

KLIAVIMO SIŪLĖS RITINĖLIŲ GUOLIŲ TECHNINĖS BŪKLĖS TYRIMAS VIBRO ANALIZĖS METODU

Paulius MOCKAITIS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas paulius.mockaitis@stud.vdu.lt

Eglė JOTAUTIENĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas egle.jotautiene@vdu.lt

Santrauka

Riedėjimo guolis yra vienas iš svarbiausių įvairių mechanizmų komponentų. Netikėti guolių gedimai gali padaryti didelę materialinę žalą įrenginiui. Norint išvengti tokių nelaimingų atsitikimų, labai svarbu guolių defektus nustatyti pradinėje jų pažeidimų stadijoje. Šio tyrimo tikslas – ištirti įrenginį veikiančių veiksnių (temperatūros ir ritinėlių suspaudimo jėgos) įtaką ritinėlių guolių ilgaamžiškumui, neišardant mazgo taikant vibroanalizės metodą. Pakavimo įrenginio HFFS SCORPION BS RS MEDIUM išilginės plėvelės klijavimo siūlės ritinėlių guolių techninei būklei tirti buvo sukurtas standas. Matavimai atlikti naudojant *Adash A4900 vibrio M* įrangą. Norint ištirti įrenginio mazge ir stende naudojamą guolį, buvo atsižvelgta į demoduluotus Furje transformacijos FFT rezultatus: FFT įrenginio spektras, kurio amplitudė RMS(g), ir ritinėlių ašies sukimosi greitis 570 aps./min. Nustatyta, kad sumažinus ritinėlių temperatūrą iki 75 °C ir padidinus tarpusavio ritinėlių suspaudimo jėgą iki 502 N, o ašies sukimosi greitį palaikant 570 aps./min, virpesiai sumažėjo, taigi tai gali padidinti guolių ilgaamžiškumą.

Reikšminiai žodžiai: guolis, defektas, virpesiai, vibroanalizė.

Išvadas

Daugelyje mechanizmų riedėjimo guolis yra vienas iš svarbiausių ir dažniausiai naudojamų komponentų. Jam sugedus, įrenginys gali būti netikėtai išjungtas ir padaryta didelė materialinė žala. Norint išvengti tokių nelaimingų atsitikimų, labai svarbu guolių defektus nustatyti pradinėje jų pažeidimų stadijoje.

Riedėjimo guoliai gali turėti abrazyvinį, erozinį arba nuovarginį dilimą (Barzdaitis ir kt., 2010; Barzdaitis ir kt., 2003). Labiausiai paplitę guolių diagnostikos metodai yra vibracinis, akustinis ir termovizinis. (Šnurovas, 2015).

Pastaraisiais metais mechanizmų techninei būklei nustatyti naudojamas ir vibroanalizės metodas. Šiuo metodu galima surinkti informaciją apie esančius ar ateityje galinčius įvykti mechanizmų ar mašinų gedimus jų neišardant (Putelis ir kt., 2013; Jotautienė et al., 2021).

Vibroanalizės metodu galima efektyviai nustatyti labai mažus guolio pažeidimus. Akustinės emisijos, pagreičių gaubiančiosios, virpesių formos ir virpesių amplitudės rezultatai suteikia itin svarbios informacijos apie guolio būklę (Zvokelj et al., 2010; Bhandari & Jotautienė, 2022).

Vibroanalizės metodo veikimas paremtas trinties jėga, kuri žadina aukšto dažnio atsitiktinius virpesius. . Pažeidimų neturintuose guoliuose detalių sandūroje susidaręs trinties dydis yra vienodo dydžio. Esant guolių defektams, kurie pasireiškia tepalo išspaudimu iš elementų kontaktų srities, keičiasi veikiančios trinties jėgos dydžiai, atsiranda smūgiai, kurie sužadina aukšto dažnio virpesius (Delvecchio et al., 2010).

Tyrimo tikslas – ištirti įrenginio veikiančių veiksnių (temperatūros ir ritinėlių suspaudimo jėgos) įtaką ritinėlių guolių ilgaamžiškumui naudojant vibroanalizės metodą.

Tyrimo uždaviniai

- Pasirinkti ir pritaikyti pakavimo įrenginio išilginės klijavimo siūlės ritinėlių guolių būklės tyrimo įrangą ir metodiką;

- Ištirti ir įvertinti ritinėlių riedėjimo guolių esamą būklę naudojantis standu ;
- Išanalizuoti, ar guolių ilgaamžiškumui turėtų didesnę įtaką ritinėlių temperatūros didinimas ir suspaudimo jėgos mažinimas, ar ritinėlių temperatūros mažinimas ir suspaudimo jėgos didinimas, reikalingi plėvelės klijavimui;
- Išanalizuoti gautus rezultatus.

Hipotezė – pakavimo įrenginio *Scorpion* išilginės plėvelės klijavimo siūlės ritinėlių guolius galima patikrinti neišardant mazgo, įrenginiui veikiant, kai guoliai yra veikiami temperatūros ir ritinėlių suspaudimo jėgos, taikant vibroanalizės metodą.

Tyrimų objektas ir metodika

Pakavimo įrenginio HFFS SCORPION BS RS MEDIUM išilginės plėvelės klijavimo siūlės ritinėlių guolių techninei būklei tirti sukurtas standas. Šio įrenginio silpnoji vieta yra išilginės plėvelės klijavimo siūlės ritinėlių guoliai. Kadangi plėvelei klijuoti naudojama aukšta temperatūra (iki 200 °C), tai šio mazgo riedėjimo guoliai dėl temperatūros

poveikio patiria tam tikras deformacijas. Šio mazgo guolių ilgaamžiškumas siekia apie 2000 m/h. Tyrimo metu buvo tirta šio mazgo riedėjimo guolių techninė būklė priklausomai nuo ritinėlių temperatūros.

Vibroanalizės metodas yra vienas iš tinkamiausių ir patikimiausių guolių defektams nustatyti. Guolio darbas nustatomas ir defektai aptinkami guolio harmonikų amplitudžių gaubiančiosios spektre santykių pagrindu. Gautas virpesių signalų spektras sukuriamas panaudojant tam tikrą virpesių signalą, kuris yra apibrėžtame laiko intervale. Todėl dažnių harmonikų amplitudės gaunamos ne tikslėmis pagreičių reikšmėmis, o vienetais moduluoto signalo atžvilgiu (Delvecchio et al., 2010).

Eksperimento tikslas buvo atlikti diagnostiką, atsižvelgiant į vibracijas įrenginio išilginės plėvelės kljavimo ritinėlių mazgo taškuose. Matavimai buvo atlikti naudojant virpesių analizatorių *Adash A4900 vibrio M*. Gauti duomenys buvo išanalizuoti metodu, kurio pagrindu įvertinta techninė guolio būklė remiantis standarto ISO 10816-3:2009 (Standartas, 2009) reikalavimais ir ribinėmis vertėmis, kurias rekomenduoja *Adash* gamintojas.

Nešiojamas diagnostikos virpesių matavimo prietaisas *Adash A4900 vibrio M* (1 pav.) buvo panaudotas guolių virpesiams matuoti. Prietaisas leidžia atlikti visus pagrindinius vibracijos diagnostinius matavimus, t. y. įvertinti guolio būklę, tepimo ir mechaninių gedimus (nesureguliuojamas, disbalansas, mechaninis atsipalaidavimas ir rezonansai). Prie įrenginio galima prijungti ausines vibracijos signalui klausyti, kas labai naudinga pavarų dėžių ir lėto riedėjimo elementų guolių diagnostikoje (User's Guide Adash 4900, 2022).

Matavimo prietaise yra galimybė pasirinkti iš įvairių vibracijos matavimų metodų tinkamiausią. Prietaise naudojama programinė įranga DDS 2022 rezultatams analizuoti ir vertinti (User's Guide Adash 4900, 2022).

Tyrimo objektui – pasirinktam ištirti guolių mazgui – buvo suprojektuotas ir pagamintas tiksliai pakavimo įrenginio mazgą atspindintis stendas (2 pav.). Stendas buvo gaminamas naudojant originalias mazgo detales: guolius, ašis, guoliavietes, pneumocilindrą.

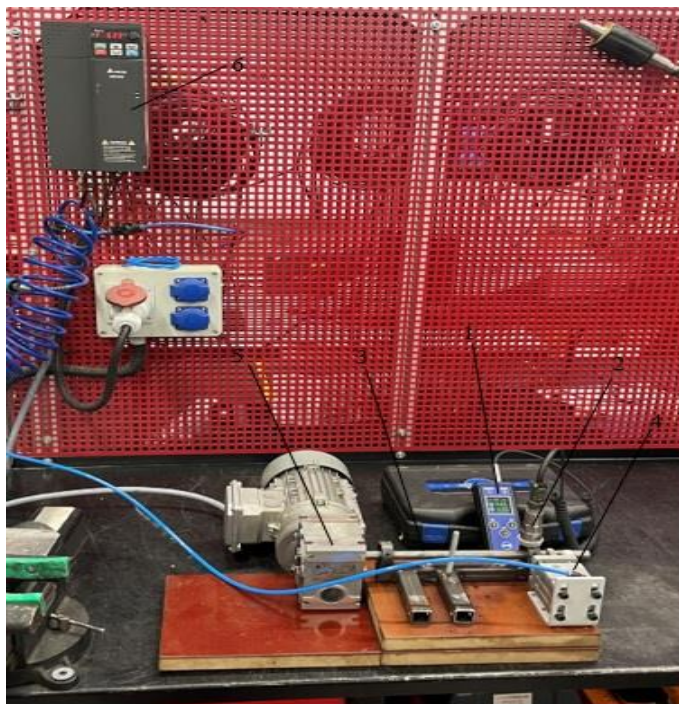
Tyrimo atlikimo eiga:

- Matavimo prietaiso *Adash* virpesių jutiklis AC150 buvo pritvirtintas ant įrenginio mazgo guoliavietės stende;
- Parinktas ritinėlių ašies sukimosi greitis, keičiant motoreduktoriaus sukimosi greitį, reguliuojant dažnio parametą dažnio keitiklyje. Greitis matuotas tachometru;
- , Reguluojant oro slėgio reguliatorių nustatytas ritinėlių suspaudimo cilindro slėgis;
- Stendo ritinėlių ašis buvo kaitinama, kol guoliavietė pasiekė reikiamą temperatūrą;
- Atlikti matavimai.

Rezultatai

Tiriamąjo mazgo guolių apkrovą galima keisti keičiant įrenginio darbinis nustatymus: darbinį greitį (ritinėlių sukimosi greitį); išilginės kljavimo siūlės ritinėlių temperatūrą; ritinėlių tarpusavio suspaudimo jėgą.

Įrenginio stendas suprojektuotas taip, kad šiuos parametrus galima būtų tiksliai atkartoti. Stendo parametrai parinkti atsižvelgiant į darbinis paties pakavimo įrenginio parametrus. Stendo techniniai parametrai suvienodinti su įrenginio parametrais.



1 pav. Įrenginio mazgo stendas: 1 – matavimo prietaisas *Adash A4900 vibrio M*; 2 – jutiklis AC150; 3 – plėvelės ritinėlių varomoji ašis; 4 – ritinėlių suspaudimo cilindras *Festo*; 5 – motoreduktorius *SEW Eurodrive*; 6 – dažnio keitiklis *Delta vfd*.

Fig. 1. Device assembly stand: 1 - measuring device *Adash A4900 vibrio M*; 2 – sensor AC150; 3 – drive axis of the film rolls; 4 – roller compression cylinder *Festo*; 5 – motor reducer *SEW Eurodrive*; 6 - frequency converter *Delta vfd*.

Riedėjimo guolių defektų būklė nustatoma matuojant virpesių greičio reikšmių kvadratinio vidurkio RMS (angl. RMS – *Root Mean Square*) ir didžiausios virpesių PEAK reikšmes (RMS – tai bendra virpesių energijos signalo reikšmė, o PEAK – aukščiausia sugeneruotų virpesių reikšmė). Pagrindiniai du RMS dydžiai, nusakantys virpesius, yra greitis ir pagreitis. Demoduluotas RMS (angl. *Demod RMS*) dydis yra vienas iš svarbiausių, jis tinka riedėjimo guolių defektų būklei nustatyti.

Stendo parametrai parinkti tokie:

- Ritinėlių ašies sukimosi greitis:
 $S_1 = 500 \text{ aps/min}$; $S_2 = 570 \text{ aps/min}$; $S_3 = 640 \text{ aps/min}$.
- Ritinėlių tarpusavio suspaudimo jėga (ritinėlių tarpusavio suspaudimo pneumocilindro slėgis):
 $F_1 = 2 \text{ bar}$; $F_2 = 3 \text{ bar}$; $F_3 = 4 \text{ bar}$.
- Ritinėlių temperatūra (fiksuoja ant guoliavietės vibroanalizatoriumi *Adash*):
 $T_1 = 75^\circ \text{C}$; $T_2 = 90^\circ \text{C}$.
- Guoliai: SKF 6002 2RS.

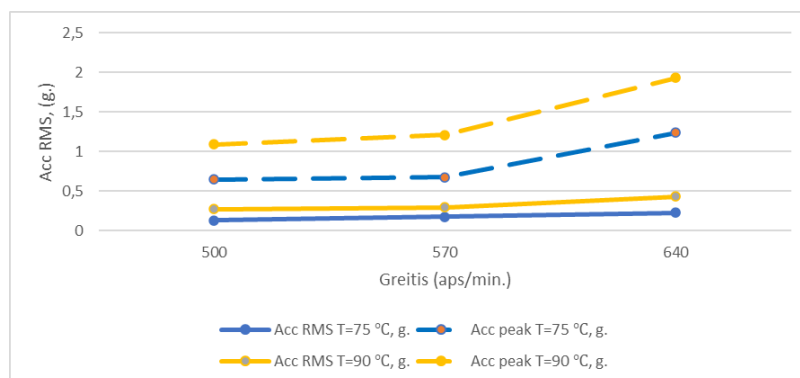
Jėga, tenkanti ritinėlių ašiai apskaičiuojama taip:

$$F = P \cdot A, N.$$

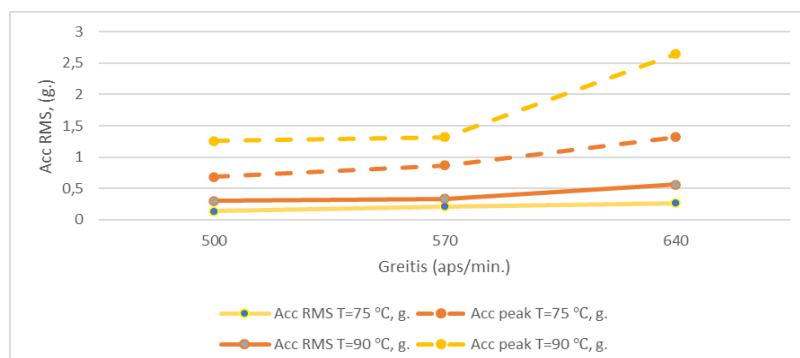
čia P – slėgis pneumocilindre;

A – pneumocilindro strūmoklio skersmuo.

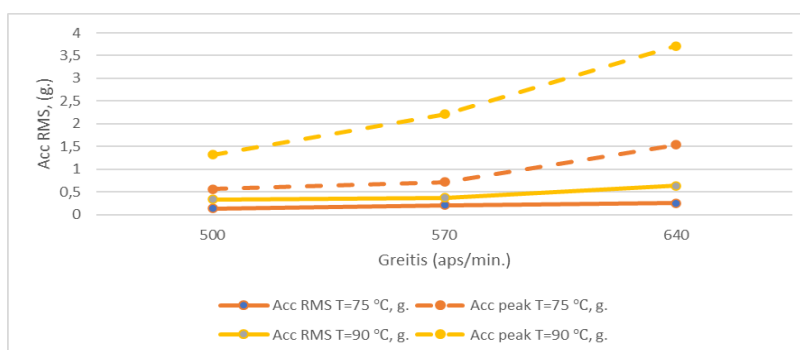
Pagrečio RMS akselerometro duomenys ir jų didžiausios reikšmės nusako bendrą mazgo būklę (2, 3, 4 pav.).



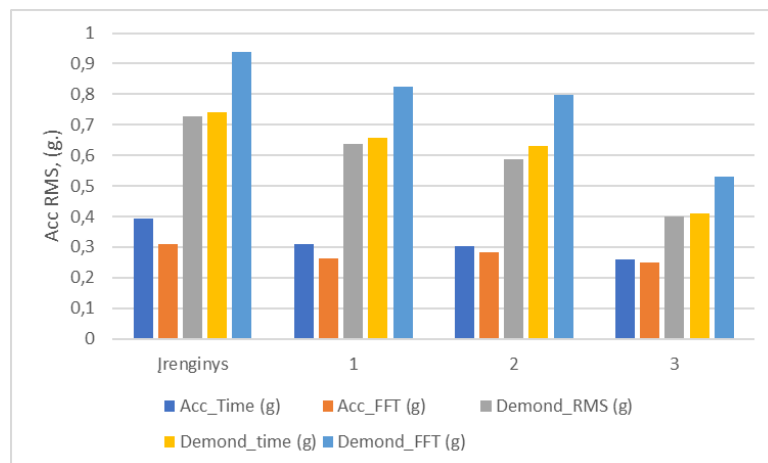
2 pav. Pagrečio ir jo didžiausių reikšmių priklausomybė nuo temperatūros, esant skirtingiems greičiams, kai $F = 251 \text{ N}$
Fig. 2. Dependence of acceleration and its maximum values on temperature at different speeds when $F = 251 \text{ N}$



3 pav. Pagrečio ir jo didžiausių reikšmių priklausomybė nuo temperatūros, esant skirtingiems greičiams, kai $F = 377 \text{ N}$
Fig. 3. Dependence of acceleration and maximum values on temperature at different speeds when $F = 377 \text{ N}$



4 pav. Pagrečio ir jo didžiausių reikšmių priklausomybė nuo temperatūros, esant skirtingiems greičiams, kai $F = 502 \text{ N}$
Fig. 4. Dependence of acceleration and its maximum values on temperature at different speeds when $F = 502 \text{ N}$



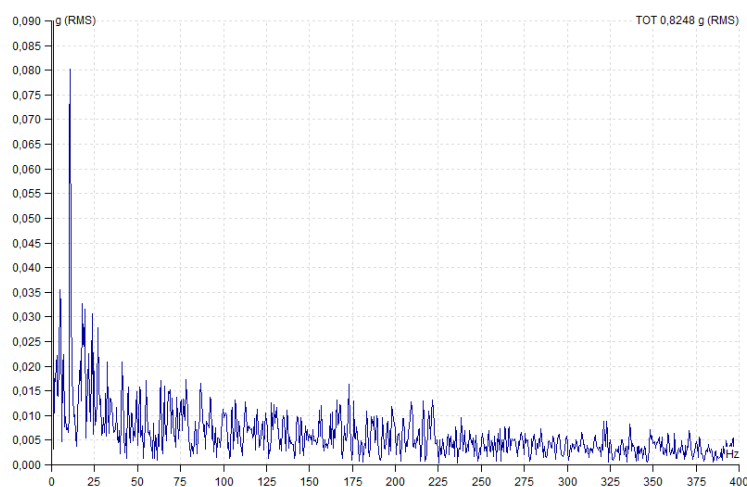
5 pav. Guolio vibracijos pagreičio grafikas, palyginant įrenginio rezultatus su stendo rezultatais
Fig. 5. Bearing vibration acceleration graph comparing machine results with results of the stand

Atlikus analizę, išmatavus vibracijos spektro atsaką, pastebėta, kad įrenginio ir stendo, identišškai nustatytų (kai sukimosi greitis $W = 570$ aps./min, ašį veikianti jėga $F = 377$ N, ir temperatūra $T = 90$ °C) (5 pav., 1), guolių virpesių pagreičiai viršijo ribines ribas, kurias pateikė *Adash* gamintojas (4 pav.).

Įrenginio ritinėlių mazgo stende sumažinus ritinėlių ašies sukimosi greitį iki 500 aps./min. (5 pav., 2), virpesių pagreitis nedaug sumažėjo.

Sumažinus ritinėlių temperatūrą iki $T = 75$ °C, ir padidinus tarpusavio ritinėlių suspaudimo jėgą iki $F = 502$ N, tačiau ašies sukimosi greitį išlaikant tokį patį – 570 aps./min. (5 pav., 3), įrenginio ritinėlių mazgo guolių virpesiai sumažėjo. Tokie parametrai gali padidinti guolių naudojimo laiką.

Norint ištirti įrenginio mazgą ir stende naudojamą guolį, buvo atsižvelgta į demoduliuotus matavimo laiko (angl. Demond time), Furjė transformacijos FFT (angl. Fast Fourier Transform) rezultatus. FFT įrenginio spektras, kurio amplitudė RMS(g) ir ritinėlių ašies sukimosi greitis 570 aps./min, parodyta 6 pav.



6 pav. Demodulation FFD įrenginio stendo guolių virpesių spektras (500 Hz–16 kHz)

Fig. 6. Demodulation FFD machine bench bearing vibration spectrum (500 Hz–16 kHz)

Gauti rezultatai parodė, kad yra nedidelis virpesių spektro skirtumas 20 Hz diapazone, bet likusiame dažnių diapazone įrenginio tiriamų guolių ir įrenginio mazgo stendo guolių virpesių spektras identiškas.

Išvados

1. Atlikus tyrimą nustatyta, kad taikant spektro analizės metodą galima nustatyti guolio būklę neišardant vientiso mazgo.

2. Apskaičiuoti teoriniai guolio virpesių dažniai, kai stende guoliai dirbo 3 skirtingais sūkais (500 aps./min, 560 aps./min ir 720 aps./min), leido teigti, kad defektai turėtų atsirasti būtent esant šioms dažniams: padidėjus virpesių amplitudei, guolio rutuliukams praeinant pro išorinį guolio žiedą, kurių teorinis dažnis yra 1979 Hz, esant vidinio žiedo defektui, kai teorinis dažnis 5376 Hz ir kai rutuliuko defektas, kai jo teorinis dažnis yra 262 Hz.

3. Eksperimentinio tyrimo metu nustatyta, kad norint sumažinti virpesius įrenginio mazgo guoliams esant tiems patiems sūkais, rekomenduotina sumažinti įrenginio ritinėlių temperatūrą ir padidinti ritinėlių suspaudimo jėgą.

Literatūra

1. Barzdaitis, V., Degutis, A. 2014. Naujų riedėjimo guolių kokybės tyrimas, taikant virpesių pagreičių vidutinės kvadratinės vertės skaičiavimus. *Informacinės technologijos: 19-oji tarpuniversitetinė magistrantų ir doktorantų konferencija „Informacinė visuomenė ir universitetinės studijos“ (IVUS 2014): konferencijos pranešimų medžiaga*. Technologija, Nr. 19, P. 202–207.
2. Barzdaitis V., Didžiokas R., Mažeika P., Žebelys K., Žemaitis V. Riedėjimo guolių diagnostika: metodų vertinimas ir rezultatai. *Jūra ir aplinka*, 2003, Nr. 2 (9) P. 86-93.
3. Bhandari, S., Jotautienė, E. 2022. Vibration Analysis of a Roller Bearing Condition Used in a Tangential Threshing Drum of a Combine Harvester for the Smooth and Continuous Performance of Agricultural Crop Harvesting. *Agriculture*, Vol. 12 (11), ID 1969.
4. Delvecchio, S., Fiorati, S., Missoten, B., Sas, P. 2010. Vibro-acoustic signature analysis of the threshing process in harvesting machines. Monitoring and diagnostics of rotating machinery. *Proceedings of ISMA 2010 including USD* p. 2815–2830.
5. Mba, D. 2008. The Use of Acoustic Emission for Estimation of Bearing Defect Size. *Machinery Failure Prevention Technology*, Vol. 8, p. 188–192.
6. Jotautienė, E. ; Juostas, A.; Bhandari, S. 2021. Proper technical maintenance of combine harvester rolling bearings for smooth and continuous performance for grain crop agrotechnical requirements *Applied sciences*, Vol. 11, iss. 18, p. 1–15.
7. Kombaino kūlimo būgno konstrukcinių elementų būklės tyrimas naudojant vibroanalizę. Prieiga per internetą: https://zua.vdu.lt/wp-content/uploads/2020/04/1_4_Jotautiene_ir_kt.pdf (žiūrėta 2023-01-10)
8. Putelis, P.; Senkus, A.; Talačkaitė, V.; Jotautienė, E. 2013. Guolių dėvėjimosi tyrimas panaudojant spektro analizės metodą. *Agroinžinerija ir energetika: ASU Žemės ūkio inžinerijos fakulteto mokslo populiarinimo ir gamybos žurnalas*, Nr. 18, P. 77–82.
9. User 's Guide Adash 4900. Prieiga per internetą: <https://adash.com/documents/A4900/Adash-A4900-Vibrio-manual.pdf> (žiūrėta 2022-11-10)
10. 10816-3: Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. ISO standard, Part 3. 2009

INVESTIGATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF GLUING THREAD ROLLER BEARINGS BY VIBRATION ANALYSIS METHOD

Summary

A rolling bearing is one of the most important components in various mechanisms. Unexpected bearing failures can cause significant material damage to the device. In order to avoid such accidents, it is very important to identify bearing defects at the initial stage of their damage. The purpose of this study is to investigate the influence of the operating factors of the device (temperature and roller compression force) on the durability of roller bearings without disassembling the unit using the vibroanalysis method. A stand designed for testing the technical condition of the roller bearings of the longitudinal film adhesive seam of the packaging device "HFFS SCORPION BS RS MEDIUM". Measurements were made using Adash A4900 vibrio M equipment. Demodulated FFT (Fast Fourier Transform) results were considered to investigate the bearing used in the device assembly and bench: FFT device spectrum with RMS(g) amplitude and roller axis rotation speed of 570 rpm. It was found that reducing the temperature of the rollers to 75°C, and increasing the compression force between the rollers to 502 N, while maintaining the rotation speed of the axis at 570 rpm, there is a noticeable reduction in vibration, which can increase the durability of the bearings.

Keywords: bearing, failures, vibration, vibroanalysis.