

МЕРНИ ПАРАМЕТРИ ТЕХНИЧКЕ ДИЈАГНОСТИКЕ

Ranko Antunović¹ Ljubomir Dimitrov² Panča Tomova

Резиме: Параметри техничке дијагностике су посредне индивидуалне величине повезане са структурним параметрима (вибрација, температура, зазор у лежају, ...) и носиоци су информација о техничком стању система. У општем случају дијагностичке параметре можемо подијелити на: параметре радних процеса, параметре пропратних процеса и геометријске параметре.

У овом раду су селектирани и приказани најважнији параметри који се користе код надзора и анализе стања техничких система, у реалним условима експлоатације. За идентификацију стварног узрока неисправности у раду, понекад је потребно ове параметре варирати са радним и геометријским параметрима.

Кључне речи: техничка дијагностика, мерни параметри, мониторинг

MEASUREMENT PARAMETERS OF TECHNICAL DIAGNOSTICS

Abstract: Technical diagnostics parameters are intermediate individual quantities related to structural parameters (vibration, temperature, bearing clearance, ...) and are carriers of information about the technical condition of the system. In the general case, diagnostic parameters can be divided into: operating process parameters, accompanying process parameters and geometric parameters. This paper selects and presents the most important parameters used in monitoring and analyzing the condition of technical systems, in real operating conditions. To identify the real cause of a malfunction, it is sometimes necessary to vary these parameters with operating and geometric parameters.

Key words: technical diagnostics, measurement parameters, monitoring

1. УВОД

Појавом све сложенијих и захтјевнијих техничких система од пресудног значаја постаје потреба развоја и примјене одговарајућих надзорно-дијагностичких система које треба да обезбиједи високу расположивост и ефикасност у раду тих система. Параметри надзорно-дијагностичких система су посредне индивидуалне величине повезане са структурним параметрима (вибрације, температура, зазор у лежају, притисак уља и др.) и носиоци су тачних информација о стању техничког система. [1..15]

Дијагностички параметри могу се поделити на следеће групе параметара: параметре радних процеса, параметре пропратних процеса и геометријске параметре.

Параметри радних процеса одређују основне функционалне карактеристике система (снага, проток, учесталост пуштања у рад и др.) тј. информацију о стању производног система.

Параметри пропратних процеса (параметри вибрација, буке, температурни параметри и др.) дају детаљну информацију о стању система који се дијагностицира.

Геометријски параметри одређују поједине елементарне везе између појединих дијелова у систему (зазор, слободан ход и сл.), дају ограничену или конкретну информацију о стању система. Гранична стања се дефинишу као границе радне сигурности.

2. МЕРНИ ПАРАМЕТРИ МОНИТОРИНГА

2.1. Параметри вибрација

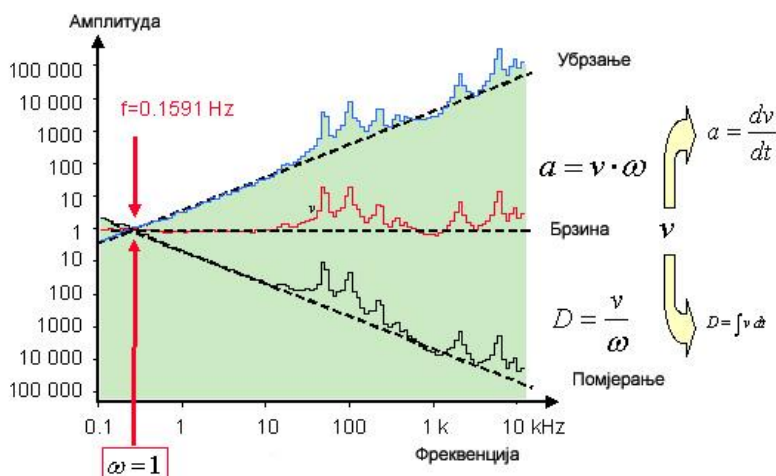
Вибрација је осцилаторно динамичко кретање механичких компоненти машине, изазвано спољашњим и унутрашњим силама. При анализи вибрација можемо мјерити: вибрацијско помјерање, вибрацијску

¹ PhD Ranko Antunović, VTŠ strukovnih studija Novi Sad, Školska 1, antunovic@vtsns.edu.rs

¹ PhD, Ljubomir Dimitrov, Technical University of Sofia, Bulgaria, ljubomir_dimitrov@tu-sofia.bg

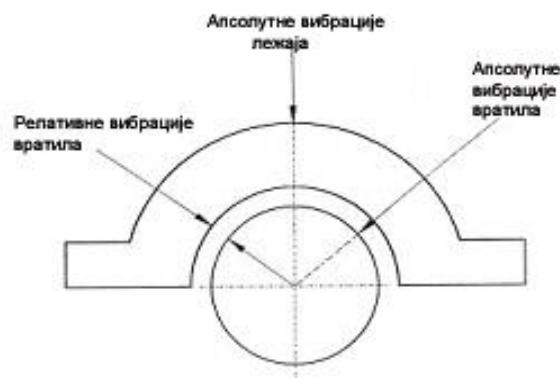
PhD Panča Tomova, Technical University of Sofia, Bulgaria, panca_tomova@tu-sofia.bg

брзину или вибрацијско убрзање, зависно од карактеристика мјерног сензора. Између ових величина постоје одређене кинематске зависности, као што је приказано на сљедећој слици.



Слика 1- Кинематска зависност између амплитуде помјерања, брзине и убрзања код вибрација

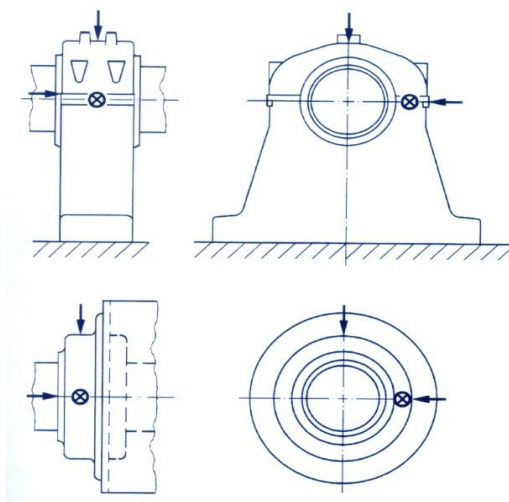
Вибрације треба мјерити у близини лежајева машине јер управо на тим мјестима вибрације добро одсликавају стање машине. Могућа су три мјерна мјеста вибрација и то мјерење: апсолутних вибрација лежаја, релативних вибрација вратила и апсолутних вибрација вратила.



Слика 2-Мјерна мјеста вибрација

Апсолутне вибрације лежајева

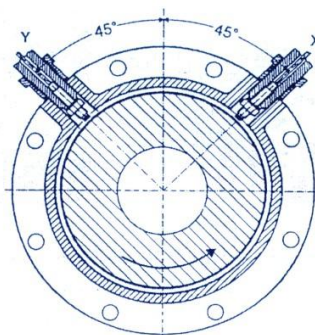
Апсолутне вибрације лежаја су кретање поклопца лежаја и кућишта лежаја наспрам непомицне референтне тачке у простору. Оне се мјере на кућишту лежаја у хоризонталном, вертикалном и по потреби у аксијалном (осном) правцу.



Слика 3- Препоруке за мјерна мјеста на лежају у сврху мјерења апсолутних вибрација

Релативне вибрације вратила

Релативне вибрације ротора су кретање рукавца вратила наспрам лежаја. Те се вибрације мјере у лежишној равнини са два међусобно окомито постављена бесконтактна сензора, као што је приказано на сљедећој слици.



Слика 4- Примјер узградње бездодирних претварача за мјерење релативних вибрација

2.2. Параметри положаја

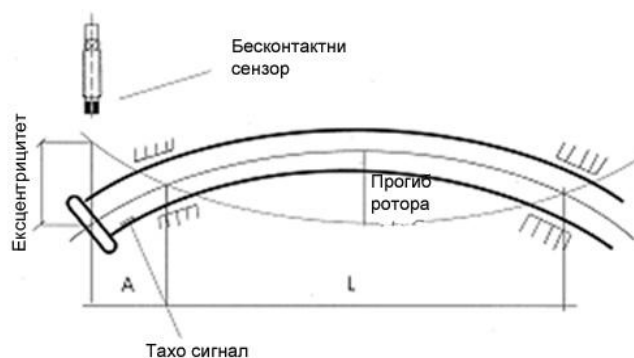
Ови параметри дају информације о положају ротора у односу на кућиште, односно положају кућишта у односу на темељ машине. Параметри положаја су нарочито важни код надзора и дијагностичке оцјене машина које имају топлотна помјерања. Те машине су углавном ослоњене на клизне лежајеве.

Зависно од начина мјерења можемо их подијелити на параметре:

- положаја рукавца ротора у лежају,
- релативног помјерања вратила (аксијални помак),
- релативног издужења вратила,
- апсолутног издужења кућишта.

2.3. Ексцентрицитет вратила

Мјерење ексцентрицитета вратила је веома важно код великих и дугачких ротора као што су нпр. турбински ротори, првенствено приликом прогријавања самог вратила. Мјерење ексцентрицитета се врши бесконтактним сензором постављеним на одстојању А од лежаја, чије мјерење је спрегнуто са спољашњим тригером, како би се знао тренутни положај ротора, као што је приказано на слици 5.



Слика 5- Мјерење ексцентрицитета вратила

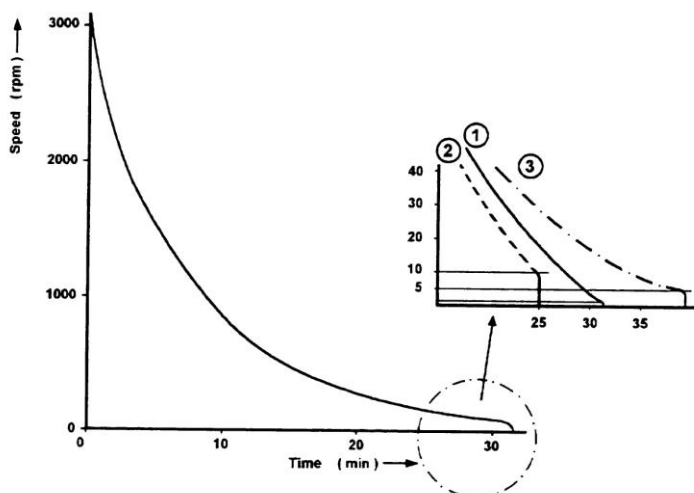
2.4. Брзина обртања

Мјерење брзине обртања, у општем случају, изводи се на два начина. Први начин је фото-електрично мјерење, гдје се фото диода (б) постави на одређеном одстојању и сваки обртај региструје пролаз маркера (а) који је постављен на вратило (сл.6). Други начин мјерења угаоне брзине је помоћу бесконтактнoг сензора са вртложним струјама или индуктивног претварача, који се поставља на кратком одстојању и мјери уторе или гребенове на вратилу. За брзо прикупљање, код мале брзине обртања, потребно је више утора или гребенова, нпр. 60 по ободу ротора, тако да се у кратком времену могу препознати мале промјене брзине обртања.



Слика 6- Начини мјерења угаоне брзине фото-електричним и бесконтактним сензором

Мјерење и надзор брзине обртања турбомашина неизоставни су дио у регулационом кругу. Поред тога брзина обртања може бити, такође, важан индикатор стања машине. Посебно се уочавају грешке код заустављања машине, као нпр. стругање ротора, грешке центрирања и оштећења лежајева.



Слика.7- Промјена брзине обртања при заустављању машине

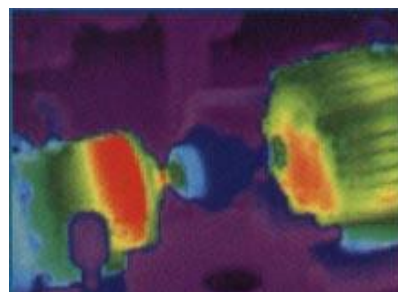
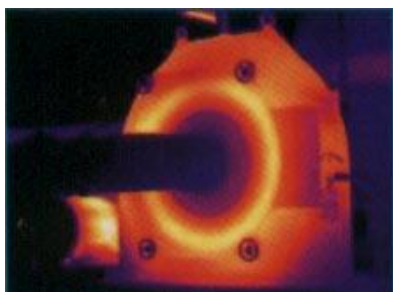
На слици бр.7. приказана је промена берзине током затустављања машине при различитим проблемима у раду: 1-нормално заустављање, 2-заустављање са присилом у роторском воду, стругањем, грешком центрирања, оштећењем лежаја, итд., 3-заустављање са пропуштањем вентила

2.5. Температурни параметри

За мјерење термичког стања одређеног система могу се примијенити сљедећи поступци:

- контактна мјерења (термоелементи, термисторски термометри, електрични отпорни термометри и мјерни елементи на принципу термичке експанзије);
- бесконтактна мјерења (оптички пирометар, пирометар за зрачење и термовизијска камера);
- индикаторска мјерења (осјетљивост појединих боја, креде, папира и куглица на промјене температуре).

Такође, мјерењем и надзором температуре уља може се дати одређена слика о проблему, али са закашњењем, лежај може бити уништен прије него што уочимо промјену температуре.



Слика 8- Приказ термичке слике примјеном ИС термографије

ИС термографија може да помогне у детекцији оштећења лежајева, зупчаника, спојница, као и код детекције несаосности, деформације вратила и др.

2.6. Струјни параметри

Мјерње струјног сигнала са електромотора је важан дијагностички параметар за оцјену стања и идентификацију узрока неисправности и оштећења на електромоторима. Подаци се прикупљају на неинванзиван начин, постављањем сензора директно на напојне водове, без прекидања струјног кола. Пошто се не прекида струјно коло могућност квара због електричног удара сведена је на минимум.

2.7. Акустички параметри

Сама појава генерисања механичких таласа услед наглог ослобађања дијела деформационе енергије у материјалу, изазване унутрашњом промјеном структуре материјала, назива се акустична емисија (АЕ). Међународним споразумом ниво звучног притиска се изражава у dB (максимална величина за коју се притисак разликује од атмосферског). ISO стандард је јасно дефинисао дозвољене границе буке у радној и животној средини.

2.8. Параметри уља за подмазивање

У раду машина присутно је неколико врста хабања која доводе до настанка честица у уљу. Идентификацијом и анализом тих честица може се утврдити врста хабања и идентификовати његов извор. Нарочито је та анализа корисна код спороходних машина које раде под великим оптерећењем код којих примена вибродиагностике има одређена ограничења.

2.9. Технолошки параметри

Технолошки параметри су резултат самог технолошког процеса и одређују функционалне карактеристике система. Граничне вриједности ових параметара су дате од

29.05.2025.

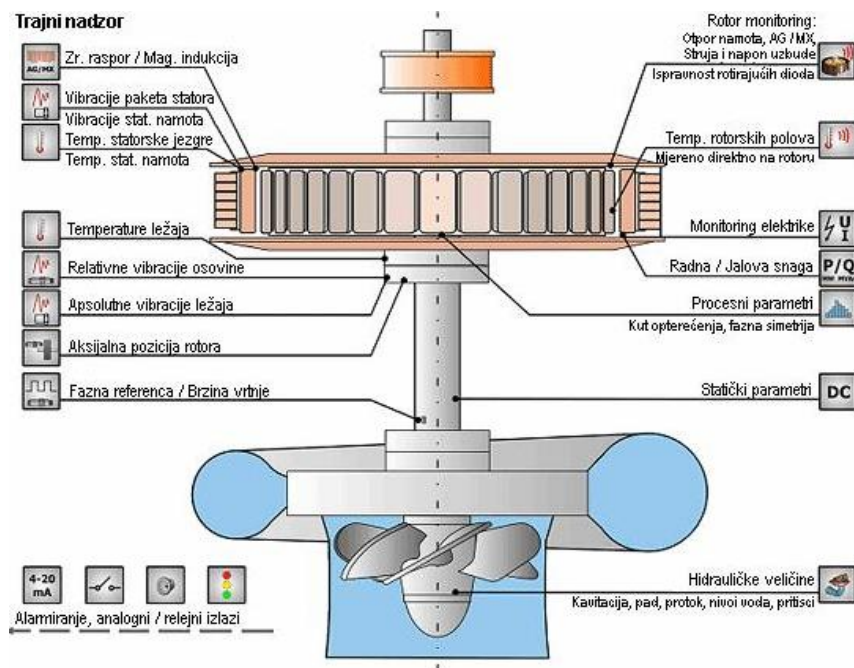
произвођача опреме и углавном су дио инструкција о експлоатацији самог система. Међутим, надзором технолошких параметара у времену могуће је утврдити и одређене неправилности у раду надзираног система.

3.

ПРИМЈЕР

ИЗ

ПРАКСЕ



Слика 9-Мјерни параметри мониторинга хидроагрегата

Према пракси познатих светских произвођача хидрогенератора прате се следеће величине и параметри надзора: температуре делова и склопова генератора и расхладних флуида, вибрације механичких делова и релативна померања (орбите), форма статора, ротора и зазор генератора, парцијална пражњења у намотају, радни подаци генератора, присуство воде у уљу, брзина обртања, магнетни флуks, проток - притисак воде за хлађење, нивои уља у лежајевима, контрола малих обртаја, стање магнетног језгра статора, садржај гасова и влаге у расхладном ваздуху, степен искоришћења генератора, температуре намотаја ротора, квалитет расхладне воде (дестилата), мерење буке у бурету генератора, кавитација и притисци кроз турбину.

4. ЗАКЉУЧАК

Дијагностички параметри назора система су посредне индивидуалне величине повезане са структурним параметрима (вибрације, температура, зазор у лежају, притисак уља и др.) и носиоци су тачних информација о техничком стању система. Параметри који доносе највише информација о стању техничког система свакако су параметри вибрација, поред њих такође су битни и параметри помјерања, температуре, буке, струјни параметри, параметри уља за подмазивање и др.

Непосредним праћењем и анализом стања добија се квалитетан увид у стање хидроагрегата те се спроводе акције одржавања онда када је то стварно потребно, односно на основу стања машине. На тај начин можемо да управљамо машинама и процесом у цјелини што резултира

29.05.2025.

повећању сигурности и iskoristivosti mašina i pogona, smanjuju se troškovi i povećava profitaбилност, што је услов за тржишно пословање.

5. LITERATURA

- [1] Antunović, R., *etal.* „Mathematical Model for Temperature Change of a Journal Bearing,, THERMAL SCIENCE: Year 2018, Vol. 22, No. 1A, pp. 323-333
- [2] Antunović, Ret al.: „Vibration and Temperature Measurement Based Indicator of Journal Bearing Malfunction,, Tehnički vjesnik/Technical Gazette, Vol.25, No.4(2018), pp.991-996
- [3] Antunović, R., *etal.* „DIAGNOSTICS AND FAILURE OF PLAIN BEARINGS,, **IETI Transactions on Engineering Research and Practice (ISSN 2616-1699), Vol.2, Issue 2, 9-18, 2018**
- [4] Antunovic, R. ., Vucetic, N. ., Halep, A. . (2021). Recent Study on Failure Diagnosis and Prognosis of Sliding Bearings. *Advanced Aspects of Engineering Research* Vol. 10, 10–25. <https://doi.org/10.9734/bpi/aaer/v10/2028F>, ISBN 978-93-90888-85-6
- [5] Bently Nevada, *Predictive maintenance: How the pieces fit together*, Orbit, Vol.7, No.2, June 1986
- [6] A. Muszynska, *Vibrational Diagnostics of Rotating Machinery Malfunctions*, International Journal of Rotating Machinery, 1995, Vol. 1, No. 3-4, pp. 237-266
- [7] *Multi-channel & multi-task Analyzer-PULSE*, Bruel & Kjaer advanced training course, held in Budapest, Hungary, on 14-16 June 2005
- [8] *Integrated Condition Monitoring*, SKF, Application Note CM5057 (Revised 1-04)
- [9] Seminar C100, *Competence & Innovation, Solution for condition monitoring, condition diagnosis, condition-based maintenance and field balancing of machinery*, Bruel & Kjaer, Schenck
- [10] *Sensors in Condition Monitoring*, SKF Reliability System, Application Note CM3002
- [11] M. Sarenac, R. Antunovic, "MONITORING AND MANAGEMENT ROTATING MACHINERY", 9 International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated technology" TMT 2005, Turkey, Antalya 26-30 September 2005. god.
- [12] Adre J. Smulders, *Optimized Application of Feature Extraction Techniques*, SKF Technology Conference, May 16-19 2000
- [13] James N. Siddall 1982 *Optimal engineering design* Marcel Dekker inc. 1982 New York
- [14] *Integrated Condition Monitoring*, SKF, CM5057 (Revised 1-04)
- [15] <http://www.compulab.co.il/x255/html/x255-sb-datasheet.htm>