



**UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI**  
**ȘCOALA DOCTORALĂ**

**Domeniul: Inginerie industrială**

**CONSIDERAȚII PRIVIND MENTENANȚA  
PROACTIVĂ A VENTILATOARELOR  
INDUSTRIALE AXIALE. STUDIU CAZ  
VENTILATORUL VOD 2.1**

**CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:**

**Prof. univ. dr. ILIAȘ Nicolae**

**STUDENT DOCTORAND:**

**ANDREICA Mădălin**

2022

## Cuprins

INTRODUCERE.....	1
CAPITOLUL 1 .....	3
CONSIDERAȚII GENERALE DESPRE VENTILATOARE.....	3
1.1. Ventilatoare centrifugale.....	4
1.1.1. Generalități .....	5
1.1.2. Construcție .....	10
1.1.3. Relația fundamentală și parametrii funcționali .....	10
1.1.4. Funcționarea ventilatoarelor în rețea .....	14
1.1.5. Reglarea ventilatoarelor .....	16
1.2. VENTILATOARE AXIALE .....	17
1.2.1. Tipuri și elemente constructive .....	17
1.2.2. Aerodinamica ventilatorului axial .....	24
1.2.3. Calculul debitului aerului.....	27
1.2.4. Calculul puterii de acționare .....	27
1.2.5. Reglarea ventilatoarelor axiale.....	28
1.2.6. Zgomotul ventilatoarelor .....	29
CAPITOLUL 2 .....	30
STUDIUL ASPECTELOR TEORETICE PRIVIND DIAGNOSTICAREA VIBROMECHANICĂ ȘI MONITORIZAREA VENTILATOARELOR DIN INDUSTRIA MINIERĂ .....	30
2.1. Modalități de desfășurare a analizei semnalelor .....	30
2.1.1. Analiza unei singure înregistrări .....	31
2.1.2. Analiza unei colecții de înregistrări.....	34
2.1.3. Analiza secvențială a semnalelor staționare .....	35
2.1.4. Analiza semnalelor staționare cu analizoare FFT .....	35
2.1.5. Analiza în timp real a semnalelor staționare folosind analizoare cu filtre numerice .....	36
2.1.6. Analiza în timp real a semnalelor tranzitorii .....	36
2.2. Analiza semnalelor în domeniul frecvență .....	37
2.2.1. Analiza în domeniul frecvențelor joase și medii.....	39
2.2.2. Analiza în domeniul frecvențelor înalte .....	41
2.2.3. Analiza prin utilizarea fazei .....	43

2.2.4. Analiza vibrațiilor prin compararea spectrelor .....	44
2.3. Analiza semnalelor în domeniul timp .....	46
2.4. Analiza semnalelor în domeniul amplitudine .....	47
2.5. Monitorizarea stației de ventilare a aerului din minele de cărbune .....	47
2.6. Concluzii .....	50
CAPITOLUL 3 .....	51
SISTEME DE MĂSURARE ELECTRICĂ A VIBRAȚIILOR MECANICE UTILIZATE LA STUDIUL FUNCȚIONĂRII VENTILATOARELOR .....	51
3.1. Instalații de măsurare a vibrațiilor.....	51
3.2. Traductoarele de vibrații.....	53
3.2.1. Traductoare electro rezistive (TER) .....	55
3.2.2. Accelerometre cu traductoare electro rezistive (TER).....	59
3.2.3. Traductoare inductive .....	61
3.2.4. Captoare de viteză cu traductoare inductive .....	62
3.2.5. Accelerometre cu traductoare inductive .....	64
3.2.6. Traductoare piezoelectrice .....	65
3.3. Preamplificatoare și amplificatoare de semnal .....	66
3.4. Filtre .....	69
3.5. Concluzii .....	72
CAPITOLUL 4 .....	73
ANALIZA PRIN DIAGNOZĂ VIBROMECHANICĂ A CAUZELOR PRINCIPALE ALE VIBRAȚIILOR VENTILATOARELOR AXIALE .....	73
4.1. Cauzele și identificarea vibrațiilor la dezechilibrul mecanic .....	75
4.2. Identificarea vibrațiilor la alinierea incorectă.....	79
4.3. Identificarea vibrațiilor la insuficienta strângere sau slăbire a îmbinărilor mecanice .....	82
4.4. Concluzii .....	84
CAPITOLUL 5 .....	85
CONTRIBUȚII LA STUDIUL DIAGNOSTICĂRII ȘI MONITORIZĂRII VIBROMECHANICE A VENTILATOARELOR AXIALE UTILIZATE ÎN INDUSTRIA MINIERĂ. STUDIU DE CAZ .....	85
5.1. Stația de ventilatoare VOD 2.1 de la Exploatarea Minieră Vulcan.....	85
5.2. Programul de încercări realizat .....	90
5.3. Aparare folosite și desfășurarea măsurătorilor .....	95

5.4. Rezultatele analizei vibromecanice în cazul ventilatoarelor de tip VOD 2.1 de la Exploatarea Minieră Vulcan.....	96
5.5. Concluzii .....	103
CAPITOLUL 6 .....	104
CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....	104
6.1. Concluzii generale .....	104
6.2. Contribuții personale .....	104
6.3. Perspective și tendințe de continuare a temei .....	107
BIBLIOGRAFIE .....	108

**Cuvinte cheie** : sisteme de măsurare, vibrații mecanice, ventilatoare axiale din industria minieră, achiziții de date, alinieri, diagnoza vibromecanică, procesarea semnalelor.

## INTRODUCERE

Exploatarea zăcămintelor de cărbune ocupă un loc prioritar în vederea asigurării din resurse proprii, într-o proporție cât mai mare, a necesităților interne de energie electrică. Acest lucru este susținut și de studiile elaborate de Agenția Internațională de Energie.

Pentru realizarea acestui obiectiv, în industria minieră se utilizează tehnologii și utilaje de mare complexitate și productivitate care prin grad ridicat de mecanizare, duce la creșterea eficienței economice.

Siguranța și stabilitatea lucrărilor miniere subterane depind în principal de sistemul de ventilație. Din analiza literaturii de specialitate a rezultat că ventilatoarele axiale miniere se utilizează în sistemul de aeraj în proporție de 30%

În etapa actuală se constată o trecere de la utilizarea extensivă la cea intensivă, care duce la creșterea producției nu numai prin investiții, dar mai ales prin creșterea indicilor de utilizare ai instalațiilor și utilajelor. Aceasta presupune și o creștere a fiabilității în faza de exploatare, care să asigure o funcționare corectă în procesul tehnologic, fără defecțiuni, opririle urmând să se facă conform programelor de revizii și reparații planificate.

La noi în țară se constată o reducere a programelor de investiții din industria minieră și o direcționare, într-o mică măsură, a fondurilor spre achiziționarea de noi utilaje fabricate în țară. Această evoluție puternic descendentă a fondurilor de investiții de la buget s-a datorat, atât crizei economice, blocajului financiar, precum și a gradului redus de promovare a exporturilor.

În acest context economic, datorită prețurilor materialelor, a componentelor mecanice și electrice și a cotei de importuri, valoarea reală a utilajelor destinate extragerii cărbunelui este foarte mare, ceea ce conduce la limitarea posibilităților de achiziționare de către potențiali beneficiari.

Din aceste considerente, tendințele actuale pe plan mondial s-au direcționat spre alte priorități, cum ar fi:

- ◆ modernizarea utilajelor existente ;
- ◆ automatizarea și teletransmisia datelor la distanță;
- ◆ prevederea utilajelor cu echipamente de monitorizare și control a funcționării;
- ◆ efectuarea de controale preventive și diagnosticări tehnice pentru a evita opririle accidentale;

La noi în țară se acționează pentru rezolvarea unora dintre cerințele prezentate anterior, la ora actuală fiind luată ca obiectiv modernizarea utilajelor și echipamentelor existente în exploatare.

Din statistica avariilor la aceste tipuri de utilaje se constată că majoritatea au fost de natură mecanică și electrică.

Prin acțiunea de modernizare se urmărește mărirea duratei de viață a utilajelor cu

efect benefic, atât din punct de vedere economic, cât și a fiabilității în exploatare.

Datorită faptului că elementul cel mai important care determină durata de viață a unui utilaj este construcția metalică și diversele subansambluri mecanice este imperios necesar să se elaboreze o metodologie de analiză reală a regimului dinamic în vederea determinării duratei de utilizare în siguranță a acestora. Asupra utilajelor acționează în timp o serie de factori cum ar fi suprasolicitări, șocuri, oboseala materialelor, coroziunea etc., care duc la distrugerea lor.

Problema ruperilor fragile în construcțiile metalice a început să fie cercetată cu atenție numai după apariția unor accidente tehnice grave, când utilajele mari s-au distrus.

Din analiza acestor accidente și avarii a rezultat că, în cazul construcțiilor sudate complexe, calculele de rezistență și stabilitate, cu toate că sunt indispensabile, nu sunt suficiente pentru a garanta siguranța construcției, fiind absolut necesar ca ele să fie completate cu o serie de măsurători de vibrații mecanice.

Necesitatea și oportunitatea temei alese pentru teza de doctorat este susținută de perspectivele mineritului din România, în condițiile unei concurențe acerbe pe piața energetică, când restricțiile ecologice în defavoarea mineritului devin din ce în ce mai puțin facultative, când prețul petrolului pe plan mondial are o creștere nemaiîntâlnită de la o zi la alta, prețul la  $m^3$  de gaze naturale este de asemenea în creștere, producția de energie electrică pe bază de cărbune din total energie constituie argumente destul de palpabile care confirmă locul și importanța cărbunelui în producția de energie electrică a României.

Scopul acestei lucrări este de a stabili prin metode moderne de investigație punctele slabe în funcționarea ventilatoarelor de tip VOD din industria minieră de a face propuneri concrete de diagnosticare vibromecanică, probleme de echilibrare, de aliniere de îmbunătățire a acestora în vederea creșterii performanțelor și fiabilității .

X                      X                      X

Teza de doctorat a fost elaborată în cadrul Universității din Petroșani, sub conducerea domnului prof. univ. dr. ing. Ilias Nicolae.

Cu acest prilej doresc să mulțumesc domnului prof. univ. dr. ing. Ilias Nicolae pentru îndrumarea competentă și permanentă pe tot parcursul perioadei de pregătire și elaborare a tezei, precum și pentru modul în care a reușit să direcționeze activitatea mea ca doctorand, pentru obținerea unor rezultate cu valoare teoretică și practică.

Totodată, doresc să-mi exprim întreaga mea recunoștință celor care m-au ajutat și m-au susținut în perioada de pregătire și elaborare a tezei.

## Conținutul tezei

Obiectivul prezentei teze de doctorat a constat din stabilirea unui sistem și a unei metodologii unitare pentru analiza, diagnoza și monitorizarea vibromecanică a ventilatoarelor axiale de tip VOD din cadrul exploatărilor miniere.

Din studiul documentațiilor de specialitate din domeniul instalațiilor de asigurarea aerajului din întreprinderile miniere și al aparatelor și echipamentelor de măsură al vibrațiilor am ajuns la următoarele concluzii principale:

1. Nu există un sistem universal acceptat și o metodologie pentru diagnosticarea stării tehnice de funcționare a ventilatoarelor axiale de tip VOD;

2. Firmele producătoare de echipamente pentru diagnosticarea vibromecanică, Bruel Kjaer, Schenk etc. nu oferă o metodologie unitară de măsurare și analiză a vibrațiilor;

3. Valoarea ridicată a echipamentului și al softului aferent produs de aceste firme fac să crească cheltuielile de exploatare al ventilatoarelor axiale cu implicații directe asupra costurilor de producție.

Ca urmare a celor afirmate mai sus, în prezenta lucrare am propus o metodologie de diagnosticare vibromecanică a stării tehnice de funcționare a ventilatoarelor axiale de tip VOD. Totodată am conceput și realizat un sistem minimal de măsurare.

Teza este structurată pe cinci capitole, o introducere și un capitol de concluzii finale.

În primul capitol intitulat ”**Considerații generale despre ventilatoare**” am evidențiat scopul și importanța ventilatorului atât în clădiri și incinte industriale care au posibilitatea de utiliza sisteme de climatizare cât și în zone aparținătoare unor incinte comerciale și industriale unde utilizarea sistemelor de climatizare este imposibilă sau prea costisitoare, cum ar fi exploatările miniere, parcări subterane, metrou, săli de sport.

Totodată, deși aparent simple din puncte de vedere constructiv, ventilatoarele pun probleme de aerodinamică pretențioase, fapt care m-a condus la alegerea subiectului acestei teze.

Analizând bibliografia de specialitate, în acest capitol, am descris principalele tipuri de ventilatoare, configurațiile și pozițiile de montaj precum și aplicațiile principale în care sunt utilizate ventilatoarele. Ținând cont de aceste aspecte am mai analizat și prezentat generalități, modul de funcționare a ventilatoarelor centrifugale și axiale (referitor la cum se face aspirația și refularea aerului), clasificarea, variante constructive, modul de funcționare și reglare în rețea precum și relația fundamentală și parametrii constructivi.

În figurile 1 și 2 de mai jos pot fi observate modurile de funcționare ale ventilatoarelor în rețea.

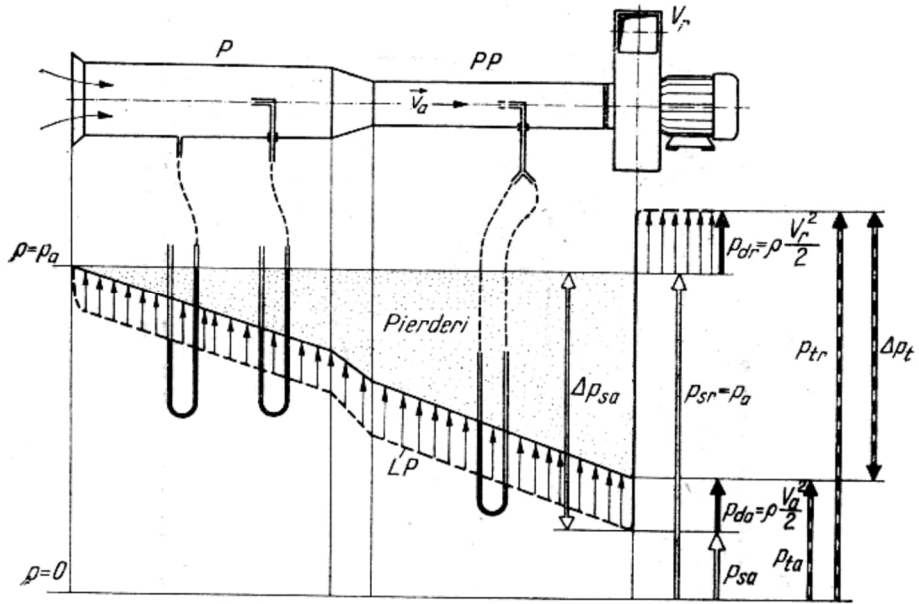


Fig.1. Ventilator cu conductă de aspirație

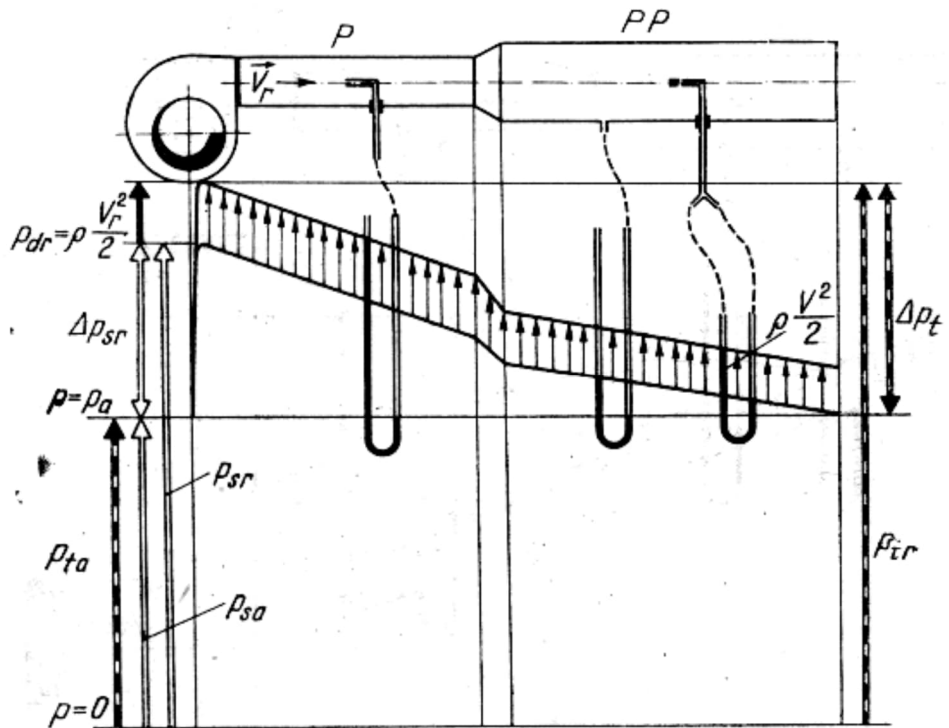


Fig.2 Ventilator cu conductă de refulare



Subiectul acestei teze referindu-se la ventilatoarele de tip VOD, ventilatoare de tip axial, am prezentat destinația utilizării, procesul de lucru, tipuri și elementele constructive, parametrii de funcționare, aerodinamica, modul de calcul al debitului de aer și puterii de acționare, metode de reglaj ale ventilatoarelor axiale. În figura 3 se poate vedea ansamblu constructiv al unui ventilator axial.

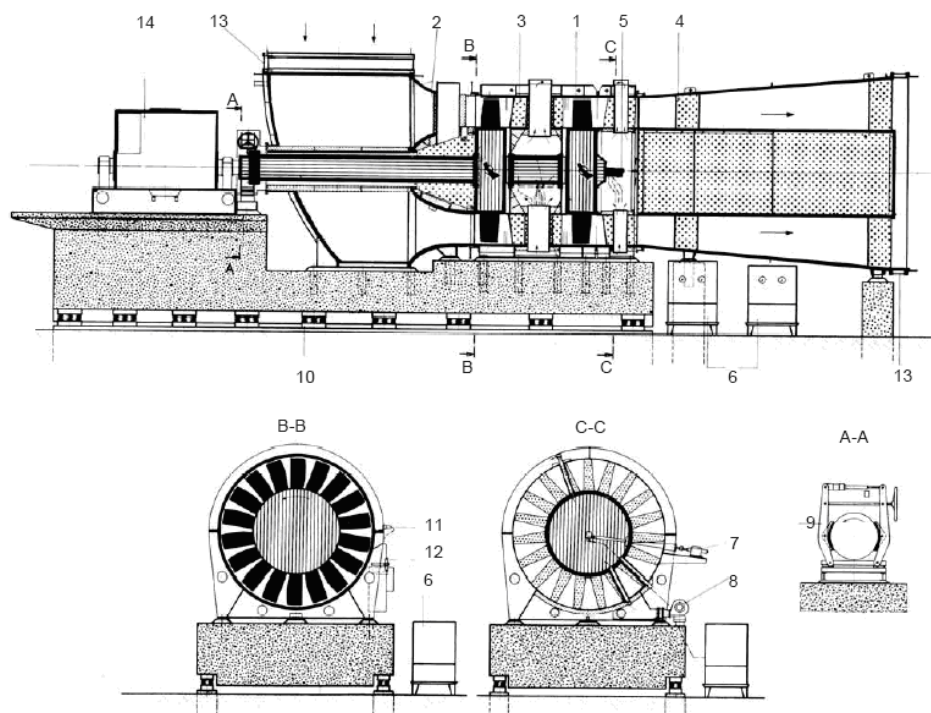


Fig.3 Ansamblul constructiv al ventilatorului axial

Analiza globală și prelucrarea datelor statistic nu soluționează problemele legate de diagnosticarea stării tehnice de funcționare a ventilatoarelor axiale din cadrul întreprinderilor miniere. Asemenea date se pot obține numai prin utilizarea unor metode complexe și cât mai variate de achiziție, obținute prin măsurători directe (vibrații, zgomot, temperatură) efectuate pe ansamblul mașinii sau pe elementele componente prezentate în capitolul doi **”Studiul aspectelor teoretice privind diagnosticarea vibromecanică și monitorizarea ventilatoarelor”**

Pentru prelucrarea datelor măsurate se utilizează mai multe tipuri de analize cum ar fi:

- ◆ analiza în domeniul frecvență;
- ◆ analiza în domeniul timp;
- ◆ analiza în domeniul amplitudine.

Efectuarea acestor analize este condiționată de utilizarea unor software specializate pentru analiza vibromecanică.

Concomitent cu analiza spectrală trebuie să se facă și o analiză a frecvențelor proprii pentru determinarea fenomenului de rezonanță.

În scopul separării componentelor de diferite frecvențe în cazul în care se folosește aparatură analogică se utilizează mai multe filtre de tip “trece-bandă” acordate pe frecvențe diferite. În tehnologia modernă această operație se realizează prin folosirea transformatei

Fourier și a filtrelor digitale.

Pentru fiecare ventilator trebuie stabilit un spectru de referință față de care să se compare toate măsurătorile de vibrații.

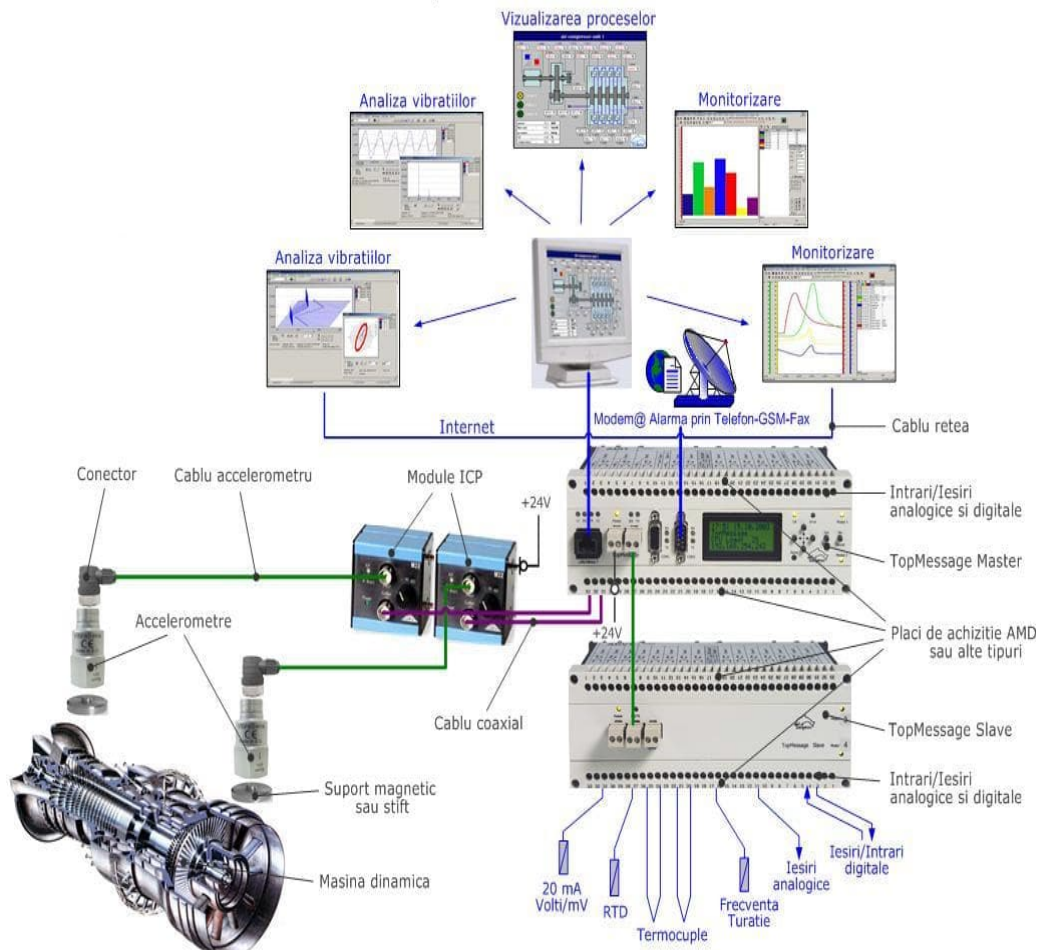
Structura unui sistem achiziție și comandă e poate fi observat în figura 4 și este compus din:

- ◆ elemente de măsurare (traductoare de temperatură, traductoare de presiune diferențială, traductoare de vibrații) cu adaptoare de semnal unificat;
- ◆ elemente sesizoare de poziție pentru clapete și pentru elementele de execuție;
- ◆ elemente de execuție (mecanism de acționare reversibil);
- ◆ tablou de comandă și semnalizare local care include în configurația sa:
  - automat programabil cu intrări și ieșiri analogice și numerice;
  - circuite electronice de adaptare și multiplexare pentru mărimile analogice și numerice;
  - circuite de semnalizare și alarmare;
  - interfețe de comunicație pentru teletransmisie de date.

Funcții de realizat:

- ◆ controlul buclelor de măsurare;
- ◆ achiziția datelor în automatul programabil (temperatura lagărelor, presiune de intrare și ieșire aer, nivel de vibrație, informații de stare, noxe);
  - ◆ supravegherea încadrării în limite a parametrilor funcționali;
  - ◆ comandarea elementelor de execuție;
  - ◆ alarmarea optică și sonoră;
  - ◆ selectarea regimurilor de lucru (automat/manual)
  - ◆ comunicația cu calculatorul.

**SISTEM ON-LINE DE MĂSURARE, MONITORIZARE  
ȘI ANALIZĂ A VIBRAȚIILOR ȘI A ALTOR PARAMETRI INDUSTRIALI**



*Fig.4 Sistem de monitorizare a ventilatoarelor*

În capitolul trei “**Sisteme de măsurare electrică a vibrațiilor mecanice utilizate la studiul ventilatoarelor**” sunt prezentate modulele necesare conceperii și realizării unui sistem minimal de diagnosticare vibromecanică.

Structura sistemului de achiziție de date, realizat cuprinde traductoare, amplificatoare de semnal, convertoare analog digital, calculator și softuri de achiziție prelucrare și prezentare a datelor înregistrate.

Caracteristica sistemelor de măsurarea electrică a vibrațiilor mecanice constă în transformarea mărimilor mecanice în semnale electrice. Prin aceasta sunt eliminate transmisiile și amplificările mecanice care introduc erori de măsurare. Astfel, metodele de măsurare electrică a parametrilor vibrațiilor mecanice prezintă multe avantaje:

- ◆ precizie și sensibilitate ridicată;
- ◆ greutate scăzută a captorilor;
- ◆ efectuarea unor măsurători paralele și de la distanță;

- ◆ utilizarea unor filtre analogice sau numerice;
- ◆ amplificarea, prelucrarea automată, stocarea datelor pe suport magnetic a rezultatelor.

Principiile generale ale aparatelor destinate măsurării vibrațiilor mecanice, prezentate la aparatele de tip mecanic, rămân aceleași.

Progresul cel mai semnificativ în domeniul traductoarelor îl reprezintă realizarea lor sub forma integrată, prin înglobarea într-o unitate constructivă miniaturizată, similară circuitelor integrate pe scară largă, atât a elementului sensibil, cât și a adaptorului, inclusiv elemente de calcul, liniarizare, compensare termică etc. Cuplarea între elementul sensibil și adaptor, care la traductoarele uzuale ridică probleme, în acest caz a dispărut. Actualmente se fabrică în mod curent traductoare integrate de accelerație, cu performanțe ridicate și la dimensiuni și greutatea reduse considerabil față de traductoarele clasice.

Sistemul de achiziție poate urmări 16 semnale de intrare prin multiplexarea în timp, ceea ce recomandă utilizarea acestuia pentru monitorizarea permanentă a nivelelor de vibrații, temperaturii și presiunii care apar în timpul funcționării ventilatoarelor axiale și centrifugale.

În capitolul patru ”**Analiza prin diagnoza vibromecanică a cauzelor principale ale vibrațiilor ventilatoarelor axiale**” se prezintă cauzele principale ale vibrațiilor ventilatoarelor axiale de tip VOD. La apariția unor probleme de vibrații și zgomot trebuie să se identifice și să se localizeze sursa acestora. Identificarea sursei de vibrații se face printr-o analiză spectrală, în care se identifică frecvențele importante. Localizarea acestora constă în determinarea cauzelor producerii fiecărei frecvențe importante. Amplitudinea se măsoară numai pentru aprecierea nivelului vibrației și compararea acesteia în timp pentru a vedea unde au apărut modificări în funcționarea sistemului.

Frecvențele vibrațiilor mașinilor se pot clasifica în:

- ◆ frecvențe de excitație, generate de mișcarea întregului sistem sau de procesul tehnologic;
- ◆ frecvențe proprii, date de caracteristicile geometrice și mecanice ale sistemului.

Dacă frecvențele de excitație se aproprie în proporție de 20% de frecvențele proprii atunci sunt probleme de rezonanță. Dacă nu este posibil să schimbăm regimul de funcționare al sistemului atunci trebuie să folosim o serie de amortizoare dinamice pasive sau active.

Din analiza teoretică și cea experimentală comparate cu datele statistice privind defectiunile ventilatoarelor, cauzele cele mai frecvente a vibrațiilor ventilatoarelor axiale o constituie:

- ◆ dezechilibrul mecanic (dezechilibru static, dezechilibru dinamic) care poate fi cauzat de defect de montaj, defect produs în timpul exploatării, fenomene hidraulice sau aerodinamice;
- ◆ aliniere incorectă, care pot fi nealiniere prin paralelism, nealiniere unghiulară, nealiniere combinată. Atunci când există o aliniere incorectă, în spectrul de frecvență al

vibrațiilor se disting primele trei armonici ale frecvenței de rotație, chiar dacă amplitudinile vibrațiilor sunt reduse;

- ◆ slăbirea îmbinărilor mecanice, apar la deteriorarea fundației sau la slăbire mecanică, în spectrul de frecvență al vibrațiilor apare o amplitudine ridicată la frecvența de rotație;

- ◆ lagăre defecte (lagăre cu alunecare, lagăre cu rostogolire).

În capitolul cinci ”**Contribuții la studiul diagnosticării și monitorizării vibromecanice a ventilatoarelor axiale utilizate în industria minieră**” sunt prezentate rezultatele obținute în diagnosticarea vibromecanică a stării tehnice a ventilatoarelor de tip VOD 2.1 din cadrul Exploatarei Miniere Vulcan.

În prima parte a capitolului sunt prezentate ventilatoarele luate în studiu precum și stabilirea punctelor de măsurare.

Ca și puncte de măsurare au fost alese cele 2 lagăre și corpul ventilatorului axial.

Cu ajutorul lanțului de măsurare realizat și prezentat la paragraful 5.3 am efectuat monitorizarea parametrilor de mișcare (acelerație, viteză și deplasare), parametrii înregistrați funcție de timp. Acești parametri au fost măsurați pe cele 3 direcții (axial X, vertical Y și orizontal Z).

Măsurătorile sau efectuat cu ventilatoarele reglate la un debit de  $6130 \text{ m}^3/\text{min}$  valoare la care nu apare fenomenul de pompaj.

Utilizând aparatura de măsură prezentată s-au putut efectua o serie de măsurători de vibrații putând face:

- ◆ analiză globală și compararea cu valorile admisibile prevăzute în standardele internaționale;

- ◆ analiză spectrală pentru a putea separa și identifica sursa vibrațiilor precum și diagnosticarea vibromecanice.

În urma analizei globale a reieșit că nivelul global de vibrații, conform normativului VDI 2056, grupa G este în domeniul acceptabil, mai mic decât  $4,8 \text{ mm/s}$ .

Sau efectuat măsurători pe un ventilator VOD 2.1 nou instalat, la un interval de 6 luni și pe un ventilator VOD 2.1 care a avut o durată de funcționare de mai mulți ani.

Noul ventilator a înlocuit un alt ventilator tot de același tip după ce a suferit o avarie totală. Desprinderea de elemente de rigidizare a lagărului stânga din corpul ventilatorului și pătrunderea acestuia între palete. Lucru care a produs ruperea acestora, distrugerea carcasei și părăsirea casei ventilatoarelor prin tavan. Realizând, în tavanul de beton armat o spărtură de  $3 \text{ m}^2$ .

Comparând valorile vibrațiilor la intervalul de șase luni la ventilatorul nou aceste vibrații au scăzut, lucru normal, în această perioadă s-a produs și rodajul ventilatorului.

Din înregistrările efectuate după 6 luni a reieșit că nivelul de vibrații este mai mic față de momentul inițial, nivel care ar trebui să rămână constant o perioadă foarte mare de timp. Acest fenomen se petrece datorită efectuării rodajului, așezarea reazemelor etc. Comparând nivelul de vibrații cu ventilatorul vechi se constată ca nivelul de vibrații este mult mai mic.

Reprezentările spectrale pentru toate măsurătorile obținute la ventilatorul de tip VOD 2.1 din cadrul E.M. Vulcan, considerate măști de referință.

Din analiza spectrală, chiar și în acest caz, “**ventilator admis**”, reiese că există o serie de probleme dintre care cele mai importante sunt:

- ◆ aliniere incorectă;
- ◆ dezechilibru dinamic.

Pe parcursul capitolului șase ”**Concluzii generale și contribuții personale**” am concluzionat că lucrarea prezentată este o abordare din punctul de vedere al diagnosticării vibromecanice și al nivelului de vibrații detaliată privind analiza stării tehnice de funcționare a ventilatoarelor axiale de tip VOD și se caracterizează prin următoarele elemente de noutate:

1. Am făcut o analiză suficient de exhaustivă a actualului sistem de mentenanță aplicat la ventilatoarele de tip VOD 2.1 aflate în dotarea Exploatărilor Miniere.

2. Am demonstrat procedura de organizare a culegerii și prelucrării unor seturi de date care să ofere rapid informații despre valorile ratei defectării ventilatoarelor precum și a altor parametri caracteristici, prin utilizarea legii de distribuție Weibull (variantele biparametrică și triparametrică);

3. În scopul fundamentării teoretice dar mai cu seamă practică a unei proceduri de determinare a stării tehnice a ventilatoarelor de tip VOD 2.1, am conceput un lanț de măsurare și monitorizare simplu și un plan de desfășurare a testărilor care a permis achiziționarea în teren a fișierelor de date în format digital. Respectivetele fișiere au conținut seriile dinamice, cu un număr mare de realizări.

- ◆ Am conceput și realizat un sistem de măsurare a vibrațiilor mecanice realizat din traductoare, amplificatoare de semnal, convertoare analog digitale;

4. Seriile dinamice nefiltrate la achiziționare, au fost în prealabil prelucrate în scopul caracterizării generale a acestora precum și a verificării corectitudinii și acurateței lor. În acest scop, prin utilizarea unor produse software actuale și de înaltă performanță, realizate de către autor, au fost executate prelucrări precum:

- ◆ verificare a existenței în cadrul acestora a unor erori grosolane datorate în special modului în care a funcționat lanțul de măsurare;

- ◆ demonstrarea necesității exprese de a se executa o filtrare digitală în cadrul procesului de prelucrare a respectivelor serii dinamice precum și a celei mai potrivite proceduri de urmat pentru filtrare;

- ◆ verificarea intervalelor de încredere în care se situează realizările seriilor dinamice;
- ◆ verificarea încadrării datelor în legea de distribuție Gauss prin aplicarea testelor Kolmogorov-Smirnov și Lilliefors;

- ◆ simularea nivelului de încredere între diverse corelații a semnalelor din cele trei fișiere de date;

- ◆ a fost stabilită o metodologie prin care datele experimentale achiziționate în teren să poată fi utilizate ulterior cu ajutorul unor software-uri specializate.

- ◆ analiză spectrală, mediere în timp și frecvență, filtrare digitală, valoare medie standard etc.

5. Seriile dinamice au fost apoi prelucrate prin analiza lor: în timp, în frecvență, utilizând programe realizate de autor. Cu aceasta ocazie s-a demonstrat că:

- ◆ seriile dinamice experimentale prezintă autocorelări foarte bune;

◆ exista corelări bune între diferite mărimi și mai puțin bune între altele. S-a constatat pe ansamblu o corelație mai bună între nivelul de vibrații și debitul de aer;

◆ seriile dinamice conțin „zgomote” acceptabile; cu câteva excepții acestea au valori ale semnalului util de peste 90 % din semnalul total;

◆ există componente neliniare în toate seriile experimentale, acestea fiind de circa 3-5 % în cazul accelerației absolute a ventilatoarelor.

6. Stabilirea unui sistem de referință vibromecanică, nivele de vibrații la un ventilator axial nou;

7. Stabilirea unor spectre de referință;

8. Contribuții teoretice și experimentale privind analiza vibromecanică.

Sistemul de măsurare realizat și utilizat la rezolvarea contractelor de cercetare reprezintă varianta optimă din punct de vedere constructiv cu implicații asupra costului de achiziție.

Sistemul de achiziție poate urmări 16 semnale de intrare prin multiplexarea în timp, ceea ce recomandă utilizarea acestuia pentru monitorizarea permanentă a nivelelor de vibrații, temperaturii, presiunii care apar în timpul funcționării ventilatoarelor axiale de tip VOD.

Metodologia de diagnosticare pe care am utilizat-o pentru determinarea cauzelor, respectiv a defectelor care au stat la baza producerii vibrațiilor, se bazează pe compararea nivelului de vibrații, determinarea frecvențelor proprii. Această identificare am realizat-o prin analiza semnalelor măsurate în domeniul timp, în domeniul frecvență.

Pe baza cercetărilor teoretice și măsurătorilor experimentale efectuate la ventilatoarele axiale de tip VOD 2.1 am realizat:

◆ analiză globală în domeniul timp și compararea cu valorile admisibile prevăzute în standardele internaționale;

◆ analiză spectrală, în domeniul frecvență, pentru a putea separa și identifica sursa vibrațiilor precum și diagnosticarea vibromecanice.

În urma analizei globale a reieșit că nivelul global de vibrații, conform normativului VDI 2056, grupa G este în domeniul acceptabil și este mai mic decât 4,8 *mm/s*.

Analizând valorile vibrațiilor, (accelerații, viteză și deplasare) la intervalul de șase luni la ventilatorul nou a scăzut, lucru normal, în această perioadă sa produs și rodajul ventilatorului.

În urma monitorizării efectuate pe o perioadă de 6 luni a reieșit că la ventilatorul VOD nou instalat nivelul de vibrații este mai mic față de momentul inițial, nivel care ar trebui să rămână constant o perioadă foarte mare de timp. Acest fenomen se produce datorită realizării rodajului, așezarea lagărelor, a reazemelor etc. Comparând nivelul de vibrații cu ventilatorul vechi se constată ca nivelul de vibrații este mult mai mic.

Din analiza spectrală, chiar și în acest caz, “**ventilator admis**”, reiese că există o serie de probleme privind starea tehnică, dintre care cele mai importante sunt:

◆ aliniere incorectă;

◆ dezechilibru dinamic.

Lucrarea de față fiind fundamentată pe rezultatele unei analize teoretice și validarea rezultatelor prin măsurători experimentale, pune bazele unei tehnici pentru diagnosticarea vibromecanică a ventilatoarelor axiale de tip VOD din cadrul întreprinderilor miniere. Această lucrare se dorește a fi utilă inginerilor și personalului tehnic care se ocupă cu menținerea bunei funcționări a ventilatoarelor din industria minieră.

Problematika tratată în lucrare având un grad ridicat de complexitate consider că poate fi continuată și aprofundată în următoarele direcții:

- ◆ Implementarea unui sistem de măsurare, monitorizare continuă și transmiterea datelor vibromecanice în rețeaua de calculatoare pentru a putea fi vizionate și de la distanță.
- ◆ Echilibrarea dinamică a rotorului.
- ◆ Alinierea cu aparatură specializată a sistemului motor-arbore-rotor.
- ◆ Implementarea unui sistem de urmărire a dezechilibrului mecanic.
- ◆ Stabilirea nivelelor de vibrații pentru fiecare ventilator în parte a fiecărei exploatări miniere.