ELEKTR MOTORLARIDA VUJUDGA KELADIGAN VIBRATSIYA HOLATINI TAHLIL QILISH

Ramazonov Bahodir G‘olib o‘g‘li
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, assistent
E-mail: bahodirmagistr2021@gmail.com

Annotatsiya. Hozirgi kunda sanoat korxonalarida katta quvvatli mashina va mexanizmlarni yuritmalarini harakatga keltirishda elektr motorlaridan keng ko`lamda foydalanilmoqda. Elektr motorlari ishlab chiqarishning asosiy negizi hisoblanadi. Shu sababli elektr motorlarining buzilishlarsiz, ishda ishonchli va barqaror ishlashini ta`minlash tadqiqotchilarimiz oldidagi muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Mazkur maqolada motorlardagi nosozliklarni avariya holatidan oldinroq aniqlash imkonini beruvchi motorlarning kontaktli va kontaktsiz vibratsion tahlili keltirilgan. Natijada kontaktli va kontaktsiz datchiklar yordamida qayd etilgan vibrosignallar orqali elektr motori rotori podshipniklarining yeyilishi, stanianing tayanchga mahkamlangan qismini buzilishi, motor statori va rotori orasidagi sirpanish o`zgarishi hisobiga yuzaga keladigan nosozliklar kabi bir qator buzilishlarni oldini olishga erishiladi.

Kalit so‘zlar: Vibratsiya,elektr motor, optika, akustika, ultratovush, taxometr, analizator.

Аннотация. В настоящее время электродвигатели широко используются на промышленных предприятиях для привода крупногабаритных машин и механизмов. Электродвигатели являются основой производства. Поэтому обеспечение безотказной, надежной и стабильной работы электродвигателей является одной из важных задач для наших исследователей. В данной статье представлены результаты двух методов анализа вибрационного состояния двигателей – контактного и бесконтактного вибрационного анализа. Полученные результаты показали, что сигналы вибрации, зарегистрированные с помощью контактных и бесконтактных датчиков, отличались друг от друга на 20 процентов. Было отмечено, что использование бесконтактного метода, позволяющего напрямую и точно измерять вибрацию на вращающемся валу, является наиболее оптимальным решением.

Ключевые слова: Вибрация, электродвигатель, оптика, акустика, ультразвук, тахометр, анализатор.

Abstract. Nowadays, electric motors are widely used in industrial enterprises to drive the drives of large-capacity machines and mechanisms. Electric motors are the mainstay of production. Therefore, ensuring the failure-free, reliable and stable operation of electric motors is one of the important tasks for our researchers. This article presents the results of two methods of analyzing the vibration state of motors

ISSN 3030-3907

- contact and non-contact vibration analysis. The results obtained showed that the vibration signals recorded using contact and non-contact sensors differed by 20 percent from each other. It was noted that the use of a non-contact method, which allows for direct and accurate measurement of vibration on a rotating shaft, is the most optimal solution.

Keywords: Vibration, electric motor, optics, acoustics, ultrasound, tachometer, analyzer.

KIRISH

Hozirgi kunda mamlakatimizning yirik sanoat korxonalari elektromexanik uskunalarning ishonchli va uzilishlarsiz ishlashiga yuqori talablarni qo‘ymoqda. Elektromexanik uskunalarning asosiy elementi uning elektr motori hisoblanadi. Elektr motorlar texnologik jarayonning asosiy qismi bo‘lib, ularning ishdan chiqishi texnologik jarayonni to`xtab qolishiga va katta iqtisodiy yo‘qotishlarga olib keladi. Shuning uchun ham ularning barqaror ishlashi juda ham muhimdir. Elektr motorlaridagi vibratsiyani tahlil qilish, nuqsonlarni erta aniqlash, nosozliklarni kattalashib ketmasligi va rejali texnik xizmat ko‘rsatish imkonini beradi. Elektr motoridagi vibratsiya - bu motorning bir nuqtasining ma'lum bir o‘rtacha (nol) holatga nisbatan siljishidir. Elektr motorida vibratsiyani tahlil qilish orqali uning tarkibiy qismlaridagi nosozliklarni aniqlash va hatto xizmat qilish muddatini ham oldindan rejalashtirish mumkin. Vibratsiya tahlilini ikki xil usulda olib borish mumkin, quyidagi 1-rasmda motorning vibratsion tahlil qilish usullarining sxematik bo`linishi ko`rsatilgan. [1-10]



1-rasm. Vibratsion tahlil qilish usullari

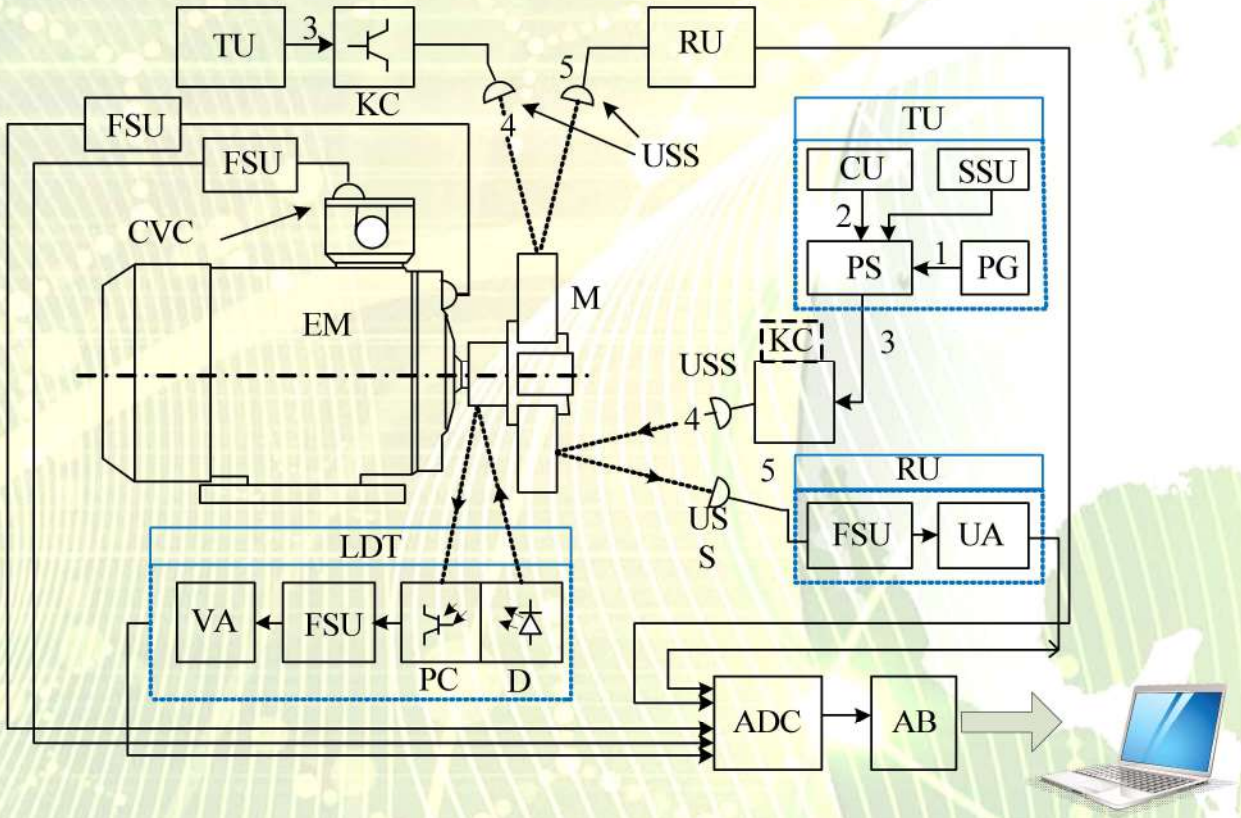
Yuqoridagi rasmda vibratsion tahlil qilish usullari ko‘rsatilgan. Agar o‘lchash sensori elektr motori bilan to`g`ridan-to`g`ri ulangan bo‘lsa kontaktli usul deyiladi. Ya’ni kontaktli usulda o`lchash sensorlari motor yuzasiga to`g`ridan-to`g`ri mahkamlangan bo`ladi. O`lchash sensori rotor va korpus tebranishlarini aniq qayd etadi, podshipnik nosozliklarini erta bosqichda aniqlaydi.[11,12]

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYASI: Agar tahlilni optik yoki akustik yo`nalishda olib borsak kontaktsiz usul deyiladi. Ya`ni motor korpusiga hamda valiga hech qanday sensorni mahkamasdan turib o‘lchash

ISSN 3030-3907

usulidir. Bu usul mexanik kontakt talab qilmaydi va motor to‘xtatilmasdan, izolyatsiya buzilishini diagnostika qilish imkonini beradi. Vibratsiyani kontaktli usulda tahlil qilishda ishlatiladigan datchiklarning ishlash prinsipiga ko`ra optik va akustik turlarga bo`linadi. Elektr motori vibratsiyasini akustik usulda tahlil qilish optik usulga qaraganda arzonroq bo`lganligi sababli akustik (ultratovushli) usulda tahlil qilish keng tarqalgan (2-rasm).

Vibratsiyani kuzatish tizimi quyidagi elementlardan tashkil topgan: ultratovushli sensorlar to`plami (UZP) ; uzatish bloki (PRD); qabul qilish bloki (PRM); kontaktli vibratsiya sensorlari to‘plami (PD); lazerli raqamli taxometr (ЦЛТ); analog-raqamli o`zgartirgich (АЦП); analizator bloki (BA).



2-rasm. Elekt motorini kontaksiz (ultratovushli) vibritsiyasini tahlil qilish prinsipial sxemasi. [1]

TADQIQOT METODOLOGIYASI: Ultratovushli signal uzatgichi impuls generatori (GI) va topshiriq ketma-ketligi bloki (BZP) asosida qurilgan. BZP sozlamalari yordamida fazaviy manipulyatsiya ketma-ketligini — Barker kodi va avtokorrelyatsiya funksiyasining minimal kengligiga ega bo‘lgan boshqa ketma-ketliklarni belgilash mumkin. Chiqishda signal impulslarni shakllantiruvchi qurilma (FIP) yordamida kalit sxemasi (EK) orqali uzatuvchi UZP ga uzatiladi. Boshqaruv blokida generatsiya qilinayotgan signalning davomiyligi va diskretlik darajasini belgilash imkoniyati mavjud. Qabul qilish trakti shovqinlarni filtrlovchi qurilma (FPP) va inversiyalovchi kuchaytirgich asosidagi kuchlanish

ISSN 3030-3907

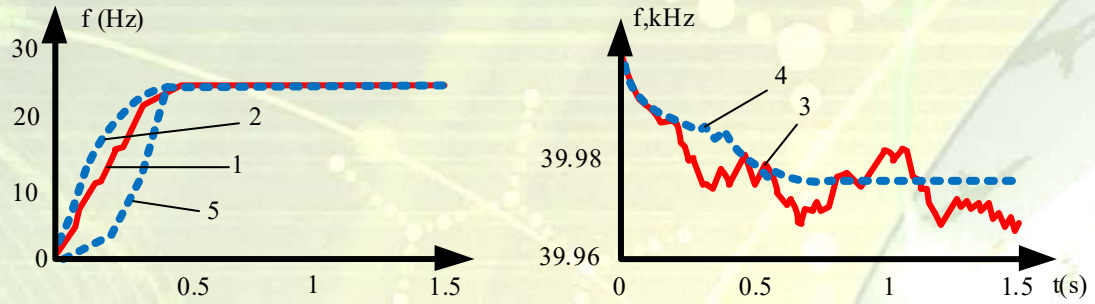
kuchaytirgichi (UN) dan iborat. Taxometr bloki yorug‘lik diodiga asoslangan nurlantiruvchi tugun (I) va qabul qiluvchi fotoelement (FE) dan tashkil topgan. Filtr (FPP) yordamida keraksiz ortiqcha to`lqinlar filtrlanadi, signal esa kuchaytirgich (UN) orqali kuchaytiriladi. Barcha signallar analog-raqamli o‘zgartirgichga (АЦР) uzatiladi va undan keyin analizator bloki (BA) ga yo‘naltiriladi. Kontaktli o‘lchash datchiklaridan (PD) keluvchi signallar filtr (FPP) yordamida shovqinlardan tozalanib, ASP ga uzatiladi.[11-20] Tizim Xilinx Spartan-3E modullar seriyasiga kiruvchi FPGA XC3S500E mikrosxemasi asosida amalga oshirilgan. Tahlil qilish jarayonida nazorat obyekti sifatida АИР63А4У31 seriyali asinxron elektr motori (ED) bilan jihozlangan elektr yuritma mexanizmi tanlab olingan. Motorning quvvati 250 Vt, aylanish chastotasi esa 1370 ayl/min ni tashkil etadi.Yuklama sifatida maxovik (M) dvigatel valiga o‘rnatilgan.Nazorat obyekti holatini umumiy tahlil qilish jarayonida ultratovush (UZ) o‘zgartirgichlari kontaktli datchiklar kabi turli yo‘nalishlar (x, y yoki z) bo‘ylab joylashtirildi. Bunda ultratovush o‘zgartirgichining nurlanishi aylanayotgan ishchi mexanizmga yo‘naltirildi, bu esa kontaktli datchiklardan foydalanganda amalga oshirib bo‘lmaydigan holat hisoblanadi.Taxometr bilan yordamida elektr dvigatelning aylanish tezligi qo`shimcha ravishda nazorat qilindi.

Vibrosignallarni kompleks tahlil qilish. Vibrosignallarni qayd etishda laboratoriya sharoitida elektr motorining ishga tushish va yuklangan ish rejimlari bo‘yicha tajribalar o‘tkazildi. 3- va 4-rasmlarda motorning vibratsiya chastotasining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi hamda elektr dvigatelni ishga tushirish jarayonida amplituda qiymatlari (asosiy chastotadagi vibratsiya amplitudasi) keltirilgan.Turli yo‘nalishlarda va turli o‘lchash usullari bilan olingan vibratsiya chastotalarining o‘zgarish grafiklari (3-rasm) shuni ko‘rsatadiki, o‘tkinchi jarayonlar barcha holatlarda turlicha namoyon bo‘ladi: o‘tkinchi jarayonining davomiyligi bir xil emas, chastota o‘zgarish grafiklarining shakli har xil vujudga keladi.

Kontaktli datchiklar yordamida o‘lchangan vibratsiya chastotasining ishga tushishdan keyingi boshlang‘ich qiymatdan barqaror holatdagi qiymatgacha o‘sish vaqti taxminan 400 ms ni tashkil etadi (3-rasm, a dagi 1 va 2 egri chiziqlar). Ultratovushli o‘zgartkichlar (UZP) yordamida o‘tkazilgan o‘lchovlarda esa bu vaqt 500 ms dan ortiq bo‘lib chiqadi (3-rasm, b dagi 3 va 4 egri chiziqlar). Z o`qi yo`nalishidagi grafiklarda chastotaning sezilarli tebranishlari kuzatiladi (3-egri chiziq). Bu esa turli usullar bilan olingan ma`lumotlarni bir-biridan sezilarli darajada farq qilishini va o‘zaro to‘ldirishi mumkinligini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, vibrosignallarni taxometr signali (5-egri chiziq) bilan solishtirish shuni ko‘rsatadiki, elektr dvigatelni tezlanish rejimida val aylanish tezligi dinamikasi,

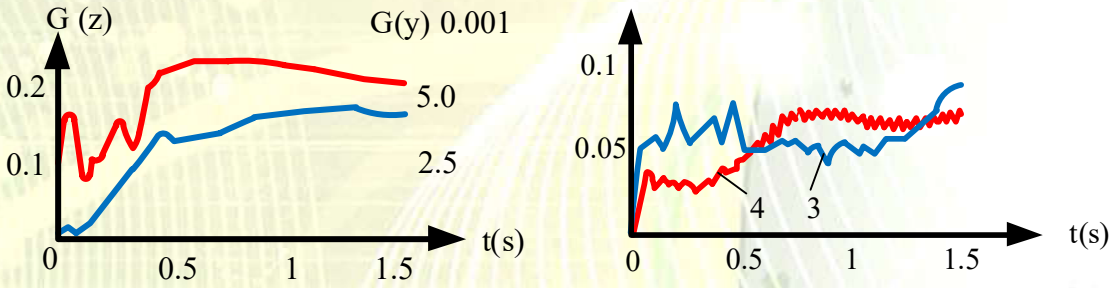
ISSN 3030-3907

vibratsiya chastotasi va amplitudasining val o‘qi Z bo‘ylab va unga perpendikulyar yo‘nalishda (y) o‘zgarishi keskin darajada farqlanadi.



a) **b)**

3-rasm. Elekr motorining vibratsion tahlilini chastotaga bog‘liqlik grafigini. a) kontaktli vibratsion sensor va lazerli raqamli taxometrdan olingan ko‘rsatkichlar, b) ultratovushli qurilmadan olingan ko‘rsatkichlar.



a) **b)**

4-rasm.Vibratsion tahlil amplitudaning vaqt bo`yicha grafigi. a) kontaktli vibratsion sensordan olingan ko‘ratkichlar, b) ultratovushli qurilmadan ko‘rsatkichlar.

Yuqoridagi 3-rasmning a qismida (1 va 2 egri chiziqlar) kontaktli datchiklardan olingan vibrosignallar spektrining amplitudasini ikki xil yo‘nalishdagi o‘zgarishi ko‘rsatilgan. Grafiklardan turli yo‘nalishlarda vibratsiya amplitudalarining sezilarli darajada farq qilishi yaqqol imkoniyatini yaratadi. Shunday qilib, ishchi mexanizmning mexanik yuklamasining aylanish tekisligidan og‘ishi korpus vibratsiyalarining val o‘qi bo‘ylab (z) yo‘nalishda unga perpendikulyar (y) yo‘nalishiga nisbatan ancha kattaroq bo‘lishiga olib keladi.[20-23]

Ultratovushli (kontaktsiz) vibrosignallar uchun vibratsiya amplitudasi asosan signalning fazaviy modulyatsiya chuqurligida namoyon bo‘ladi va uning amplitudasiga juda kam ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli, vibratsiya amplitudasidan qat’i nazar, har qanday o‘lchash yo‘nalishida qayd etiladigan ultratovush signallar darajasi deyarli bir xil bo‘ladi. Bu esa obyekt sirti tebranishlari amplitudasining turli o‘lchash diapazonlarini hisobga olish uchun qo‘shimcha sxematik yechimlarni

ISSN 3030-3907

talab etmaydi. Ultratovush vibrosignallari spektrlari tahlili shuni ko‘rsatadiki, agar aylanayotgan ishchi mexanizmning val o‘qi bo‘ylab (z) va unga perpendikulyar (y) yo‘nalishdagi vibratsiya amplitudalari o‘zaro taqqoslanadigan bo‘lsa, korpus vibratsiyalarining amplitudasi bir necha barobar (hatto tartib darajasida) farq qiladi. Ya’ni, val vibratsiyalari korpusga sezilarli darajada so‘nish bilan uzatiladi, shuning uchun elektr motorining aylanayotgan elementlarida bevosita masofadan turib amalga oshiriladigan o‘lchovlarni qiymatlarini olish mumkin.

Vibratsiya vaqtida tebranish chastotasining oshishi o‘tkinchi jarayon vaqtida (2-rasmdagi 1, 2, 4 egri chiziqlar) kontaktli va ultratovushli o‘lchovlarda 20% dan ortiq farq qiladi. Elektr motori normal rejimda ishlaganda ham Z o`qi bo`yicha sezilarli tebranadi (3-rasm, b qismidagi 3 egri chiziq), bu esa korpus vibratsiyalarining kontaktli o‘lchovlarida kuzatilmaydi. Yuklama ostidagi val normal aylanish tezligiga ancha sekin erishadi shu vaqtda valdagi vibratsiya chastotasi korpus vibratsiyasi chastotasidan sezilarli darajada ortda qoladi. Demak, ultratovushli kontaktsiz vibratsion tahlil yordamida val amplitudalarining sekin o‘zgarishi hodisalarini aniqlash imkoniyati mavjud bo‘ladi.[1]

XULOSA

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, kontaktsiz ultratovushli o‘lchovlardan foydalangan holda elektr motorining kompleks vibratsion tahlil qilish imkoniyati mavjud. Kontaktli va kontaktsiz datchiklar yordamida qayd etilgan vibrosignallar qiymatlarida sezilarli farqlar mavjudligi aniqlandi. Turli usullar bilan olingan signallar turli xarakterdagi ma’lumotlarni o‘z ichiga oladi. Barcha datchiklardan olingan kompleks ma’lumotlardan bir vaqtning o‘zida elektr motorining harakatlanuvchi hamda harakatsiz elementlari vibratsiya parametrlarini o‘zaro taqqoslash imkoniyati yaratish mumkin. Bu esa elektr motorining vibratsion holatida vujudga keladigan elektromexanik ko‘rsatkichlarini aniqlash imkoniyati yaratiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Бычков А.В. Система виброконтроля электродвигателя с активным ультразвуковым зондированием // Вестник Чувашского университета. – 2022. – № 1. – С. 34–43. DOI: 10.47026/1810-1909-2022-1-34-43.

2. *Балицкий Ф.Я., Соколова А.Г.* Диагностическая информативность полных спектров и орбит при анализе сигналов относительных вибросмещений вала в опорах скольжения // Вестник научно-технического развития. 2010. № 2 (30). С. 30–39.

3. *Бычков А.В., Славутский Л.А.* Возможности корреляционной обработки импульсных ультразвуковых сигналов при бесконтактном виброконтроле

ISSN 3030-3907

оборудования электроэнергетики // Вестник Чувашского университета. 2018. № 3. С. 24–32.
4. *Гордеев Б.А., Новожилов М.В., Образцев Д.И.* Применение ультразвукового метода в вибродиагностике легковых автомобилей // Метрология. 2000. № 6. С. 33–36.
5. *Костюков В.Н., Науменко А.П.* Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. 360 с.
6. *Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Павленков Д.В.* Оценка возможности использования фрактального анализа для целей диагностики машинного оборудования // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: материалы Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Омск: ОмГУПС, 2012. С. 153–157.
7. *Матюшкова О.Ю., Тэттэр В.Ю.* Современные методы виброакустического диагностирования // Омский научный вестник. 2013. № 3 (123). С. 294–299.
8. *Николаев А.А., Славутский Л.А.* Дистанционный контроль ультразвуковых магнитострикционных преобразователей противонакипных устройств // Вестник Чувашского университета. 2008. № 2. С. 228–232.
9. *Пасынкова И.А.* Вынужденные колебания неуравновешенного ротора в неизотропных опорах // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. Математика. Механика. Астрономия. 2014. Т. 1, № 2. С. 292–302.
10. *Русов В.А.* Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. Пермь: ДимРус, 2012. 200 с.
11. *Славутский Л.А., Костюков А.С.* Статистическая погрешность ультразвукового цифрового уровнемера с частотно-фазовой модуляцией сигнала // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 8. С. 35–37.
12. *Фридман А.* Что такое «Крест-фактор»? И почему он используется // Вибрационная диагностика. 2005. № 1. С. 30–31.
13. *Alikhani A.M., Vahedi A., Khlyupin P.A.* Induction Motor Fault Detection in ESP Systems Based on Vibration Measurements. *Smart Innovation, Systems and Technologies,* 2022. vol. 232, pp. 497–505. DOI: 10.1007/978-981-16-2814-6_43.
14. *Bentley D.E., Hatch C.T., Grisson B.* Fundamentals of rotating machinery diagnostics. Minden, NV, Bentley Pressurized Bearing Press, 2002, 726 p.
15. *Borwein P., Ferguson R.* Polyphase sequences with low autocorrelation. *IEEE Transactions on information theory,* 2005, vol. 51, iss. 4, pp. 1564–1567. DOI: 10.1109/TIT.2004.842778.

ISSN 3030-3907

16. *Bychkov A., Slavutskii L., Slavutskaya E.* Neural network for pulsed ultrasonic vibration control of electrical equipment. In: Proceedings 2020 Int. Ural Conf. on Electrical Power Engineering (UralCon), 2020, pp. 24–28. DOI: 10.1109/UralCon49858.2020.9216248.
17. *Bychkov A., Bychkova I., Slavutskii L.* Active Ultrasonic Vibration Control of Electrical Equipment: Correlation Signal Processing. In: Proceedings 2019 Int. Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). 2019. pp. 244–248. DOI: 10.1109/URALCON.2019.8877666.
18. *Gaud D.K., Agrawal P., Jayaswal P.* Fault diagnosis of rolling element bearing based on vibration and current signatures: An optimal network parameter. In: Proceedings 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), 2016, pp. 4065–4069. DOI: 10.1109/ICEEOT.2016.7755478.
19. *Kazutaka A., Kenju O., Jing-Yang Ko.* Self-mixing laser Doppler vibrometry with high optical sensitivity: Application to real-time sound reproduction. *New Journal of Physics*, 2003, no. 5(1), pp. 8.1–8.9. DOI: 10.1088/1367-2630/5/1/308.
20. *Krishnareddy G., Venkatesham B., Ramireddy G.* Vibration diagnosis of turbomachinery coupled with induction motor. *Vibroengineering PROCEDIA,* 2020, no. 35(3), pp. 1–6. DOI: 10.21595/- vp.2020.21768.
21. *Ribeiro R.F., Alves de Almeida F., Gomes G.F.* Fault classification in three-phase motors based on vibration signal analysis and artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 2020, no. 32, pp. 15171–15189. DOI: 10.1007/s00521-020-04868-w.
22. *Yadarova O.N., Okhotkin G.P., Slavutskii L.A. A* Control System of a Fan Drive Based on Airflow Doppler Ultrasonic Control. *Russian Electrical Engineering*, 2017, vol. 88, no. 7, pp. 420–422.
23. *Zarei J., Tajeddini M.A., Karimi H.R.* Vibration analysis forbearing fault detection and classification using an intelligent filter. *Mechatronics*, 2014. vol. 24, no. 2, pp. 151–157. DOI: 10.1016/- j.mechatronics.2014.01.003

ISSN 3030-3907