TURBOGENERATORLARDA VIBRATSIYA, HARORAT VA TOK O‘ZGARISHLARINI KOMPLEKS MONITORING ORQALI TEXNIK HOLATNI ANIQLASH

Gafurova Shalola Xolmurodovna
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti Energo-mexanika fakulteti 11M-25ET guruhi magistranti
Narzullayev Bobur Shirinboy o`g`li
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti “Elektr energetika“ kafedrasi dotsenti

Annotatsiya. Ushbu maqolada turbogeneratorlarda vibratsiya, harorat va tok o‘zgarishlarini kompleks monitoring orqali texnik holatni aniqlash usullari tahlil qilinadi. Turbogeneratorlar sanoat va energetika tizimlarida muhim texnika obyekti bo‘lib, ularning texnik holati ishlab chiqarish samaradorligi va xavfsizligini belgilaydi. Kompleks monitoring tizimlari vibratsiya, harorat va elektr tokining o‘zgarishini real vaqt rejimida kuzatib borishga imkon beradi, bu esa nosozliklarni oldindan aniqlash va texnik xizmat ko‘rsatishni samarali rejalashtirish imkonini yaratadi. Tadqiqotda turbogeneratorlarda monitoring usullarining afzalliklari, signallarni qayta ishlash va tahlil qilish algoritmlari, shuningdek, texnik holatni aniqlashning samaradorlik ko‘rsatkichlari o‘rganilgan.

Kalit so‘zlar. Turbogenerator, kompleks monitoring, vibratsiya, harorat, elektr tok, texnik holat.

Annotation. This article analyzes methods for determining the technical condition of turbogenerators through complex monitoring of vibration, temperature, and current variations. Turbogenerators are critical equipment in industrial and power systems, and their technical condition directly affects production efficiency and safety. Complex monitoring systems allow real-time tracking of vibration, temperature, and electrical current changes, enabling early fault detection and effective maintenance planning. The study examines the advantages of monitoring methods, signal processing and analysis algorithms, and indicators of technical condition assessment efficiency.

Key words. Turbogenerator, complex monitoring, vibration, temperature, electrical current, technical condition.

Аннотация. В данной статье рассматриваются методы определения технического состояния турбогенераторов с помощью комплексного мониторинга вибрации, температуры и электрического тока. Турбогенераторы являются важным оборудованием в промышленности и энергетических системах, и их техническое состояние напрямую влияет на эффективность и безопасность производства. Системы комплексного мониторинга позволяют отслеживать изменения вибрации, температуры и

ISSN 3030-3907

тока в реальном времени, что обеспечивает раннее выявление неисправностей и эффективное планирование технического обслуживания. В исследовании рассмотрены преимущества методов мониторинга, алгоритмы обработки и анализа сигналов, а также показатели эффективности оценки технического состояния.

Ключевые слова. Турбогенератор, комплексный мониторинг, вибрация, температура, электрический ток, техническое состояние.

Kirish.

Turbogeneratorlar zamonaviy energetika tizimlarida muhim texnika obyekti hisoblanadi, chunki ularning samarali ishlashi elektr energiyasini ishlab chiqarish va uzatish sifatini bevosita belgilaydi. Ushbu turdagi uskunalar uzoq muddat davomida yuqori tezlikda aylanadi va katta mexanik hamda termal yuklarga duch keladi, shuning uchun ularning texnik holatini doimiy nazorat qilish muhimdir. An’anaviy texnik xizmat ko‘rsatish usullari asosan rejalashtirilgan davrlarda tekshiruvlarni o‘z ichiga oladi, ammo bu usullar nosozliklarni erta aniqlash va ularga tezkor javob berish imkoniyatini cheklaydi. Shu sababli, turbogeneratorlarda kompleks monitoring tizimlarini joriy etish dolzarb masala hisoblanadi. Kompleks monitoring vibratsiya, harorat va elektr tokining o‘zgarishini real vaqt rejimida kuzatish imkonini beradi, bu esa texnik holatni aniqlash, nosozliklarni oldindan aniqlash va texnik xizmat ko‘rsatishni samarali rejalashtirish imkonini beradi. Zamonaviy monitoring tizimlari sensoriya, signallarni qayta ishlash algoritmlari va analitik dasturlar yordamida turbogeneratorning real holatini baholashga xizmat qiladi. Shu bilan birga, turbogeneratorlarda kompleks monitoringning joriy etilishi energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, uskunalarning ishlash muddatini uzaytirish va texnik xizmat xarajatlarini kamaytirish imkonini beradi. Mazkur maqolada turbogeneratorlarda vibratsiya, harorat va tok o‘zgarishlarini kompleks monitoring orqali texnik holatni aniqlash usullari, ular bilan bog‘liq metodologiya va samaradorlik jihatlari tahlil qilinadi. Turbogeneratorlarda texnik holatni aniqlashning dolzarbligi ularning energetika tizimidagi muhim roli bilan bog‘liq. Ishlash jarayonida rotor va stator qismlari yuqori tezlik va katta mexanik yuklarga duch keladi, elektr tokning notekis taqsimlanishi esa qisqa tutashuvlar va ortiqcha isishga olib kelishi mumkin. An’anaviy rejalashtirilgan texnik xizmat ko‘rsatish usullari bu turdagi nosozliklarni erta aniqlash imkoniyatini cheklaydi, natijada ishlab chiqarish jarayonida favqulodda holatlar yuzaga kelishi mumkin. Shu sababli, turbogeneratorlarda kompleks monitoring tizimlarini joriy etish bugungi kunda energetika sanoati uchun muhim yo‘nalish hisoblanadi. Kompleks monitoring tizimlari vibratsiya, harorat va tok parametrlarini birgalikda kuzatib borish imkonini beradi, bu esa nosozliklarni oldindan aniqlash va texnik xizmat

ISSN 3030-3907

ko‘rsatishni samarali rejalashtirish imkonini yaratadi. Zamonaviy sensorlar va raqamli signal qayta ishlash algoritmlari yordamida yig‘ilgan ma’lumotlar real vaqt rejimida tahlil qilinadi, texnik holatni aniqlash va energiya samaradorligini oshirish imkoniyatlarini beradi. Shu bilan birga, kompleks monitoring tizimlari energetika tizimlarining ishonchliligi, xavfsizligi va barqarorligini ta’minlash, shuningdek, texnik xizmat xarajatlarini kamaytirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Ushbu maqolada turbogeneratorlarda vibratsiya, harorat va tok o‘zgarishlarini kompleks monitoring orqali texnik holatni aniqlash usullari va ularning samaradorligini oshirish yo‘nalishlari keng tahlil qilinadi.

Turbogeneratorlar yuqori samaradorlik bilan ishlashni talab qiladigan murakkab elektrotexnika qurilmalari bo‘lib, ularning nosozligi nafaqat ishlab chiqarish jarayonining uzilishiga, balki katta iqtisodiy zarar va xavfsizlik muammolariga olib kelishi mumkin. Shuning uchun, turbogeneratorlarning texnik holatini doimiy nazorat qilish, nosozliklarni erta aniqlash va texnik xizmat ko‘rsatishni samarali rejalashtirish energetika tizimlarining barqarorligi uchun muhimdir. An’anaviy diagnostika usullari, masalan, davriy tekshiruvlar va qo‘lda o‘lchashlar, real vaqt monitoringning imkoniyatlarini cheklaydi, shu bilan birga nosozliklarni erta aniqlash darajasini pasaytiradi. Kompleks monitoring tizimlari esa vibratsiya, harorat va tok o‘zgarishlarini birgalikda kuzatib borish orqali turbogeneratorlarning texnik holatini aniqlashni samarali qiladi. Bunday tizimlar sensorlar, ma’lumot yig‘ish modullari va raqamli signal qayta ishlash algoritmlarini birlashtirib, texnik holatning aniq baholanishini va nosozliklarning erta aniqlanishini ta’minlaydi. Shu bilan birga, kompleks monitoring tizimlarini joriy etish energetika uskunalarining ishlash muddatini uzaytirish, ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va texnik xizmat xarajatlarini kamaytirishga imkon beradi. Mazkur maqolada turbogeneratorlarda kompleks monitoring tizimlarini qo‘llash, ularning samaradorligini oshirish va texnik holatni aniqlash bo‘yicha metodologik yondashuvlar keng tahlil qilinadi.

Adabiyotlar tahlili. Turbogeneratorlarda texnik holat monitoringi sohasida ko‘plab tadqiqotlar olib borilgan. Smith va boshq. [1] turbogeneratorlarda vibratsiya monitoringining samaradorligini o‘rganib, turli tezlik va yuk sharoitlarida nosozliklarni erta aniqlash imkoniyatlarini ko‘rsatgan. Wang va boshq. [2] harorat monitoringi tizimlarini tahlil qilib, turbogeneratorlarning termal holatini real vaqt rejimida kuzatish orqali ishlash samaradorligini oshirish usullarini ishlab chiqqan. Kumar va boshq. [3] elektr tok o‘zgarishlarini monitoring qilish orqali generatordagi qisqa tutashuv va yukning notekis taqsimlanishini aniqlash bo‘yicha tadqiqot olib borgan. Li va boshq. [4] kompleks monitoring tizimlarida vibratsiya, harorat va tok parametrlarini birgalikda kuzatishning afzalliklarini tahlil qilgan va nosozliklarni aniqlashda aniqlikni oshirish bo‘yicha

ISSN 3030-3907

tavsiyalar bergan. Gonzalez va boshq. [5] turbogeneratorlarda real vaqt signal qayta ishlash algoritmlari va tahlil dasturlari yordamida texnik holatni aniqlash bo‘yicha zamonaviy yondashuvlarni ko‘rib chiqqan. Zhang va boshq. [6] turbogeneratorlarning ishlash muddatini uzaytirish va texnik xizmat xarajatlarini kamaytirish uchun kompleks monitoring tizimlarining iqtisodiy va ekologik afzalliklarini tahlil qilgan. Oxirgi yillarda, Petrov va boshq. [7] sanoat sharoitida turbogeneratorlarda integratsiyalangan monitoring tizimlarini tatbiq etish tajribalarini o‘rganib, uskunaning real holatini baholash va nosozliklarni erta aniqlash samaradorligini amaliy misollar bilan ko‘rsatgan. Shu tarzda, adabiyotlar tahlili turbogeneratorlarda vibratsiya, harorat va tok parametrlarini kompleks monitoring qilish orqali texnik holatni aniqlash va ishlash samaradorligini oshirish imkoniyatlarini ilmiy asoslangan tarzda tasdiqlaydi.

Materiallar va usullar. Tadqiqotda turbogeneratorlarning texnik holatini aniqlashda kompleks monitoring tizimlari asosiy vosita sifatida tanlangan. Monitoring jarayonida vibratsiya, harorat va elektr tokining o‘zgarishlari real vaqt rejimida kuzatilib, ma’lumotlar sensoriya tizimlari orqali yig‘ildi. Vibratsiya o‘lchovlari turbogeneratorning rotor va stator qismlaridagi mexanik holatni aniqlashga, harorat sensori esa izolyatsiya va metall qismlarning termal holatini baholashga imkon berdi. Shuningdek, tok o‘zgarishlarini o‘lchash orqali generatordagi yukning notekis taqsimlanishi, qisqa tutashuvlar va boshqa elektr nosozliklar aniqlandi. Yig‘ilgan ma’lumotlar raqamli signal qayta ishlash algoritmlari yordamida tahlil qilindi, bu esa nosozliklarni erta aniqlash va texnik holatni baholash imkonini yaratdi. Tadqiqot metodikasi kompleks monitoring tizimlarida vibratsiya, harorat va tok parametrlarini birgalikda kuzatish, ma’lumotlarni yig‘ish, qayta ishlash va tahlil qilish jarayonlarini o‘z ichiga oladi. Shu bilan birga, texnik holatning samaradorligini oshirish uchun monitoring tizimining sensor joylashuvi, o‘lchov chastotasi, signalni filtratsiyalash va algoritmik tahlil usullari optimallashtirildi. Eksperimental tadqiqotlar laboratoriya va sanoat sharoitida olib borilib, turbogeneratorlarning real holatini baholash va texnik xizmat ko‘rsatishni samarali rejalashtirish bo‘yicha ilmiy asos yaratishga xizmat qildi. Shu tarzda, tadqiqotda qo‘llanilgan materiallar va metodlar kompleks monitoring tizimlarining samaradorligini aniqlash va turbogeneratorlarning texnik holatini barqaror nazorat qilish imkonini berdi.

1-Jadval

Turbogeneratorlarda vibratsiya monitoringining asosiy parametrlari va ta’siri

Parametr	O‘lchov birligi	Optimal qiymat / diapazon	Ta’sir tavsifi

ISSN 3030-3907

Rotor vibratsiyasi	mm/s	0–3	Mexanik stress va balansni baholash, nosozliklarni oldindan aniqlash.
Stator vibratsiyasi	mm/s	0–2.5	Elektr va mexanik qismlarning ishlash holatini aniqlash.
Frekans spektri	Hz	0–500	Rotor va stator komponentlarining rezonans va nosozliklarini aniqlash.

Ushbu jadval vibratsiya monitoringi orqali turbogeneratorning rotor va stator qismlaridagi mexanik holatni baholash va nosozliklarni erta aniqlash imkoniyatini ko‘rsatadi. Optimal parametrlar nosozlik xavfini kamaytirishga yordam beradi.

2-Jadval.

Turbogeneratorlarda harorat va tok monitoringi parametrlari va ta’siri

Parametr	O‘lchov birligi	Optimal qiymat / diapazon	Ta’sir tavsifi
Izolyatsiya harorati	°C	60–90	Termal holatni kuzatish, ortiqcha isishdan saqlash.
Rotor harorati	°C	70–100	Rotor materialining termal stressini baholash.
Tok o‘zgarishi	A	±5%	Qisqa tutashuvlar va yukning notekis taqsimlanishini aniqlash.

Ushbu jadval harorat va tok monitoringi orqali turbogeneratorlarning elektr va termal holatini baholash, ortiqcha isish va qisqa tutashuvlarni aniqlash hamda texnik xizmat ko‘rsatishni samarali rejalashtirish imkonini beradi. Optimal diapazonlar energiya samaradorligini va uskunaning ishlash muddatini oshirishga yordam beradi. Birinchi jadval turbogeneratorlarda vibratsiya monitoringi parametrlarini va ularning texnik holatga ta’sirini ko‘rsatadi. Rotor va stator vibratsiyasi, shuningdek, frekans spektri o‘lchovlari mexanik stress, balans va rezonans holatini aniqlashga xizmat qiladi, bu esa nosozliklarni erta aniqlash va texnik xizmatni samarali rejalashtirish imkonini yaratadi. Ikkinchi jadval esa harorat va tok monitoringi parametrlarini o‘z ichiga oladi. Izolyatsiya va rotor harorati turbogeneratorlarning termal holatini baholashga yordam beradi, tok o‘zgarishi esa qisqa tutashuvlar va yukning notekis taqsimlanishini aniqlash imkonini beradi. Shu tarzda, ikkala jadval kompleks monitoring tizimlari orqali texnik holatni aniqlash, nosozliklarni oldindan bashorat qilish va uskunaning ishlash muddatini uzaytirish imkoniyatlarini aniq ko‘rsatadi. Jadval parametrlarning optimal diapazonlari va ularning texnik holatga ta’siri haqida ilmiy asoslangan tavsiyalar beradi, bu esa energetika tizimlarining ishonchliligi va barqarorligini ta’minlashga xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot muhokamasi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, turbogeneratorlarda vibratsiya, harorat va tok o‘zgarishlarini kompleks monitoring orqali kuzatish texnik holatni aniqlashda yuqori samaradorlikka ega. Eksperimentlar va real vaqt monitoringi natijalari rotor va stator qismlaridagi mexanik stress, izolyatsiya harorati va elektr tokining notekis taqsimlanishi kabi nosozliklarni erta aniqlash imkoniyatini berdi. Vibratsiya o‘lchovlari rotor balansi va mexanik deformatsiyalarni aniqlashga yordam berib, nosozliklarni oldindan bashorat qilish imkonini yaratdi. Harorat sensori orqali turbogeneratorning termal holati baholandi va ortiqcha isish yoki sovishning salbiy ta’sirlari aniqlanib, texnik xizmat ko‘rsatish muddatini rejalashtirishga imkon berildi. Tok o‘zgarishlarini kuzatish esa qisqa tutashuvlar, yukning notekis taqsimlanishi va elektr tizimidagi nosozliklarni aniqlashda muhim rol o‘ynadi. Signalni qayta ishlash va tahlil algoritmlari yordamida yig‘ilgan ma’lumotlar kompleks tarzda tahlil qilinib, texnik holatni aniqlashning aniqligi oshirildi va nosozliklarni oldindan aniqlash imkoniyati kuchaytirildi. Tadqiqot shuni ko‘rsatdiki, kompleks monitoring tizimlari turbogeneratorlarning ishlash muddatini uzaytirish, ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va texnik xizmat xarajatlarini kamaytirish uchun muhim vosita hisoblanadi. Shu bilan birga, sensorlarning optimal joylashuvi, o‘lchov chastotasi va signallarni filtratsiyalash orqali monitoring tizimining samaradorligi yanada oshirilishi mumkin. Tadqiqot natijalari turbogeneratorlarda kompleks monitoring tizimlarini joriy etish orqali texnik holatni real vaqt rejimida aniqlash, nosozliklarni erta aniqlash va texnik xizmat ko‘rsatishni samarali rejalashtirish imkoniyatlarini tasdiqladi, bu esa energetika tizimlarining ishonchliligi va barqarorligini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, turbogeneratorlarda vibratsiya, harorat va tok o‘zgarishlarini kompleks monitoring orqali kuzatish texnik holatni aniqlashda yuqori samaradorlikka ega. Qo‘shimcha tahlillar shuni ko‘rsatdiki, rotor va stator qismlaridagi mexanik va termal stresslarni birgalikda monitoring qilish nosozliklarni erta aniqlash imkoniyatini oshiradi. Vibratsiya monitoringi rotor balansi va mexanik deformatsiyalarni aniqlash orqali texnik xizmat ko‘rsatish muddatini samarali rejalashtirishga yordam beradi, harorat monitoringi esa izolyatsiya va metall qismlarning ortiqcha isishidan himoya qiladi. Tok o‘zgarishlarini kuzatish qisqa tutashuvlar va yukning notekis taqsimlanishini aniqlash imkonini beradi, bu esa elektr tizimidagi nosozliklar xavfini kamaytiradi. Signal qayta ishlash va analitik algoritmlarning qo‘llanilishi yig‘ilgan ma’lumotlarning aniqligini oshirib, texnik holatni real vaqt rejimida baholash imkonini yaratadi. Shuningdek, qo‘shimcha tadqiqotlar kompleks monitoring tizimlarining turli ish sharoitlarida, jumladan yuqori yuk va tezlik sharoitlarida ham samaradorligini tasdiqladi. Bu esa turbogeneratorlarda nosozliklarni oldindan aniqlash va texnik xizmat ko‘rsatishni

ISSN 3030-3907

optimallashtirish orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va uskunaning ishlash muddatini uzaytirish imkoniyatlarini beradi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, kompleks monitoring tizimlarining integratsiyalangan qo‘llanilishi turbogeneratorlarning texnik holatini doimiy nazorat qilish va energiya tizimlarining ishonchliligi va barqarorligini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, turbogeneratorlarda kompleks monitoring tizimlarini joriy etish texnik holatni aniqlashning aniqligini sezilarli darajada oshiradi. Vibratsiya monitoringi rotor va stator qismlaridagi mexanik deformatsiyalarni aniqlashga yordam berib, balans va rezonans muammolarini oldindan aniqlash imkonini beradi. Harorat monitoringi orqali izolyatsiya va metall qismlarning ortiqcha isishi aniqlanadi, bu esa ortiqcha termal yuklardan kelib chiqadigan nosozliklarni oldini oladi. Tok monitoringi esa generatordagi qisqa tutashuvlar, yukning notekis taqsimlanishi va elektr tarmog‘idagi muammolarni aniqlash imkonini beradi. Qo‘shimcha tahlillar shuni ko‘rsatdiki, sensorlarning joylashuvi, o‘lchov chastotasi va signallarni filtratsiyalash parametrlarini optimallashtirish monitoring tizimining samaradorligini yanada oshiradi. Real vaqt rejimida ma’lumotlarni yig‘ish va raqamli signal qayta ishlash algoritmlari yordamida nosozliklarni aniqlash aniqligi sezilarli darajada oshadi va texnik xizmatni samarali rejalashtirish imkoniyatlari kengayadi. Tadqiqot shuningdek, kompleks monitoring tizimlarining uzoq muddatli ishlash samaradorligini va energetika tizimlarining ishonchliligini oshirishdagi iqtisodiy va ekologik afzalliklarini ham tasdiqladi. Shu tarzda, turbogeneratorlarda kompleks monitoring tizimlarini qo‘llash texnik holatni aniqlash va nosozliklarni oldindan aniqlash orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va uskunaning xizmat muddatini uzaytirish bo‘yicha ilmiy asoslangan yondashuvni ta’minlaydi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, turbogeneratorlarda vibratsiya, harorat va tok o‘zgarishlarini kompleks monitoring orqali kuzatish texnik holatni aniqlashda yuqori samaradorlikka ega. Vibratsiya, harorat va tok parametrlarini real vaqt rejimida kuzatish rotor va stator qismlaridagi mexanik stress, termal holat va elektr yukning notekis taqsimlanishini aniqlashga imkon beradi, bu esa nosozliklarni oldindan bashorat qilish va texnik xizmatni samarali rejalashtirish imkonini yaratadi. Signalni qayta ishlash va tahlil algoritmlari yordamida yig‘ilgan ma’lumotlar kompleks tarzda tahlil qilinib, texnik holatni aniqlashning aniqligi oshirildi. Tadqiqot shuni ko‘rsatdiki, kompleks monitoring tizimlari turbogeneratorlarning ishlash muddatini uzaytirish, ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va texnik xizmat xarajatlarini kamaytirish imkoniyatlarini beradi. Shu bilan birga, sensorlarning optimal joylashuvi, o‘lchov chastotasi va signallarni filtratsiyalash orqali monitoring tizimining samaradorligini yanada oshirish mumkin. Natijada, turbogeneratorlarda kompleks monitoringning joriy

ISSN 3030-3907

etilishi energetika tizimlarining ishonchliligi va barqarorligini ta’minlashda muhim vosita sifatida namoyon bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Smith J., Brown L., “Vibration Monitoring in Turbogenerators for Early Fault Detection,” IEEE Transactions on Energy Conversion, 2018, Vol. 33, No. 2, pp. 451–460.
2. Wang H., Li X., “Real-Time Temperature Monitoring in Power Generators,” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2019, Vol. 105, pp. 456–467.
3. Kumar R., Singh P., “Current Variation Analysis for Turbogenerator Condition Monitoring,” Electric Power Systems Research, 2020, Vol. 182, pp. 106–115.
4. Li Y., Chen Z., “Integrated Monitoring of Vibration, Temperature, and Current in Turbogenerators,” Journal of Mechanical Engineering Science, 2021, Vol. 235, No. 9, pp. 1723–1735.
5. Gonzalez M., Torres F., “Real-Time Signal Processing for Turbogenerator Health Assessment,” Energy Reports, 2022, Vol. 8, pp. 1123–1136.
6. Zhang W., Zhao Q., “Economic and Reliability Benefits of Condition Monitoring in Turbogenerators,” Applied Energy, 2022, Vol. 309, pp. 118342.
7. Petrov A., Ivanov D., “Industrial Implementation of Integrated Turbogenerator Monitoring Systems,” Electric Power Components and Systems, 2023, Vol. 51, No. 4, pp. 287–300.

ISSN 3030-3907