methodological peculiarities research of the tribosystem with sliding on translation cyclic movement. – The annals of university “DUNĂREA DE JOS” of Galați. Fascicle VIII, 2009 (XV), ISSN 1221-4590, Issue 1, p. 52-58.
2. POȘTARU, Gh.; CRUDU, I.; POȘTARU, A.; CEBAN, V.; MANOLI, I.; COMENDANT, V. The Dynamic Behavior of the Sliding Tribosystem in Cyclical Translational Motion in Unsteady Duty. – The 11th International Conference on Tribology ROTRIB’10, IAȘI, November 4 - 6, 2010.
3. ШУСТЕР, Г. Детерминированный хаос. Введение. – М.: Мир. 1988, 240 с.
4. МУСАЛИМОВ, В.М.; ВАЛЕТОВ, В.А. Динамика фрикционного взаимодействия. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, 191 с.
5. ЗАКОВОРОТНЫЙ, В.Л., НГУЕН ДОНГ АНЬ, ФАМ ДИНЬ ТУНГ. Устойчивость эволюционной траектории механической системы, взаимодействующей с трубой. – Вестник ДГТУ, 2007. Т.7. №4(35).

CZU: 669.539.67: 620.22

DYNAMIC ASPECTS IN THE SLIDING TRIBOSYSTEM BEHAVIOUR AT SYCLIC MOVEMENTS OF THE PISTON-CYLINDER TYPE

**Poștaru Andrei - post-graduate student, Poștaru Gheorghe - dr., ass. prof.,
Stoicev Petru - dr.hab, prof., Ceban Victor - dr., ass. prof.**
(Technical University of Moldova, Republic of Moldova)

The work tackles some methodological aspects of investigation of the sliding tribosystem behaviour at cyclic movements from the point of view of dynamic processes in contact. The dynamic effect is manifested by evolutions of fluctuating character of the dynamic variables succeeded by intervals of stable evolution. The fluctuating character of the processes in contact imposes corresponding conditions at choosing the systems of measurement, acquisition and processing of the tribosystem dynamic variables signals. To register the signal of fluctuating forces of contact interaction an elastic oscillator is used. The dynamic behaviour of the tribosystem is estimated as a result of processing of the dynamic variables signals temporal series.

Prezentat la redacție la 17.01.2011