A XIV-a Conferinţă internaţională – multidisciplinară,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2014

STUDIU TEORETIC ASUPRA APLICABILITĂŢII IMPEDANŢEI MECANICE

Claudiu Alin GLIGOR, Mariana ARGHIR

THEORETICAL STUDY ON THE APPLICABILITY OF MECHANICAL IMPEDANCE

The present paper will be a presentation of the informations from specialized literature and international standards about the importance of mechanical impedance study for all structures including human body.

Exposure to harmful vibrations can lead to damages of the structures and health problems or disorders that can appear at the human body.

The knowledge of the structures and human body mechanical impedance is essential for realizing appropriate administrative, technical and medical prevention measures.

Keywords: mechanical impedaţă mechanical vibrations, the human hand-arm system

Cuvinte cheie: impedaţă mecanică, vibraţii mecanice, sistem uman mână-braţ

1. Introducere

Pe durata proceselor industriale, a transportului sau în locurile în care apar vibraţiile, corpul uman sau o parte a acestuia se află sub acţiunea vibraţiilor mecanice.

Activităţiile industriale sunt sursa primară a vibraţiilor care „atacă" corpul uman. Acestea produc disconfort, influenţează activitatea operatorului şi chiar sănătatea acestuia.

Expunerea tot mai mare a orgamismului uman la vibraţiile mecanice se datorează modului de proiectare, construcţie şi funcţionare a diverselor structuri cu care orgamismul uman interacţionează.

Conceptul de impedanţă mecanică a apărut din necesitatea cunoaşterii:

- răspunsului dinamic al sistemelor la vibraţiile la care sunt supuse;
- frecvenţei de rezonanţă a sistemelor;
- caracteristica de amortizare respectiv elasticitate a unui material.

Impedanţa mecanică reprezintă raportul dintre forţa aplicată unui sistem şi viteza acestuia ca urmare a aplicării forţei. Relaţia matematică ce redă impedanţa mecanică are forma:

$$Z(t) = \frac{F(t)}{v(t)} \qquad \text{[Ns/m]} \qquad (1)$$

2. Modelarea sistemului uman mână-braţ în studiul impedanţei mecanice

Studiul răspunsului dinamic al sistemelor bazat pe modele analitice ajută la predicţia comportamentului vibraţional al acestor. În cazul în care structura supusă studiului este complexă şi răspunsul acesteia în frecvenţă se doreşte a fi precis atunci modelul poate avea mai multe părţi componente. Dar pentru cazul studiului pe un domeniu îngust de frecvenţă sau în cazul în care sunt acceptate rezultate mai puţin precise atunci modelul poate avea un număr redus de elemente componente.

Luând în considerare conceptele enunţate anterior se poate determina impedanţa mecanică a oricărei structuri, în funcţie de complexitatea acesteia.

Considerând sistemul uman mână-braţ ca fiind o structură, acesta se poate reprezenta printr-un model simplu ca cel din figura 1 sau printr-un model mai elaborat ca cel din figura 2.

În cazul modelului biomecanic al sistemului uman mână-baţ cu 1 grad de libertate, impedanţa mecanică se determină cu relaţia (2):

$$Z = \frac{Z_k Z_m + Z_c Z_m}{Z_k + Z_c + Z_m} \qquad (2)$$

Z_m, Z_k şi Z_c reprezintă impedanţa mecanică a masei, arcului respectiv amortizorului din compunerea modelului.

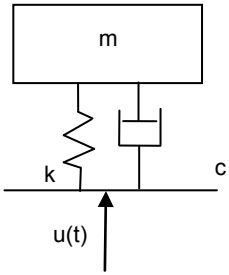

Fig. 1 Model biomecanic al sistemului uman mânâ-braţ cu 1 grad de libertate

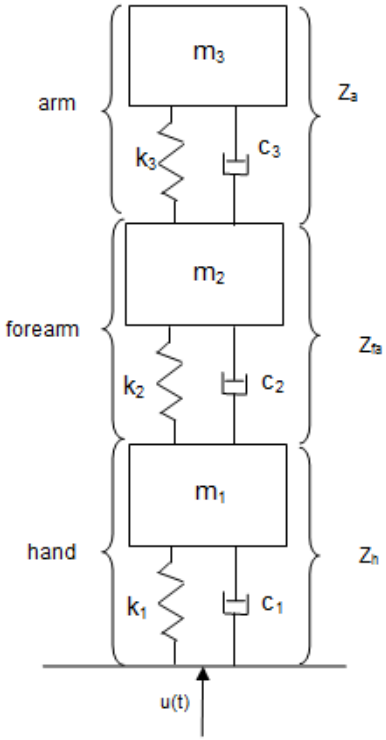

Fig. 2 Model biomecanic al sistemului uman mânâ-braţ cu 3 grade de libertate. Hand = mână, Forearm = antebraţ, Arm = braţ

Dacă se adoptă modelul din figura 2, atunci impedanţa mecanică a sistemului este dată de relaţia (3):

$$Z = \frac{Z_h Z_{fa} Z_a}{Z_h Z_{fa} + Z_a Z_{fa} + Z_h Z_a} \tag{3}$$

Z_h, Z_{fa} şi Z_a sunt impedanţele mecanice ale mâinii, antebraţului respectiv braţului şi fiecare dintre acestea sunt determinate prin introducerea în relaţia (2) a masei, coeficientului de amortizare şi a celui de elasticitate a fiecărei părţi componente a sistemului.

Reprezentarea grafică, în funcţie de frecvenţă, a relaţiei care defineşte impedanţa mecanică a sistemului redă răspunsul acelui sistem la vibraţiile la care este supus.

Pentru a obţine reprezentarea grafică a relaţiei (3), valorile coeficienţilor sunt cele din tabelul 1:

Tabelul 1

Coeficient	Valoare
m_1 masa mâini	0,4745 kg
m_2 masa antebraţului	0,949 kg
m_3 masa braţului	2,409 kg
c_1 coeficient de amortizare al ţesuturilor din palmă	64,5 Ns/m
c_2 coeficient de amortizare al încheieturii mâinii	432,1 Ns/m
c3 coeficient de amortizare al cotului	589,5 Ns/m
k_1 coeficient de elasticitate al ţesuturilor din palmă	75322 N/m
k_2 coeficient de elasticitate al cotului	52570 N/m
k_3 coeficient de amortizare al umărului	65109 N/m

Valorile maselor din compunerea modelului au fost calculate în concordanţă cu coeficienţii de proporţionaliate stabiliţi: 0,65 % pentru masa mâinii, 1,9 % pentru masa antebraţului respectiv 3,3 % pentru masa braţului din masa de referinţă şi anume 73 kg [6].

Variaţia modulului respectiv a fazei impedanţei mecanice sunt redate în figurile 3 şi 4. Pentru compararea rezultatelor obţinute cu valorile standardizate au fost redate în grafice şi limitele minime şi maxime pentru modul şi fază, limite stabilite prin standardul SR ISO 10068:2001 [SR ISO 10068:2001].

Diferenţele dintre valorile obţinute şi cele standardizate se datorează faptului că au fost ignorate anumite variabile ale sistemului uman mână-braţ cum ar fi: coeficienţii de elasticitate şi amortizare ale

degetelor, coeficienţii de elasticitate şi amortizare la torsiune ale încheieturii mâinii, cotului respectiv umărului.

În cazul vibraţiilor cu frecvenţe cuprinse în domeniul 65 la 115 Hz, modelul poate fi utilizat în studiul comportamentului vibraţional.

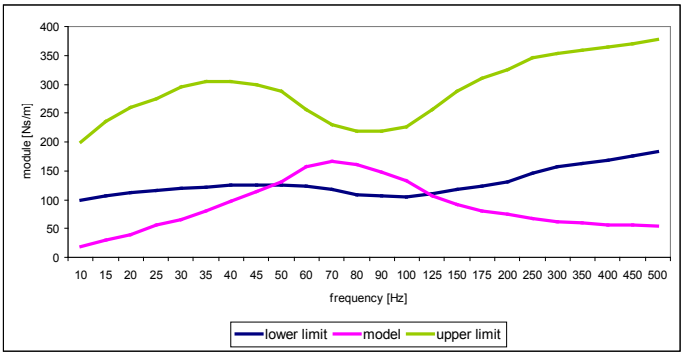

Fig. 3 Reprezentatrea grafică a modulului impedanţei mecanice a modelului prezentat în figura 2

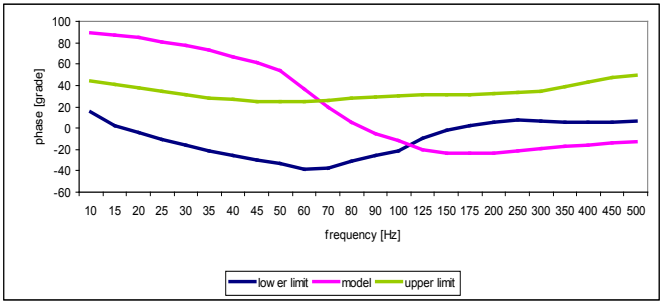

Fig. 4 Reprezentatrea grafică a fazei impedanţei mecanice a modelului prezentat în figura 2

3. Concluzii privind aplicabilitatea impedanţei mecanice

■ Impedanţa mecanică de intrare este utilizată pentru determinarea răspunsului în frecvenţă a sistemului uman mână-braţ la mişcarea forţată a mâinii.

■ Datorită multitudinii factoriilor care influenţează impedanţa mecanică de intrare a sistemului uman mână-braţ s-au conceput diverse modele a căror parametrii nu corespund cu structura anatomică

a sistemului uman mână-braţ, dar care au acelaşi comportament vibraţional ca şi sistemele pe care le reprezintă.

■ Modelul prezentat în figura 2 corespunde cu structura anatomică a sistemului uman mână-braţ.

■ Analizând reprezentările grafice se observă că între 50 Hz şi 125 Hz în cazul modulului respectiv între 65 Hz şi 115 Hz în cazul fazei, valorile obţinute se încadrează între limitele stabilite prin standardul SR ISO 10068:2001 [SR ISO 10068:2001].

■ Domeniul de frecvenţe în care poate fi folosit acest model poate fi lărgit prin dezvoltarea modelului şi prin luarea în considerare a parametrilor ignoraţi.

BIBLIOGRAFIE

[1] Arghir, Mariana, *Elemente de teoria vibraţiilor mecanice*, curs.
[2] Marin, C., *Vibraţiile maşinilor unelte* ed. Impuls, Bucureşti, 2003.
[3] Darabont, Al., Iorga, I., Ciodaru, M., *Măsurarea zgomotului şi vibraţiilor în tehnică,* pag.1-113, Editura tehnică, Bucureşti, 1983.
[4] Harris, C., M., *Harris' shock and vibration handbook*, ISBN: 0-07-137081-1, 2002.
[5] Rasmussen, G., *Human Body Vibration Exposure and its Measurement.* În: Bruel & Kjaer brochure, 1996.
[6] Adewusi, S., Rakheia, S., Marcotte, P., *Biomechanical models of the human hand-arm to simulate distributed biodynamic responses for different postures* International Jurnal of Industrial Ergonomics 42 (2012) pag 249-260, doi:10.1016/j.ergon.2012.01.005.
[7] Elmer, L., Hixson, *Mechanical Impedance*.
[8] Olesen, H.P., Randall, R.B., *A Guide to Mechanical Impedance and Structural Response Techniques.*
[9] * * * SR ISO 10068:2001, *Vibraţii şi şocuri mecanice. Impedanţa mecanică liberă a sistemului mână-braţ în punctul de intrare*, 2001.

Drd. Ing. Claudiu Alin GLIGOR
Prof. Dr. Ing. Mariana ARGHIR
Departamentul Ingineria Sistemelor Mecanice
Facultatea Construcţii de Maşini
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
e-mail: ro.gilg@yahoo.com, marianaarghir@yahoo.com
telefon: 0264 401759, 0264 401657
membri AGIR