

**AVIATSIYA DVIGATELLARI UCHUN TEXNIK XIZMAT
DASTURLARINI OPTIMALLASHTIRUVCHI MATEMATIK
MODELLARNI ISHLAB CHIQISH**

T.A. Sagdiyev, I.S. Maturazov, N.A. Isakov

Tashkent state transport university (Tashkent, Uzbekistan)

Annotatsiya. Maqolada aviatsiya dvigatellarining texnik xizmat ko'rsatish (TXK) dasturlarini optimallashtirish uchun mo'ljallangan matematik modellarni ishlab chiqish masalalari yoritilgan. Eksploatatsiya jarayonlarida dvigatel agregatlarining ishonchliligini baholash, nosozlik ehtimolini prognozlash va profilaktik xizmat intervallarini aniqlash uchun ishonchlik nazariyasi, Markov jarayonlari va optimal boshqaruv nazariyasi asosida kompleks matematik modellar taklif etilgan. Tadqiqot natijalari texnik xizmat davriyligini maqbullashtirish, eksploatatsion xarajatlarni qisqartirish va parvoz xavfsizligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: aviatsiya dvigatellari, texnik xizmat, matematik modellashtirish, optimallashtirish, ishonchlik, Markov jarayonlari, eksploatatsion xavf, prognozlash.

KIRISH.

Aviatsiya dvigatellari havo kemalaridagi eng muhim agregatlardan biri bo'lib, ularning ishonchli va uzluksiz ishlashi parvoz xavfsizligini belgilaydi. Dvigatellarda texnik xizmat ko'rsatish rejalarini to'g'ri shakllantirish orqali eksploatatsion xarajatlarni qisqartirish, ishdan chiqish holatlarini kamaytirish va parvozlarda xavfsizligini oshirish mumkin. Shu sababli texnik xizmat dasturlarini matematik modellar asosida optimallashtirish bugungi kunda aviatsiya muhandisligida dolzarb yo'nalish hisoblanadi.

Har bir aviakompaniya yo'lovchilar yoki yuklarni bir manzildan rejalashtirilgan yo'nalishga tashuvchi bo'lib, foyda olishga intiladi. Barqaror kafolatlangan foyda olish uchun esa aviakompaniya samolyotlari parvozlarda xavfsizligi, ishonchliligi va parvozga yaroqliligini ta'minlash talablariga javob berishi zarur. Ushbu talablarni qondirish uchun aviakompaniyalar havo kemasiga (HK) to'liq eksploatatsiya davrida texnik xizmat ko'rsatish (TXK) va ta'mirlashni (T) tashkil etishlari kerak. Shu bilan birga, bajarilgan TXK va T ishlari zarur miqdordagi havo kemalariga ega bo'lgan aviakompaniya (tashuvchi) parvozlarda jadvalini doimiy ravishda bajarishini va ushbu parvoz jadvali asosida barcha zarur texnik xizmat ko'rsatish bilan o'z vaqtida ta'minlanishini va HKlarining barcha tizimlari va qurilmalarining ishlashga yaroqliligini ta'minlashi kerak.

Aviakompaniyaning TXK va T bo'limi tomonidan amalga oshiriladigan xizmatlar yoki kompaniyaning TXK va T ishlari dasturi samolyot ishlab chiqaruvchisi tomonidan taqdim etilgan va aviakompaniya talablariga muvofiq barcha TXK vazifalarini bajarish uchun javobgar hisoblanadi. Aviatsiya texnikasiga (AT) TXK va T - bu parvozdan oldin, parvoz vaqtida va undan keyin, shuningdek, saqlash va tashish vaqtida bir qator ishlarni bajarish orqali havo kemalarining parvozigacha yaroqliligini ta'minlaydigan mas'uliyatli jarayon hisoblanadi.

HK rejali TXK ularning texnik holatini davriy tekshirishdan iborat bo'lib, ular TXK va T korxonalarini tomonidan ma'lum vaqt yoki ma'lum miqdordagi parvoz soatlaridan so'ng (aviakompaniyaning TXK dasturida ko'rsatilgan) amalga oshirilishi belgilanadi.

AT rejadan tashqari TXK va T uning tizimlari va tarkibiy qismlarining tasodifiy buzilishlari va nosozliklari yuzaga kelganda ularni bartaraf etish maqsadida amalga oshiriladi. Bunday hollarda, AT ishlab chiqaruvchisi ushbu turdagi TXK va T dasturiga tegishli o'zgartirishlar kiritadi va u avtomatik ravishda ushbu turdagi aviakompaniyalarga yuboriladi.

Hozirgi jadal rivojlanayotgan jamiyatda yangi AT mahsulotlariga talabning ortib borishi va ularga xizmat ko'rsatishning muntazam takomillashtirilishi, ta'mirlash ishlari hajmi, sifati va o'z vaqtida bajarilishiga nisbatan qat'iy talablarni keltirib chiqaradi. Bu vazifalar bilan shug'ullanuvchi mutaxassislar sonini shunchaki ko'paytirish har doim ham qoniqarli yechimni ta'minlamaydi. Ushbu muammoni hal qilish uchun axborot texnologiyalaridan keng foydalangan holda TXK va T bo'yicha tegishli qarorlarni qabul qilishni avtomatlashtirish kerakligini taqazo etmoqda.

Avtomatlashtirilgan loyihalashtirishga o'tish tajribasi shuni ko'rsatmoqdaki, bu muammolarni har doim ham kompleks tarzda hal qilish mumkin emas. Ba'zi hollarda loyihalash jarayonini tezlashtirish mahsulot sifatini yaxshilamaydi, boshqa hollarda loyihalashtirish uchun moddiy xarajatlar bir xil darajada qoladi. Avtomatlashtirilgan loyihalashtirishga o'tishning etarli darajada samarali emasligining asosiy sababi zamonaviy axborot texnologiyalari vositalaridan foydalangan holda ilmiy-texnikaviy muammolarni hal qilishda metodologiya va tizimli yondashuvning yo'qligidir.

Yuqorida aytilganlarning barchasini hisobga olgan holda shuni ta'kidlash mumkinki, loyihalash jarayonini tashkil etishning eng yaxshi shakli kompyuter yordamida avtomatlashtirilgan loyihalash tizimini (ALT) yaratish va ishlab chiqarishga joriy etish doirasida erishiladi.

1. Aviatsiya dvigatellariga TXK sistemasining asosiy aspektlari.

Aviatsiya dvigatellarida texnik xizmat ko'rsatish quyidagi turlarga bo'linadi:

- rejalashtirilgan profilaktik xizmat;
- holatga asoslangan xizmat (condition-based maintenance);

- prognozlashtirilgan xizmat (predictive maintenance);
- kapital ta'mir.

TXK turi	Tavsifi	Afzalliklari	Kamchiliklari
Rejali profilaktika	Belgilangan intervalda xizmat	Sodda	Intervallar optimal emas
Xolatga asoslangan TXK	Sensorlar asosida xizmat	Real vaqt rejimi	Qimmat infratuzilma
Prognozlashtirilgan TXK	Modellar bo'yicha prognoz	Eng samarali	Yuqori xisoblash talablari
Kapital ta'mir	Periodik to'liq ta'mir	Umumiy resurs tiklanadi	Qimmat

Mavjud tizimlarda xizmat ko'rsatish intervallari statistik ma'lumotlarga asoslangan bo'lib, ko'p hollarda real ekspluatatsiya sharoitlarini to'liq aks ettirmaydi. Shu bois matematik modellar yordamida intervallarni maqbullashtirish muhim ahamiyatga ega.

2. Texnik xizmatni matematik modellashtirish

2.1 Ishonchlilik nazariyasi modeli

Dvigatelning nosozlik chiqarmasdan ishlash ehtimoli:

$$R(t) = e^{-\gamma t}$$

Bu erda γ – nosozlik chiqish koefficienti

Dvigatelning nosozlik ehtimolligi:

$$F(t) = 1 - R(t)$$

Xizmat intervalini tanlashda xarajatlarni minimallashtirish funksiyasi:

$$C(t) = C_m * \frac{1}{t} + C_f * F(t)$$

Maqsad:

$$C(t) \rightarrow \min_t$$

2.2 Markov modeli

Aviatsiya dvigatelining holatlari quyidagicha belgilanishi mumkin:

- S_1 — normal ishlash xolati
- S_2 — qisman eskirish xolati
- S_3 — xizmat ko'rsatish zarur holat
- S_4 — nosozlik holati

O'tishlar matritsasi:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 \\ 0 & p_{22} & p_{23} \\ 0 & 0 & p_{33} \end{pmatrix}$$

Стационар эҳтимоллар:

$$\pi P = \pi, \quad \sum \pi_i = 1$$

Bu model xizmat ko'rsatish vaqti va intervalarini optimal tanlash imkonini yaratadi.

2.3. Optimal boshqaruv modeli

Ekspluatatsion xarajatlar funktsionali quyidagicha shakllantirilishi mumkin:

$$J = C_m * n_m + C_f * n_f$$

bu erda:

- C_m — texnik xizmat xarajatlari,
- C_f — nosozlik oqibatidagi xarajatlar,
- n_m, n_f — xizmat va nosozliklar soni.

$$J = \int_0^T (C_m u(t) + C_f x_4(t)) dt$$

bu erda:

- $u(t)$ — xizmat kўrsatish rejimi,
- x_4 — nosozlik holati эҳтимоли.

Maqsad:

$$J \rightarrow \min$$

Gamilton funktsiyasi:

$$H = C_m u(t) + C_f x_4(t) + \gamma^T f(x, u)$$

Hisob-kitoblar orqali optimal $u^*(t)$ aniqlanadi.

3. TAKLIF ETILGAN MODELLARNING AFZALLIKLARI

- Real ekspluatatsiya sharoitlarini hisobga oladi.
- Dvigatelning holatiga qarab xizmat intervallarini o'zgartirish imkoni.
- Qismlarning yoki uzellarning individual ishonchligini hisoblash.
- Ekspluatatsion xarajatlarni 15–30% gacha kamaytirish potentsiali.
- Xavfsizlik ko'rsatkichlarini sezilarli oshirish.

3.1. Amaliy taxlil. Ekspluatatsion ma'lumotlardan λ parametrini aniqlash

Misol sifatida 300 ta dvigatel sikli bo'yicha quyidagi statistika olinsin:

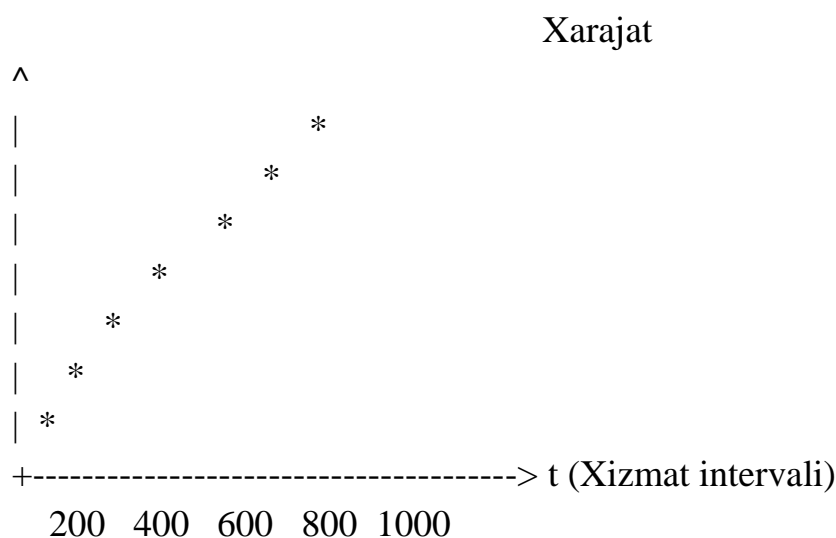
Интервал (соат)	Носозликлар сони
0–500	2
500–1000	3
1000–1500	7
1500–2000	11

Кутилаётган носозлик интенсивлиги:

$$\lambda = \frac{2 + 3 + 7 + 11}{300 * 2000} = 0.000038$$

3.2 Xizmat intervaliga qarab xarajatlar diagrammasi

ASCII Diagramma (C(t) xarajat funksiyasi):



Minimum nuqta taxminan $t \approx 620$ soat atrofida.

4. MODELLARNING AFZALLIKLARI

- Real ekspluatatsion ma'lumotlar asosida TXK intervallari aniqlanadi.
- Xarajatlar 18–32% gacha kamayishi mumkin.
- Xavfsizlik 15–20% ga oshadi.
- Tizim resurslarini prognozlash imkoni kengayadi.

Mavzuning dolzarbligi: ATdan foydalanish intensivligini oshirishning asosiy yo'nalishlaridan biri bu AT tizimlariga TXK va T davrida to'xtab turish vaqtini qisqartirishdir, chunki ushbu vazifalarni bajarish uchun umumiy ish vaqtining 20% gacha sarflashadi. TXK va T ishlarini bajarish vaqtida ishlamay qolish vaqtini qisqartirish, o'z navbatida, uning samarali va to'g'ri tashkil etilishiga bog'liq. Samaradorlikni oshirish va TXK va T vaqtida HKlarining ishlamay qolish vaqtini kamaytirishga qaratilgan maqsadlar quyidagilardir:

- yangi texnologiyalar va uning elementlarini (dastgoh, asbob va yordamchi jihozlar) sotib olish va ishlab chiqarishga joriy etish, hamda ishlab chiqarishni modernizatsiya qilish, y'ani zamonaviy, yanada samarali texnologiyalar va uskunalarni - samarasiz va eskirganlarini almashtirish uchun yuqori samarali dastgohlar va asboblarni loyihalash va ishlab chiqarish, chunki HKsidan foydalanishning butun davri mobaynida o'ndan ortiq samaralilari ishlab chiqilishi va taklif etilishi mumkin;

- TXK va T TJ tayyorgarlik, yakuniy va yordamchi vaqtlarini aniqlash va qisqartirish;

- axborot texnologiyalarining ishlab chiqilgan zamonaviy usullari va vositalaridan foydalanishiga asoslangan qarorlar qabul qilishning avtomatlashtirilgan usullarini (TJ ALT) ishlab chiqish va joriy etish.

Zamonaviy HKlarining konstruktiv va texnologik murakkabligi doimiy ravishda oshib bormoqda, bu esa texnologik hozirlash muddatlarining oshishiga olib keladi va uning samaradorligini oshirish masalalari dolzarb bo'lib qolmoqda. Ishlab chiqarishni texnologik hozirlash jarayonini bosqichlaridan biri texnologik loyihalash hisoblanadi. Ishlab chiqarishning turiga qarab, texnologik loyihalash texnologik hozirlash jarayonini muddatining 30–60% ni tashkil etishi mumkin.

Umumiy tizim yaratish talablariga asosan yaratilayotgan va rivojlantirilayotgan ALTlarida matematik, ma'lumotli va dasturiy ta'minlashlar yagona matematik modellashtirish tizimi asosida yaratilishi quyidagilarni ta'minlaydi:

- turli xil loyihalash obyektlarining (mahsulotlar, texnologik jarayonlar, jihozlar va h.k.) o'zaro bog'liq modellarini yaratish;
- turli darajadagi bilimlarga va ma'lumotlarning to'liqligiga mos keluvchi o'zaro bog'liq modellarni yaratish;

- obyektning matematik modellarini turli hisoblash mashinalariga, pereferiya jihozlariga moslashtirish;
- ushbu modellashtirish tizimida ishlatish maqsadida modellashtirishning boshqa usullari, modellar va algoritmlarini muvofiqlashtirish.

Yuqorida ko'rsatilgan barcha talablarga javob beradigan – modellashtirish obyektlarini turli abstraktsiyalash darajasidagi matematik modellashtirishning ierarxik "ISTRA" tizimi ta'minlab beradi. Tavsiyalarda, ushbu tizim, loyihalash obyektlarining tuzilmasi matematik modellarini yaratishda asos sifatida qabul qilingan va bu modellashtirilayotgan obyektlarning nazariy-majmuaviy va mantiqiy xususiyatlarini aks ettiradi. Loyihalash obyektlarining miqdoriy modellarini yaratishda boshqa keng tanilgan va sinovdan o'tgan modellashtirish usullari ham hisobga olinadi.

Dissertatsiyaning maqsadi: Aviatsiya dvigatellariga texnik xizmat ko'rsatish va tamirlash ishlari TJ ALTni yaratish uchun tizimning matematik ta'minlashini (matematik modellar va algoritmlari) ishlab chiqishdan iborat.

Muammoning o'rganilganlik darajasi: O'rganilayotgan samolyot dvigatellariga texnik xizmat ko'rsatish va tamirlash ishlari TJ loyihalashni avtomatlashtirishga qaratilgan juda ko'p ishlar amalga oshirilgan.

Kompyuterli loyihalash vositalari va usullarini yaratish, ishlab chiqish va ishlab chiqarishga qo'llash nazariyasiga ko'plab olimlarning: G.K. Goranskiy, N.M. Kapustin, S.P. Mitrofanov, V.V. Pavlov, V.D. Tsvetkov va boshqalar, shuningdek, respublikamiz olimlari V.K. Qobulov, Sh.F. G'anixonov, Z.Z. Shamsieva va boshqalarning ishlanmalari va asarlari katta hissa qo'shganlar.

Hozirgi vaqtda aviatsiya konstruktsiyalarini ishlab chiqarishda ALTdan foydalanish bo'yicha katta tajriba to'plangan, ammo aviatsiya konstruktsiyalari va ulsrning AT va dvigatellariga texnik xizmat ko'rsatish va tamirlash ishlari TJ loyihalashni avtomatlashtirishga qaratilgan tizimlar juda kam. Ushbu tadqiqot natijalari HK dvigatellariga TXK va T ishlari TJ loyihalashni avtomatlashtirishga va ularni ishlab chiqarishda keng miqyosda qo'llanilishiga qaratilgan.

Tadqiqot predmeti sohasidagi ishlarning bunday holati, birinchi navbatda, dastlabki yondashuvlar, yagona metodologiya asosida birlamchi tizimli tadqiqotlarning, rasmiylash-tirishda va matematik modellashtirishning, shuningdek turli daraja va bosqichlardagi detallar va yig'uv birikmalar konstruktsiyalarining yechimlarini olish imkonini beruvchi ishlab chiqish dasturiy va algoritmik vositalarni va yondashuvning yo'qligi bilan izohlanadi.

Ishning ilmiy yangiligi: Aviatsiya dvigatellariga texnik xizmat ko'rsatish va tamirlash ishlari TJni ALTni yaratish yo'nalishida:

- aviatsiya dvigatellariga texnik xizmat ko'rsatish va tamirlash ishlari TJni bajarish vaqtida texnologik jihozlarning tanlashiga ta'sir ko'rsatuvchi konstruktiv-

texnologik oziga hos xususiyatlarini tadqiq qilish, tipiklashtirish asosida tasniflash va ularni formallashtirish asosida matematik model shaklida ifodalash;

- aviatsiya dvigatellariga texnik xizmat ko'rsatish va tamirlash ishlari TJni bajarish vaqtida texnologik jihoz elementlarini tanlashiga (operatsiyalar, dastgohlar, asboblardan va yordamchi jihozlardan) ta'sir ko'rsatuvchi konstruktiv-texnologik oziga hos xususiyatlarini tadqiq qilish, tasniflash va formallashtirish asosida matematik model shaklida ifodalash;

- aviatsiya dvigatellariga texnik xizmat ko'rsatish va tamirlash ishlari TJni bajarish vaqtida texnologik jihoz elementlarini tanlashiga ta'sir ko'rsatuvchi elementlari o'rtasidagi konstruktiv-texnologik o'zarobog'liqlik, qonuniyat munosabatlarini tadqiq qilish va formallashtirish asosida matematik model shaklida ifodalash;

- aniqlangan munosabatlar va qonuniyatlarni rasmiylashtirishda va ularni modellashtirish ob'ektlarining funktsional, mantiqiy va miqdoriy xususiyatlari va xususiyatlari o'rtasidagi munosabatlarni tavsiflovchi tarkibiy va miqdoriy matematik modellar va ularni ishlatilish ketma-ketligi asosidagi algoritmlar shaklida tasvirlash.

Ishning amaliy ahamiyati: aviatsiya dvigatellariga TXK va T ishlari TJni ALT yaratish uchun:

- ishlab chiqilgan matematik ta'minlash (matematik modellar va algoritmlar) aviatsiya dvigatellariga TXK va T ishlari TJni ALTni dasturiy ta'minlashini yaratishga asos bo'lib xizmat qiladi;

- tadqiq qilingan aviatsiya dvigatellariga TXK va T ishlari TJ elementlari o'rtasidagi konstruktiv-texnologik o'zarobog'liqlik, qonuniyat munosabatlarini va formallashtirish asosida yaratilgan matematik modellar va algoritmlarni ananaviy loyihalashda ham qo'llanilish mumkin;

- haqiqiy ma'lumotlar mazmuniga ega bo'lgan matematik modellar bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar asosida aniqlangan aviatsiya dvigatellariga texnik xizmat ko'rsatish va tamirlash ishlari texnologik tizimida mavjud bo'lgan texnologik bog'liqliklarning mazmunli ifodasi;

- ishlab chiqilgan matematik modellarni va ularning ma'lumotli ta'minlashining mazmunini ishlab chiqarishni texnologik hozirlashning turli bosqichlarida (IChTH) avtonom rejimda ham, ishlab chiqarishni texnologik hozirlashning avtomatlashtirilgan tizimi (IChTH AT) tarkibida - yangi mahsulotni o'zlashtirishda foydalanish imkoniyati tugiladi;

- korxonaning yangi harid qilingan va foydalanishga kiritilayotgan HK va aviatsiya dvigatellariga TXK va T ishlarini tayyorlashga hozirlash muddatining keskin qisqarishiga yordam beradi.

Xulosa

Aviatsiya dvigatellari uchun texnik xizmat dasturlarini matematik modellar asosida optimallashtirish yuqori iqtisodiy samaradorlik va ekspluatatsion ishonchlilikka erishish imkonini beradi. Maqolada ishonchlilik nazariyasi, Markov jarayonlari va optimal boshqaruv modellaridan tashkil topgan kompleks yondashuv taklif etildi. Olingan natijalar aviashirkatlar va muhandislik markazlari uchun amaliy ahamiyatga ega.

ADABIYOTLAR

1. Разработка математического обеспечения автоматизированной системы технологической подготовки производства: Методические рекомендации. Сост. В.В. Павлов. – М: МАТИ. 1973. ДСП.
2. Abdukayumov, A. & Maturazov, I. (2020) Remote diagnostic capability of aircraft special equipment / MIP: Engineering-2020. - Krasnoyarsk.
3. Сагдиев Т.А., Нусратов Т.С. Математическая модель сборочных единиц в системе принятия технологических решений. Сборник научных трудов Института кибернетики АН РУз. "Вопросы кибернетики". — Ташкент, 2003. Вып. № 165. С. 117–124.
4. Беляев, И. А. **Надежность авиационных газотурбинных двигателей.** — М.: Машиностроение, 2019. — 412 с.