

**ASPECTE PRIVIND APRECIEREA ZGOMOTULUI ȘI VIBRAȚIILOR ÎN  
TRANSMISIILE MECANICE*****ASPECTS OF ASSESSING NOISE AND VIBRATION IN MECHANICAL  
TRANSMISSIONS***

CZU: 621.7(075.8)

<https://doi.org/10.56329/1810-7087.23.1.20>

DRD. STANISLAV SLOBODEANIUC,  
UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI,  
BD. ȘTEFAN CEL MARE ȘI SFÂNT, 168, MUN. CHIȘINĂU, 2004,  
REPUBLICA MOLDOVA,  
[HTTPS://ORCID.ORG/0009-0002-0865-6701](https://orcid.org/0009-0002-0865-6701)

**ABSTRACT**

The problem of noise and vibration is very popular among mechanical constructions, and especially in mechanical constructions inside which different types of movements occur in order to produce a necessary mechanical work. The study of mechanical transmissions under the vibroacoustic aspect is quite important because the oscillations produced inside the aggregate not only create unwanted acoustic discomfort during the actual operation, but also lead to the damage of the construction, finally, to its failure. In the paper, the sources of occurrence and the most practiced methods of vibroacoustic determination were structured with the presentation of some practical solutions. Information and computer modeling technologies allow models to be simulated at the design/upgrade stage in order to determine their weak points and possible areas of occurrence of oscillations during operation under high loads and variable speeds. For the acquisition of experimental data, specialized software is used, one of which is Lab VIEW.

**Keywords:** *mechanical transmission; vibroacoustic; translator; decibel; Lab VIEW; data acquisition; day-evening-night level.*

**REZUMAT**

Problema zgomotelor și vibrațiilor este foarte populară în rândul construcțiilor mecanice și, îndeosebi, în construcțiile mecanice în interiorul cărora au loc diferite tipuri de mișcări cu scopul de a produce un lucru mecanic necesar. Studiarea transmisiilor mecanice sub aspect vibroacustic este destul de importantă deoarece oscilațiile produse în interiorul agregatului nu creează doar disconfort acustic nedorit în timpul funcționării propriu-zise, dar duc și la deteriorarea construcției, în final, la ieșirea din funcție a acestuia. În lucrare au fost structurate sursele de apariție și cele mai practicate metode de determinare vibroacustică cu prezentarea unor soluții practice. Tehnologiile informaționale și de modelare computerizată permit

simularea modelelor la etapa proiectării/modernizării în scopul determinării punctelor lor slabe și a posibilelor zone de apariție a oscilațiilor în timpul funcționării sub sarcini ridicate și turații variabile. Pentru achiziționarea datelor experimentale, sunt utilizate softuri specializate, unul dintre care este Lab VIEW.

**Cuvinte-cheie:** *transmisie mecanică; vibroacustic; traductor; decibel; Lab VIEW; achiziție de date; day-evening-night level.*

## 1. Introducere

Sunetul reprezintă un tip de energie care se propagă printr-un mediu cu o anumită viteză. Sunetul nedorit mai este numit zgomot. Vibrația este variația sau deplasarea unui corp în raport cu o anumită poziție de referință în timp, când deplasarea este alternativ mai mare sau mai mică decât referința.

Parametrii și unitățile de măsurare a zgomotului permanent sunt: nivelurile de presiune sonoră (L) în benzile de octavă cu frecvențe medii geometrice 31, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 și 8000 Hz, care se măsoară în dB, și nivelul presiunii sonore ponderat pe întreaga bandă a frecvențelor menționate, care se măsoară în dBA.

Zgomotul și vibrațiile sunt două fenomene, care nu pot fi excluse din procesul de lucru al transmisiilor mecanice indiferent de tipul acestora. Zgomotul și vibrațiile în agregatele mecanice au un impact negativ major, accelerând uzura părților componente, în cele din urmă reducând termenul de viață al transmisiilor. Sistemele vibratoare pot fi:

- sisteme cu un grad de libertate;
- sisteme cu două grade de libertate;
- sisteme cu mai multe grade de libertate.

Transmisiile mecanice, de regulă, sunt sisteme cu un grad de libertate (cu excepția diferențialelor). Sistemele cu un grad de libertate pot fi clasificate în:

- vibrații libere neamortizate;
- vibrații forțate neamortizate;
- vibrații libere amortizate;
- vibrații forțate amortizate;
- vibrații tranzitorii;
- sisteme cu rigiditate cubică.

Sistemele cu două grade de libertate pot fi clasificate în:

- vibrații de translație;
- vibrații de încovoiere;
- vibrații cuplate de translație și rotație;
- pendule cuplate elastic;
- sisteme amortizate.

Sisteme cu mai multe grade de libertate pot fi clasificate în:

- sisteme cu mase concentrate;
- structuri plane din bare articulate;
- cadre plane;
- grilaje;
- funcții de răspuns în frecvență.

Zgomotul și vibrațiile în sumă conduc la poluarea fonică. Îndeosebi aceasta este generată de toate tipurile de transport care, la rândul lor, au prezente în construcțiile lor agregate mecanice. Pe teritoriul UE, poluarea sonoră este în mare măsură cauzată de transportul rutier. S-a estimat că circa 125 de milioane de persoane sunt afectate de poluarea fonică, provocată de traficul rutier, care produce un zgomot ce depășește 55 dB (Lden care se descifrează day-evening-night level) și peste 37 de milioane sunt afectate de un zgomot ce depășește 65 dB Lden. Excesul de zgomot duce la o multitudine de afecțiuni, printre care se pot evidenția probleme ale sistemului endocrin și sistemului nervos, tulburări de somn, boli cardiovasculare, supărarea (sentiment ce creează o stare generală de rău), tulburări cognitive și dereglarea sănătății mintale. Una dintre aceste afecțiuni, apărute în urma efectelor negative asupra auzului, este *tinitusul* sau *acufena*, pe care oamenii o resimt foarte des în aglomerările urbane cu trafic intens și zone industriale sau ae-

roportuare. În UE, din cauza zgomotului excesiv, are de suferit și economia, aceasta fiind de fapt o urmare directă a înrăutățirii stării de sănătate a populației și scăderii productivității acesteia. Poluarea mediului este reglementată de către UE prin adoptarea legislației cu privire la aspectele ce țin de valorile limită de zgomot produse de automobile, echipamentele de exterior și alte surse producătoare de zgomot.

## 2. Soluții de control și combatere a surselor vibroacustice în transmisii mecanice

Pentru minimizarea zgomotului și a vibrațiilor în transmisii mecanice pot fi propuse următoarele soluții:

- identificarea surselor de zgomot și vibrații și izolarea acestora sau modificarea frecvenței acestora, în vederea minimizării efectelor;
- reproiectarea constructivă a transmisiilor cu scopul evitării rezonanțelor, prin poziționarea corectă și alegerea dimensiunilor elementelor componente, stabilirea corectă a rigidității și a distribuției maselor;
- selectarea materialelor care oferă o capacitate ridicată de disipare a energiei de vibrație;
- montarea în construcția transmisiei a unor traductori de apreciere și control activ al vibrațiilor și zgomotului.

Pentru implementarea soluțiilor menționate mai sus este necesară cunoașterea caracteristicilor dinamice ale materialelor și structurilor pe baza cărora se poate realiza modelul teoretic pentru studiul comportării dinamice a transmisiei. Studiul vibroacustic al transmisiilor mecanice este impus de:

- necesitatea obținerii unor transmisiilor silențioase astfel încât criteriul vibroacustic, alături de criteriile de precizie și fiabilitate, să reprezinte din ce în ce mai mult un criteriu de calitate și performanță;
- necesitatea stabilirii posibilităților de diagnosticare a defectelor, care apar în procesul de

producere și exploatare, prin analiza caracteristicilor zgomotului și vibrațiilor;

- dezvoltarea și optimizarea unor sisteme eficiente pentru controlul activ al vibrațiilor și zgomotului.

Controlul vibroacustic al sistemelor mecanice complexe poate fi realizat în timpul funcționării acestora în următoarele scopuri:

- pentru evitarea comandată sau automată a situațiilor extreme, care pot conduce la avarii;
- pentru organizarea reparațiilor preventive cu întreruperi minime;
- pentru reducerea răspunsului la vibrații, pentru suprimarea instabilității structurale sau pentru combaterea vibrațiilor și zgomotului produs în procesul funcționării mașinilor, prin utilizarea controlului activ al vibrațiilor;
- pentru perfecționarea și optimizarea proiectării organelor de mașini.

Controlul prin vibrații este preferat, cu rare excepții, controlului prin zgomot, care este prea mult afectat de sursele de zgomot din mediul ambiant, solicitând fie metode și aparatură specială (metoda intensității acustice), fie condiții speciale de măsurare (cameră anecoidă) [1].

În mod obișnuit, în cadrul transmisiilor mecanice, angrenajele reprezintă cele mai importante surse de zgomot și vibrații. Astfel, soluționarea problemei surselor emițătoare de zgomot și vibrații în angrenaj va influența esențial nivelul total de zgomot produs de transmisie. Sursele de excitație în funcționarea transmisiilor prin roți dințate pot fi „interne” sau „externe”.

Excitațiile interne includ:

- încărcarea variabilă a unei perechi de dinți;
- deplasările relative cauzate de rigiditatea variabilă a danturii;
- deplasările relative variabile sau șocurile cauzate de erorile de angrenare, inclusiv mișcarea sfero-spațială a satelitelui în transmisia planetară precesională;

- forțele de frecare variabile ca sens;
- forțele axiale variabile ca poziție în cazul angrenajelor cu dinți înclinați;
- excitațiile din lagărele cu alunecare sau rulmenți etc.

Excitațiile externe sunt generate de variația cuplului de acționare sau a cuplului rezistent, care este specifică fiecărui tip de transmisie. Comportarea vibroacustică a angrenajelor este influențată de următorii parametri:

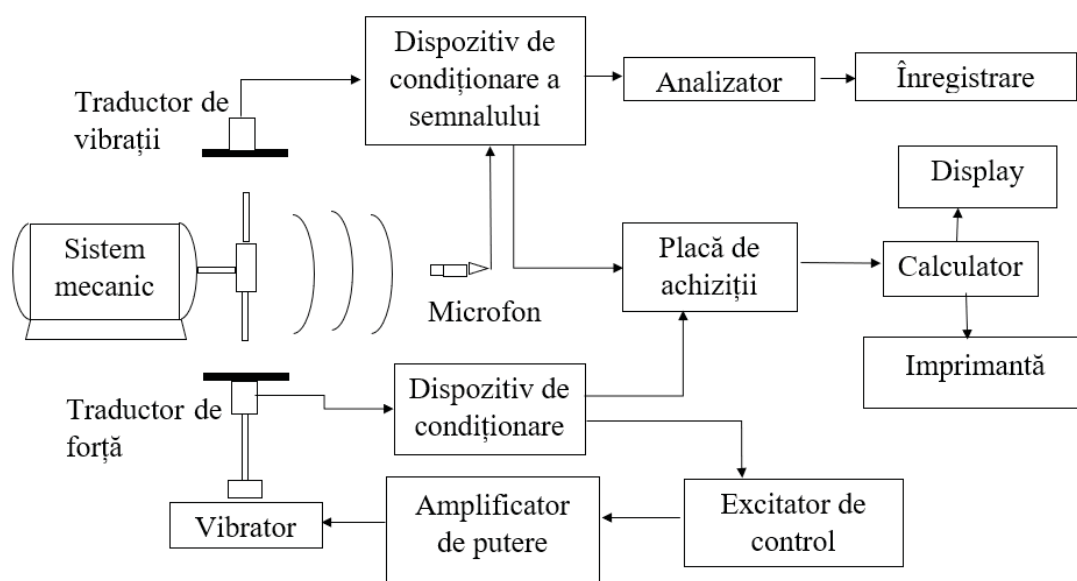
- parametrii constructivi (modul, unghiul de înclinare a dintelui, flancarea dintelui, materialul etc.);
- multiplicitatea angrenării;
- parametrii tehnologici (clasa de precizie, eroarea de formă a profilului, rugozitatea flancurilor active, eroarea de direcție a dintelui etc.);
- parametrii de exploatare (viteza, sarcina, tipul de ungere).

Majorările severe ale nivelului de zgomot, cu circa 20 dB, sunt determinate de erorile geometrice ale profilului, care au frecvențe ridicate,

frecvențe care pot să coincidă cu frecvențele proprii relativ mari ale transmisiei. Creșterea calității suprafețelor de lucru ale flancurilor are un efect pozitiv asupra nivelului de zgomot, remarcându-se o reducere cu 3-4 dB a nivelului de zgomot la dantura rectificată în raport cu dantura frezată. Nivelul de vibrații și zgomot produs de un angrenaj în funcționare crește cu încărcarea transmisă și cu viteza unghiulară. Se constată că o dublare a nivelului de încărcare are ca efect o creștere a nivelului de zgomot cu 3-4 dB, iar dublarea turației produce o creștere cu 6-7 dB, la aceeași încărcare.

În condițiile actuale de cercetare și analiză a vibrațiilor și zgomotului sistemelor mecanice, este necesară utilizarea unor lanțuri de procesare a semnalului, care cuprind următoarele părți componente (Fig. 1):

- traductor de semnal;
- dispozitiv pentru condiționarea semnalului;
- dispozitiv de analiză;
- înregistrator.



**Fig. 1. Schema generală pentru măsurarea și analiza semnalului vibroacustic**

Sursa: <https://zdocs.ro/doc/diagnosticarea-sunetelor-q182lvwo9x1v>

Traductorul de semnal are rolul de a converti energia mecanică a vibrațiilor sau a undelor acustice în energie electrică, oferind la ieșire un semnal electric care să poată fi procesat în continuare de lanțul de măsurare. Pentru măsurarea vibrațiilor mecanice, pot fi utilizați traductori parametri (rezistivi, capacitivi, electromagnetici) sau generatori (electrodinamici, piezoelectrice). Realizările tehnologice din domeniul materialelor piezoelectrice, în paralel cu perfecționarea tehnicii electronice de procesare a semnalului, au făcut ca traductorul piezoelectric să fie preferat pentru măsurarea vibrațiilor, având în același timp și o serie de calități deosebite: domeniu de frecvență și dinamic extins, gabarit și masă redusă, construcție simplă și rezistentă etc.

Alegerea corectă a tipului de traductor de vibrații se face în funcție de:

- parametrul măsurat (deplasare, viteză, accelerație);
- impedanța mecanică a sistemului mecanic;
- sensibilitatea și precizia traductorului;
- domeniul de frecvență;
- condițiile de mediu [2].

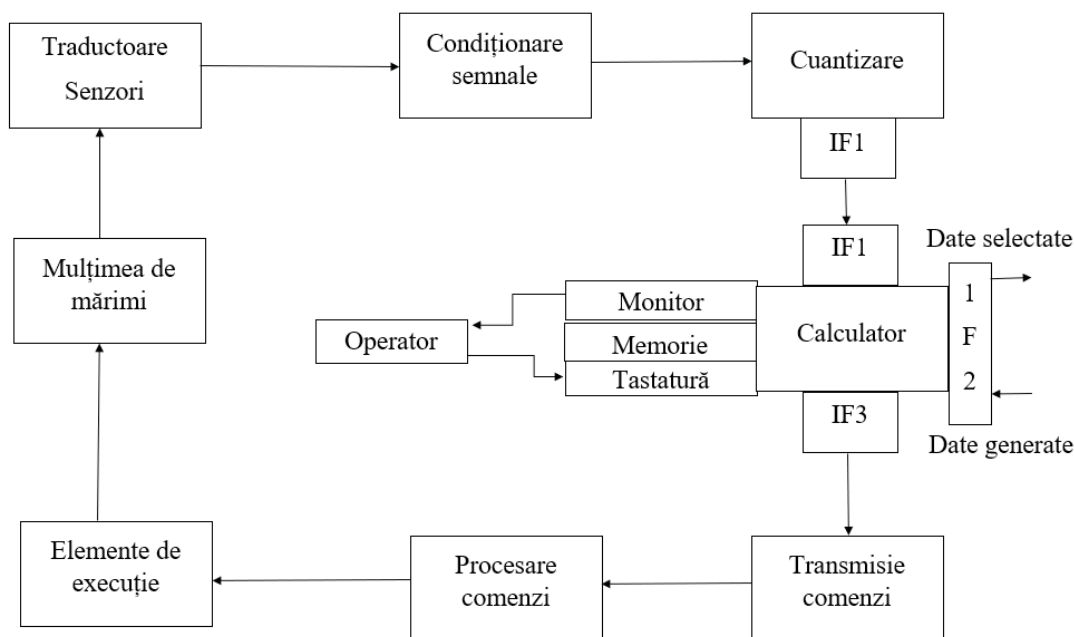
### **3. Instrumentația virtuală pentru măsurarea și analiza semnalului vibroacustic**

Dezvoltarea tehnicii de măsurare a vibrațiilor și zgomotului, precum și dezvoltarea tehnicilor de procesare a semnalului au permis importante perfecționări ale sistemelor de măsurare și analiză, care au determinat o creștere a preciziei și o simplificare a metodelor pentru controlul vibroacustic al sistemelor mecanice. Introducerea în schema de măsurare a unui calculator cu echipamente periferice permite prelucrarea automată a semnalului, realizându-se o reducere substanțială a timpului necesar controlului vibroacustic, o precizie ridicată, posibilități multiple de comparație a rezultatelor în vederea optimizării sistemului

meccanic în legătură cu comportarea vibroacustică. Cu ajutorul plăcilor de achiziție de date, fluxul de date numerice sau analogice, provenite de la traductori de vibrații sau zgomot, poate fi prelucrat sau analizat. Prelucrarea datelor numerice sau analogice prin intermediul limbajului de programare permite crearea sau simularea unor aparate de măsurare și analiză (instrumente virtuale). Principalul avantaj al instrumentelor virtuale de măsurare și analiză constă în flexibilitatea acestora față de instrumentele clasice, putând fi foarte ușor transformate prin programare. Interfața unui instrument virtual conține diverse dispozitive și aparate de măsură și analiză într-o formă grafică, asemănătoare aparatelor și dispozitivelor clasice reale. Un instrument virtual este un modul de program realizat sub formă grafică, astfel încât acesta să se apropie foarte mult de instrumentele fizice similare. Un program performant, care permite realizarea instrumentației virtuale, este programul LabVIEW. Programarea unei aplicații LabVIEW se face pe principiul fluxului de date, instrumentul virtual fiind în realitate un modul de program, care poate fi realizat și executat independent, sau poate fi inclus într-o altă aplicație. Structura de prelucrare a datelor este prezentată în Figura 2 [3].

Sistemele de achiziție și prelucrare a datelor sunt sisteme de complexitate variată, realizate în scopul:

- urmării, monitorizării unor fenomene sau procese;
- măsurării unei mulțimi de mărimi în procesul de experimentare a modelelor funcționale ale unor produse, sisteme;
- testării produselor finite;
- observării și controlului proceselor de producție;
- monitorizării și controlului traficului terestru, naval și aerian.



**Fig. 2. Structura generală a sistemului de prelucrare a datelor**

Sursa: <https://arxiv.org/pdf/1403.4508.pdf>

În cadrul unui sistem de prelucrare a datelor, mediul de programare are rol de a prelua și prelucra informația primită de la digitizor (placă de achiziție), adică îndeplinește următoarele funcții: controlează și comandă întregul sistem de achiziție, preia valorile achiziționate digitizate printr-o magistrală de comunicație, reconstituie semnalul din eșantioane (conversie digital-analogică), determină anumite valori caracteristice ale semnalului (amplitudine – valoare de vârf etc.), realizează o filtrare soft a semnalului, realizează o analiză Fourier (spectrală), efectuează diverse operații aritmetice (adunare, înmulțire, radical, integrare, derivare etc.).

Mediul LabVIEW este de fapt un limbaj grafic de programare la care codul nu este scris sub

formă de text, ci cu ajutorul unor pictograme. Programele realizate cu LabVIEW se numesc instrumente virtuale deoarece reproduc funcționarea instrumentelor reale, cum ar fi: ampermetre, voltmetre, osciloscop, ohmmetre, multimetre etc.

La un instrument de măsurare obișnuit se disting două părți:

a) Interfața cu utilizatorul (afișajul, butoane pentru stabilirea domeniilor), careia îi corespunde, la aplicațiile realizate cu LabVIEW, fereastra numită Panoul Frontal;

b) Mecanismul de funcționare pe baza căruia funcționează instrumentul, căruia îi corespunde, la aplicațiile realizate cu LabVIEW, fereastra numită Diagrama Bloc [4].

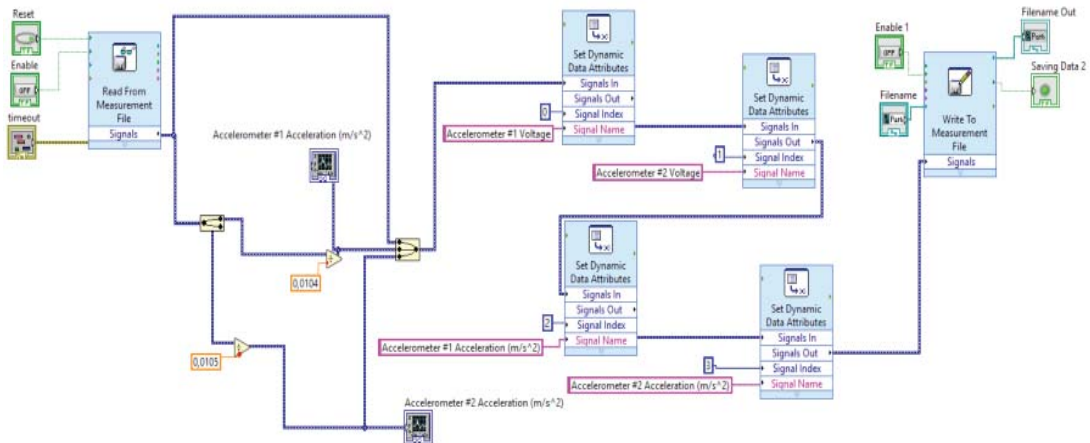


Fig. 3. Diagrama bloc a instrumentului virtual utilizat în prelucrarea accelerației NI Lab VIEW

Sursa: <https://arxiv.org/pdf/1403.4508.pdf>

În Figura 3 este prezentată o diagramă clasică de înregistrare a accelerației în softul specializat NI Lab VIEW, care poate fi utilizată pentru achiziționarea datelor despre oscilațiile ce apar în transmisiile mecanice. Pentru măsurarea vibrațiilor, se utilizează un accelerometru triaxial. Accelerometrul este fixat pe o lamelă elastică, la un capăt, iar celălalt capăt al lamelei este încastrat, lamela fiind supusă unei forțe  $F$ , aplicată manual. Ca și la majoritatea accelerometrelor, sensibilitatea este dată de raportul ieșirii electrice de a aplica accelerației, la ieșire obținându-se o tensiune de impedanță scăzută, care este proporțională cu accelerația aplicată. Datorită impedanței scăzute, nu sunt necesare conexiuni speciale și transmiterea la distanță este posibil să fie realizată cu minimum de zgomot. Pentru sesizarea vibrațiilor, accelerometrul fixat pe lamela elastică convertește accelerația într-o mărime electrică, care este proporțională cu forța aplicată pe elementul ceramic intern (piezoelectric), variabila mecanică (accelerația) fiind obținută dintr-o măsurare a forței. Lab VIEW permite executarea unui număr nelimitat de înregistrări, în baza cărora se poate trage o concluzie finală cu o precizie ridicată.

#### 4. Norme naționale și internaționale de zgomot și vibrații

Pe teritoriul Republicii Moldova sunt reglementate o serie de norme care prezintă nivelul admisibil și maxim permis de zgomot și vibrații. Aceste norme sunt împărțite pe categorii cu nivelurile de zgomot respective:

- camere de locuit ale apartamentelor – admis 40 dB maxim 55 dB;
  - camere de locuit ale căminelor – admis 30 dB maxim 45 dB;
  - camere de locuit ale hotelurilor – admis 35 dB maxim 50 dB;
  - încăperi de locuit ale caselor de odihnă – admis 40 dB maxim 55 dB;
  - saloane de spitale și sanatorii – admis 35 dB maxim 50 dB;
  - instituții de învățământ – admis 40 dB maxim 55 dB;
  - teritorii adiacente – admis 45 dB maxim 60 dB;
  - clădiri de locuit – admis 55 dB maxim 70 dB;
  - instituții medicale – admis 55 dB maxim 70 dB.
- Nivelul de vibrații admis este  $4,0 \text{ m/s}^2 \cdot 10^{-3}$  sau 72 dB [5].

Pe teritoriul UE, sunt reglementate următoarele niveluri de zgomot admisibile:

- încăperi de locuit – admis 35 dB maxim 70 dB;
- birouri de lucru – admis 40 dB maxim 45 dB;
- spații pentru audiție – admis 30 dB maxim 35 dB;
- spitale, policlinici, dispensare – admis 30 dB maxim 35 dB;
- clădiri pentru activități culturale – admis 45 dB maxim 50 dB;
- clădiri comerciale – admis 55 dB maxim 60 dB;
- parcuri – admis 55 dB maxim 60 dB;
- piețe, spații comerciale – admis 75 dB maxim 80 dB;
- zone industriale – admis 60 dB maxim 65 dB [6].

### 5. Discuții

În lucrare au fost analizate sursele de apariție a vibrațiilor și zgomotelor, prezentate soluții de minimizare a acestora. A fost evidențiată metoda computerizată de achiziționare a datelor vibrațiilor gerate în transmisiile mecanice. Pe viitor este preconizat un studiu mai amănunțit bazat pe softul Lab VIEW cu înregistrarea datelor fizice și înaintarea unor soluții aplicabile de micșorare a impactului vibroacustic.

### 6. Concluzii

Factorul vibroacustic este prezent în organele de mașini și, practic, este imposibil de eliminat definitiv atât timp cât în construcția transmisiilor mecanice sunt utilizate elemente metalice mobile. Cercetările în domeniul dat vor continua până când va fi obținută o soluție care va

reduce simțitor nivelul vibroacustic în transmisiile mecanice, luându-se în considerare specificul de construcție al transmisiei.

### REFERINȚE

#### Cărți:

1. BARBU, D., Controlul vibrațiilor și zgomotului, Editura „Gh. Asachi”, Iași 2003, p.291;

#### Web:

2. Vibrații și zgomote: Apariția vibrațiilor și zgomotelor în angrenaje, ©2023 [citată 12.03.2023]. Disponibil: <https://zdocs.ro/doc/diagnosticarea-sunetelor-q182lvwo9x1v>;

3. Mediul ambiant: Poluarea fonică, ©2023 [citată 12.03.2023]. Disponibil: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/fiches\\_techniques/2013/050405/04A\\_FT\(2013\)050405\\_RO.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/fiches_techniques/2013/050405/04A_FT(2013)050405_RO.pdf);

4. Cercetări privind studiul vibrațiilor mecanice cu sisteme de achiziții de date, ©2023 [citată 06.04.2023]. Disponibil: <https://arxiv.org/pdf/1403.4508.pdf>;

5. Hotărârea cu privire la aprobarea Regulamentului sanitar privind normativele de emiterie a zgomotului și vibrației la desfășurarea activităților de comerț interior, ©2023 [citată 05.05.2023]. Disponibil: [https://cancelaria.gov.md/sites/default/files/document/attachments/proiectul\\_224.pdf](https://cancelaria.gov.md/sites/default/files/document/attachments/proiectul_224.pdf);

6. Normativ privind acustica în construcții și zone urbane, ©2023 [citată 05.05.2023]. Disponibil: <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/index.cfm/search/?trisaction=search.detail&year=2012&num=511&dLang=RO>.