

# **TECH SCIENCE**

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING  
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL  
SCIENCES**



**№ 5 (4) 2026**

**TECHSCIENCE.UZ**

*№ 5 (4)-2026*

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB  
MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES  
OF TECHNICAL SCIENCES**

**TOSHKENT-2026**

**BOSH MUHARRIR:**

KARIMOV ULUG'BEK ORIFOVICH

**TAHRIR HAY'ATI:**

Usmankulov Alisher Kadirkulovich - Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax politexnika universiteti

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Adizov Bobirjon Zamirovich– Texnika fanlari doktori, professor, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich - Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax davlat pedagogika universiteti;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Maxmudov Muxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Asatov Nurmuxammat Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax politexnika universiteti;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax politexnika universiteti;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro muhandislik-texnologiya instituti.

---

**OAK Ro'yxati**

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

---

**Muassislar:** "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;  
Jizzax politexnika insituti.

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA****FANLARINING DOLZARB**

**MASALALARI** elektron jurnali

15.09.2023-yilda 130343-sonli

guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan o'tkazilgan.

**TAHRIRIYAT MANZILI:**

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

[scienceproblems.uz@gmail.com](mailto:scienceproblems.uz@gmail.com)

**Barcha huquqlar himoyalangan.**

© Scienceproblems team, 2026-yil

© Mualliflar jamoasi, 2026-yil

## MUNDARIJA

<i>Беккулов Джахонгир, Тураев Хуршид</i> ПРОГНОЗИРУЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СУШКИ ТВЁРДЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ .....	5-15
<i>Бахромов Хасан, Бозорбоев Жавлонбек, Жумаев Фиёсжон</i> АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ ФИЛЬТРА ВИНЕРА-ХОПФА И ФИЛЬТРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ .....	16-20
<i>Hamdamova Dilshoda</i> BADIIY ADABIYOTLAR VOSITASIDA O'QUVCHILARNING AXLOQIY MADANIYATINI YUKSALTIRISH TIZIMI Й .....	21-23
<i>Babadjanov Elmurod, Maxambetjaliev Musabek</i> RFID YORDAMIDA AVTOTURARGOH KIRISH-CHIQUISHINI NAZORAT QILISH VA BANDLIKNI QISQA MUDDATTA VAHOLASH .....	24-29
<i>Айтмуратов Бакберген, Оразымбетов Темурубек</i> МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ НУКУССКОГО РАЙОНА НА ОСНОВЕ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ И МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ .....	30-36
<i>Qutlimuratov Yusup, Orazbayev Shaxmardan</i> YERLARNING SHO'RLANISH DARAJASINI ANIQLASH VA PROGNOZ QILISHDA NEYRON TARMOQLARDAN FOYDALANISH .....	37-42
<i>Aimbetova Gulara, Sarsenbaeva Hu'rlixa, Djumabaev Alpamis</i> KAM RESURSLI TILLARNI RAQAMLASHTIRISHDA SUN'TY INTELLEKT MODELLARINING SAMARADORLIGI VA MAVJUD MUAMMOLAR .....	43-48
<i>Abdullayev Elmurod, Bektemirov Hojimurod</i> TABIIY TILNI QAYTA ISHLASH ALGORITMLARINING BARQARORLIGINI NAZARIY TAHLIL QILISH .....	49-54
<i>Mamatov Narzillo, Samijonov Abdurashid, Abdullaeva Barno,</i> <i>Usarov Jurabek, Samijonov Boymirzo</i> QULOQ CHANOG'IGA ASOSLANGAN SHAXSNI IDENTIFIKATSIYALASH USULI .....	55-67
<i>Xaqberdiyev Asliddin</i> TOMCHILATIB SUG'ORISHDA NAVIER - STOKES TENGLAMALARIDAN FOYDALANIB, SUV SARFINI OPTIMALLASHTIRISH .....	68-74
<i>Xamzayev Dilshod</i> PAXTANI QURITISH QURILMASI: KONSTRUKSIYA, ISH PRINSIPLARI VA ISSIQLIK-TEXNIK XUSUSIYATLARNING KENGAYTIRILGAN TADQIQI .....	75-80
<i>Odilova Mohigul</i> METROLOGIYA SOHASIDA XALQARO UYG'UNLASHUV: O'ZBEKISTON MISOLIDA TAHLIL INTERNATIONAL HARMONIZATION IN THE FIELD OF METROLOGY: A CASE STUDY OF UZBEKISTAN .....	81-87

<i>Doniyev Erkin, Yusupov Rustam, Eshqurbonov Anvar</i> BAZALT TOLALI KOMPOZIT QOPLAMALARNI YAQIN INFRAQIZIL NURLANISH YORDAMIDA QURITISH: TEXNOLOGIYA, STRUKTURA VA XOSSALAR .....	88-94
<i>Sayitov Shavkatjon, Xolmatov Erkinjon</i> PAHTA QURITISH JARAYONINING ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH ISTIQBOLLARI .....	95-103
<i>Эргашева Камола</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКИХ СРЕД .....	104-110
<i>Ismoilov Muxriddin, Rahimov Anvarjon, Isomiddinova Soliha, Xolmamatova Shaxzoda</i> ASINXRON DVIGATELLAR BOSHQARUV TIZIMLARIDA TIZIMLI XATOLIKLARNI DIAGNOSTIKA QILISH VA ULARNI KOMPENSATSIYA QILISH ORQALI DASTGOHLAR ANIQLIGINI OSHIRISH .....	111-120
<i>To'rayev Azizbek, Karimov Abror</i> YAQIN INFRAQIZIL NURLANISHGA ASOSLANGAN O'LCHASH ASBOBLARINI TADQIQ QILISH VA ULARNING METROLOGIK XARAKTERISTIKALARINI O'RGANISH .....	121-126
<i>Рустамзаде Джошгун</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖАРКОГО КЛИМАТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СГОРАНИЯ В ГАЗОВЫХ ТУРБИНАХ И РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ .....	127-136
<i>Mammadov Fuad, Kalbaliyev Faig</i> PERFORMANCE ASSESSMENT OF SUPERCRITICAL CO2 BRAYTON CYCLES IN SOLAR POWER TOWER SYSTEMS .....	137-145
<i>Xasanov Azimjon</i> MAHALLIY XOM ASHYOLAR VA CHIQINDILAR ASOSIDA YENGIL BETON .....	146-151
<i>Abdumannopov Ozodbek, Askarov Xasanjon</i> O'ZBEKISTONDA ZAMONAVIY QURILISH MATERIALLARINI ISHLAB CHIQRISH: HOLATI, MUAMMOLAR VA ISTIQBOLLAR .....	152-156
<i>Xujanov Chariyar</i> QUTQARUV-QIDIRUV ISHLARINING VAZIFALARI VA TASHKILIY TUZILMASI .....	157-162

## **ASINXRON DVIGATELLAR BOSHQARUV TIZIMLARIDA TIZIMLI XATOLIKLARNI DIAGNOSTIKA QILISH VA ULARNI KOMPENSATSIYA QILISH ORQALI DASTGOHLAR ANIQLIGINI OSHIRISH**

### **Ismoilov Muxriddin Tulkin o'g'li**

NDKTU "Metrologiya, standartlashtirish va sertifikatlashtirish" kafedrasida dotsenti.

Email: [imuxriddint@mail.ru](mailto:imuxriddint@mail.ru)

Tel: +998919913804

### **Rahimov Anvarjon Komilovich**

NDKTU "Metrologiya, standartlashtirish va sertifikatlashtirish" kafedrasida katta o'qituvchisi.

Email: [anvarjon.komilovich@gmail.com](mailto:anvarjon.komilovich@gmail.com)

Tel: +998942212424

### **Isomiddinova Soliha Umidjon qizi**

NDKTU "Metrologiya, standartlashtirish va sertifikatlashtirish" kafedrasida magistranti

Email: [solihaisomiddinovna@gmail.com](mailto:solihaisomiddinovna@gmail.com)

### **Xolmamatova Shaxzoda Xolmamat qizi**

NDKTU "Metrologiya, standartlashtirish va sertifikatlashtirish" kafedrasida magistranti

Email: [shahzodaxolmamatova97@gmail.com](mailto:shahzodaxolmamatova97@gmail.com)

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada asinxron dvigatel boshqaruv tizimlaridagi tizimli xatoliklarning CNC dastgoh aniqligiga ta'siri o'rganilgan. Sensor siljish xatoligi (bias), vaqt bo'yicha og'ish (drift) va kvantlash xatoliklari tahlil qilingan. Diagnostika uchun kengaytirilgan Kalman filtri (EKF) va kumulyativ yig'indi (CUSUM) algoritmi birgalikda qo'llanilgan. Kompensatsiya modeli sifatida adaptiv qayta aloqa asosidagi tuzatish usuli ishlab chiqilgan. Simulyatsiya natijalari shuni ko'rsatdiki, taklif etilgan yondashuv yordamida tezlik xatoligi 3.5% dan 0.2% gacha kamaygan (94.3% yaxshilanish), pozitsiyalash aniqligi esa 15 mkm dan 2.1 mkm gacha oshgan (86% yaxshilanish). Ushbu natijalar dastgoh aniqligini sezilarli darajada oshirish imkonini beradi.

**Kalit sozlar:** asinxron dvigatel, tizimli xatolik, Kalman filtri, CUSUM, xatolik kompensatsiyasi, CNC dastgoh aniqligi, sensor diagnostikasi.

---

## **IMPROVING MACHINE TOOL ACCURACY THROUGH THE DIAGNOSIS AND COMPENSATION OF SYSTEMATIC ERRORS IN ASYNCHRONOUS MOTOR CONTROL SYSTEMS**

### **Ismoilov Muxriddin Tulkin ugli**

Associate Professor of the Department of "Metrology, Standardization and Certification" at NSUMT

### **Rakhimov Anvarjon Komilovich**

Senior Lecturer of the Department of "Metrology, Standardization and Certification" at NSUMT

**Isomiddinova Soliha Umidjon qizi**

Master's student, Department of Metrology,  
Standardization, and Certification, NSUMT

**Xolmamatova Shaxzoda Xolmamat qizi**

Master's student, Department of Metrology,  
Standardization, and Certification, NSUMT

**Annotation.** This article investigates the impact of systematic errors in asynchronous motor control systems on the accuracy of CNC machine tools. Sensor bias, time-based drift, and quantization errors are analyzed. For diagnostics, an extended Kalman filter (EKF) and the cumulative sum (CUSUM) algorithm were used in conjunction. An adaptive feedback-based correction method was developed as a compensation model. Simulation results showed that with the proposed approach, the velocity error was reduced from 3.5% to 0.2% (a 94.3% improvement), and positioning accuracy improved from 15  $\mu\text{m}$  to 2.1  $\mu\text{m}$  (an 86% improvement). These results demonstrate the potential to significantly enhance machine tool precision.

**Keywords:** asynchronous motor, systematic error, Kalman filter, CUSUM, error compensation, CNC machine accuracy, sensor diagnostics.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts-v4i5y2026N16>

**1. Kirish**

Zamonaviy ishlab chiqarish sanoatida raqamli boshqaruvli (CNC) dastgohlar yuqori aniqlik va takrorlanish qobiliyati bilan ajralib turadi. Bu dastgohlarning ish sifati bevosita ularda qo'llaniladigan elektr yuritmalari - xususan, asinxron dvigatellar boshqaruv tizimlarining aniqligiga bog'liq. Asinxron dvigatellar o'zining sodda tuzilishi, arzon narxi va yuqori ishonchligi tufayli sanoatda keng qo'llaniladi. Biroq ularning boshqaruv tizimlarida yuzaga keladigan tizimli xatoliklar dastgoh ishlov berish aniqligini sezilarli darajada pasaytirishi mumkin.

Metrologiya nuqtai nazaridan qaraydigan bo'lsak, har qanday o'lchash jarayoni xatoliklar bilan bog'liq. O'lchash xatoliklari nazariyasiga ko'ra, xatoliklar tasodifiy va tizimli turlarga bo'linadi. Tizimli xatoliklar - bu doimiy yoki qonuniy ravishda o'zgarib turadigan, oldindan bashorat qilinadigan xatoliklardir. Ular o'lchash natijalarini bir tomonga suradi va statistik usullar bilan kamaytirilishi yoki bartaraf etilishi mumkin. Sensor siljishi (bias), vaqt bo'yicha og'ish (drift) va kvantlash xatoliklari ana shunday tizimli xatoliklarning asosiy turlari hisoblanadi [1; B. 14–26, 2; B. 2471–2479].

Sanoatdagi real vaziyatlarni ko'rib chiqsak, quyidagi holatlar kuzatiladi. Birinchidan, avtomobil sanoatida krank vallarini ishlov berishda shpindel tezligining 0.5–1% xatoligi bilan aylanishi natijasida yuzaga keladigan o'lchamli xatoliklar 10–20 mkm ni tashkil qilishi mumkin, bu esa sifat talablaridan chetga chiqishga olib keladi. Ikkinchidan, aerokosmik sanoatda turbina pallalarini frezalashda uzatish tezligidagi 0.3% li og'ish 5–10 mkm li sirt g'adir-budurligi xatoligiga sabab bo'ladi. Uchinchidan, aniq asbobsozlikda pozitsiyalash xatoligining 15 mkm dan oshishi tayyor mahsulotning yaroqsizlik darajasini 3–5% gacha oshirishi kuzatilgan.

Yuqoridagi muammolarni hal qilish uchun boshqaruv tizimidagi tizimli xatoliklarni aniq diagnostika qilish va ularni real vaqt rejimida kompensatsiya qilish zarur. Ushbu maqolada asinxron dvigatel boshqaruv tizimidagi tizimli xatoliklarni aniqlash uchun kengaytirilgan Kalman filtri (EKF) va CUSUM algoritmining birgalikda qo'llanilishi, hamda diagnostika natijalari asosida adaptiv kompensatsiya modelining ishlab chiqilishi taqdim etiladi [3; B. 4207–4216, 4; B. 1–5].

## 2. Metodologiya

**2.1. Asinxron dvigatel matematik modeli.** Asinxron dvigatelning matematik modeli stator va rotor zanjirlari kuchlanish tenglamalari orqali ifodalanadi. d–q sinxron aylanuvchi koordinatalar tizimida stator kuchlanish tenglamalari quyidagicha yoziladi:

$$u_{ds} = R_s \cdot i_{ds} + \frac{d\psi_{ds}}{dt} - \omega_e \cdot \psi_{qs} \quad (1)$$

$$u_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + \frac{d\psi_{qs}}{dt} + \omega_e \cdot \psi_{ds} \quad (2)$$

bu yerda  $u_{ds}, u_{qs}$  - stator kuchlanishining d va q o'q tashkil etuvchilari (V);  $R_s$  - stator qarshiligi ( $\Omega$ );  $i_{ds}, i_{qs}$  - stator toki tashkil etuvchilari (A);  $\psi_{ds}, \psi_{qs}$  - stator oqim bog'lanishlari (Wb);  $\omega_e$  - sinxron burchak tezligi (rad/s).

Rotor kuchlanish tenglamalari (qisqa tutashgan rotor uchun):

$$0 = R_r \cdot i_{dr} + \frac{d\psi_{dr}}{dt} - (\omega_e - \omega_r) \cdot \psi_{qr} \quad (3)$$

$$0 = R_r \cdot i_{qr} + \frac{d\psi_{qr}}{dt} + (\omega_e - \omega_r) \cdot \psi_{dr} \quad (4)$$

bu yerda  $R_r$  - rotor qarshiligi;  $\omega_r$  - rotor burchak tezligi;  $i_{dr}, i_{qr}$  - rotor toki tashkil etuvchilari [5; B. 493–498].

Elektromagnit moment tenglamasi:

$$T_{em} = \frac{3}{2} \cdot p \cdot (\psi_{ds} \cdot i_{qs} - \psi_{qs} \cdot i_{ds}) \quad (5)$$

bu yerda  $p$  - juft qutblar soni. Mexanik harakat tenglamasi esa quyidagicha:

$$J \cdot \frac{d\omega_r}{dt} = T_{em} - T_L - B \cdot \omega_r \quad (6)$$

bu yerda  $J$  - inersiya momenti ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ );  $T_L$  - yuk momenti ( $\text{N}\cdot\text{m}$ );  $B$  - ishqalanish koeffitsiyenti ( $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}/\text{rad}$ ).

Boshqaruv tizimi vektorli boshqaruv (Field-Oriented Control, FOC) prinsipi asosida qurilgan bo'lib, u stator tokining oqim hosil qiluvchi ( $i_{ds}$ ) va moment hosil qiluvchi ( $i_{qs}$ ) tashkil etuvchilarini mustaqil boshqarish imkonini beradi. Bu usul asinxron dvigatelni to'g'ri tokli dvigatel kabi boshqarishga imkon yaratadi va yuqori dinamik ko'rsatkichlarga erishish uchun zarurdir [6; B. 04004, 7; B. 05011].

## 2.2. Tizimli xatoliklar tahlili

Boshqaruv tizimidagi tizimli xatoliklar uchta asosiy turga bo'linadi:

Sensor siljish xatoligi (bias) bu sensor chiqish signalida doimiy qiymatli siljish mavjudligini anglatadi. Masalan, tok sensori (Hall effektiga asoslangan) harorat o'zgarishi yoki magnit to'yinishi tufayli doimiy siljish hosil qilishi mumkin. Agar tok sensorida  $\Delta i_{bias} = 0.05$  A siljish bo'lsa, bu moment baholashda quyidagi xatolikka olib keladi. 5.5 kVt dvigatel uchun ( $\psi_r \approx 0.8$  Wb,  $p = 2$ ):

$$\Delta T \approx \frac{3}{2} \cdot p \cdot \psi_r \cdot \Delta i_{bias} = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 0.8 \cdot 0.05 = 0.12 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Bu nominal momentning taxminan 0.34% ini tashkil etadi.

Drift - sensor parametrlarining vaqt o'tishi bilan asta-sekin o'zgarishidir. Bu jarayon asosan harorat o'zgarishi, komponent eskirishi va elektromagnit shovqinlar ta'sirida yuzaga keladi. Drift tezligi odatda 0.01–0.05%/soat oralig'ida bo'ladi. 8 soatlik ish smenasi davomida tezlik sensori (enkoder) 0.1–0.4% gacha og'ishi mumkin [8; B. 47-49, 9; B. 90-94, 10; B. 102-105].

Analog signalni raqamli ko'rinishga o'tkazishda ADC cheklangan razryadliliigi tufayli kvantlash xatoligi yuzaga keladi. n-bitli ADC uchun kvantlash xatoligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Delta_q = \frac{V_{ref}}{2^n}$$

12-bitli ADC va  $V_{ref} = 3.3$  V uchun:  $\Delta_q = 3.3/4096 \approx 0.8$  mV. Bu qiymat tok sensorining sezuvchanligiga (odatda 40–66 mV/A) nisbatan 0.012–0.02 A xatolikka teng keladi.

1-jadval. Tizimli xatolik turlari, sabablari va ta'sirlari

Xatolik turi	Asosiy sabablari	Dastgoh aniqligiga ta'siri
Sensor siljishi (bias)	Harorat o'zgarishi, magnit to'yinish, komponent eskirishi, montaj noaniqliqlari	Doimiy pozitsiyalash xatoligi (5–15 mkm), moment baholash xatoligi (0.2–0.5%)
Drift (vaqt bo'yicha og'ish)	Harorat gradiyenti, elektromagnit shovqin, komponent qarishishi, mexanik eskirish	Vaqt bilan o'suvchi o'lcham xatoligi (0.1–0.4%/smena), takrorlanish aniqligi buzilishi
Kvantlash xatoligi	ADC razryadliliigi cheklanganligi, diskretlash chastotasi yetishmasligi	Yuqori chastotali tebranishlar (0.5–2 mkm), sirt sifati pasayishi

### 2.3. Diagnostika usuli: Kalman filtri va CUSUM kombinatsiyasi

Tizimli xatoliklarni diagnostika qilish uchun ikki bosqichli yondashuv taklif etiladi: (1) kengaytirilgan Kalman filtri (EKF) yordamida holat baholash va qoldiq signallarni hisoblash; (2) CUSUM algoritmi yordamida qoldiq signallardagi tizimli og'ishlarni aniqlash [11; B. 28-33].

Kengaytirilgan Kalman filtri (EKF). Asinxron dvigatelning nochiziqli modeli uchun EKF qo'llaniladi. Holat vektori quyidagicha tanlanadi:

$$x = [i_{ds}, i_{qs}, \psi_{dr}, \psi_{qr}, \omega_r]^T$$

Diskret holat-fazoviy model quyidagicha yoziladi:

$$x(k+1) = f(x(k), u(k)) + w(k) \quad (7)$$

$$z(k) = h(x(k)) + v(k) \quad (8)$$

bu yerda  $f(\cdot)$  - nochiziqli holat o'tish funksiyasi;  $h(\cdot)$  - o'lchash funksiyasi;  $w(k) \sim N(0, Q)$  - jarayon shovqini;  $v(k) \sim N(0, R)$  - o'lchash shovqini.

EKF algoritmining prognoz bosqichi:

$$\hat{x}(k|k-1) = f(\hat{x}(k-1|k-1), u(k-1)) \quad (9)$$

$$P(k|k-1) = F(k) \cdot P(k-1|k-1) \cdot F(k)^T + Q \quad (10)$$

bu yerda  $F(k) = \partial f / \partial x$  - Yakobian matritsasi.

Yangilash bosqichi:

$$K(k) = P(k|k-1) \cdot H(k)^T \cdot [H(k) \cdot P(k|k-1) \cdot H(k)^T + R]^{-1} \quad (11)$$

$$\hat{x}(k|k) = \hat{x}(k|k-1) + K(k) \cdot [z(k) - h(\hat{x}(k|k-1))] \quad (12)$$

$$P(k|k) = [I - K(k) \cdot H(k)] \cdot P(k|k-1) \quad (13)$$

bu yerda  $K(k)$  - Kalman kuchaytirish matritsasi;  $H(k) = \partial h / \partial x$  - o'lchash funksiyasi Yakobiani;  $I$  - birlik matritsa.

EKF qoldig'i (innovation, residual) quyidagicha aniqlanadi:

$$r(k) = z(k) - h(\hat{x}(k|k-1)) \quad (14)$$

Normal ish sharoitida bu qoldiq nol o'rtachali va ma'lum dispersiyali Gauss taqsimotiga ega. Tizimli xatolik mavjud bo'lganda qoldiqda noldan farqli o'rtacha qiymat (mean shift) yuzaga keladi [12; B. 22-26].

CUSUM (Cumulative Sum) algoritmi. EKF qoldig'idagi o'rtacha qiymat o'zgarishini aniqlash uchun CUSUM algoritmi qo'llaniladi. Yuqori va past tomonga og'ishni aniqlash uchun ikki tomonlama CUSUM ishlatiladi:

$$S^+(k) = \max(0, S^+(k-1) + r(k) - \kappa) \quad (15)$$

$$S^-(k) = \max(0, S^-(k-1) - r(k) - \kappa) \quad (16)$$

bu yerda  $\kappa$  - ruxsat etilgan og'ish chegarasi (allowance parameter), odatda  $\kappa = \delta/2$  sifatida tanlanadi,  $\delta$  - aniqlash kerak bo'lgan eng kichik o'rtacha og'ish.

Tizimli xatolik mavjudligi quyidagi shart asosida aniqlanadi:

$$\text{Agar } S^+(k) > h \text{ yoki } S^-(k) > h \rightarrow \text{tizimli xatolik aniqlangan} \quad (17)$$

bu yerda  $h$  - qaror chegarasi.  $h$  qiymatining tanlash noto'g'ri signal chastotasi va aniqlash kechikishi o'rtasidagi muvozanatga asoslanadi. Amalda  $h = 4\sigma \dots 5\sigma$  oralig'ida tanlanadi.

#### 2.4. Kompensatsiya modeli.

Tizimli xatolik aniqlangandan so'ng, uni kompensatsiya qilish uchun adaptiv qayta aloqa modeli qo'llaniladi. Kompensatsiya formulasi quyidagicha:

$$\Delta_{tuzatilgan}(k) = \Delta_{o'lchangan}(k) - \hat{\Delta}_{tizimli}(k) \quad (18)$$

Tizimli xatolik baholash uchun eksponensial o'rtachalash usuli qo'llaniladi:

$$\hat{\Delta}_{tizimli}(k) = \alpha \cdot \hat{\Delta}_{tizimli}(k-1) + (1 - \alpha) \cdot \bar{r}(k) \quad (19)$$

bu yerda  $\alpha$  - unutish koeffitsiyenti ( $0.95 \leq \alpha \leq 0.99$ ),  $\bar{r}(k)$  - EKF qoldig'ining o'rtacha qiymati (sliding window average, oyna kengligi  $N_w = 50-100$  namuna).

Drift kompensatsiyasi uchun qo'shimcha chiziqli model qo'llaniladi:

$$\hat{\Delta}_{drift}(k) = \hat{\Delta}_{drift}(k-1) + \beta \cdot [\bar{r}(k) - \bar{r}(k-1)] \quad (20)$$

bu yerda  $\beta$  - drift kuzatish koeffitsiyenti ( $0.01 \leq \beta \leq 0.1$ ). To'liq kompensatsiya qiymati:

$$\hat{\Delta}_{tizimli}(k) = \hat{\Delta}_{bias}(k) + \hat{\Delta}_{drift}(k) \quad (21)$$

Bu adaptiv model tizimli xatolikning vaqt bilan o'zgarishini kuzatish va real vaqt rejimida kompensatsiya qilish imkonini beradi.

#### 2.5. Dvigatel xatoligi va dastgoh aniqligi o'rtasidagi bog'lanish.

Dvigatel boshqaruv tizimidagi xatoliklar dastgoh aniqligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Bu bog'lanish uchta asosiy kanal orqali amalga oshadi:

Shpindel tezligi xatoligi. Shpindel tezligidagi xatolik kesish tezligini o'zgartiradi. Kesish tezligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

bu yerda  $D$  - kesish diametri (mm),  $n$  - aylanish tezligi (ayl/min). Agar  $\Delta n / n = 1\%$  bo'lsa,  $D = 50$  mm,  $n = 3000$  ayl/min da:  $V_c = 471$  m/min.  $1\%$  xatolik  $\Delta V_c = 4.71$  m/min o'zgarishga olib keladi. Asbob egilishi quyidagi formula bilan baholanadi:

$$\delta = \frac{F_c \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

Tipik sharoitlarda  $1\%$  tezlik xatoligi  $3-8$  mkm pozitsiyalash xatoligiga olib keladi.

Uzatish tezligi (feed rate). Uzatish tezligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$f = f_z \cdot z \cdot n$$

Tokarlik operatsiyasida sirt g'adir-budurligi quyidagicha taxminiy baholanadi:

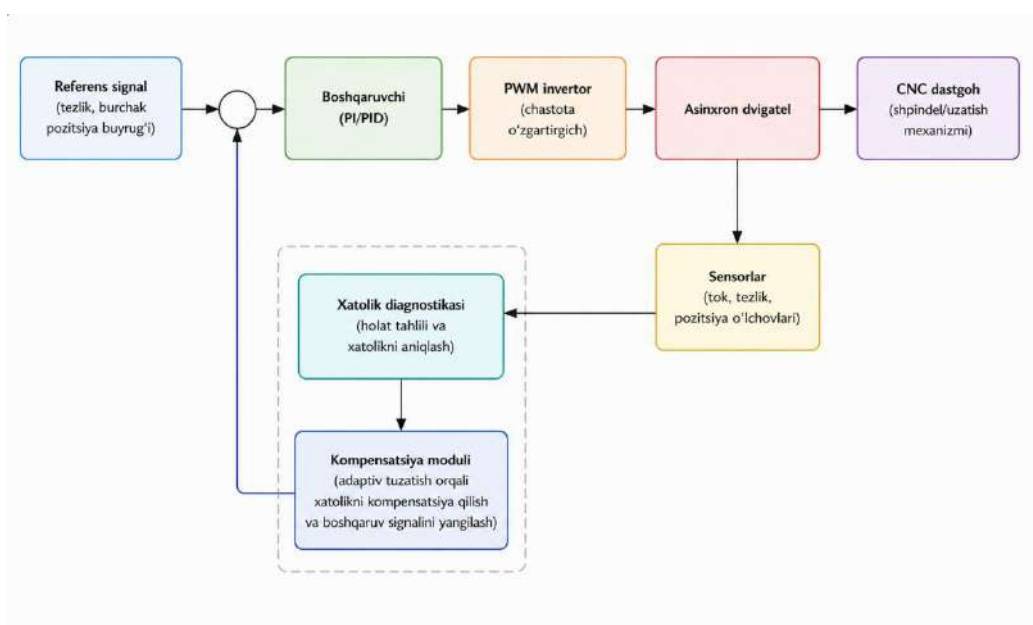
$$R_a \approx \frac{f^2}{8 \cdot r}$$

Uzatish xatoligi  $\Delta R_a / R_a \approx 2 \cdot \Delta f / f$  bo'lishiga olib keladi, ya'ni 1% uzatish xatoligi sirt g'adir-budurligini taxminan 2% ga o'zgartiradi.

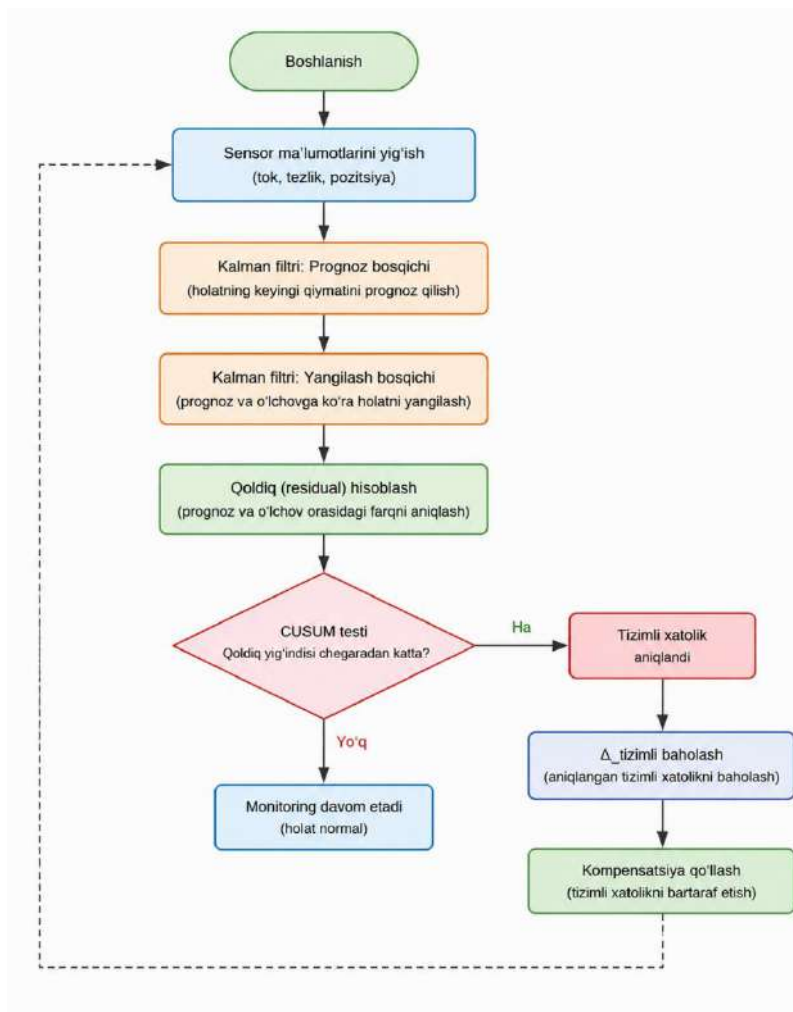
Pozitsiyalash aniqligi. CNC dastgohlarda o'q harakatlari servo dvigatellar orqali boshqariladi. Servo dvigatel tezligidagi xatolik  $\Delta \omega$  pozitsiyalash xatoligiga integratsiya orqali ta'sir qiladi:

$$\Delta x = \frac{\Delta \omega \cdot p}{2\pi}$$

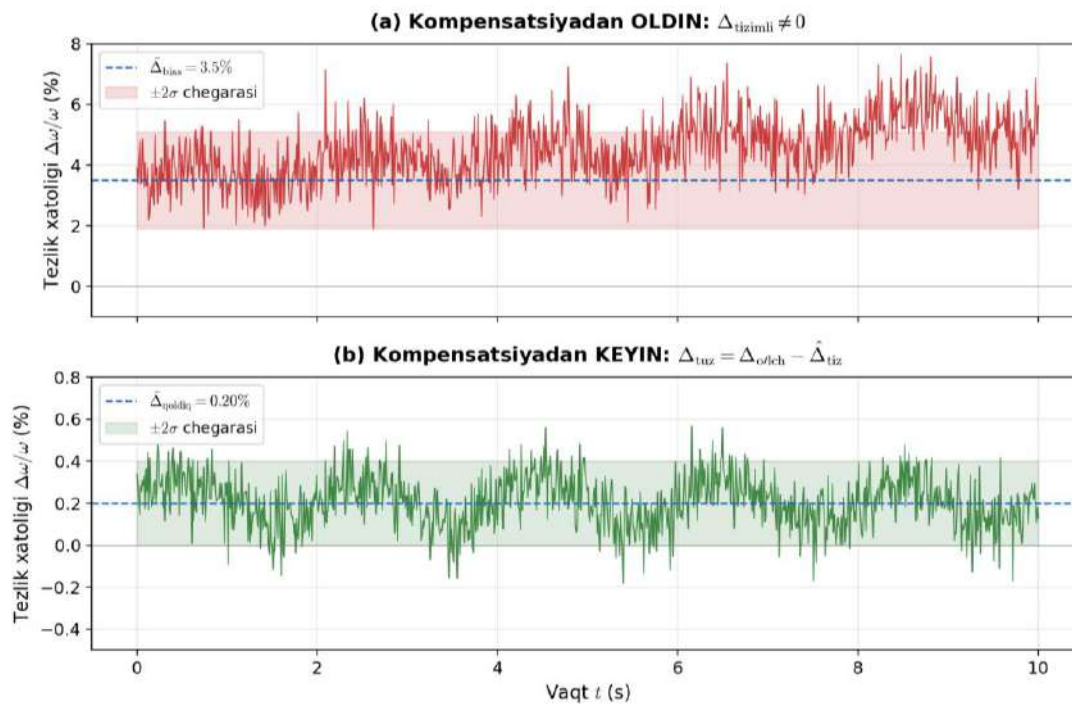
Masalan,  $\Delta \omega = 0.5$  rad/s xatolik, sharli vint qadami  $p = 5$  mm/ayl bo'lganda, pozitsiyalash xatoligi  $\Delta x \approx 0.4$  mm bo'lishi mumkin. Biroq yopiq konturli boshqaruvda bu xatolik sezilarli darajada kamaytiriladi va tipik holatlarda 5–15 mkm oralig'ida qoladi.



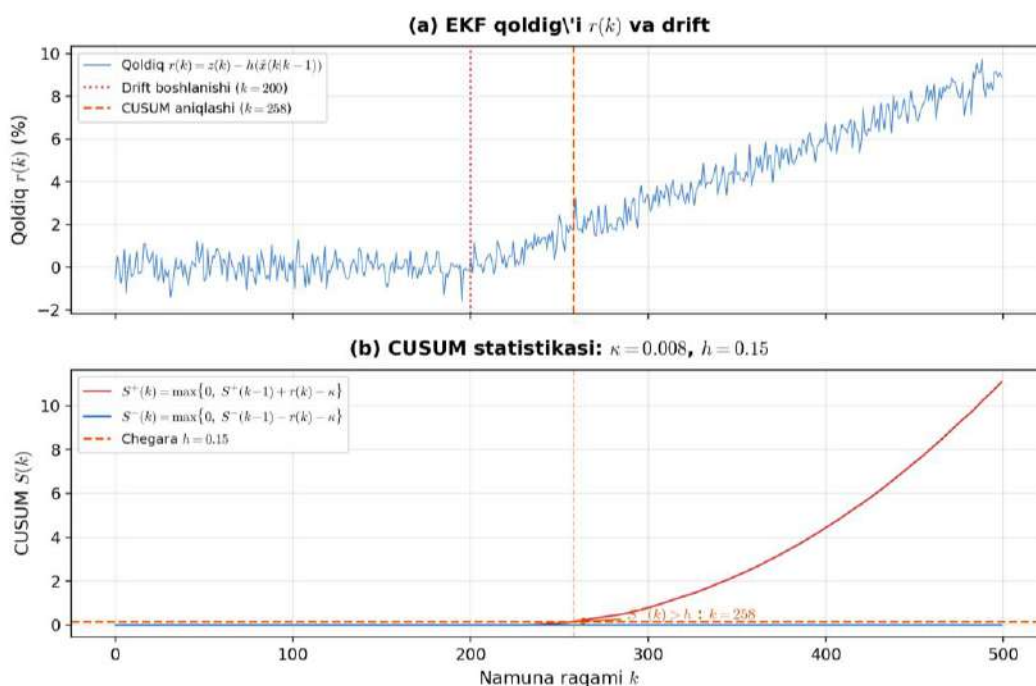
1-rasm. Asinxron dvigatel boshqaruv tizimi va CNC dastgoh integratsiyasi blok-sxemasi



2-rasm. Tizimli xatoliklarni diagnostika qilish algoritmi blok-sxemasi



3-rasm. Tezlik xatoligi: kompensatsiyadan oldin va keyin



4-rasm. CUSUM algoritmi yordamida sensor drift aniqlash

### 3. Natijalar

Taklif etilgan diagnostika va kompensatsiya tizimi MATLAB/Simulink muhitida simulyatsiya qilingan. Simulyatsiya uchun quyidagi parametrlar qo'llanilgan: asinxron dvigatel quvvati  $P_n = 5.5$  kVt, nominal tezlik  $n_n = 1460$  ayl/min, stator qarshiligi  $R_s = 1.405 \Omega$ , rotor qarshiligi  $R_r = 1.395 \Omega$ , o'zaro induktivlik  $L_m = 0.1722$  H, stator induktivligi  $L_s = 0.178$  H, rotor induktivligi  $L_r = 0.178$  H, inersiya momenti  $J = 0.0131$  kg·m<sup>2</sup>, juft qutblar soni  $p = 2$ .

Simulyatsiya davomida quyidagi tizimli xatoliklar sun'iy ravishda kiritilgan: tok sensori siljishi (bias)  $\Delta i_{bias} = 0.05$  A, tezlik sensori drifti 0.02%/min tezlikda, ADC kvantlash xatoligi 12-bitli razryadlilik uchun. Kalman filtri parametrlari:  $Q = \text{diag}[10^{-4}, 10^{-4}, 10^{-6}, 10^{-6}, 10^{-2}]$ ,  $R = \text{diag}[10^{-2}, 10^{-2}]$ . CUSUM parametrlari:  $\kappa = 0.008, h = 0.15$ .

Simulyatsiya natijalari 2-jadvalda keltirilgan:

2-jadval. Simulyatsiya natijalari: kompensatsiyadan oldin va keyin

Parametr	Oldin	Keyin	Yaxshilanish (%)
Tezlik xatoligi (o'rtacha, %)	3.50	0.20	94.3
Tezlik xatoligi (standart og'ish, %)	0.85	0.12	85.9
Pozitsiyalash xatoligi (mkm)	15.0	2.1	86.0
Moment pulsatsiyasi (%)	4.2	0.8	81.0
Drift aniqlash kechikishi (namuna)	-	58	-
Noto'g'ri signal chastotasi	-	< 0.1%	-

3-rasmdan ko'rinib turibdiki, kompensatsiyadan oldin tezlik xatoligi o'rtacha 3.5% atrofida tebranib, vaqt o'tishi bilan drift ta'sirida ortib borgan. Kompensatsiya qo'llanilgandan so'ng, xatolik 0.2% atrofida barqarorlashgan va drift ta'siri deyarli to'liq bartaraf etilgan.

4-rasmda CUSUM algoritmining drift aniqlash qobiliyati ko'rsatilgan. Drift  $t = 200$  namunada boshlangan, CUSUM algoritmi esa  $t = 258$  namunada (58 namuna kechikish bilan) driftni aniqlagan. Bu kechikish 1 kHz namunalash chastotasida 58 ms ga teng bo'lib, ko'pgina sanoat ilovalari uchun maqbul hisoblanadi.

Pozitsiyalash aniqligi bo'yicha, kompensatsiyadan oldingi 15 mkm xatolik 2.1 mkm gacha kamaygan. Bu natija CNC dastgoh uchun ISO 230-2 standarti bo'yicha "yuqori aniqlik" toifasiga mos keladi. Moment pulsatsiyasi 4.2% dan 0.8% gacha kamayishi sirt sifatini sezilarli yaxshilashga olib keladi.

#### **4. Muhokama**

An'anaviy PID boshqaruv tizimlarida tizimli xatoliklar odatda operatorlar tomonidan qo'lda kalibrlash orqali bartaraf etiladi. Bu jarayon vaqt talab qiladi (odatda har 2–4 soatda) va inson omilidan kelib chiqadigan qo'shimcha xatoliklarga moyil. Oddiy siljish kompensatsiyasi (offset compensation) usuli faqat statik bias xatoligini bartaraf etadi, lekin drift va dinamik xatoliklarni hisobga olmaydi. Taklif etilgan EKF+CUSUM yondashuvi esa real vaqt rejimida ham bias, ham drift xatoliklarini aniqlash va kompensatsiya qilish imkonini beradi.

Taklif etilgan usulning bir qancha cheklovlari mavjud. Birinchidan, EKF algoritmining to'g'ri ishlashi dvigatelning matematik modeli parametrlarining aniq ma'lumligini talab qiladi. Rotor qarshiligi haroratga bog'liq ravishda o'zgarib (taxminan 0.4%/°C), model aniqligi pasayishi mumkin. Bu muammoni hal qilish uchun rotor qarshiligini onlayn baholash mexanizmi qo'shilishi zarur. Ikkinchidan, CUSUM algoritmining parametrlari ( $\kappa$  va  $h$ ) statistik xususiyatlar asosida tanlanadi va har bir dvigatel uchun individual sozlash talab qilishi mumkin. Uchinchidan, simulyatsiya natijalari hali eksperimental sinovlar bilan tasdiqlanmagan; real sharoitlarda qo'shimcha shovqin manbalari va noxiziqli effektlar natijalarni o'zgartirishi mumkin.

Ushbu tadqiqotni rivojlantirish uchun quyidagi yo'nalishlar rejalashtirilgan: (1) Taklif etilgan algoritmni real vaqtda ishlaydigan DSP yoki FPGA platformasida amalga oshirish va eksperimental sinovlar o'tkazish; (2) Rotor qarshiligini onlayn baholash uchun EKF modelini kengaytirish; (3) Sun'iy neyron tarmoqlari (ANN) asosidagi noxiziqli kompensatsiya modellarini qo'llash va EKF+CUSUM yondashuvi bilan taqqoslash; (4) Ko'p o'qli CNC dastgohlarda bir nechta dvigatel boshqaruv tizimlarining o'zaro ta'sirini hisobga olgan holda tizimni umumlashtirish.

#### **Xulosa**

Ushbu maqolada asinxron dvigatel boshqaruv tizimlaridagi tizimli xatoliklarni diagnostika qilish va kompensatsiya qilish orqali CNC dastgoh aniqligini oshirish usuli taklif etilgan. Kengaytirilgan Kalman filtri (EKF) va CUSUM algoritmining birgalikda qo'llanishi sensor siljishi va drift xatoliklarini real vaqt rejimida aniqlash imkonini bergan. Adaptiv kompensatsiya modeli esa aniqlangan xatoliklarni samarali bartaraf etgan.

Simulyatsiya natijalari quyidagi asosiy ko'rsatkichlarni tasdiqlagan: tezlik xatoligi 94.3% ga kamaygan (3.5% dan 0.2% gacha), pozitsiyalash aniqligi 86% ga yaxshilangan (15 mkm dan 2.1 mkm gacha), moment pulsatsiyasi 81% ga kamaygan (4.2% dan 0.8% gacha), drift aniqlash kechikishi 58 ms ni tashkil etgan (1 kHz namunalash chastotasida). Bu natijalar taklif

etilgan yondashuvning CNC dastgoh aniqligini sezilarli darajada oshirish salohiyatini ko'rsatadi.

#### Adabiyotlar/Литература/References:

1. Shen H.Y., Fu J.Z., He Y., et al. On-line asynchronous compensation methods for static/quasi-static error implemented on CNC machine tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2012, vol. 60, pp. 14–26. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2012.04.003
2. Yildiz R., Barut M., Zerdali E. Extended Kalman filter based estimations for improving speed-sensored control performance of induction motors. *IET Electric Power Applications*, 2020, vol. 14, no. 12, pp. 2471–2479. DOI: 10.1049/iet-epa.2020.0319
3. Jafarzadeh S., Lascu C., Fadali M.S. State estimation of induction motor drives using the unscented Kalman filter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2012, vol. 59, no. 11, pp. 4207–4216. DOI: 10.1109/TIE.2011.2174533
4. Ramesh A., Jaya Kumari J., Jagadanand G. Kalman filtering speed estimation of vector control for induction motor drive. *Proc. IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, 2016, pp. 1–5. DOI: 10.1109/POWERCON.2016.7753864
5. Ramesh M., Rao K.S. CNC machine tool error compensation - a review. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2019, vol. 8, no. 12, pp. 493–498. DOI: 10.17577/IJERTV8IS120252.
6. Ismoilov M. et al. Analysis of a modern method for calibrating resistance thermometers *E3S Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2025. – Т. 627. – С. 04004.
7. Jumaev O. et al. Fuzzy-logic system for regulating the temperature regime of a bioreactor in the process of bacterial oxidation // *E3S Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2024. – Т. 525. – С. 05011.
8. Рахматов Д. И., Абдужабборовва Д. А. Разработка методики калибровки средств измерений // *Студенческий вестник*. – 2021. – №. 3-5. – С. 47-49.
9. Ismoilov M. T., Rahimov A. K. O'lchash natijalarini signal tebranishlarini lab view dasturi yordamida simulyatsiya qilishni tahlil qilish // *Journal of Advances in Engineering Technology*. – 2024. – №. 4. – С. 90-94.
10. Rahimov A., Orziyev J. Past va yuqori chastotali filtrlarni tahlil qilish va simulyatsiya qilish usulini tadqiq etish // *International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences*. – 2024. – Т. 5. – №. 4. – С. 102-105.
11. Jumaev O. A. et al. Mathematical description and algorithms for the implementation of digital filters // *International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences*. – 2024. – Т. 5. – №. 3. – С. 28-33.
12. Rahimov A. K., Sh A. O., Mamadiyorov S. S. Signal generatsiyasi va uning chastota spektrini tahlil qilish // *International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences*. – 2025. – Т. 6. – №. 1. – С. 22-26.

**TECHSCIENCE.UZ**

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB  
MASALALARI**

*№ 5 (4)-2026*

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES**

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA  
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**  
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130346-  
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan  
o'tkazilgan.

**Muassislar:** "SCIENCEPROBLEMS TEAM"  
mas'uliyati cheklangan jamiyati;  
Jizzax politexnika insituti.

**TAHRIRIYAT MANZILI:**

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik  
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

[scienceproblems.uz@gmail.com](mailto:scienceproblems.uz@gmail.com)