

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ГАЗОТУРБИННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ,
ТЕРМОДИАГНОСТИКИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АНАЛИЗА
СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Матуразов И.С., Ешматов А.Ш.

*Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент,
Узбекистан)*

АННОТАЦИЯ: В этой статье представлен сравнительный анализ современных методов диагностики — вибродиагностики, термодиагностики (анализ газового пути — GPA) и анализа результатов масла, используемых для мониторинга технического состояния газотурбинных двигателей (GTD) — вибрационная диагностика, термодиагностика (анализ газового пути — GPA) и результаты. Программное обеспечение рассматривает принципы работы каждого метода, датчики дополнительных устройств и характерные дефекты, возникающие ими. Диагностика, искусственный интеллект в диагностике, машинное обучение и «цифровое образование» Будет проанализирована роль и экономическое развитие перспективных технологий, таких как близнецы. Статья завершается использованием этих диагностических методов в интегрированной форме для определения надёжности движка и разработки наиболее эффективной стратегии добавления операционной системы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: газотурбинный двигатель, вибродиагностика, термодиагностика, анализ газовых путей (GPA), анализ масла, искусственный интеллект, вычислительный двойник, предиктивное обслуживание (CBM).

**MODERN METHODS OF GAS TURBINE ENGINE DIAGNOSTICS:
FUNDAMENTAL AND PRACTICAL COMPARATIVE ANALYSIS OF
VIBRATION DIAGNOSTICS, THERMAL DIAGNOSTICS AND
EXPERIMENTAL ANALYSIS OF LUBRICANTS**

Maturazov I.S., Eshmatov A.Sh

Tashkent state transport university (Tashkent, Uzbekistan)

ABSTRACT: This article presents a comparative analysis of modern diagnostic methods – vibration diagnostics, thermal diagnostics (gas path analysis – GPA) and analysis of oil results used to monitor the technical condition of gas turbine engines (GTD) – vibration diagnostics, thermal diagnostics (gas path analysis – GPA) and results. The software considers the principles of operation of each method, sensors of

additional devices and characteristic defects, arising by them. Diagnostics, Artificial Intelligence in Diagnostics, Machine Learning and "Digital Education" The role and economic development of promising technologies such as twins will be analyzed. The article concludes with the use of these diagnostic methods in an integrated form to determine the reliability of the engine and develop the most effective strategy for adding an operating system.

KEYWORDS: *gas turbine engine, vibration diagnostics, thermal diagnostics, gas path analysis (GPA), oil analysis, artificial intelligence, computational twin, predictive maintenance (CBM).*

**GAZTURBINALI DVIGATELLARDA ZAMONAVIY DIAGNOSTIKA
USULLARI: VIBRODIAGNOSTIKA, TERMODIAGNOSTIKA VA
TAJRIBA'I-MOY TAHLILINING FUNDAMENTAL VA AMALIY QIYOSIY
TAHLILI**

Maturazov I.S., Eshmatov A.Sh

Toshkent davlat transport universiteti (Toshkent, O'zbekiston)

ANNOTATSIYA: *Ushbu maqolada gazturbinali dvigatellar (GTD) texnik holatini monitoring qilishda qo'llagan zamonaviy diagnostika usullari - vibrodiagnostika, termodiagnostika (gaz yo'li tahlili - GPA) va natijalar'i-moy tahlilining qiyosiy tahlili.dasturiy ta'minot har bir usulning ishlash tamoyillari, qo'shimcha qurilmalarni datchiklar va ular yordamida yaratishgan xarakterli nosozliklar ko'rib chiqish.diagnostika, tashxisni aniqlashda sun'iy intellekt, mashinali o'rganish va "raqamli egizaklarDigital Twins) kabi istiqbolli texnologiyalarning o'rni va iqtisodiy rivojlanishi tahlil qilinadi.Maqola yakunida ushbu diagnostika usullarini integratsiyalashgan holda qo'llash dvigatelning ishonchliligini aniqlash va ekspluatatsiya tizimini qo'shishning eng samarali strategiyasini ishlab chiqish.*

KALIT SO'ZLAR: *gazturbinali dvigatel, vibrodiagnostika, termodiagnostika, gaz yo'li tahlili (GPA), moy tahlili, sun'iy intellekt, hisoblash egizak, prognozli texnik xizmat ko'rsatish (CBM).*

KIRISH: *Gazturbinali dvigatellar (GTD) zamonaviy aviatsiya, energetika va sanoat tarmoqlarining markaziy qismi bo'lib, fayl texnik holatini monitoring qilish va diagnostika qilish tizimlari doimiy ravishda takomillashib boradi. Diagnostika jarayoni murakkab agregatlarning ish ishonchliligini ta'minlash, xavfsiz to'xtashlarning olish va ekspluatatsiya usullarini optimallashtirish uchun xizmat qiladi.GT GT ning o'zi kabi kabiga ega bo'lib, dastlabki bosqichlarda u faqat uzoq quvvat ishlab chiqarishning texnik qo'llanmalari va texnik tiklanishiga tayangan bo'lsa, 1960-yillarning Urban tomonidan ishlab chiqarilgan "Gaz yoli tahlili" (Gas Path Analysis - GPA) konstruktsiya*

kiritilishida katta burilish yasadi. Bugungi kunda zamonaviy diagnostika majmuasi vibrodiagnostika, termodiagnostika va hisobot'i-moy tahlili kabi usullarni o'z ichiga oladi.

ASOSIY QISM: Gazturbinali dvigatellarda zamonaviy diagnostika usullari: Vibrodiagnostika, termodiagnostika va tajriba'i-moy tahlilining fundamental va amaliy qiyosiy tahlili qilishda diagnostika usullarini integratsiyalashgan holda qo'llash dvigatelning ishonchligini aniqlash va ekspluatatsiya tizimini qo'shishning eng samarali strategiyasini ishlab chiqishga qaratilgan

Vibrodiagnostika usullarining texnik prinsiplari va tatbiqi Vibrodiagnostika aylanuvchi mashinalarning mexanik holatini boshqarishda eng samarali va keng tarqalgan usullardan biri. Har qanday ishlayotgan gazturbinali dvigatel o'ziga xos tebranishlar spektriga ega [4] bo'lib, u dvigatelning strukturaviy yaxlitligi, muvozanati va detallarning o'zaro ta'sirini aks ettiradi. Ushbu usulning asosiy maqsadi aylanuvchi qismlarning dinamikasi o'rnatishni boshqarish orqali mumkin bo'lgan nosozliklarni barvaqt identifikatsiyalashdir.

Vibratsiya signallari asosan uchta domenda tahlil: vaqt sohasi (time domain) [4], frekans sohasi (frequency domain) va quefrensy sohasi. Vaqtni tejash signallarining tabiiy ko'rinishini ta'minlash yordam beradi, chastota sohasi tebranishlarning davriyligini va muayyan detallarga (masalan, podshipniklar yoki vallar) bog'liqligini aniqlashga yordam beradi. Quefrensy sohasi esa birligida bir marta sodir bo'ladigan tebranish hodisalarini umumlashtirish uchun qo' vaqt.

Vibratsiya sensorlari va ularni o'rnatish strategiyalari

Vibrodiagnostika qo'shimcha aniq sensorlar turi va dvigateldagi joylashuviga bog'. GTDlarda asosan akselerometrlar, tezlik datchiklari va siljish (displacement) datchiklari qo' natijalari. Vallarning tebranishini monitoring qilishda siljish datchiklari tavsiya qilish, chunki ular valning podshipnik yoki zichlagichlarga nisbatan holatini aniq o'lchaydi. Korpus tebranishlarini amalga oshirishda esa seysmik sensorlar (akselerometrlar) ustunlikka ega bo'lib, ular yuqori haroratli va og'ir ish sharoitlarida, ayniqsa gaz generatori va quvvat turbinasida yaxshi natija beradi.

Sensorlarni o'rnatish joyini belgilashda tebranish manbasidan signalning minimal yo'qotishlar bilan uzatilishini ta'minlash muhim omil bo'ladi. Masalan, turbokompressor tebranishlarini o'lchashda MV 38 datchiklari X va Y o'qlari bo'ylab mos ravishdagi kompressor korpusi va turbina tayanchi korpusiga o'rtacha. Aks holda, signal yo'lidagi to'siqlar olingan ma'lumotlarning haqiqiy holatga mos kelmasligiga sabab bo'lishi mumkin.

Jadval 1: Vibrodiagnostikada qo‘shimcha qoidalarga muvofiq sensorlar.

Sensor turi	O‘lchanadigan parametr	Qo‘llanilishi va afzalliklari
Siljish datchig‘i (Siljish datchig‘i)	Amplituda, faza, vallar holati	Vallarning podshipniklarga nisbatan harakatini, o‘tgan chastotali tebranishlar uchun ideal.
Seysmik akselerometr	Tezlanish, korpus tebranishi	Yuqori haroratli havoda (turbina korpusi) qo‘ni tekshirish, mutloq tebrash namlik o‘lchaydi.
Infraqizil yoki siljish datchigi	Faza ma’lumoti	Vallar chastotasi bilan almashtirish uchun tayanch signaliga xizmat qiladi.
Ultratovush sensorlari	Stress to‘lqinlari	Juda yuqori chastotali komponentlarni, masalan, tishli g‘ildiraklar yemirilishini aniqlash uchun.

Vibratsiya orqali ishlaydigan mexanik qurilmalar

Vibratsiyali rotor tahlili tizimi, vallarning noto‘ri markazlashuvi misalignment, ishqalanish (rubbing) va podshipniklar yemirilishi kabi ko‘plab muammolar. Rotor va statsionar moddalar o‘ziga xos ishqalanish ayniqsa xavfli bo‘lib, u issiqlik hosil bo‘lishi rotorning termal deformatsiyasiga olib keladi va bu qo‘shimcha suyuqlikni hosil qiladi. Ush hodisa Nyukirk effekti [9] (Newkirk effekti) deb va asosan 1X tebranish amptudasining harakati bilan namoyon bo‘ladi.

Podshipniklar holatini monitoring qilishda maxsus usullar, Envelope tahlili va Cepstrum tahlili natija qo‘ belgilari. Subshipniklardagi yemirilish jarayonlari uch bosqichdan iborat bo‘lib, tezlikda tezlikda tezlik tezlikda, bu esa detailing ishdan chiqishiga juda yaqin qolganidan dalolat beradi. Murakkab tizimlarda, masalan, tishli uzatmali dvigatellarda tebranish signallarini filtrlash uchun Time Synchronous Averaging (TSA) va Spectral Kurtosis kabi usullardan foydalaniladi.

Termodinamik diagnostika va gaz yo‘li tahlili (GPA)

Termodinamik diagnostika dvigatelning energetik darajasini va tekshirgich qismlarining aerotermodina holatini tekshirishga yordam beradi. Uch usulning asosi bo‘lgan Gaz yo‘li tahlili (GPA) o‘lchanadigan gaz-dinamik parametrlar [1] (bosim, harorat, yonilg‘i sarfi) va komponentlarning sog‘liq ko‘rsatkichlari (foydali ish koeffitsienti, oqim o‘tkazish) o‘zgarishlar dvigatel bog‘liqligiga tayanadi.

Urban metodologiyasi va matematik modellashtirish

Urban kompaniyasi 967-yilda shirkat chiziqli GPA modeli dvigatel komponentlaridagi degradatsiyani ishlab chiqaradi. Uch modelda bog‘liq parametrlar

(z - o'lganadigan kattaliklar) va mustaqil parametrlar (x - komponentlar holati) o'zaro munosabat ta'sir koeffitsiyentlari matritsasi (Influence Coefficient Matrix - ICM) orqali ifodalanadi.

Matematik yordam bu bog'liqlik ko'rinishga ega:

$$z=H \cdot x$$

Bu yerda H - ICM matritsasi. Diagnostika masalalari bo'yicha matritsani teskarisiga (Fault Coefficient Matrix - FCM) orqali o'lgan og'ishlar asosida komponentlardagi o'zgarishlarni topishni nazar tutadi. lekin, real sharoitda dvigatel parametrlari o'rtasidagi bog'liqlik yuqori darajadagi chiziqli bo'lmagan xarakterga ega, shu sababli iterativ Newton-Rafson usullari kabi chiziqli bo'lmagan modellar ham keng qo'llanmagan.

Gaz yo'li komponentlaridagi nosozliklar va tekshiruv indikatorlari

Gaz yo' komponentlari yuqori harorat, yuqori tezlikli tezlikka erishiladi, bu esa veb-sayt vaqti bilan degradatsiyaga uchrashiga sabab bo'ladi. asosiy nosozlik turlariga yordam beradi:

Kompressorning kirlanishi (Fouling): Havo yo'llarida chang va aerozollar to'planishini o'tkazishni va foydali ish koeffitsiyentini pasaytiradi.

Eroziya va korroziya: Qattiq zarralar ta'sirida kurak profillarining o'rnatish va materialning yupqa dizayni samaradorlikni boshqarish.

Kuraklar uchidagi tirqishlarning kengayishi Tip clearance (Tip clearance): Bu havo haroratining teskari yo'nalishda sizib o'tishiga va bosim darajasining yuqoriga olib keladi.

Yonish kamerasi muammolari: Yonilg'i purkagichlarining kirlanishi yoki yonish jarayonining notekisligi chiqish gazlari haroratining (EGT) notekis taqsimlanishiga sabab bo'ladi.

Dvigatelning ish holatini usulida "Invers tsikl" (Inverse Cycle) ham qo' tekshiruv. Bu usul o'lgangan ma'lumotlar asosida dvigatelning ichki parametrlarini, ishlab chiqarish, turbina kirish haroratni (TIT) yuklaydi, bu esa issiqlik qismlarining qolgan xizmat muddatini (remnant life evalument) .

Jadval GPA 2: o'rganiladigan asosiy komponentlar va sifat ko'rsatkichlari.

Komponent	Mustaqil parametrlar (Salomatlik parametrlari)	Asosiy nosozlik sabablari
Kompressor	Isentropik FIK, Oqim o'tkazish koeffitsiyenti	Kirlanish, kurak eroziyasi, havo sizishi
Yonish kamerasi	Yonish, Bosim yo'qolishi	Purkagich kirlanishi, koks hosil bo'lishi, yorilishi

Yuqori bosim turbinasi	FIK, Oqim o'tkazish maydoni	Eroziya, kurak uchlari yeyilishi, sovitish teshiklari tiqilishi
Past bosim turbinasi	Isentropik FIK	Termal charchoq, korroziya, kuraklar deformatsiyasi

Yogilg'i va moy tizimlarining diagnostik tahlili

Moy tahlili (Oil Condition Monitoring - OCM) dvigatelning mexanik qismlari, ayniqsa podshipniklar va tishli uzatmalar holati haqida ma'lumot beruvchi "proaktiv" diagnostika usuli. Zamonaviy GTDlarda moy nafrat moylash, balki detallarni sovitish va ishqalanish zonalaridan yemirilishdan olib chiqish harakatini ham ishlatish.

My monitoringining uchta asosiy yo'nalishi

Samarali moy tahlili dasturi uch qavatga bo'linadi: moyning holati, tozaligi va mashina yemirilishi.

Moyning kimyoviy holati: Moyning o'z mashqlarini jismoniyga yaroqliligini-uchun uning qovushqoqligi (viscosity), kislotali soni (Total Acid Number - TAN) [5] va oksidlanish jarayonlari (RPVOT) o'lchanadi. Harorat kislotalar bilan moyning oksidlanishi kuchayadi, bu esa asos bo'lishiga va podshipniklar korroziyasiga sabab bo'lishi mumkin.

Moyning tozaligi Toshqaridan kirgan chang suv va boshqa ifloslantiruvchi moddalar, suyuqlik tahlili. Masalan, suv miqdorini titrlash usulida Karl Fisher qo' ko'rsatkichi. Ifloslanish darajasi ISO 4406 yoki NAS 1638 standartlari bo'yicha zarrachalar soni orqali baholanadi.

Mashina yemirilishi (Wear debris): Ishqalanish hosil bo'lgan metall zarralarini tahlil qilish orqali qaysi detail yemirilayotganini aniqlash mumkin. Buning uchun atom-emissiya spektroskopiya va ferrogafiya usullari qo' tekshiruvi. Ferrogafiya zarralarning shakli va o'lchamiga qarab yemirilish turini (masalan, abraziv charchoq yoki yo'mirlanishi) yordam beradi.

Erta diagnostikada moy tahlilining xulosasi

Moy tahlili ko'p vaqt podshipnik nosozliklarini vibrodiagnostikaga nisbatan ancha vaqtliroq aniqlay oladi. Masalan, Palo Verde AES ma'lumotlariga ko'ra, moy tahlili podshipnik nosozligini [7] 18 oy oldin aniqlagan bo'lsa, vibratsiya datchiklari ushbu muammoni faqat nosozlikka bir oy qolganda qayd etgan. Shu birga, moy tahlili faqat moy zonalar haqida ma'lumot beradi va rotorning tozaligi yoki noto'g'ri markazlashuvi kabi dinamik bilan bevosita aniqlay olmaydi.

Dvigatelda o'zgarishlar magnitli chiplar detektori (magnit chip detektori) moy tizimidagi shunga mos ravishda metall zarralarini tutib qoladi va uchuvchi yoki texnik xodimga tezda ruxsat beradi. Bu "real-time" monitoring vositasi sifatida xavfsiz falokatlarning olinishida muhim muammo ega.

Diagnostika usullarining qiyosiy tahlili: samaradorlik va sezgirlik

Turli diagnostika usullarini solishtirganda, har biri belgilangan tartibda egaligi uchun yuqori sezgirlikka ma'lum bo'ladi. Vibrodiagnostika real vaqt rejimida vallar dinamikasini kutish uchun juda mos bo'lsa, GPA dvigatelning umumiy foydali ish koeffitsiyenti o'chirishni ko'rsatib beradi.

Sezgirlik va tezlik vaqti bo'yicha taqqoslash

Tadqiqotlar ko'rinishidagi, podshipnik va tishli uzatmalar nosozliklarini tekshirishda moy tahlili va vibratsiya tahlili bir-birini to'ldiradi. Palo Verde tadqiqotida moy tahlili podshipnik nosozliklarining 40% ini vibratsiyadan oldin aniqlagan bo'lsa, vibratsiya tahlili 33% hozir moy tahlili aniqlangan olmagan (masalan, strukturaviy bo'shashish) qayd etgan. Ikki usul faqat 27% hozir bir joyda o'zida signal bergan.

Jadval 3: Diagnostika usullarining texnik va amaliy qiyosiy xarakteristikalari.

Xususiyat	Vibratsiya diagnostikasi	Termodiagnostika (GPA)	Mening tahlilim
Asosiy diqqat markazida	Mexanik dinamika, vallar	Aero-termodinamik samaradorlik	Tribologiya, Yemirilish
Ma'lumot olish tezligi	Real vaqtda (yuqori chastota)	Doimiy (o'tgan chastota)	Davriy (laboratoriya) yoki onlayn
Erta aniqlash (Qo'rg'oshin vaqti)	O'rtacha (yaqinida karkidon)	Yaxshi (degradatsiya jarayoni)	Juda yuqori (oylar oldida)
Nuqsonni lokalizatsiya qilish	Juda yaxshi	Murakkab (yoyish effekti)	O'rtacha (material tarkibi bo'yicha)
Asosiy cheklovi	Erta bosqichda ko'r bo'lishi mumkin	Shovqin va sensorga sezgir	Namuna olishda "garbage in, garbage out"

Iqtisodiy samaradorlik va qaror qabul qilish

Diagnostika tizimlarini joriy etishdan ko'zlangan asosiy maqsad - "ishdan chiqquncha" o'rniga, uning holatiga qarab xizmat ko'rsatishga (Condition Based Maintenance - CBM) o'tishdir. GPA usulining aniqligi hatto 15% ga tozalash ham kir aviakompaniyalar yoki energetika obyektlari uchun yuz minglab dollar iqtisod qilish qiladi. Masalan, 6000 parvoz tsikli0 degradatsiyani to'g'ri tashish orqali 700,000 dollardan ortiq mablag'ni yig'ish mumkin.

Vibratsiyani real rejimda qaror qabul qilish uchun bo'lsa, moy tahlil vaqtini uzoq vaqt davomida strategik rejalashtirish, ya'ni dvigatelni kapital ta'mirlashga yo'naltirishni qachon monitoring qiladi muhim ahamiyatga ega.

Zamonaviy tendensiyalar: Sun'iy intellekt va Raqamli egizaklar

GTD diagnostikasi bugungi kunda oddiy parametrlar monitoringidan murakkab intellektual tizimlar sari rivojlanmoqda. Sun'iy intellekt (AI) [6] va mashinali o'rganish (ML) usullari katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish va yashirin narsalarni topishda mislsiz topish yaratmoqda.

Gibrid diagnostika modellari

An'anaviy fizikaga kuchli modellar (termodinamik tenglamalar) o'zining aniqligi bilan ajralib tursa-da, ular dvigatelning barcha real ish sharoitlarini (shovqin, sensorlar degradatsiyasi) qo'llab-quvvatlash mumkin. Zamonaviy binolar - bu fizik model va AI algoritmlarini birlashtirgan gibrid tizimlardir [10]. Masalan, neuron tarmoqlari (ANN) [2] GPA tizimidagi yo'l-yo'riq effektini "smearing effect" (smearing effect) qo'llanilmoqda.

Bundan tashqari, Extreme Learning Machine (ELM) kabi algoritmlar o'zining tezkorligi va aniqligi bilan an'anaviy neyron tarmoqlardan ustunlik qilmoqda. ELM orqali bir yordam o'zida bir nechta komponentdagi degradatsiyani (masalan, kompressor kirlanishi va turbina eroziyasi) chiqarish va ishlab chiqarish mumkin.

Raqamli egizak texnologiya (Digital Twins)

Dvigatelning raqamli egizagi - bu uning virtual nusxasi bo'lib, u real vaqt rejimida datchiklardan olingan ma'lumotlarga asoslangan dvigatelning jismoniy holatini simulyatsiya qiladi. Bu texnologiya dvigatelning qolgan xizmat muddatini (Remaining Useful Life - RUL) aniqroq bashorat yordam beradi. Tietoevry kompaniyasining xavfsizlik ko'ra, kompyuterda egizak va murakkab ML algoritmlari yordamida nosozliklarni aniqligi 93% ga yetgan, bu esa har bir rejasiz to'xtashdan keladigan 400,000 dollarlik yo'qotish hosil bergan.

GE Vernova tomonidan qo'llanilgan APM SmartSignal platformasi ham kompyuter egizak texnologiyaga tayanadi va podshipniklardagi noodatiy tebranishlarni xavf darajaga yetmasdan turib nazoratga qodir. Bunday tizimlar operatorlarga dvigatelni nazorat chegaralarda boshqaruv bo'yicha tavsiyalar beriladi.

Xulosa va istiqbolli yo'nalishlar

Gazturbinali dvigatellarning diagnostikasi zamonaviy texnologiyalar chorrahasida turibdi. Vibrodiagnostika mexanik holatning dinamik ko'zgusi bo'lsa, termodiagnostika dvigatelning energetik ishlab chiqaruvchilarni ko'rsatadi, moy tahlillari esa ishqalanish zonalaridan "ovoz" dir.

Tahillar shuni ko'rsatish zarurki, maksimal ishonchlilikka ega bo'lish uchun ushbu uchta usulni integratsiyalashgan holda qo'llash. Faqatgina tebranishlarga tayanish podshipniklardagi erta yemirilishni o'tkazib yuborishga sabab bo'lishi mumkin, faqat moy tahlili esa rotor tozalanishni sezmay qoladi. Zamonaviy EHM (Engine Health

Management) tizimlari barcha datchiklar ma'lumotlarini (temperatura, bosim, vibratsiya, moy sifati) yagona intellektual algoritm qayta ishlash orqali eng aniq diagnostik natijalarni taqdim etadi.

Kelajakdagi diagnostika tizimlari yanada avtonom bo'lib, ular milliy nosozlikni aniqlaydi, balki uning ishlab chiqarish trayektoriyasini boshorat qiladi va avtomatik ravshan texnik xizmat ko'rsatish vaqtini yaxshilash. Bu jarayonda sim sensorlar kirishi, onlayn moy monitoringi datchiklari va "bulutli" elektron texnologiyalari markaziy o'rin egallaydi. Oxir-oqibat diagnostika moliyaviy yordam kafolati, balki yuqori iqtisodiy samaradorlikka erishishning asosiy strategik vositaga aylanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Maturazov I.S., Sarsenbayev D.J. Analysis of aircraft maintenance / Railway transport: topical issues and innovations. – Toshkent, 2023. – №4. – P. 97-101.,,,
2. Civil Aviation Agency of Uzbekistan. (2023). Document AR-AIR-001: Aviation Airworthiness Standards and Procedures. Retrieved from [<https://www.uzcaa.uz/>]
3. International Civil Aviation Organization. (2024). Convention on International Civil Aviation (Chicago Convention). Retrieved from [<https://icao.int/>].
4. International Civil Aviation Organization. (2024). ICAO Annex 6 - Operation of Aircraft, Parts I and II.,,
5. Rolls-Royce. Trent 1000 (TEN) Intelligent Engine Health Monitoring (IEHM) and Three-Shaft Architecture Analysis,,,
6. CFM International. CFM56-7B Reliability Data and High Pressure Turbine (HPT) Maintenance Standards,,,
7. Aircraft Maintenance Manual (AMM). General Safety Procedures, Cowling and Oil System Maintenance,,,
8. Engine Maintenance Manual (EMM). Standard Regulations for Overhaul, Repair and NDT Testing.
9. Urban, L.A. Gas Path Analysis for Gas Turbine Monitoring. Cranfield University.
10. Jombo, G., Osigwe, E., Li, Y. Integrated Gas Turbine System Diagnostics Using Artificial Neural Networks. University of Hertfordshire

Mualliflar haqida ma'lumot / Сведения об авторах / Information about the authors

Maturazov Izzat Soliyevich – Toshkent davlat transport universiteti, Aviatsiya transporti muhandisligi fakulteti texnika fanlari falsafa doktori, PhD. E-mail: izzat3983@mail.ru

Eshmatov Alisher Shavkat o'g'li- Toshkent davlat transport universiteti, "Aviatsiya injiniringi" kafedras, Magistr. E-mail: Eshmatovalisher99@gmail.com

Матуразов Иззат Солиевич – Ташкентский государственный транспортный университет, факультет авиационной транспортной инженерии, PhD. E-mail: izzat3983@mail.ru

Эшматов Алишер Шавкат ўгли – Ташкентский государственный транспортный университет, кафедра “Авиационный инжиниринг”, магистр E-mail: Eshmatovalisher99@gmail.com

Maturazov Izzat Solievich – Tashkent State Transport University, Faculty of Aviation Transport Engineering, PhD. E-mail: izzat3983@mail.ru

Eshmatov Alisher Shavkat o‘g‘li – Tashkent State Transport University, Department of “Aviation Engineering”, Magistr student. E-mail: Eshmatovalisher99@gmail.com