# SANOAT BOSIM DATCHIKLARINING METROLOGIK TAVSIFLARI DRIFTINI MODELLASHTIRISH

**Jabborov Yusufjon Yunus o'g'li**
*Osiyo xalqaro universiteti*

**Annotatsiya.** Sanoat bosim datchiklarining nol siljishi, sezgirlik o‘zgarishi, nochiziqliligi va gisterezisini vaqt bo‘yicha modellashtirish uchun metodik yondashuv taklif etiladi. Kalibrlashning sozlashdan farqi hamda sozlashdan oldingi va keyingi natijalarni ajratish zarurati yoritiladi. Model kalibrlash tarixi va foydalanish sharoitlarini birlashtiradi. Parametrlar noaniqligi, kelajak prognozi va vaqt bo‘yicha validatsiya mezonlari ishlab chiqiladi. Ish nazariy-metodik xususiyatga ega; yangi tajriba ma’lumotlari keltirilmaydi.

**Kalit so‘zlar.** bosim datchigi, metrologik drift, nol siljishi, sezgirlik, gisterezis, kalibrlash tarixi, prognoz noaniqligi.

**Аннотация.** Предлагается методика моделирования временных изменений нулевого смещения, чувствительности, нелинейности и гистерезиса промышленных датчиков давления. Разграничиваются калибровка и регулировка, а также результаты до и после регулировки. Модель объединяет историю калибровок и условия эксплуатации. Рассматриваются неопределённость параметров, прогноз будущих отклонений и временная валидация. Работа носит теоретико-методический характер; новые экспериментальные данные не представлены.

**Ключевые слова.** датчик давления, метрологический дрейф, смещение нуля, чувствительность, гистерезис, история калибровок.

**Abstract.** A methodological framework is proposed for modelling changes in zero offset, sensitivity, nonlinearity and hysteresis of industrial pressure sensors. Calibration is distinguished from adjustment, and pre-adjustment observations are separated from post-adjustment values. Calibration history and operating conditions are combined in a temporal model. Parameter uncertainty, predictive uncertainty and chronological validation are addressed. The study is theoretical and methodological and reports no new experimental data.

**Keywords.** pressure sensor, metrological drift, zero offset, sensitivity, hysteresis, calibration history, predictive uncertainty.

## KIRISH.

Sanoat bosim datchigining metrologik tavsifi ishlab chiqaruvchi ko‘rsatgan dastlabki aniqlik bilan cheklanmaydi. Ishlash davomida nol ko‘rsatishi, uzatish koeffitsiyenti va boshqa parametrlar o‘zgarishi mumkin. Bunday o‘zgarish jarayonni boshqarishdagi ma’lumotning ishonchliligiga ta’sir qiladi. Tadqiqotning


ISSN 3030-3907

maqsadi aynan o‘zgarishning vaqt va ekspluatatsiya sharoitlariga bog‘liqligini baholashdir. Modeldan foydalanish datchikni tekshirish zaruratini bekor qilmaydi; u tekshiruv muddatini asoslashga xizmat qiladi.

Mazkur ishda drift deganda bir xil taqqoslash sharoitida metrologik parametrning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi tushuniladi. Harorat almashishi yoki o‘rnatish balandligi tufayli darhol paydo bo‘lgan farq har doim uzoq muddatli drift emas. Shuning uchun ma’lumotlar etalon sharoitiga keltiriladi yoki ta’sir etuvchi omillar modelga kiritiladi. Aks holda foydalanish muhiti o‘zgarishi datchikning qarishi sifatida noto‘g‘ri talqin qilinishi mumkin.

Kalibrlash qiymatlar o‘rtasidagi bog‘lanishni va tegishli noaniqlikni aniqlaydi; sozlash esa ko‘rsatishni o‘zgartiruvchi operatsiyadir [6]. Demak, kalibrlashning o‘zi xatolikni avtomatik ravishda nolga qaytarmaydi. Tarixiy bazada sozlashdan oldingi natijalar datchikning davr oxiridagi holatini, sozlashdan keyingi natijalar esa keyingi davrning boshlang‘ich holatini ifodalaydi. Ushbu ikki guruhni bir regressiyaga farqsiz qo‘shish drift bahosini buzadi.

Tadqiqot obyekti tanlangan konstruksiya va bosim diapazonidagi sanoat datchiklari guruhidir. Predmet nol siljishi, sezgirlik, nochiziqlilik va gisterezisning foydalanish muddati davomida o‘zgarishidir. Modelni ishlab chiqishda mutlaq, ortiqcha va differensial bosim datchiklari bir xil guruh deb olinmaydi. Guruhlash datchik turi, o‘lchash diapazoni, signal formati va ish sharoitlariga asoslanadi.

Tekshiriladigan gipoteza shundan iboratki, parametrlar bo‘yicha ajratilgan temporal model umumiy maksimal xatolikning yagona trendiga qaraganda ko‘proq diagnostik axborot beradi. Masalan, nol siljishi past bosim nuqtalariga, sezgirlik o‘zgarishi esa diapazon bo‘ylab qiyalikka ta’sir qiladi. Gipoteza mustaqil davrlardagi prognoz xatosi va qamrov ko‘rsatkichlari bilan tekshiriladi. Modellarning murakkabligi qo‘shimcha aniqlik mavjud bo‘lgandagina oshiriladi.

Ishning natijasi hozircha amalda tasdiqlangan degradatsiya qonuni emas. U ma’lumotlarni yig‘ish, parametrlarni baholash va kelajak xatolikni prognozlash uchun tekshiriladigan metodik tuzilmani beradi. Qayta kalibrlash intervali uchun foydalaniladigan model datchikning haqiqiy ekspluatatsiya tarixida validatsiya qilinishi kerak. Ushbu maqola modelning statistik va metrologik poydevoriga qaratilgan.

**Kalibrlash ma’lumotlari va kuzatish dizayni.**

Ma’lumotlar bazasida har bir datchikning identifikatori, turi, diapazoni, o‘rnatish sanasi, kalibrlash sanasi va ta’mirlash hodisalari saqlanadi. Har bir bosim nuqtasi uchun etalon qiymat, datchik ko‘rsatishi, oshirish yoki kamaytirish yo‘nalishi, takror raqami va muhit harorati qayd etiladi. Signal bosim birligiga aylantirilgan bo‘lsa, ishlatilgan koeffitsiyent va dastur versiyasi ham saqlanadi.


ISSN 3030-3907

Faqat sertifikatdagi umumiy yakuniy xatolikni yig‘ish parametrlar driftini ajratish uchun yetarli emas.

Kalibrlash sxemasi diapazonni qamrab oluvchi nuqtalarni, oshirish va kamaytirish sikllarini hamda takrorlarni o‘z ichiga oladi. DKD-R 6-1 bosim o‘lchash vositalari kalibrlashining tegishli metodik asosidir [4]. Muayyan datchik uchun nuqtalar va sikllar amaldagi metodika hamda talab etilgan noaniqlikka muvofiq tanlanadi. Bu maqola qo‘llanmadagi majburiy ish tartibini qisqartirish yoki almashtirishni tavsiya etmaydi.

Laboratoriya harorati, bosim uzatish muhiti va etalon bilan datchikning balandlik farqi qayd qilinadi. Zarur holatda gidrostatik tuzatma $\Delta p = \rho g \Delta h$ bilan baholanadi. Bu tuzatmaning ishorasi qaysi nuqtaga bosim keltirilayotganiga bog‘liq aniqlanadi. Datchikdan boshqa o‘lchash zanjiri elementlari, masalan, tok o‘lchagich yoki analog-raqamli o‘zgartirgich natijaga hissa qo‘shsa, ular ham nazorat qilinadi.

Ekspluatatsiya ma’lumotlariga ish soatlari, bosim sikllari, haddan tashqari bosim hodisalari, harorat oralig‘i va vibratsiyaga oid qaydlar kiritilishi mumkin. Ushbu omillar haqiqatan o‘lchanmagan bo‘lsa, ular haqida aniq qiymatlar yaratilmaydi. Ma’lumot mavjudligi alohida belgilanadi. Yo‘qolgan kuzatuvlar, nosozlik sababli olib tashlangan datchiklar va faqat muvaffaqiyatli kalibrlangan asboblar o‘rtasidagi tanlanma farqi tahlil qilinadi.

Vaqt bo‘yicha solishtirish uchun bir xil bosim nuqtalari va mos etalon sharoitlari saqlanadi. Bosim diapazoni yoki signal shkalasi o‘zgartirilsa, bu yangi konfiguratsiya sifatida belgilanishi lozim. Foizli xatolik ishlatilganda uning to‘liq shkalaga yoki o‘lchanayotgan qiymatga nisbatan ekanligi ko‘rsatiladi. Ushbu ikki foizni aralashtirish ayniqsa diapazonning past qismida qarorni jiddiy o‘zgartiradi.

Oraliq tekshiruvlar to‘liq kalibrlashning o‘rnini barcha holatlarda bosa olmaydi. Ularning nazorat nuqtalari muhim parametrlarni kuzatishi kerak. Faqat nol nuqtasini tekshirish sezgirlik o‘zgarishini yashirishi mumkin. Kuzatuv dizaynida diapazonning past, o‘rta va yuqori qismidagi axborotga ehtiyoj asoslanadi. Tekshiruv natijalari asosiy baza bilan birlashtirilganda ularning noaniqligi va usuli alohida belgilanadi.

**Metrologik parametrlarning matematik modeli**

Bosim indikatsiyasining soddalashtirilgan modeli $y = a(t) + b(t)p + c(t)p^2 + d(p,t,T,s) + \varepsilon$ tarzida yoziladi. Bu yerda p etalon bosim, a nol siljishi, b sezgirlik koeffitsiyenti, c nochiziqlilik parametri, T harorat, s yuklash yo‘nalishi va $\varepsilon$ kuzatish qoldig‘idir. d funksiyasi qo‘shimcha ta’sirlarni ifodalaydi. $p^2$ hadini kiritish faqat qoldiq tahlili va identifikatsiya uchun yetarli ma’lumot mavjudligida asoslanadi.


ISSN 3030-3907

Modelni hisoblashda bosimni x = p/P_FS orqali normallashtirish parametrlar o‘lchamini barqarorlashtirishi mumkin. P_FS tanlangan o‘lchash shkalasining to‘liq qiymatidir. Chiqish bosim birligida qolsa, koeffitsiyentlarning birliklari mos yoziladi. Normallashtirilgan qiyalikning o‘zgarishi bilan fizik sezgirlik o‘zgarishi o‘rtasidagi aloqa aniq ko‘rsatiladi. Diapazon qayta sozlansa, eski va yangi shkaladagi foizlar bevosita qo‘shilmaydi.

Bir kalibrlash sanasidagi nol, qiyalik va egri chiziqlilik baholari bir-biriga korrelyatsiyalangan bo‘lishi mumkin. Shuning uchun vaqt modeli uchun faqat parametrlarning alohida standart xatolarini emas, kovariatsiya matritsasini ham saqlash tavsiya etiladi. Etalon bosim noaniqligi ahamiyatli bo‘lsa, oddiy regressiya cheklovlari tekshiriladi. Bosim qiymatini xatosiz kirish sifatida qabul qilishning oqibatlari baholanadi.

Boshlang‘ich temporal model $\theta_j(t) = \theta_{j,0} + v_j\, t$ shaklida olinadi. $\theta_j$ metrologik parametr, $v_j$ uning vaqt bo‘yicha qiyaligidir. Bu model drift doimiy tezlikda davom etadi degan ishchi farazga asoslanadi. U uzoq muddat uchun avtomatik qabul qilinmaydi. NIST driftga oid qo‘llanmasida uzoq vaqt bir xil yo‘nalish va tezlik saqlanishi kam uchrashi qayd etiladi [5]. Shuning uchun prognoz gorizonti validatsiya bilan cheklanadi.

Vaqtning o‘zi yetarli bo‘lmasa, ish soati va muhit ko‘rsatkichlari qo‘shiladi: $\theta_j = \theta_{j,0} + v_j\, t + \beta_j\, H + \gamma_j\, Z$. H ish soatlari, Z esa o‘lchangan stress indikatoridir. Bir-biriga juda yaqin bog‘liq t va H ni qo‘shish parametrlarni beqaror qilishi mumkin. Omillar ta’siri sababiy isbot sifatida emas, kuzatilgan bog‘liqlik sifatida talqin etiladi.

Alternativ sifatida holat modeli $\theta_{(k+1)} = F\theta_k + Bz_k + w_k$, $y_k = G_k\theta_k + v_k$ ko‘rib chiqiladi. $w_k$ jarayon o‘zgaruvchanligini, $v_k$ o‘lchash noaniqligini ifodalaydi. NIST tadqiqot tavsifida avvalgi kalibrlash ma’lumotlarini dinamik chiziqli model orqali birlashtirish yoritilgan [7]. Mazkur variantda kovariatsiyalar ma’lumot orqali baholanadi; murakkab model kam tarixni avtomatik to‘ldirmaydi.

**Prognoz noaniqligi va shartli hisob.**

Kelajakdagi xatolikning o‘rtacha prognozi bilan prognoz noaniqligi alohida beriladi. Parametrlar $\theta$ uchun kovariatsiya matritsasi $\Sigma_\theta$ bo‘lsa, xatolik modelining sezgirlik vektori g asosida $u^2_{param} = g^T\Sigma_\theta g$ hisoblanadi. Etalon, signal o‘qilishi va boshqa mustaqil hissalar qo‘shiladi. Mustaqillik isbotlanmagan holatda kovariatsiyalar saqlanadi. Bu yondashuv JCGM 100 dagi noaniqlikni ifodalash tamoyillariga tayangan holda ishlab chiqiladi [2].

Drift prognozidagi tarqalish oddiy kalibrlash noaniqligidan farqlanadi. U parametrlarni baholash noaniqligi, kelajak jarayon o‘zgaruvchanligi va yangi o‘lchashga oid hissalarni qamrab olishi mumkin. Aynan qaysi miqdor


ISSN 3030-3907

prognozlanayotgani belgilanadi: datchikning haqiqiy xatoligimi yoki keyingi kalibrlashda kuzatiladigan og‘ishmi? Ikkinchisida kelajak kalibrlash o‘lchovining noaniqligi ham mavjud. Bir hissani ikki marta hisoblashga yo‘l qo‘yilmaydi.

Tasviriy hisob uchun to‘liq shkalaga nisbatan foiz birliklari ishlatiladi. Boshlang‘ich xatolik 0,04 %FS, o‘rtacha drift 0,012 %FS/oy va o‘zgarmas kengaytirilgan prognoz zaxirasi 0,03 %FS deb faraz qilinsin. E = 0,25 %FS chegarada $|e(t)| + U_pred \le E$ mezoni uchun $t \le (0{,}25-0{,}04-0{,}03)/0{,}012 = 15$ oy chiqadi. Ushbu qiymatlar faqat shartli misol; real datchik yoki tasdiqlangan intervalni ifodalamaydi.

Agar qiyalikning konservativ yuqori bahosi 0,018 %FS/oy bo‘lsa, o‘sha soddalashtirilgan mezon 10 oy beradi. Prognoz zaxirasi ham vaqt bo‘yicha oshsa, interval yanada qisqarishi mumkin. Masalan, shartli $U_pred(t) = 0{,}03 + 0{,}002t$ %FS va qiyalik 0,018 bo‘lganda $t \le 9$ oy bo‘ladi. Bu hisob qiyalik va noaniqlikni birgalikda ko‘rishning ahamiyatini ko‘rsatadi; universal tavsiya emas.

Bir nuqtadagi prognoz butun diapazon bo‘yicha muvofiqlikni kafolatlamaydi. Datchikning nol siljishi va sezgirligi birgalikda o‘zgarsa, eng katta og‘ish boshqa bosim nuqtasida paydo bo‘lishi mumkin. Shuning uchun e(p,t) bosim bo‘yicha baholanadi. O‘zaro korrelyatsiyalar saqlangan simulyatsiya yoki tegishli birgalikdagi qamrov usuli bilan butun tekshiruv sohasi bo‘yicha prognoz zaxirasi tuziladi.

Normal taqsimot va k = 2 qamrov koeffitsiyentini har qanday holatda qat’iy 95 foizlik kafolat deb ishlatish mumkin emas. Erkinlik darajasi, taqsimot shakli va model xatosi tekshiriladi. Ma’lumot yetarli bo‘lmasa, konservativ qaror va qisqa prognoz gorizonti tanlanadi. Matematik chegaraning aniq ko‘rinishi kalibrlash laboratoriyasi qo‘llaydigan qaror qoidasi bilan moslashtiriladi.

**Modelni validatsiya qilish va diagnostika.**

Temporal modelni validatsiya qilishda ma’lumotlar tasodifiy aralashtirilgan holda emas, vaqt tartibida ajratiladi. Dastlabki davrlarda model qurilib, keyingi davrlar prognozlanadi. So‘ng boshlang‘ich oynani kengaytirib tekshiruv takrorlanadi. Bunday ketma-ketlik kelajakda foydalanish sharoitini yaqinroq ifodalaydi. Bir datchikning yaqin sanalardagi natijalarini o‘qitish va testga tasodifiy taqsimlash prognoz sifatini ortiqcha yuqori ko‘rsatishi mumkin.

Baholashda o‘rtacha mutlaq prognoz xatosi, sistematik og‘ish va prognoz oralig‘ining empirik qamrovi ishlatiladi. Faqat o‘rtacha xatoni kamaytirish yetarli emas: modelning tor oralig‘i haqiqiy og‘ishni tez-tez qamramasa, interval belgilash uchun u xavfli darajada ishonchli ko‘rinadi. Diapazonning har bir tekshiruv nuqtasi va bosim yo‘nalishi bo‘yicha natijalar ko‘rib chiqiladi.

Qoldiqlarda vaqtga bog‘liqlik, bosimga bog‘liq shakl va tarqalishning o‘zgarishi tekshiriladi. Ketma-ket korrelyatsiya mavjud bo‘lsa, oddiy mustaqil


ISSN 3030-3907

qoldiq farazi qayta baholanadi. Bosimning yuqori qismida tarqalish katta bo‘lsa, vaznlangan model ko‘rib chiqiladi. Qoldiqdagi sistematik egri chiziq modelning nochiziqlilikni to‘liq ifodalamaganini bildirishi mumkin. Tashxis faqat statistik test bilan cheklanmay, fizik sabablar bilan solishtiriladi.

Ta’mirlash, ortiqcha yuk yoki sozlashdan keyin rejim o‘zgarishi ehtimoli tekshiriladi. Bunday hodisa qayd etilgan bo‘lsa, modelga o‘zgarish nuqtasi kiritiladi yoki yangi kuzatuv davri boshlanadi. Oldingi trendni yangi holatga majburan davom ettirish mumkin emas. Sozlashdan keyingi kichik og‘ish eski datchikning tabiiy barqarorligi yaxshilanganini avtomatik isbotlamaydi. As-found va as-left qiymatlar ajratilishi shu sababli zarur.

Datchiklar guruhi modeli individual asbob haqidagi kam ma’lumotni qo‘llab-quvvatlashi mumkin, biroq guruhdagi farqlar saqlanadi. Bir xil model nomi ishlash sharoitlari tengligini anglatmaydi. Guruhdan chiqarilgan nosoz datchiklar hisobdan yo‘qolsa, qolganlar barqarorligi sun’iy ravishda yaxshilanadi. Model natijasi foydalanilgan tanlanmaning qamrovi va cheklovlari bilan birga beriladi.

Validatsiya natijasiga ko‘ra model ishlatiladigan bosim diapazoni, muhit sharoiti va maksimal prognoz gorizonti belgilanadi. Bu sohalardan tashqarida intervalni uzaytirish uchun modelning o‘zi yetarli asos emas. Keyingi kalibrlash kelganda yangi ma’lumotlar bilan baho yangilanadi va oldingi prognozning to‘g‘riligi tekshiriladi. Shunday qilib model doimiy kuzatuv bilan bog‘langan vosita sifatida ishlaydi.

**XULOSA.**

Metrologik driftni nol siljishi, sezgirlik va boshqa parametrlar bo‘yicha ajratish kelajak xatolikni tushuntirish imkonini beradi. Tarixiy bazada sozlashdan oldingi va keyingi natijalarni farqlash, etalon sharoitlarini saqlash va parametrlar kovariatsiyasini hisobga olish tavsiya etildi. Prognoz butun bosim diapazonida va validatsiya qilingan gorizontda baholanishi kerak. Shartli hisob o‘rtacha trendga qaraganda konservativ qiyalik va vaqtga bog‘liq noaniqlik qisqaroq interval berishini ko‘rsatdi.

Taklif etilgan model keyingi tadqiqot uchun metodik asosdir. Uning amaliy ustunligi real kalibrlash tarixida vaqt bo‘yicha tekshiruv bilan isbotlanadi. Qayta kalibrlash intervalining o‘zi modeldagi chegarani topishdan tashqari, foydalanish vazifasi, muvofiqlik mezoni va tegishli tashkiliy cheklovlarni ham hisobga olishni talab qiladi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. ILAC / OIML. ILAC-G24:2022 / OIML D 10:2022. Guidelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment. https://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d010-e22.pdf (14.10.2026).


ISSN 3030-3907

2. JCGM. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. DOI: 10.59161/JCGM100-2008E. https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications (14.10.2026).
3. JCGM. JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data — The role of measurement uncertainty in conformity assessment. DOI: 10.59161/JCGM106-2012. https://www.bipm.org/en/doi/10.59161/jcgm106-2012 (14.10.2026).
4. PTB / DKD. DKD-R 6-1. Calibration of Pressure Gauges. Edition 03/2014, Revision 3. DOI: 10.7795/550.20210422. https://oar.ptb.de/files/download/681c533553218de84f08e847 (14.10.2026).
5. NIST / SEMATECH. e-Handbook of Statistical Methods. Section 2.4.5.3 Drift. https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/mpc/section4/mpc453.htm (14.10.2026).
6. BIPM / JCGM. International Vocabulary of Metrology. VIM 2.39 Calibration. https://jcgm.bipm.org/vim/en/2.39.html (14.10.2026).
7. NIST. Dynamic Calibration for Instruments. Robert C. Hagwood. Rasmiy tadqiqot tavsifi. https://www.nist.gov/publications/dynamic-calibration-instruments (14.10.2026).