APARATE MECANICE PENTRU MĂSURAREA VIBRAŢIILOR. DETERMINAREA AMORTIZĂRII

UM 2

1. Scopul şi conţinutul lucrării

◆ Cunoaşterea metodelor de măsurare şi componenţa generală a instalaţiilor de măsurare a vibraţiilor mecanice;
◆ Clasificarea aparatelor pentru măsurarea şi controlul vibraţiilor;
◆ Construcţia aparatelor seismice.

2. Consideraţii generale

Într-un sistem elastic, mişcarea vibratorie a unui punct poate fi considerată ca *răspunsul* sistemului la o *excitaţie* aplicată acestuia, caracteristicile mişcării oscilatorii depinzând de proprietăţile dinamice ale sistemului (fig. 2.1).

Excitaţia poate fi *dinamică* – exprimată prin forţe, cupluri sau presiuni, ori *cinematică* – exprimată prin deplasarea, viteza sau acceleraţia unui punct al sistemului. În acelaşi timp, răspunsul poate descrie mişcarea unui punct al sistemului sau forţa transmisă în acel punct. Relaţia excitaţie – răspuns depinde de sistem.

Fig. 2.1.

2.1. Scopul măsurărilor vibraţiilor

Pe baza schematizării din fig. 2.1, valabilă pentru oricare mişcare oscilatorie, măsurările vibraţiilor pot fi clasificate în trei categorii mari:
◆ *măsurarea răspunsurilor*, în vederea comparării cu limitele admisibile stabilite prin standarde şi norme;
◆ *măsurarea excitaţiilor*, în vederea întocmirii programelor de încercări la vibraţii sau a proiectării, pe baza lor, a unor sisteme al căror răspuns să nu depăşească limitele admisibile;
◆ *măsurarea concomitentă a excitaţiei şi a răspunsului*, pentru determinarea caracteristicilor dinamice ale sistemului şi construirea eventual a unui model analitic al acestuia.
◈ Prima categorie de măsurători comportă înregistrarea şi analiza evoluţiei în timp a vibraţiilor produse de maşini în timpul funcţionării. Se compară valorile măsurate cu anumite nivele limită recomandate şi se stabileşte nocivitatea vibraţiilor (efectul dăunător asupra oamenilor şi clădirilor).

Comparând nivelele măsurate la aceeaşi maşină dar la anumite intervale de timp, se pot trage concluzii asupra uzurii maşinii şi se pot stabili măsuri de întreţinere preventivă.

Comparând nivelele măsurate la diferite maşini, se stabileşte un raport de calitate al acestora, raport ce constituie un control de calitate – din partea producătorului, ori o alegere optimă – din partea beneficiarului.
◈ *Măsurarea excitaţiilor* are drept scop identificarea surselor perturbatoare şi a legii

VIBRAŢII Draft Student

de variaţie în timp a acestora. Astfel, înregistrarea vibraţiilor la care este supusă roata unui automobil în timpul rulării pe şosea, permite simularea ulterioară în laborator cu ajutorul excitatoarelor hidraulice, a unui regim de vibraţii similar. Metoda a condus la perfecţionarea unui sistem activ de control al stabilităţii autovehiculului.

Măsurarea forţelor perturbatoare, în vederea proiectării sistemului de izolare pasivă a unei maşini care produce vibraţii sau studiul vibraţiilor arborilor cotiţi ai motoarelor cu ardere internă, sunt alte exemple în acest sens.

◈ *Măsurarea simultană a excitaţiei şi a răspunsului* se face de obicei în condiţii impuse de experimentatori.

În acest caz, se aplică sistemului excitaţii cunoscute, de obicei armonice (forţe sau cupluri, deplasări liniare sau unghiulare, viteze, acceleraţii ori un impuls) şi se măsoară vibraţiile produse, urmărindu-se:

• identificarea frecvenţelor proprii de vibraţie;

• măsurarea caracteristicilor dinamice ale sistemului (constante elastice dinamice, module de elasticitate dinamice, factori de amortizare, mase echivalente, etc);

• compararea valorilor calculate ale răspunsului cu cele măsurate, pentru a aprecia corectitudinea modelului matematic folosit;

• stabilirea unui model matematic al structurii analizare în scopul unei analize ulterioare prin simulare.

2.2. Componentele unui sistem de măsură

Măsurarea vibraţiilor mecanice se poate face cu aparate mecanice, optice, acustice sau electrice. Dintre acestea, în urma dezvoltării metodelor de măsurare electrică a mărimilor neelectrice, ultimele au căpătat o largă dezvoltate.

Componenţa generală a schemelor de măsură şi control a vibraţiilor mecanice se stabileşte în funcţie de condiţiile de funcţionare:

• condiţii normale de funcţionare;

• condiţii de funcţionare simulată.

Dintr-un alt punct de vedere, controlul se poate efectua:

• în paralel cu fenomenul urmărit (*control în flux* sau *control on line*);

• ulterior sau separat (în timp) de fenomenul urmărit, cu înregistrare şi redare intermediară a semnalului (*control on line*).

Schema de bază a unui sistem pentru măsurări şi analize de vibraţii, care îndeplineşte funcţiile de traducere, măsurare, analiză şi vizualizare sau înregistrare a semnalelor, se prezintă în figura 2.2.

Elementul component care preia energia undelor mecanice de vibraţie a structurii studiate (fie direct prin contact cu aceasta, fie de la mică distanţă), prin caracteristici cuantificabile (deplasare, viteză sau acceleraţie) este **captorul de vibraţii**. Partea captorului care transformă vibraţia sau şocul într-un semnal mecanic, optic sau electric, proporţional cu unul din parametrii mişcării, şi o transmite schemei de măsurare se numeşte **traductor**.

Conversia mecanico-electrică are două avantaje esenţiale:

• semnalul electric dat de captor poate fi amplificat uşor până la o valoare convenabilă pentru înregistrare şi analiză;

• semnalul electric poate fi transmis la distanţe mari de punctul de măsurare. Aceasta se

VIBRAŢII Draft Student

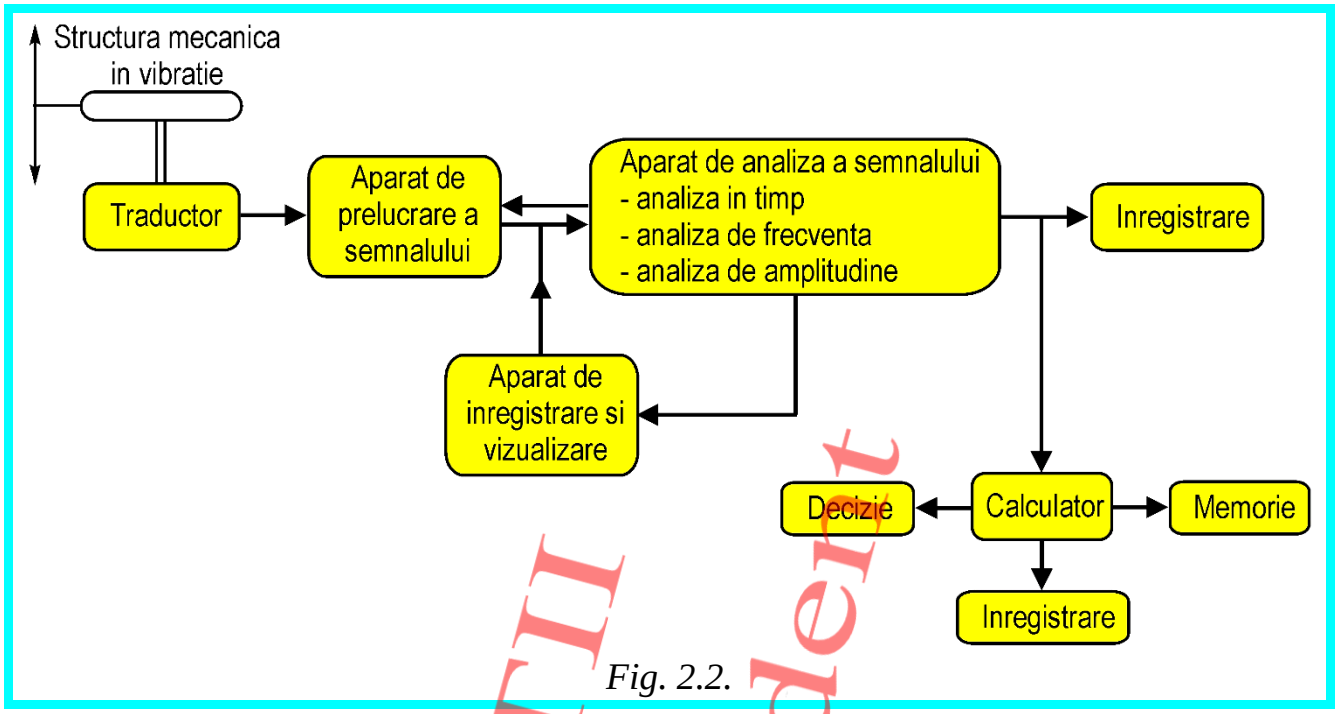

Fig. 2.2.

poate realiza cu *traductoare generatoare (active)*, la care variaţia mărimii mecanice produce direct o tensiune electromotoare, deci un semnal electric de ieşire, sau cu *traductoare parametrice (pasive)*, la care variaţia mărimii neelectrice produce variaţia unui parametru electric (rezistenţă, capacitate, inductanţă), într-un circuit alimentat de energie auxiliară (generatorul de undă purtătoare).

Semnalul de ieşire al captorului trebuie prelucrat în vederea obţinerii mărimii dorite şi a transformării caracteristicilor lui. Aparatele de prelucrare a semnalului execută integrarea, adaptarea de impedanţă, amplificarea, modularea – demodularea, rectificarea, ridicarea la pătrat şi extragerea rădăcinii pătrate, conversia analog – numerică etc. Faţă de amplificarea mecanică – cu pârghii, cea electrică permite manipularea unor semnale electrice de nivel scăzut şi cu variaţie rapidă, fără influenţa efectelor inerţiale. În vederea analizei în frecvenţă a semnalelor se folosesc filtre de bandă.

În fine, informaţia obţinută ca rezultat al măsurării poate fi *vizualizată*, folosind osciloscoape şi aparate indicatoare cu scară sau afişaj numeric şi *înregistrată* pe hârtie, pe film sau pe bandă magnetică (în vederea prelucrării ulterioare).

În afara aparatelor de măsură, în toate categoriile de încercări la vibraţii se utilizează şi un echipament de produs vibraţii, ale cărui componente principale sunt arătate în schema bloc din fig. 2.3.

3. Aparate folosite pentru măsurarea vibraţiilor mecanice (captori de vibraţii)

În general, în construcţia acestor aparate sunt incluse două elemente de bază: un *element mecanic* (*captor*) care urmăreşte mişcarea structurii în vibraţie şi un *traductor*, care transformă mişcarea relativă într-un semnal electric de ieşire. La aparatele pur mecanice, elementul traductor lipseşte.

Aparatele folosite pentru măsurarea vibraţiilor mecanice pot fi clasificate după mai multe criterii:

VIBRATII Draft student

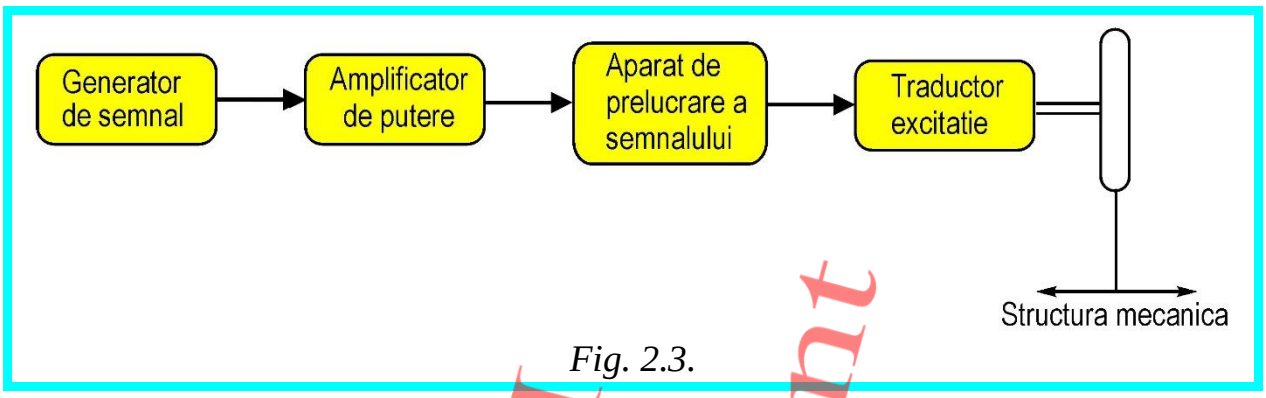

Fig. 2.3.

◈ **După legătura mecanică dintre obiectul de măsurat şi aparatul de măsură**, se cunosc:

◆ aparate care funcţionează prin atingerea obiectului măsurat şi pot fi de două tipuri:

• aparate fără punct fix (de exemplu aparatele seismice), care se sprijină numai pe obiectul care vibrează;

• aparate cu punct fix (cuasistatice), care se sprijină pe obiectul care vibrează şi totodată pe un alt corp.

• aparate care funcţionează fără atingerea obiectului care vibrează, cum sunt, de exemplu, aparatele optice.

◈ **După modul de citire al rezultatului**, se utilizează:

◆ *aparate indicatoare* (cu citire vizuală). Este cazul accelerometrelor;

◆ *aparate cu înregistrare*, de exemplu accelerografele.

◈ **După principiul de funcţionare al aparatelor de măsură**, pot fi aparate de măsură mecanice, optice, acustice, electrice, electronice, etc.

◈ **După mărimea măsurată**, aparatele se clasifică în:

◆ *vibrometre* şi *vibrografe* – pentru măsurarea deplasărilor;

◆ *vitezometre* (velocimetre) – pentru măsurarea vitezelor;

◆ *accelerometre* şi *accelografe* – pentru măsurarea acceleraţiilor;

◆ *torsiometre* şi *torsiografe* – pentru măsurarea deplasărilor unghiulare;

◆ *tahografe* – pentru măsurarea vitezelor unghiulare (turaţiilor);

◆ *frecvenţmetre* – pentru măsurarea frecvenţelor;

◆ *fazmetre* – pentru măsurarea fazelor;

◆ *tensometre* – pentru măsurarea deformaţiilor;

◆ *manometre* – pentru măsurarea presiunilor etc.

◈ **După principiul constructiv**, aparatele de măsură pot fi:

◆ *cu măsurare directă*; ◆ *aparate balistice* şi ◆ *aparate seismice*.

Acestea din urmă pot fi clasificate după frecvenţa proprie în:

• vibrometre – când frecvenţa proprie este joasă;

• accelerometrele – când frecvenţa proprie a aparatului este ridicată;

• frecvenţmetre – când frecvenţa proprie a aparatului este foarte apropiată de frecvenţa de măsurat.

Aparatele seismice pot fi clasificate după felul amortizării, în aparate cu amortizare şi aparate fără amortizare.

Alegerea unui anumit tip de aparat pentru efectuarea măsurării depinde în primul rând de maşina supusă studiului şi a regimului ei de funcţionare. De exemplu, dacă se măsoare vibraţiile unui compresor (care este o maşină stabilă), se utilizează fie un aparat

VIBRAŢII Draft Student

seismic, fie un aparat cu punct fix. Dacă se cercetează vibraţiile unei maşini de masă şi de dimensiuni mici, pot fi folosite aparate optice sau electrice, având ca traductori mărci tensometrice.

3.1. Aparate mecanice pentru măsurarea parametrilor vibraţiilor

Caracteristic acestor aparate este faptul că sunt puse în legătură directă cu obiectul care vibrează, adică transmiterea se face pe cale mecanică. De asemenea, amplificarea semnalului se face tot pe cale mecanică.

Aparatele mecanice se clasifică în aparate cu măsurare indirectă (aparatele seismice) şi cu măsurare directă (aparatele cuasistatice).

◈ **Aparatele cu măsurare indirectă** se leagă direct numai cu obiectul care vibrează. Principalele elemente constructive sunt o masă seismică, un element elastic şi eventual un amortizor.

În funcţie de raportul dintre frecvenţa de măsurat ω şi frecvenţa proprie ω_n, aceste aparate pot fi: *vibrometre* (când $\omega > \omega_n$), *accelerometre* ($\omega < \omega_n$), *frecvenţmetre* ($\omega = \omega_n$).

◈ **Aparatele cu măsurare directă (cuasistatice)** sunt aparate cu punct fix, adică au simultan legătură cu obiectul care vibrează şi un alt obiect considerat fix (carcasa aparatului legată de un corp, iar indicatorul de celălalt corp). Prin construcţie, echipamentul mobil al acestor aparate trebuie să fie uşor, cu inerţie redusă şi destul de rigid.

3.2. Teoria aparatelor seismice

Componentele de bază ale unui aparat (captor) seismic sunt arătate în figura 2.4. Suportul *1* (cutia aparatului) este legat rigid de structura de vibraţie *2*. Masa seismică *m* este fixată de suportul captorului prin intermediul unui arc de constantă elastică *k* şi al unui amortizor cu coeficientul de amortizare *c*; acesta din urmă poate fi realizat şi prin acţiunea unui câmp magnetic asupra curenţilor Foucault induşi într-o lamelă de cupru, care se deplasează între polii unui magnet. Deplasarea masei seismice se citeşte pe o scară gradată sau se înregistrează pe tamburul rotitor *3*.

Se consideră că suportul aparatului execută, odată cu obiectul care vibrează, o mişcare armonică:

$$x_1 = X_1 \sin \omega t \qquad (2.1)$$

în timp ce deplasarea relativă a mesei *m* faţă de suportul *1* este dată de legea:

$$x_r = X_r \sin(\omega t - \theta) \qquad (2.2)$$

constituie răspunsul aparatului şi este măsurată cu traductorul *T*.

Deplasarea absolută a mesei (deplasarea faţă de reper fix în spaţiu) este

$$x = x_1 + x_r \qquad (2.3)$$

x_1 şi x_r fiind mişcări de translaţie coliniare.

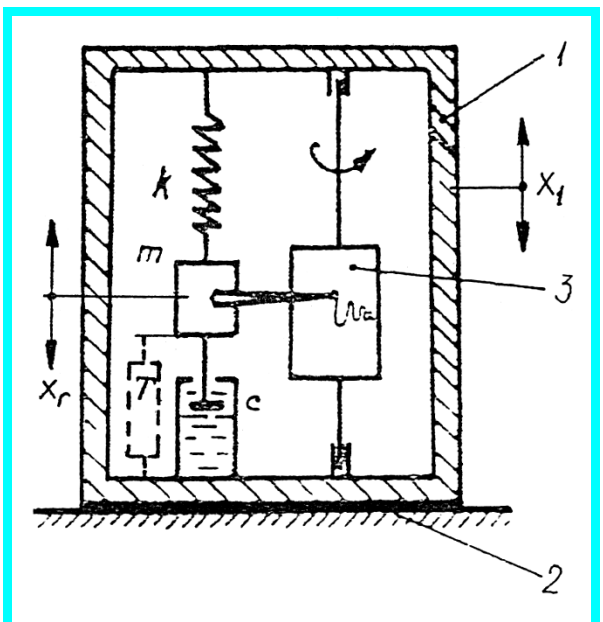

Fig. 2.4.

VIBRANTI Draft Student

Ecuaţia diferenţială a mişcării absolute a mesei seismice (faţă de un reper fix) este:

$$m\ddot{x} = -c\dot{x}_r - kx_r \tag{2.4}$$

Forţa elastică $-kx_r$ şi forţa de amortizare $-c\,\dot{x}_r$ provin din deplasările relative x (faţă de cutia aparatului). Deci:

$$m(\ddot{x}_1 + \ddot{x}_r) = -c\dot{x}_r - kx_r \tag{2.4'}$$

Ordonând şi ţinând cont de relaţia (2.1) se obţine:

$$m\ddot{x}_r + c\dot{x}_r + kx_r = -m\ddot{x}_1 \tag{2.5}$$

sau, după derivarea dublă a relaţiei (2.1):

$$m\ddot{x}_r + c\dot{x}_r + kx_r = mX_1\omega^2 \sin\omega t \tag{2.6}$$

Cu notaţiile: $\dfrac{k}{m} = \omega_n{}^2$ şi $\dfrac{c}{m} = 2\alpha$ (2.7)

se obţine ecuaţia diferenţială a mişcării sub forma:

$$\ddot{x}_r + 2\alpha\dot{x}_r + \omega_n{}^2 x_r = X_1\omega^2 \sin\omega t \tag{2.8}$$

care este analogă ecuaţiei diferenţiale a mişcării în cazul vibraţiei forţate cu amortizare:

$$\boxed{\ddot{x}_r + 2\alpha\dot{x}_r + \omega_n{}^2 x_r = q\sin\omega t} \tag{2.9}$$

În cazul de faţă:

$$X_1\omega^2 = q \tag{2.10}$$

Soluţia generală a ecuaţiei diferenţiale (2.9) este suma dintre soluţia ecuaţiei diferenţiale omogene corespunzătoare (x_{r1}) – ce reprezintă vibraţia proprie a masei seismice şi soluţia particulară a ecuaţiei diferenţiale neomogene (x_{r2}) – ce reprezintă vibraţia întreţinută (de cercetat):

$$\boxed{x_r = x_{r1} + x_{r2} = X_{r1}e^{\alpha t}\sin(pt + \varphi) + X_{r2}\sin(\omega t - \theta)} \tag{2.11}$$

Vibraţia proprie (x_{r1}) se va amortiza în timp, astfel că, pentru regim permanent, va rămâne numai termenul al doilea; *soluţia ecuaţiei diferenţiale* (2.9) va fi în acest caz:

$$x_r = x_{r2} = X_{r2}\sin(\omega t - \theta) \tag{2.12}$$

Amplitudinea vibraţiei întreţinute la masa seismică este

$$X_{r2} = \frac{X_1\omega^2}{\sqrt{\left(\omega_n{}^2 - \omega^2\right) + 4\alpha^2\omega^2}} = X_1\frac{\left(\dfrac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \dfrac{\omega^2}{\omega_n{}^2}\right) + 4\left(\dfrac{\alpha}{\omega_n}\right)^2\left(\dfrac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \tag{2.13}$$

care mai poate fi scrisă şi sub forma

$$X_{r2} = X_1 A_{02} \tag{2.14}$$

unde:

$$\boxed{A_{02} = \frac{\left(\dfrac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \dfrac{\omega^2}{\omega_n{}^2}\right) + 4\left(\dfrac{\alpha}{\omega_n}\right)^2\left(\dfrac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}} \tag{2.15}$$

Prin urmare, legea de mişcare a masei seismice faţă de cutia aparatului este

VIBRAŢII Draft Student

$$x_r = A_{02} X_1 \sin(\omega t - \theta) \tag{2.16}$$

Expresia defazajului este

$$\boxed{tg\theta = \frac{2\alpha\omega}{\omega_n^{\,2} - \omega^2}} \tag{2.17}$$

Pentru a putea vedea cum este utilizat aparatul seismic, se utilizează variaţia factorului de amplificare A_{02} în funcţie de raportul ω/ω_n, pentru diferite valori ale *factorului de amortizare* ζ:

$$\zeta = \frac{\alpha}{\omega} = \frac{c}{c_r} \tag{2.18}$$

În figura 2.5 s-a reprezentat grafic variaţia lui A_{02} pentru diferite valori ale factorului de amortizare ζ, iar în fig.2.6 variaţia defazajului θ, pentru mai multe valori ale lui ζ.

◆ Pentru $\omega \ll \omega_n$ (intervalul *I* din fig.2.5), adică pentru valori mici ale raportului ω/ω_n, numitorul lui A_{02}. poate fi considerat egal cu unitatea şi, ca urmare, amplitudinea masei specifice devine:

$$X_{r2} = X_1 \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 = \frac{1}{\omega_n^{\,2}} \left(X_1 \omega^2\right) \tag{2.19}$$

unde $1/\omega_n^2$ reprezintă o constantă a aparatului, iar $X_1\omega^2$ este amplitudinea acceleraţiei mişcării date de relaţia (2.1). În acest interval, mişcarea masei seismice se face în fază cu cea a suportului (vezi fig.2.6). Dacă se neglijează amortizarea, deformaţia arcului (respectiv răspunsul captorului) este proporţională cu forţa de inerţie a masei,

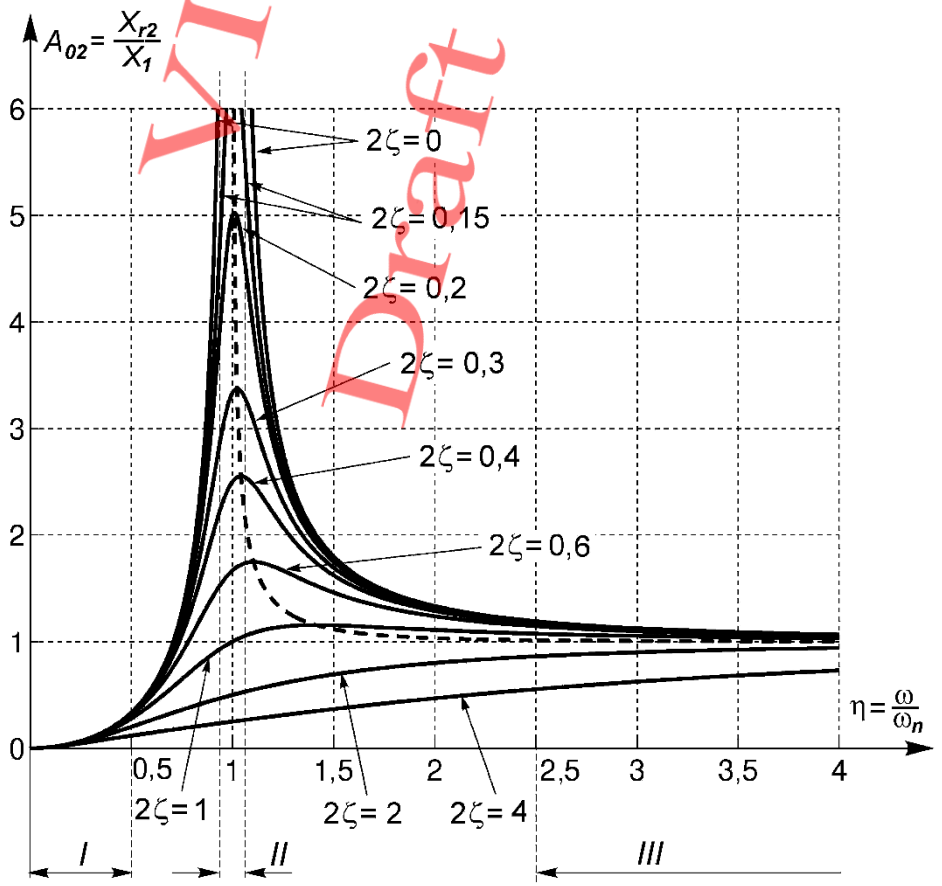

Fig. 2.5.

VIBRAŢII Student Draft

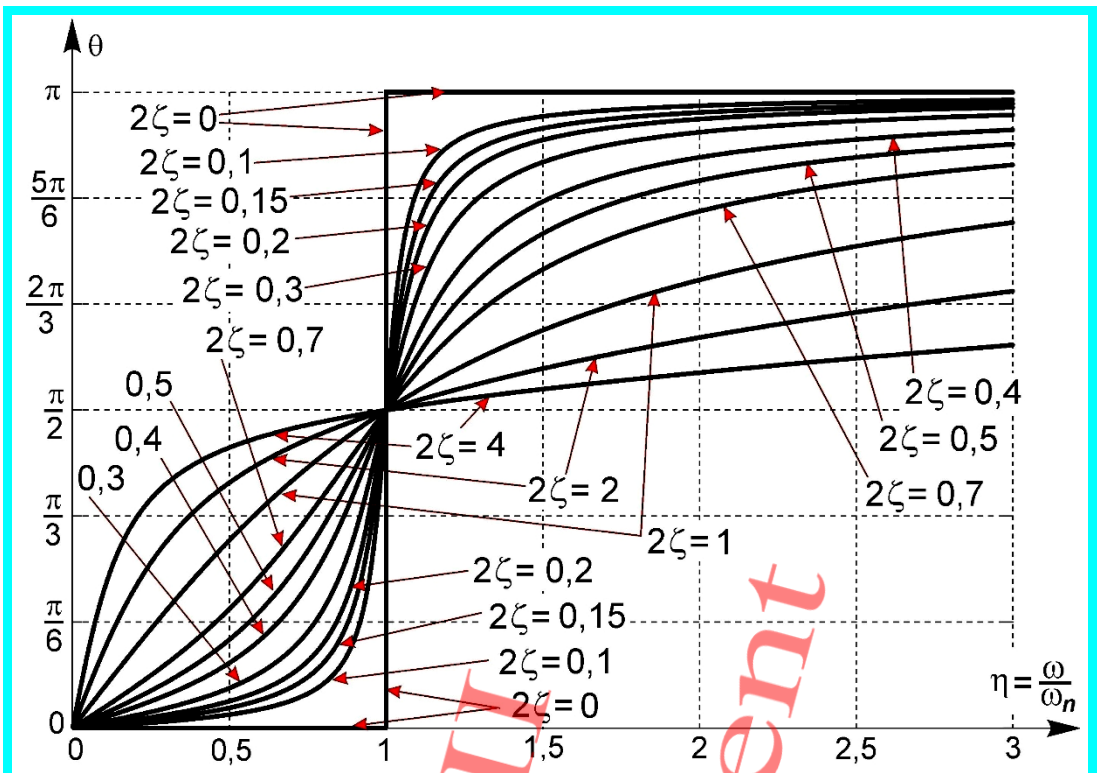

Fig. 2.6.

la rândul ei proporţională cu acceleraţia masei.

Rezultă că, în acest regim de funcţionare, când pulsaţia proprie a aparatului este mult mai mare decât a vibraţiilor măsurate, semnalul de ieşire al unui traductor de deplasări *T* (vezi fig. 2.4) este proporţional cu acceleraţia structurii studiate. Se spune că aparatul lucrează ca *accelerometru seismic.*

◆ Pentru $\omega \gg \omega_n$ (porţiunea *III* a graficului), A_{02} este aproximativ egal cu unitatea, deci amplitudinea $X_{r2} \cong X_1$, adică deplasarea relativă între masă şi suport este aproximativ egală cu deplasarea suportului; aparatul măsoară şi înregistrează tocmai vibraţia corpului studiat. Din fig. 2.6 rezultă că în acest domeniu, pentru o amortizare redusă, defazajul $\theta \cong 180°$, deci masa şi suportul vibrează în antifază. Deplasările fiind egale şi de sens contrar, masa seismică *m* devine un punct fix, faţă de care suportul are o mişcare armonică, identică cu cea a structurii. Dacă *T* este un traductor de deplasări (v.fig.2.4), semnalul dat de captor este proporţional cu deplasarea structurii studiate. Se spune că aparatul funcţionează ca *vibrometru seismic.*

Deoarece frecvenţa proprie a sistemului masă – suspensie elastică trebuie să fie mult mai mică decât frecvenţa vibraţiei măsurate, captorii de deplasări au o suspensie „moale”. Aceasta face ca deplasarea relativă a masei seismice să fie mai mare la frecvenţe joase. În consecinţă, captorii de deplasări au gabarit şi greutate relativ mari de care trebuie ţinut cont la măsurarea pe structuri uşoare, al căror răspuns poate fi astfel influenţat în mod considerabil.

◆ În domeniul în care $\omega \cong \omega_n$ aparatul funcţionează în zona de rezonanţă *II* din fig. 2.4, indicaţiile lui devenind foarte mari, fenomen folosit doar la construcţia *frecvenţmetrelor.*

Observaţii

◆ După cum rezultă din figurile 2.5 şi 2.6, în prezenţa amortizării, factorul de

VIBRATII Draft student

amplificare A_{02} şi defazajul θ variază cu raportul ω/ω_n, astfel că se introduc distorsiuni, care devin importante mai ales când mişcarea vibratorie studiată este armonică şi poate fi descompusă în mai multe mişcări armonice de pulsaţii ω_1, ω_2 etc. Când raportul dintre pulsaţia mărimii măsurate ω şi pulsaţia proprie ω_n, diferă de la o armonică la alta, nu se obţine aceeaşi amplificare a amplitudinii şi acelaşi defazaj pentru toate armonicile. Apar aşa numitele *distorsiuni de amplitudine* şi *distorsiuni de fază*, datorită cărora fenomenul înregistrat diferă de cel real. Din aceste motive se admite o anumită abatere. Astfel, dacă pentru amplitudine se admite o distorsiune ε, de exemplu ± 0,05, legătura dintre amplitudinea X_{r2}, măsurată cu un vibrometru şi cea reală X_1 se obţine cu relaţia:

$$X_{r2} = (1 \pm \varepsilon) \cdot X_1 \qquad (2.20)$$

S-a demonstrat că, pentru o distorsiune ε = 0,05 valoarea optimă a factorului de amortizare $\zeta = c/c_{cr}$ este 0,7 în cazul accelerometrului, când $\omega/\omega_n \leq 0{,}58$. În cazul vibrometrului, se recomandă ζ = 0,6..,0,7 pentru $\omega/\omega_n \geq 1{,}2...1{,}75$, când vibraţiile sunt armonice şi pentru $\omega/\omega_n \geq 5$, când vibraţiile sunt nearmonice.

◆ *Aparatul universal Geiger*, prin montarea unui echipament mobil adecvat poate fi considerat ca exemplu de aparat seismic.

◆ *Frecvenţmetrul lamelar* constituie un alt exemplu de aparat seismic. Acesta constă în principiu dintr-un set de lame încastrate la o extremitate, care au lungimi diferite şi, ca urmare, frecvenţe proprii diferite. Alegând convenabil lungimea lamelelor, se poate face ca frecvenţele proprii să varieze de la o bară la alta cu 1 Hz. În timpul măsurării, lama care intră în rezonanţă indică frecvenţa fenomenului studiat.

3.3. Aparate cuasistatice (cu măsurare directă)

◈ *Tastograful* este un aparat de măsurat vibraţii de tip cuasistatic, înregistrarea fenomenelor dinamice făcându-se în acelaşi mod ca la cele statice, fără distorsiuni de felul celor întâlnite la aparatele seismice. El este un aparat portativ (fig 2.7), a cărui carcasă *1* se ţine în mână sau se fixează pe un stativ, contactul cu structura în vibraţie *2* făcându-se printr-un palpator *3*, sub efectul unei forţe de apăsare *F*, exercitată de operator sau prin sistemul de fixare. Arcul *4* menţine contactul permanent între palpator şi structură. Mişcarea se transmite de la tija de comandă *5*, prin articulaţia *6*, la acul înregistrator *7*, care are un punct de rotire fix *8*. Vibrograma mişcării se trasează pe tamburul rotitor *9*, fixat prin axul sau pe carcasa aparatului.

Acest aparat lucrează cu prestrângere, forţa produsă de obiectul care vibrează fiind egală cu forţa elastică ce se dezvoltă în arcul care acţionează asupra tijei cu palpator. Sunt asigurate condiţii bune de funcţionare atunci când elementele mobile ale aparatului produc forţe de inerţie şi de frecare mult mai reduse decât forţa elastică.

Dacă se măsoară vibraţii a căror frecvenţă este mult inferioară frecvenţei proprii a pieselor mobile, acul *1* reproduce exact mişcarea structurii (amplificat de sistemul de pârghii). În

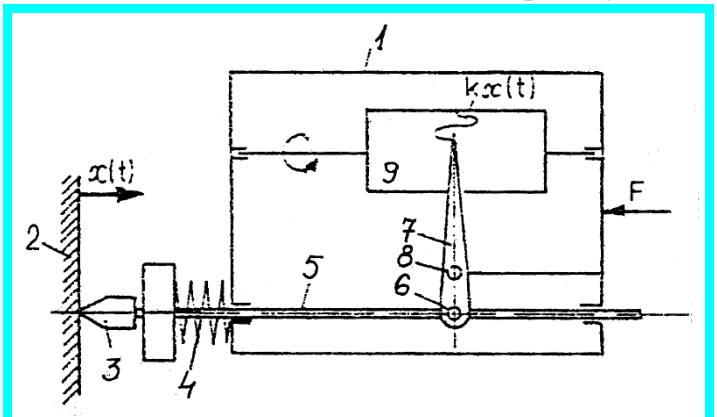

Fig. 2.7.

VIBRATII Draft student

caz contrar, aparatul se comportă ca un aparat seismic şi funcţionează ca un accelerometru.

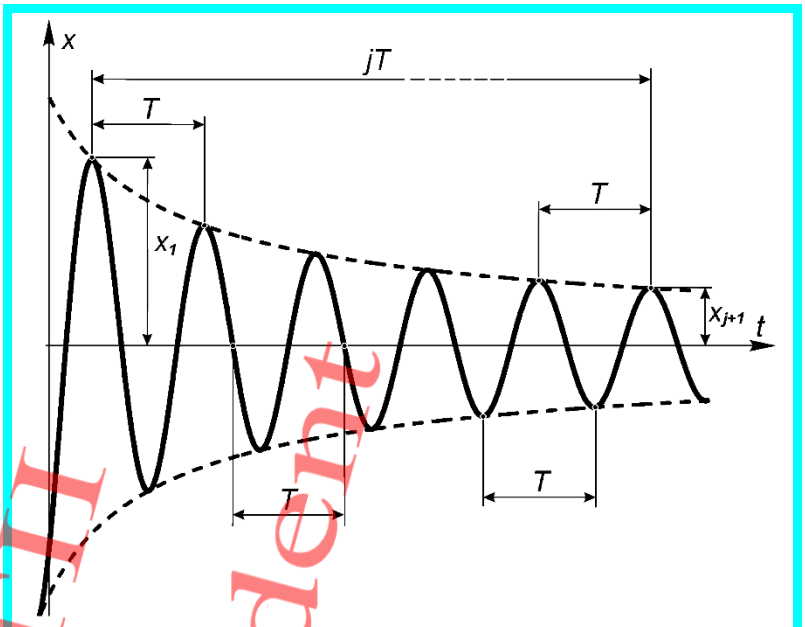

Fig. 2.8.

4. Determinarea amortizării vibraţiilor libere

În cazul vibraţiilor libere amortizate. determinarea amortizării se face prin studierea modului de micşorare a amplitudinii şi calcularea *decrementului logaritmic al amortizării* Δ. Din teorie, se cunoaşte soluţia ecuaţiei diferenţiale a mişcării vibratorii, în forma ei generală:

$$x(t) = X_0 \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin(pt + \varphi) \tag{2.21}$$

Metodologie de determinare a amortizării constă în parcurgerea câtorva etape:

◆ se înregistrează o vibrogramă, de forma celei din figura 2.8.

◆ se măsoară pe vibrogramă două amplitudini succesive x_1 şi x_2 şi se calculează *decrementul logaritmic* cu relaţia:

$$\Delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \ln\left(e^{\alpha T}\right) = \alpha T \tag{2.22}$$

Dacă amplitudinea scade relativ lent, ori dacă se doreşte obţinerea unui calcul mai precis, se recomandă măsurarea a două amplitudini la distanţă mai mare, spre exemplu amplitudinile x_1 şi x_{j+1}, situate la j perioade distanţă. Astfel, raportul amplitudinilor măsurate devine:

$$\frac{x_1}{x_{j+1}} = \frac{e^{-\alpha T}}{e^{-\alpha(t+jT)}} = \frac{e^{-\alpha T}}{e^{-\alpha T} \cdot e^{-\alpha jT}} = e^{\alpha jT} \tag{2.23}$$

iar:

$$\Delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \ln\left(e^{\alpha T}\right) = \frac{1}{j} \cdot \ln\left(e^{\alpha jT}\right) = \frac{1}{j} \cdot \ln \frac{x_1}{x_{j+1}} = \alpha T \tag{2.24}$$

5. Metodologia desfăşurării lucrării practice

◈ **Ca parte teoretică**, referatul va conţine:

• schema instalaţiei de măsurare a vibraţiilor mecanice cât şi a celei de excitare a sistemelor mecanice;

• construcţia şi descrierea funcţionării captorului seismic şi a tastografului.

◈ **Ca parte experimentală**, se vor prezenta etapele de calcul pentru determinarea amortizării în cazul vibraţiilor libere. În acest sens, se vor parcurge mai multe etape:

◆**1.** Trasarea vibrogramei şi stabilirea scării.

VIBRAŢII Draft student

În cadrul montajului, există posibilitatea trasării pe oscilograf a unei vibrograme şi posibilitatea înregistrării precise a duratei mişcării. Experienţa a fost realizată cu o bară încastrată şi excitată prin aplicarea unui impuls, pentru care s-a trasat vibrograma şi s-a înregistrat timpul de amortizare a mişcării t_a = 1,78 s.

Răspunsul liber la excitaţia de tip impuls pentru bara încastrată este prezentată în figura 2.9.

• Pe curba de răspuns (fig. 2.9) se măsoară (pe axa timpului) distanţa ***D*** [mm] între punctul de început (momentul excitării) şi de sfârşit (momentul amortizării complete) a mişcării oscilatorii şi se stabileşte scara *s* cu relaţia:

$$s = \frac{t_a\,[s]}{D\,[mm]} = \ldots\ldots\ldots\ldots \left[\frac{s}{mm}\right] \tag{2.25}$$

◆**2.** Se măsoară cu rigla două amplitudini x_1 şi x_{j+1}:

$$x_1 = \ \ldots\ldots\ \text{mm}; \quad x_{j+1} = \ldots\ldots\ldots\ \text{mm} \tag{2.26}$$

şi distanţa ***d*** dintre ele:

$$d = jT = \ldots\ldots\ldots[\text{mm}] \tag{2.27}$$

◆**3.** Se calculează **perioada *T***, în dependenţă de distanţa *d* măsurată şi scara timpului *s*:

$$T = \frac{d\,[mm]}{j} \cdot s\left[\frac{s}{mm}\right] = \ldots\ldots[s] \tag{2.28}$$

◆**4.** Se calculează **decrementul logaritmic**, cu relaţia (2.23):

$$\Delta = \frac{1}{j} \cdot \ln \frac{x_1}{x_{j+1}} = \ldots\ldots \tag{2.24'}$$

◆**5.** Se determină **factorul de amortizare** α din relaţia de definire a decrementului logaritmic (rel.2.23):

$$\alpha = \frac{\Delta}{T} = \ldots\ldots\left[s^{-1}\right] \tag{2.24''}$$

◆**6.** Se calculează **pulsaţia proprie** ω_n şi **pseudopulsaţia** *p*:

$$\omega_n = \frac{2\pi}{T} = \ldots\ldots[rad/s] \tag{2.29}$$

$$p = \sqrt{\omega_n^2 - \alpha^2} = \ldots\ldots\left[s^{-1}\right] \tag{2.30}$$

VIBRA III Student Draft

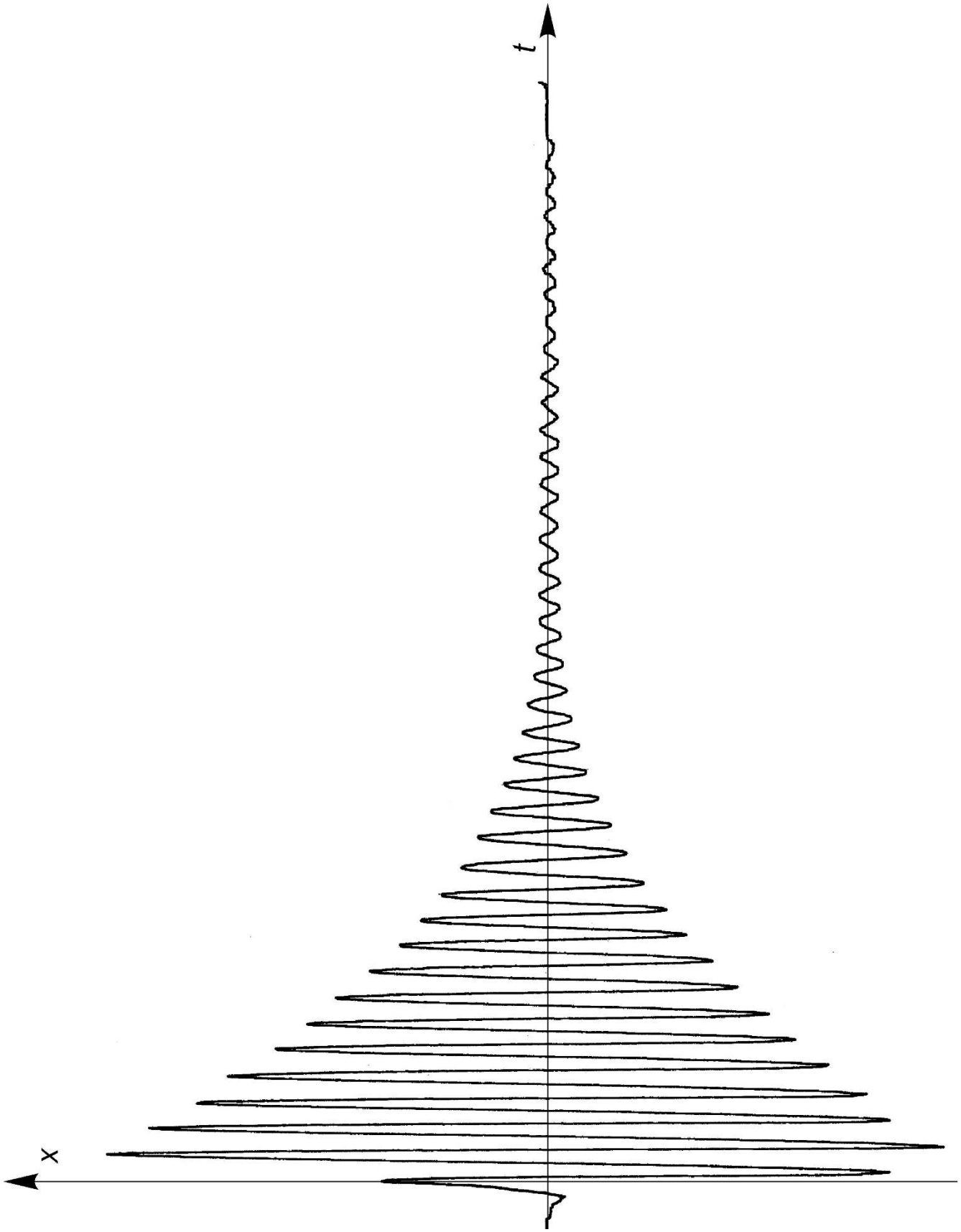

Fig.2.9