

ANALIZA NIVELULUI DE VIBRAȚII ȘI ZGOMOT ÎN TRANSMISIILE PLANETARE PRECESIONALE CINEMATICE

Iulian Malcoci, dr. conf. univ., Ion Bodnariuc, dr. conf. univ.
Universitatea Tehnică a Moldovei

1. NIVELURI ADMISIBILE DE VIBRAȚII ȘI ZGOMOT LA MAȘINILE ȘI UTILAJELE INDUSTRIALE

Vibrațiile și zgomotul care apar în funcționarea mașinilor și utilajelor din diferite sectoare de producție pot determina o diminuare a fiabilității acestora prin introducerea unor solicitări dinamice (suprasarcini), având drept urmare scăderea calității proceselor tehnologice de prelucrare, precum și influențe dăunătoare asupra organismului uman și a construcțiilor de diferite tipuri. Stabilirea în aceste cazuri a unor niveluri de vibrații admisibile este o operație destul de dificilă deoarece trebuie considerați o mulțime de factori: aspectul fizic al vibrațiilor, diversitatea de amplitudini și spectre de frecvențe și direcții de acțiune, durata de acțiune etc.

Metoda de detecție a defectelor prin compararea valorilor RMS ale vitezei vibrațiilor cu valori măsurate anterior sau cu standardele stabilite se utilizează în multe cazuri și necesită criterii de recomandare. Astfel, în tabelul 1 se prezintă criteriile recomandate de Institutul Inginerilor Germani „VDI Richlinien 2056”. S-a mers pe ipoteza că mașinile de mărime similară grupate după putere vor avea niveluri de vibrații similare sau chiar identice în cazul măsurătorilor de viteză în domeniul 10 Hz – 1 kHz. Astfel în *Zona Bună* (verde închis) se încadrează vibrațiile utilajelor noi sau corect reparate. În *Zona Permisă* (verde deschis) se încadrează utilajele care au o funcționare satisfăcătoare. Utilajele din această zonă sunt considerate acceptabile pentru operare pe termen lung, nemaifiind necesare măsuri speciale. În *Zona Acceptabilă* (oranj) se încadrează utilajele care au o funcționare nesatisfăcătoare pentru operare continuă pe termen lung. În *Zona Nepermisă*

(roșu) se încadrează utilajele care au o funcționare inacceptabilă, valorile vibrației sunt suficient de severe pentru a cauza deteriorarea utilajului.

Tabelul 1. Limitele permise de vibrații și zgomot conform VDI 2056

| Presiunea acustică [dB] | Amplitudinea vibrației v_{ef} [mm/s] | Grupa K Mașini mici (< 15 kW) |
|-------------------------|--|----------------------------------|
| 133 | 45,0 | Nepermisă |
| 117 | 7,1 | Acceptabil |
| 113 | 4,5 | |
| 109 | 2,8 | Permisă |
| 105 | 1,8 | |
| 101 | 1,12 | Bună |
| 97 | 0,71 | |
| 85 | 0,18 | |

2. CERCETAREA VIBROACUSTICĂ ÎN CAZUL REDUCTORULUI PLANETAR PRECESIONAL CINEMATIC

Experimentele au fost efectuate pe standul de încercări (figura 1) în laboratorul „Mecanica fină” al departamentului „Bazele Proiectării Mașinilor” într-o cameră închisă cu podea rigidă. Standul experimental este alcătuit din masa de încercări din profil de aluminiu GUNT PT500.01 prevăzută cu canale în formă de T, în care se fixează electromotorul de curent continuu cu $P=0,36$ kW, reductorul planetar precesional cinematic (reductor 2K-H, cu raportul de transmitere $i=-72,3$ și momentul maxim de torsiune $T_2=2,2$ Nm – cu satelit din plastic și $T_2= 8,0$ Nm – cu satelit din pulbere metalică) și frâna electromagnetică de tipul GUNT PT500.05 cu momentul maxim de frânare de 10Nm. Legătura dintre arborii reductorului cu motorul electric și

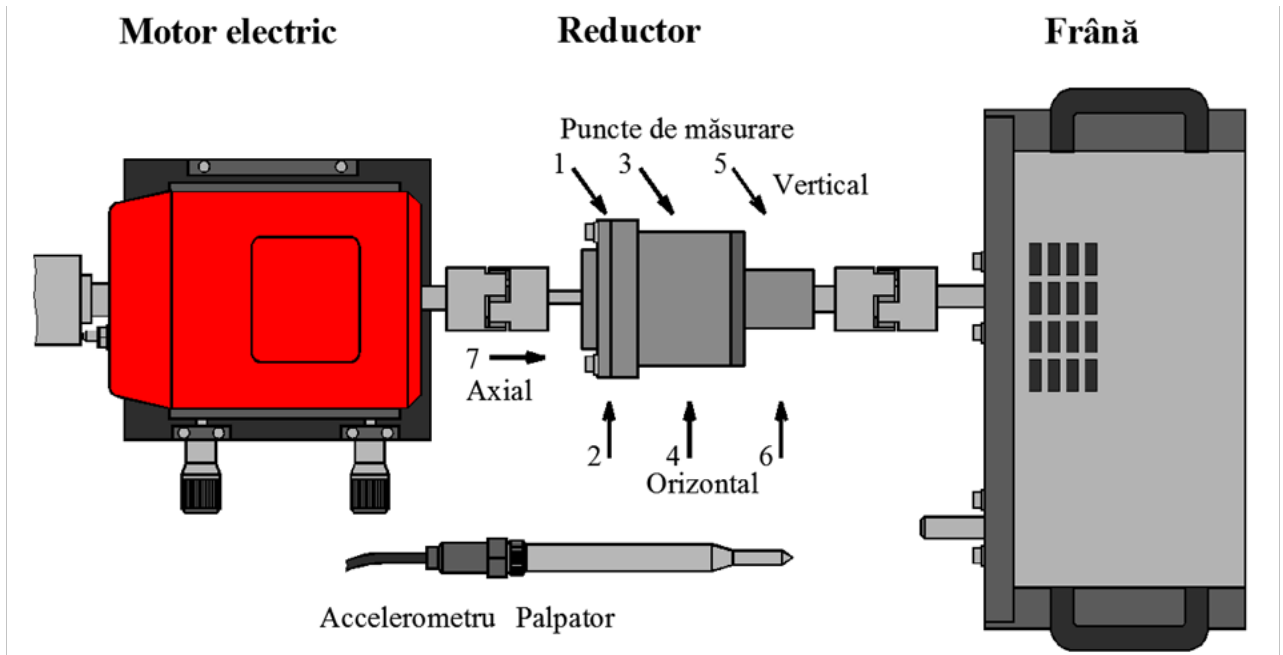


Figura 1. Standul experimental pentru măsurarea amplitudinii vibrațiilor.

frâna a fost realizată prin intermediul a două cuplaje compensatoare cu gheare.

După cum se observă din figura 1, amplitudinea vibrațiilor a fost măsurată prin intermediul palpatorului cu vârf ascuțit, care este fixat de accelerometru prin intermediul unui prezon. Punctele de măsurare au fost alese în număr de șapte: 1 – pe lagărul de rostogolire în plan vertical; 2 – pe lagărul de rostogolire în plan orizontal; 3 – pe carcasa reductorului în plan vertical; 4 – pe carcasa reductorului în plan orizontal; 5 – pe lagărul de alunecare în plan vertical; 6 – pe lagărul de alunecare în plan orizontal; 7 – pe direcție axială.

În figura 2 sunt prezentate secvențe din timpul cercetării din punct de vedere al severității vibrațiilor pentru reductorul planetar precesional cinematic. Valorile obținute au fost comparate ulterior cu standardul german VDI 2058 (tabelul 3.2). Măsurătorile au fost efectuate atât pentru mers în gol, cât și sub sarcină la diferite turații de lucru: 600 min^{-1} ; 1200 min^{-1} ; 1800 min^{-1} ; 2400 min^{-1} și 3000 min^{-1} . În continuare, în tabelele 3.3-3.13 sunt prezentate rezultatele obținute în urma cercetărilor experimentale, prezentate sub formă tabelară și comparate cu standardul german VDI 2058, în care cu culoare verde închis și verde deschis sunt valorile *Bune* și *Permise* ale nivelului de vibrații, cu culoare

oranj sunt valorile *Acceptabile* și cu culoare roșie valorile *Nepermise* ale nivelului de vibrații măsurate.

În continuare vor fi prezentate sub formă tabelară rezultatele experimentale Tab. 2 -12.

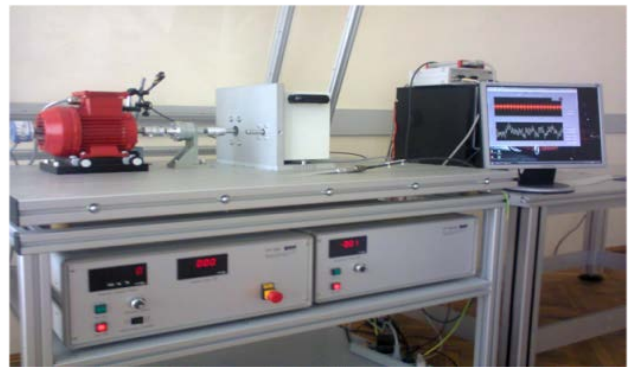


Figura 2. Secvențe din timpul cercetărilor pe standul de încercări.

Tabelul 2. Severitatea vibrațiilor la mers în gol.

| Punctele de măsurare | Amplitudinea vibrațiilor, v_{ef} în mm/s | | | | | Mers în gol |
|----------------------|--|------|------|------|------|-------------|
| | Turația, rot/min | | | | | |
| | 600 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | |
| 1 | 0,32 | 0,69 | 1,18 | 1,70 | 2,20 | 0 Nm |
| 2 | 0,31 | 0,68 | 1,12 | 1,74 | 2,54 | |
| 3 | 0,21 | 0,52 | 0,85 | 1,21 | 1,67 | |
| 4 | 0,25 | 0,56 | 0,84 | 1,27 | 1,76 | |
| 5 | 0,16 | 0,37 | 0,55 | 0,81 | 1,21 | |
| 6 | 0,21 | 0,58 | 0,96 | 1,66 | 2,04 | |
| 7 | 0,2 | 0,38 | 0,53 | 0,83 | 1,09 | |

Tabelul 3. Severitatea vibrațiilor la momentul de frânare 0,2 Nm.

| Punctele de măsurare | Amplitudinea vibrațiilor, v_{ef} în mm/s | | | | | Încărcare |
|----------------------|--|------|------|------|------|-----------|
| | Turația, rot/min | | | | | |
| | 600 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | |
| 1 | 0,44 | 1,07 | 1,77 | 2,69 | 3,07 | 0,2 Nm |
| 2 | 0,35 | 0,80 | 1,42 | 2,87 | 3,37 | |
| 3 | 0,25 | 0,59 | 0,99 | 1,58 | 2,00 | |
| 4 | 0,27 | 0,64 | 1,18 | 1,47 | 2,47 | |
| 5 | 0,17 | 0,36 | 0,63 | 0,86 | 1,19 | |
| 6 | 0,23 | 0,68 | 1,29 | 1,78 | 2,76 | |
| 7 | 0,16 | 0,41 | 0,56 | 0,83 | 1,03 | |

Tabelul 4. Severitatea vibrațiilor la momentul de frânare 0,4 Nm.

| Punctele de măsurare | Amplitudinea vibrațiilor, v_{ef} în mm/s | | | | | Încărcare |
|----------------------|--|------|------|------|------|-----------|
| | Turația, rot/min | | | | | |
| | 600 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | |
| 1 | 0,37 | 1,08 | 2,01 | 2,75 | 3,08 | 0,4 Nm |
| 2 | 0,32 | 0,81 | 1,64 | 2,92 | 3,43 | |
| 3 | 0,20 | 0,58 | 1,15 | 1,85 | 2,33 | |
| 4 | 0,27 | 0,68 | 0,68 | 2,25 | 2,72 | |
| 5 | 0,15 | 0,37 | 0,65 | 0,92 | 1,21 | |
| 6 | 0,22 | 0,70 | 1,38 | 2,23 | 2,91 | |
| 7 | 0,19 | 0,45 | 0,87 | 1,06 | 1,36 | |

Tabelul 5. Severitatea vibrațiilor la momentul de frânare 0,6 Nm

| Punctele de măsurare | Amplitudinea vibrațiilor, v_{ef} în mm/s | | | | | Încărcare |
|----------------------|--|------|------|------|------|-----------|
| | Turația, rot/min | | | | | |
| | 600 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | |
| 1 | 0,42 | 1,07 | 1,82 | 2,75 | 3,49 | 0,6 Nm |
| 2 | 0,31 | 0,77 | 1,18 | 2,09 | 3,13 | |
| 3 | 0,21 | 0,59 | 1,03 | 1,62 | 2,31 | |
| 4 | 0,26 | 0,74 | 0,49 | 1,99 | 2,84 | |
| 5 | 0,14 | 0,32 | 0,55 | 1,05 | 1,43 | |
| 6 | 0,30 | 0,92 | 1,16 | 2,28 | 3,06 | |
| 7 | 0,22 | 0,52 | 0,70 | 1,35 | 2,18 | |

Tabelul 6. Severitatea vibrațiilor la momentul de frânare 0,8 Nm.

| Punctele de măsurare | Amplitudinea vibrațiilor, v_{ef} în mm/s | | | | | Încărcare |
|----------------------|--|------|------|------|------|-----------|
| | Turația, rot/min | | | | | |
| | 600 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | |
| 1 | 0,48 | 1,20 | 1,98 | 2,58 | 3,46 | 0,8 Nm |
| 2 | 0,32 | 0,87 | 1,26 | 2,03 | 3,10 | |
| 3 | 0,25 | 0,66 | 1,11 | 1,53 | 2,26 | |
| 4 | 0,30 | 0,78 | 1,03 | 1,80 | 2,85 | |
| 5 | 0,13 | 0,38 | 0,59 | 1,09 | 1,43 | |
| 6 | 0,36 | 0,89 | 1,24 | 2,17 | 3,01 | |
| 7 | 0,18 | 0,51 | 0,68 | 1,29 | 1,86 | |

Tabelul 7. Severitatea vibrațiilor la momentul de frânare 1,0 Nm.

| Punctele de măsurare | Amplitudinea vibrațiilor, v_{ef} în mm/s | | | | | Încărcare |
|----------------------|--|------|------|------|------|-----------|
| | Turația, rot/min | | | | | |
| | 600 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | |
| 1 | 0,39 | 0,96 | 1,86 | 2,89 | 3,53 | 1,0 Nm |
| 2 | 0,36 | 0,71 | 1,20 | 2,20 | 2,97 | |
| 3 | 0,23 | 0,57 | 1,12 | 1,60 | 2,19 | |
| 4 | 0,28 | 0,65 | 0,99 | 1,73 | 2,67 | |
| 5 | 0,15 | 0,30 | 0,61 | 1,07 | 1,43 | |
| 6 | 0,38 | 0,71 | 1,23 | 2,33 | 3,26 | |
| 7 | 0,20 | 0,47 | 0,72 | 1,38 | 2,08 | |

Tabelul 8. Severitatea vibrațiilor la momentul de frânare 1,2 Nm.

| Punctele de măsurare | Amplitudinea vibrațiilor, v_{ef} în mm/s | | | | | Încărcare |
|----------------------|--|------|------|------|------|-----------|
| | Turația, rot/min | | | | | |
| | 600 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | |
| 1 | 0,41 | 1,10 | 2,02 | 2,90 | 3,32 | 1,2 Nm |
| 2 | 0,32 | 0,74 | 1,29 | 2,33 | 2,85 | |
| 3 | 0,24 | 0,62 | 1,27 | 1,68 | 1,95 | |
| 4 | 0,28 | 0,90 | 1,20 | 1,82 | 2,77 | |
| 5 | 0,15 | 0,32 | 0,60 | 1,09 | 1,30 | |
| 6 | 0,37 | 1,02 | 1,47 | 2,47 | 3,34 | |
| 7 | 0,18 | 0,75 | 0,79 | 1,50 | 2,20 | |

Tabelul 9. Severitatea vibrațiilor la momentul de frânare 1,4 Nm.

| Punctele de măsurare | Amplitudinea vibrațiilor, v_{ef} în mm/s | | | | | Încărcare |
|----------------------|--|------|------|------|------|-----------|
| | Turația, rot/min | | | | | |
| | 600 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | |
| 1 | 0,47 | 1,18 | 1,86 | 2,22 | 3,83 | 1,4 Nm |
| 2 | 0,31 | 0,69 | 1,20 | 2,09 | 3,31 | |
| 3 | 0,25 | 0,62 | 1,12 | 1,81 | 2,25 | |
| 4 | 0,30 | 0,64 | 0,99 | 2,02 | 3,22 | |
| 5 | 0,16 | 0,34 | 0,61 | 1,11 | 1,47 | |
| 6 | 0,34 | 0,76 | 1,23 | 2,61 | 3,70 | |
| 7 | 0,16 | 0,49 | 0,72 | 1,77 | 2,49 | |

Tabelul 10. Severitatea vibrațiilor la momentul de frânare 1,6 Nm.

| Punctele de măsurare | Amplitudinea vibrațiilor, v_{ef} în mm/s | | | | | Încărcare |
|----------------------|--|------|------|------|------|-----------|
| | Turația, rot/min | | | | | |
| | 600 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | |
| 1 | 0,47 | 1,27 | 1,92 | 2,25 | 3,86 | 1,6 Nm |
| 2 | 0,33 | 0,72 | 1,24 | 2,22 | 3,20 | |
| 3 | 0,25 | 0,66 | 1,18 | 1,89 | 2,32 | |
| 4 | 0,31 | 0,72 | 1,08 | 2,11 | 3,16 | |
| 5 | 0,15 | 0,37 | 0,64 | 1,20 | 1,47 | |
| 6 | 0,31 | 1,00 | 1,37 | 2,63 | 3,58 | |
| 7 | 0,15 | 0,57 | 0,73 | 1,89 | 2,49 | |

Tabelul 11. Severitatea vibrațiilor la momentul de frânare 1,8 Nm.

| Punctele de măsurare | Amplitudinea vibrațiilor, v_{ef} în mm/s | | | | | Încărcare |
|----------------------|--|------|------|------|------|-----------|
| | Turația, rot/min | | | | | |
| | 600 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | |
| 1 | 0,50 | 1,07 | 1,91 | 3,24 | 4,37 | 1,8 Nm |
| 2 | 0,36 | 0,64 | 1,07 | 2,44 | 3,70 | |
| 3 | 0,26 | 0,61 | 1,09 | 1,78 | 2,54 | |
| 4 | 0,30 | 0,73 | 0,99 | 2,12 | 3,44 | |
| 5 | 0,16 | 0,35 | 0,63 | 1,18 | 1,58 | |
| 6 | 0,39 | 0,79 | 1,31 | 2,60 | 4,29 | |
| 7 | 0,24 | 0,61 | 0,64 | 1,93 | 2,45 | |

Tabelul 12. Severitatea vibrațiilor la momentul de frânare 2,0 Nm.

| Punctele de măsurare | Amplitudinea vibrațiilor, v_{ef} în mm/s | | | | | Încărcare |
|----------------------|--|------|------|------|------|-----------|
| | Turația, rot/min | | | | | |
| | 600 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | |
| 1 | 0,57 | 1,28 | 2,09 | 3,35 | 4,72 | 2,0 Nm |
| 2 | 0,34 | 0,72 | 1,30 | 2,40 | 4,41 | |
| 3 | 0,29 | 0,67 | 1,23 | 1,86 | 3,13 | |
| 4 | 0,35 | 0,75 | 1,15 | 2,14 | 4,15 | |
| 5 | 0,18 | 0,35 | 0,71 | 1,25 | 2,29 | |
| 6 | 0,43 | 0,79 | 1,59 | 2,80 | 5,50 | |
| 7 | 0,26 | 0,75 | 1,11 | 1,98 | 3,04 | |

CONCLUZII

Prin compararea rezultatelor obținute cu limitele permise de vibrații conform VDI 2058 (tabelul 1.1) TPP cinematică se încadrează în zona *Bună* (culoare verde închis) și *Permisă* (culoare verde deschis) de funcționare până la turația de 2400 rot/min (tabelurile 2.1-2.11). De asemenea, transmisia TPP cinematică poate fi folosită și la turații ridicate de la 2400 rot/min până la 3000 rot/min, unde rezultatele obținute se încadrează în zona *Acceptabilă* (culoare

portocalie). Unica problemă în urma cercetărilor a fost depistată la turația de 3000 rot/min la încărcarea maximă de $1,0 T_n$, unde s-au înregistrat valori *Nepermise* (culoare roșie) ale nivelului de vibrații (tabelul 3.13).

Recomandarea care poate fi dată după analiza rezultatelor obținute pe cale experimentală este că transmisiile planetare precesionale cinematice cu satelit executat din mase plastice poate fi utilizat fără probleme până la turații maxime de lucru de 2000 rot/min și încărcate cu moment de torsiune maxim.

În caz că este necesară utilizarea transmisiei planetare precesionale la turații mai mari de lucru ($n < 2000$ rot/min) se recomandă a fi utilizate aceleași transmisii planetare cinematice cu satelitul executat din pulberi metalice.

Lucrarea a fost efectuată în cadrul Proiectului Național de Cercetări Științifice Fundamentale nr. 1/UT din 24.03.2017 din Republica Moldova.

Bibliografie

1. **Malcoci Iu.** Cercetarea nivelului de vibrații și zgomot în transmisiile planetare precesionale. 242.01 – Teoria Mașinilor, Mecatronică. Teză de doctor, UTM, 2015.
2. **Bostan I., Dulgheru V., Țopa M., Bodnariuc I., Dicusară I., Trifan N., Ciobanu O., Ciobanu R., Odainăi V., Malcoci Iu.** Antologia invențiilor. Vol. 4. Transmisii planetare precesionale cinematice: concepte tehnologice de generare a angrenajelor, cercetări experimentale, aplicații industriale, descrieri de invenții. Ch.: Ed. "Bons Offices" SRL, 2011, 636 p. ISBN 978-9975-80-459-2.
3. **Malcoci Iu., Dicusară I.** Planetary Precession Gear with Thin-Layered Rubber Metal. În: *Nonconventional Technologies Review* Nr. 2(2016), Rep. Moldova, June, 2016, ISSN 2359 – 8646. pp. 35-38.
4. **Malcoci Iu., Bodnariuc I.** Vibroacoustical diagnosis of planetary precessional kinematical transmission. In: *7th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, an open-access proceedings journal, with abstracting and indexing in ISI Web of Science (Conference Proceedings Citation Index), Scopus, EI Compendex, IOP Publishing, 2016, pp. 10-14.*
5. **Malcoci Iu., Bodnariuc I.** Vibroacoustical Diagnosis of Planetary Precessional Kinematical Transmission (Part 1). *Proceedings – Innovative Manufacturing Engineering International Conference, IManE 2015, 20th-22nd May 2015, Iași, Romania. Published in: Applied Mechanics and Materials Vols. 809-810 (2015) p. 593-597, @ (2015) Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.*
6. **Malcoci Iu.** Sound Research in Precessional Transmission. *Proceedings – Innovative Manufacturing Engineering Conference, IManE*

2014, 29-30 May, Chișinău, Rep. Moldova. Published by: @ (2014) Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, p. 584-588.

7. **Bostan I., Dulgheru V., Malcoci Iu.** Some aspects regarding vibro-activity and noise characteristics of planetary precessional transmission, *Proceedings of The 1st International Conference "Advanced engineering in mechanical systems, ADEMS'07"*, ISSN 1221-5872, Technical University of Cluj-Napoca, Romania, pp. 259-262, 7-8 June 2007.

8. **Dicusară I., Malcoci Iu.** Cercetarea nivelului de zgomot al transmisiilor planetare precesionale. Ref. șt. Dulgheru V. În: *Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților de la UTM: Chișinău, 2012, Vol.II, p.141-144, ISBN-978-9975-45-159-8.*

9. **Malcoci Iu.** Ce este zgomotul? *Cygnus – Revistă de Fizică și Matematică aplicată, nr.1(10), ISSN 1584-403x, Suceava, Romania, pp. 7-10, 2009.*

10. **Malcoci Iu.** Some aspects regarding noise pollution. *Revista "Meridian ingineresc". Editura UTM, Chișinău, pp. 22-25, 2010. ISSN 1683-853X.*

11. **Malcoci Iu.** Actualitatea problemei poluării acustice. *Conferința Tehnico Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM, Vol. II. Ed. UTM, Chisinau, pp. 181-184, 2010. ISBN 978-9975-45-159-8.*

12. *** AGMA 914-B04, *Gear Sound Manual, Published by AGMA, ISBN: 1-55589-820-3, 500 Montgomery Street, Suite 350, Alexandria, Virginia 22314, pp. 1-20, USA, 2004.*

13. *** VDI 2056 – *Limitele premise de vibrații și zgomot pentru utilaje dinamice (Standard German)*

Recomandat spre publicare: 19.04.2017.