

Analysis of types of detection of technical malfunctions in aircraft engines

I.S. Maturazov¹^a, Sh.Sh. Shodiev¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article presents an analysis of methods and types of detecting technical malfunctions in aircraft engines. Various malfunction detection methods, their advantages and limitations, as well as their application efficiency, are discussed. This analysis can be applied to improve aircraft maintenance and enhance flight safety. The article highlights modern methods of detecting malfunctions in aircraft engines and their importance.

Keywords: engine malfunctions, technical maintenance, detection methods, aircraft safety, and flight safety

Havo kemalari dvigatellarining texnik nosozliklarini aniqlash turlarining tahlili

Maturazov I.S.¹^a, Shodiev Sh.Sh.¹^b

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada havo kemalari dvigatellarining texnik nosozliklarini aniqlash usullari va turlariga oid tahlil keltirilgan. Turli nosozliklarni aniqlash usullari, ularning afzalliklari va cheklovlari, shuningdek, ularni qo'llashning samaradorligi muhokama qilinadi. Ushbu tahlil havo kemalari texnik xizmatini yaxshilash va parvoz xavfsizligini oshirishda qo'llanilishi mumkin. Ushbu maqolada, havo kemalari dvigatellaridagi nosozliklarni aniqlashning zamonaviy usullari va ularning ahamiyati yoritilgan.

Kalit so'zlar: Dvigatel nosozliklari, texnik xizmat, aniqlash usullari, havo kemalari xavfsizligi, parvoz xavfsizligi

1. Kirish

Havo kemalari xavfsizligi va ularning samarali ishlashini ta'minlash aviatsiya sanoati oldida turgan eng muhim vazifalardan biridir. Dvigatellar texnik nosozliklarni aniqlash, ularning o'z vaqtida oldini olish va kerakli texnik xizmat ko'rsatish orqali havo kemalarining uzluksiz va xavfsiz faoliyati kafolatlanadi. Nosozliklarni ertaroq aniqlash ahamiyati shundaki erta aniqlash baxtsiz hodisalarning oldini oladi, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari kamaytiradi va xabo kemasining resursini oshiradi.

2. Tadqiqot metodikasi

EHMS (Engine Health Monitoring System) — bu havo kemalari dvigatellarining texnik holatini kuzatish va analiz qilish uchun qo'llaniladigan tizim bo'lib, dvigatelning uzluksiz va xavfsiz ishlashini ta'minlashga yordam beradi. EHMS yordamida dvigateldagi har xil parametrlar (masalan, tebranish, harorat, bosim, tezlik va boshqalar) real vaqtda kuzatilib, ularning normal ishlash chegaralarida ekanligi nazorat qilinadi.

EHMS tizimi quyidagi jarayonlarni o'z ichiga oladi:

1. Sensorlar va o'lchash vositalari: Dvigatelning ichki va tashqi qismiga o'rnatilgan sensorlar yordamida turli parametrlar o'lchanadi. Bu sensorlar dvigatelning ishlash jarayonida sodir bo'ladigan har qanday nojo'ya o'zgarishlarni kuzatishga mo'ljallangan. Odatda, harorat,

tebranish, bosim va havo harakati kabi parametrlarga alohida e'tibor qaratiladi.

2. Ma'lumotlarni to'plash va tahlil qilish: Sensorlar yig'gan ma'lumotlar EHMS tizimiga uzatiladi, bu esa ushbu ma'lumotlarni analiz qilib, har qanday nosozlikni yoki normadan chetlanishni aniqlaydi. Bu ma'lumotlar real vaqtda ko'rib chiqiladi va tarixiy ma'lumotlar bilan solishtiriladi, shuning asosida dvigatelning hozirgi holati va kelajakdagi ehtimoliy nosozliklar haqida xulosa chiqariladi.

3. Signal va ogohlantirishlar: Agar EHMS tizimi normal ko'rsatkichlardan chetlanishlarni aniqlasa, tizim texnik xizmat ko'rsatish xodimlarini ogohlantirish uchun signal beradi. Masalan, tebranish darajasi keskin oshgan bo'lsa, tizim avtomatik ravishda xodimlarga bu haqida xabar beradi, va ular muammoni bartaraf qilish choralari ko'rishi mumkin.

4. Texnik xizmat va profilaktika: EHMS tizimi yordamida dvigateldagi har qanday kichik nosozliklar o'z vaqtida aniqlanadi va bu katta texnik muammolarga olib kelmasdan ularning oldini olish imkonini beradi. Ushbu tizim samolyot dvigatellarining profilaktika va texnik xizmat ko'rsatish jarayonini optimallashtiradi, bu esa texnik xizmat ko'rsatish uchun ajratilgan vaqt va mablag'larni qisqartiradi [5; 6].

Trend tahlili — bu vaqt o'tishi bilan ma'lum bir hodisa yoki ko'rsatkichning o'zgarishlarini kuzatish va baholash jarayoni bo'lib, u o'zgarishlarning tendensiyalarini aniqlashga yordam beradi. Trend tahlili nafaqat iqtisodiyot, marketing yoki moliyaviy sohalarida, balki aviatsiyada ham

^a <https://orcid.org/0009-0003-4781-1601>

^b <https://orcid.org/0009-0002-8486-0739>



keng qo'llaniladi, masalan, dvigatellar holatini monitoring qilishda trend tahlili yordamida texnik nosozliklarni aniqlash mumkin.

Trend tahlilining asosiy maqsadlari:

1. O'zgarishlarni tushunish: Trend tahlili orqali biror ko'rsatkichning o'sishi yoki kamayishi qanday omillar ta'sirida yuz berayotganini tushunish mumkin.

2. Prognoz qilish: Oldingi o'zgarishlar asosida kelajakda qanday o'zgarishlar kutilishini prognoz qilishga yordam beradi.

3. Muammolarni aniqlash: Muayyan ko'rsatkichda o'zgarish yuz bersa, u bilan bog'liq muammolarni erta bosqichda aniqlash imkonini beradi.

Aviatsiyada trend tahlili qanday qo'llaniladi?

Aviatsiyada trend tahlili asosan texnik xizmat ko'rsatish, xususan dvigatel monitoringi uchun qo'llaniladi. Misol uchun, dvigatelning harorat, tebranish yoki yoqilg'i sarfi kabi parametrlari vaqt o'tishi bilan o'zgarib boradi. EHMS (Engine Health Monitoring System) trend tahlilidan foydalanib, ushbu parametrlardagi kichik o'zgarishlarni kuzatishi mumkin.

Agar ma'lum bir parametrning qiymatlari odatdagi trenddan chetlashayotgan bo'lsa, bu dvigatelda muammo yuzaga kelayotganidan darak berishi mumkin. Trend tahlili yordamida bu muammoni oldindan aniqlab, dvigatelni tekshirish va ta'mirlashni rejalashtirish mumkin.

Trend tahlili usullari:

1. Chiziqli regressiya: Vaqt o'tishi bilan o'zgaruvchilar orasidagi bog'liqlikni aniqlash uchun qo'llaniladi. Bu usul yordamida o'zgarishlar chiziqli trend sifatida ko'riladi.

2. Harakatlanuvchi o'rtacha (Moving Average): Qisqa muddatli tebranishlarni bartaraf etish uchun o'rtacha qiymat olinadi. Ushbu usul o'zgarishlardagi asosiy trendni aniqroq ko'rishga yordam beradi.

3. Ekspansiv o'rtacha (Exponential Moving Average): Ushbu usulda so'nggi qiymatlarga ko'proq e'tibor qaratiladi va o'zgarishlarni tezroq aniqlash imkoniyatini beradi.

4. Sezonal trend tahlili: Vaqt oralig'ida takrorlanadigan tendensiyalar mavjud bo'lganda qo'llaniladi. Masalan, ma'lum mavsumlarda yoki muddatlarda yuzaga keluvchi o'zgarishlar tahlil qilinadi.

Boreskop tekshiruvi (borescope inspection) — dvigatel va boshqa qismlarning ichki qismlarini to'g'ridan-to'g'ri ko'rish va baholash imkonini beradigan texnik xizmat usuli hisoblanadi. Bu tekshirish jarayonida maxsus kamerali asbob — boreskop ishlatiladi. Bu asbob orqali mexaniklar dvigatelning ichki qismlarini, masalan, turbinalar, yonish kameralari, kompressor qanotlarini va boshqa qiyin yetib boriladigan joylarini demontajsiz ko'rib chiqishlari mumkin [1; 2].

Boreskop tekshiruvi quyidagi jarayonlarni o'z ichiga oladi:

1. Asbobni joylashtirish: Mexaniklar boreskopni dvigatel yoki boshqa qismlardagi kichik teshik yoki ochiq joydan kiritadilar. Bu asbob juda yupqa va moslashuvchan bo'lib, dvigatelning tor qismlaridan osonlik bilan o'tadi.



1-rasm. Baroskop tekshiruvi jarayonini

2. Vizual kuzatish: Boreskop oxiriga o'rnatilgan kamera dvigatelning ichki qismlarini yoritadi va ular haqida to'liq ma'lumot beradi. Ushbu kameradan olingan tasvirni real vaqtda ekran orqali kuzatish mumkin, bu esa aniqlikni oshiradi.

3. Rasm va video yozish: Boreskop orqali olingan tasvirlar va videolar saqlanib, texnik xodimlar uchun keyingi tahlillar va solishtirishlar uchun foydalaniladi. Bu ma'lumotlar dvigatelning hozirgi holatini va uning ichki qismlaridagi nuqsonlarni batafsil tahlil qilishga yordam beradi.

Yuqorida aytib o'tilganlardan tashqari bugungi kunda ilg'or diagnostika usullari keng qo'llanib kelinmoqda. Bularga misol qilib moy tahlili va vibra diagnostikani olsak bo'ladi. Chunki bu jarayonlar burakkab matematik modellar orqali amalga oshiriladi.

Tebranish va Moy Tahlili — bu ikki usul dvigatel ichidagi eskirish va nosozliklarni erta bosqichda aniqlash uchun muhimdir. Quyida ular haqida batafsil ma'lumot va ularning fizik va matematik modellari keltirilgan:

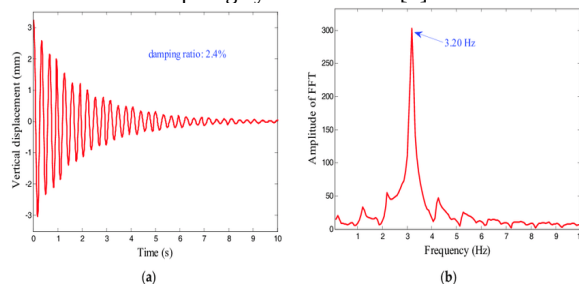
1. Tebranish Tahlili

Tavsif: Tebranish tahlili dvigatelning turli qismlarida hosil bo'ladigan tebranishlarni o'lchash orqali nosozliklarni aniqlashga yordam beradi. Har bir komponent o'ziga xos tebranish xususiyatiga ega, va bu parametrlar nosozliklar paytida o'zgaradi.

Tebranish Sabablari: Rotorlar yoki Podshipniklar Nosozligi: Rotorning notekisligi, podshipnikning yeyilishi yoki muvozanatsizligi tebranishlarni oshiradi.

O'qli Nosozliklar: O'qning to'g'riligi buzilganda tebranishlar paydo bo'ladi.

Matematik va Fizik Modellar: Fourier Transformatsiyasi: Vibratsiya signallarini chastota bo'yicha tahlil qilish uchun ishlatiladi. Fourier transformatsiyasi tebranishning vaqt bo'yicha signallarini chastota diapazonida ajratib beradi, bu esa o'ziga xos nosozlik chastotalarini aniqlashga yordam beradi [3].



2-rasm. Fourier transformatsiyasi yordamida tebranishlar chastotasini aniqlash

Yuqorida berilgan (a) bu o'lchov qurilmali orqali to'g'ridan yozib olingan ma'lumotlar. Vertikal o'qda tebranishlarning siljishi (Vibration displacement) gorizontaal o'qda vaqt (time) tasvirlangan (b) rasmda esa Fourier transformatsiyasi orqali ma'lumotlarga qayta ishlov berilgan va natijada chastotaning (Frequency) amplitudaga bog'liqlik grafigi tasvirlangan.

Fourier transformatsiyasi qanday ishlashini yaxshiroq tushunish uchun matematik misol keltiramiz. Misolda oddiy sinusoidal signalni o'rganamiz, lekin Fourier transformatsiyasi qanday qilib murakkabroq signallarni ham chastota komponentlariga ajratishini ko'rsatamiz.

Misol: Oddiy Sinusoidal Signal

Tasavvur qilaylik, bizda vaqt domenida quyidagi sinusoidal signal bor:

$$f(t) = A \sin(2\pi f_0 t) \quad (1)$$

bu yerda:

A – amplituda;

f_0 – signalning chastotasi (sekundda necha marta tebranadi);

t – vaqt.

Fourier Transformatsiyasi Ta'rifi

Fourier transformatsiyasi vaqt domenidagi signalni chastota domeniga o'tkazib, uning asosiy chastotalarini aniqlaydi. Matematik jihatdan Fourier transformatsiyasi quyidagi integral bilan ifodalanadi:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (2)$$

bu yerda:

$F(\omega)$ – chastota domenidagi funksiyamiz,

(ω) – burchak chastotasi (rad/sekund),

$e^{-j\omega t}$ – kompleks eksponensial funksiya.

Misolni Hisoblash

Oddiy sinusoidal signal $f(t) = A \sin(2\pi f_0 t)$ uchun Fourier transformatsiyasini ko'rib chiqamiz.

1. Sinusoidal Funktsiyani Kompleks Ko'rinishga Keltirish

Sinus funksiyasini eksponensial shaklda yozishimiz mumkin

$$f(t) = A \sin(2\pi f_0 t) = \frac{A}{2j} (e^{j2\pi f_0 t} - e^{-j2\pi f_0 t}) \quad (3)$$

Bu ko'rinishda signal ikkita eksponensial qismga ajraladi, ularning biri chastotada, ikkinchisi esa chastotada.

2. Fourier Transformatsiyasini Qo'llash

Endi biz har bir eksponensial qismini Fourier transformatsiyasi integrali orqali hisoblaymiz:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{A}{2j} (e^{j2\pi f_0 t} - e^{-j2\pi f_0 t}) e^{-j\omega t} dt \quad (4)$$

Integrallarni alohida hisoblaymiz:

Agar $\omega = 2\pi f_0$ bo'lsa, Fourier transformatsiyasi natijasi nolga teng bo'lmaydi. Bu nuqtada asosiy chastota mavjudligini bildiradi.

Agar $\omega \neq 2\pi f_0$ bo'lsa, transformatsiya natijasi nolga teng bo'ladi.

Natija

Fourier transformatsiyasi yordamida vaqt domenidagi oddiy sinusoidal signal chastota domenida faqat chastotada mavjud bo'lib, bu nuqtada yuqori amplituda bilan ifodalanadi. Boshqa chastotalarda amplituda nolga teng bo'ladi, chunki signal faqat bitta chastotadan iborat.

Murakkab Signallar Uchun

Agar signal murakkab bo'lsa (masalan, ko'p chastotali yoki impulsar aralashmasi), Fourier transformatsiyasi uni har bir chastotaga ajratadi. Bu dvigatel tebranishidagi

murakkab o'zgarishlarni (masalan, podshipnik yoki rotor nosozliklarini) aniqlash uchun juda foydali bo'ladi.

Umuman olganda, Fourier transformatsiyasi har qanday signalni o'zgarmas chastotali komponentlarga ajratib, qaysi chastotada qanday amplituda borligini ko'rsatib beradi.

Spektral Tahlil: Spektral tahlil yordamida chastota va amplituda ko'rsatkichlarini o'lchash orqali nosozlikni joylashishi va sababi aniqlanadi.

Kuchli Rivojlanish Modellari (Crest Faktori)

Crest faktori – signalning maksimal qiymati bilan uning o'rtacha qiymati o'rtasidagi nisbat bo'lib, tebranish signalidagi o'zgacha nuqtalarni, xususan, keskin tebranishlarni aniqlash uchun ishlatiladi.

Crest Faktorining Hisoblanishi:

Formula:

Crest Factor = Maksimal qiymat/RMS (o'rtacha kvadrat qiymati)

RMS-o'rtacha kvadrat qiymat (Root Mean Square)

Crest Faktorining Qimmatini Qanday Talqin Qilindi?

Yuqori Crest Faktori: Bu odatda dvigateldagi podshipniklari yoki boshqa qismlardagi mexanik nosozlikni ko'rsatadi. Yuqori qiymatlar zarbalar yoki keskin tebranishlar mavjudligiga ishora qiladi.

Past Crest Faktori: Bu dvigatel ishlashida muvozanatning yaxshi ekanligini, tebranishlarning me'yorda ekanligini bildiradi.

Crest Faktorining Aviatsiya Dvigatellaridagi Qo'llanilishi:

Nosozlikning Erta Belgisi: Crest faktoridagi o'zgarish dvigateldagi o'z vaqtida texnik xizmat ko'rsatish kerakligini bildirishi mumkin.

Podshipnik Yeyilishi: Podshipniklarda eskirish va zarracha ko'paya boshlaganda, Crest faktori odatda oshadi, bu esa xizmat ko'rsatish jadvalarini oldindan tayyorlashga yordam beradi.

Matematik Statistika va Neyron Tarmoqlar: Vibratsion tahlilga sun'iy intellekt texnologiyalarini qo'shish bilan, statistika va neyron tarmoqlar yordamida mavjud signal shovqini kamaytiriladi va nosozliklar avtomatik ravishda aniqlanadi.

2. Moy Tahlili

Tavsif: Moy tahlili dvigatel moyi tarkibidagi metall zarrachalari va boshqa ifloslanishlarni o'rganadi. Zarrachalar tahlili dvigateldagi qaysi qismlari eskirganini yoki zararlanganini ko'rsatadi.

Nima uchun Zarur?:

Ifloslanish Belgilari: Agar moy tarkibida muayyan metall zarrachalari ko'p bo'lsa, bu dvigatel ichidagi qismning (masalan, podshipnik yoki tishli uzatma) eskirayotganligini bildiradi.

Kimyoviy Tahlil: Moyda mavjud boshqa kimyoviy moddalar qachon va qanday muammo paydo bo'lganini aniqlashga yordam beradi (masalan, namlik yoki yonish qoldiqlari).

Matematik va Fizik Modellar:

Zarracha Tahlili: Metall zarrachalar hajmi va soni dvigatel eskirishi darajasini ifodalaydi. Matematik statistika orqali zarracha hajmi va turlarining taqsimoti aniqlanadi.

Spektrometriya: Metall zarrachalarni o'lchash uchun ishlatiladigan asosiy usul bo'lib, u kimyoviy tarkibini aniqlash uchun xizmat qiladi. Regression Tahlil va Ko'p O'lchamli Modellar: Ushbu usullar moy tarkibidagi kimyoviy va fizik o'zgarishlarni kuzatish va nosozliklar tahlilini avtomatlashtirish uchun ishlatiladi.





3-rasm. Moy tahlili jarayoni

Tendensiyalarni Tahlil Qilish: Statistik tendensiyalarni tahlil qilish orqali har bir texnik xizmat oralig'ida dvigatelning ishlash ko'rsatkichlari kuzatiladi [4].

3. Xulosa

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki bugungi kunda aviatsiya sohasida havo kemalarining nosozliklarini oldindan aniqlash uchun ilg'or texnologiyalar qo'llanilmoqda bu esa o'z navbatida xizmat ko'rsatish tan narxini pasaytirishga yordam beradi. Maqolada havo kemasi dvigatellarining texnik nosozliklarini aniqlash usullari tahlil qilingan bo'lib, ushbu usullarning samaradorligi va ishonchliligiga ta'sir etuvchi omillar o'rganilgan. Tahlilda diagnostika usullarining turlari, ularning afzalliklari va kamchiliklari, shuningdek, ularni amaliy holatlarda qo'llash imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Shuni ta'kidlash joizki samolyot dvigatellari nosozliklarini aniqlashda zamonaviy avtomatlashtirilgan va intellektual diagnostika tizimlarini joriy etish texnik xizmat ko'rsatishning sifatini oshirishga, xavfsizlikni ta'minlashga va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini kamaytirishga yordam beradi. Maqolada keltirilgan natijalar aviatsiya sohasida texnik xizmat ko'rsatish jarayonida xavfsizlik choralarni takomillashtirishga hamda parvozlar xavfsizligini ta'minlashga qaratilgan tavsiyalarni qamrab olgan.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Abdukayumov A., Maturazov I.S. Improvement of radio electronic equipment diagnostic system / AIP Conference Proceedings 2432, 030044. – 2022.
- [2] Abdukayumov A., Maturazov I.S., Ormanov A.A. Aviatsiya dvigateliga texnik xizmat ko'rsatishning o'ziga xos xususiyati / Научный журнал транспортных средств и дорог. – Тошкент, 2023. – №4. – С. 224-230.
- [3] Maturazov I.S., Shodiev Sh.Sh. Features of diagnostic methods for detecting malfunctions of the b-787 aircraft engine / “Yosh ilmiy tadqiqotchi” xalqaro ilmiy-amaliy anjumani. – Тошкент, 2023. – С. 13-18.
- [4] IATA and MCTF, Airline Maintenance Cost Executive Commentary—An Exclusive Benchmark Analysis of Maintenance Cost Task Force (MCTF) FY 2013, IATA, 2014..
- [5] 5. “Aviation Maintenance Management” by Harry A. Kinnison and Tariq Siddiqui.
- [6] “Aircraft Maintenance and Repair” by Michael J. Kroes, William A. Watkins, and Frank.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot/ Information about the authors

Maturazov Izzat	Toshkent davlat transport universiteti “Aviatsiya transporti muhandisligi fakulteti” dekani, (PhD),
/Maturazov Izzat	E-mail: maturazov_i@tstu.uz
Solievich Shodiyev	Tel.: +998712990357
Shahzod Shuhrat o'g'li	https://orcid.org/0009-0003-4781-1601
/Shodiyev Shahzod	Toshkent davlat transport universiteti “aviatsiya transporti muhandisligi” fakulteti talabasi.
Shuhrat o'g'li	E-mail: shahzodshodiyev1@gmail.com
	Tel.: +998991551365
	https://orcid.org/0009-0002-8486-0739

