BOSIM DATCHIKLARINI QAYTA KALIBRLASH INTERVALLARINI PROGNOZ VA RISK ASOSIDA OPTIMALLASHTIRISH

Jabborov Yusufjon Yunus o'g'li
Osiyo xalqaro universiteti

Annotatsiya. Sanoat bosim datchiklarining qayta kalibrlash muddatini xatolik prognozi, noaniqlik va foydalanish vazifasiga bog‘lash usuli taklif etiladi. Ruxsat etilgan metrologik chegara, butun interval davomida chegaradan chiqish ehtimoli va xarajat mezoni alohida belgilanadi. Nomzod intervallarni saralash, oraliq tekshiruv orqali bahoni yangilash va retrospektiv tekshiruv ketma-ketligi ishlab chiqiladi. Ish konseptual-metodik tadqiqotdir; keltirilgan hisoblar shartli bo‘lib, haqiqiy interval uzaytirilganini tasdiqlamaydi.

Kalit so‘zlar. qayta kalibrlash intervali, bosim datchigi, prognoz, risk, muvofiqlik, oraliq tekshiruv, optimallashtirish.

Аннотация. Предложен метод определения интервалов повторной калибровки промышленных датчиков давления на основе прогноза погрешности, неопределённости и условий применения. Раздельно задаются метрологический предел, вероятность выхода за него в течение интервала и критерий затрат. Разработана последовательность выбора интервалов, обновления оценки по промежуточным проверкам и ретроспективной валидации. Работа носит концептуально-методический характер; расчётные примеры являются условными.

Ключевые слова. интервал калибровки, датчик давления, прогноз, риск, соответствие, промежуточная проверка.

Abstract. A risk-constrained method is proposed for selecting recalibration intervals for industrial pressure sensors. Predicted error, uncertainty and intended use are considered jointly. Metrological limits, the probability of exceeding limits at any time during an interval, and cost criteria are distinguished. Candidate intervals are screened and updated using intermediate checks and retrospective validation. The study is conceptual and methodological; numerical examples are hypothetical and do not demonstrate achieved savings or validated interval extension.

Keywords. recalibration interval, pressure sensor, prediction, risk, conformity assessment, intermediate checks.

KIRISH.

Qayta kalibrlash intervali juda qisqa bo‘lsa, xizmat ko‘rsatish xarajati va uskunaning to‘xtash vaqti ortishi mumkin. Juda uzun interval esa metrologik tavsiflarning ruxsat etilgan chegaradan chiqishini kech aniqlash ehtimolini

ISSN 3030-3907

oshiradi. Optimal tanlov eng uzun muddatni topish bilan teng emas. U metrologik talabni qanoatlantirgan holda xarajat va ekspluatatsiya ehtiyojlari o‘rtasidagi asoslangan yechimni izlaydi.

ILAC-G24 / OIML D 10 qo‘llanmasi barcha vositalar uchun yagona eng yaxshi interval usuli mavjud emasligini, tarixiy ma’lumot va oraliq tekshiruvlar zarurligini ko‘rsatadi [1]. Mazkur maqolada bu tamoyil bosim datchiklari uchun tekshiriladigan prognoz algoritmiga aylantiriladi. Olingan interval universal tavsiya sifatida emas, muayyan datchik va vazifa uchun asoslangan taklif sifatida qaraladi.

Maqsad metrologik drift modelidan foydalanib nomzod intervallarni baholash, sifat cheklovidan o‘tganlarini saralash va xizmat ko‘rsatish siyosatini tanlashdir. Datchikning ma’lumotnoma aniqligi, texnologik jarayon uchun ruxsat etilgan og‘ish va laboratoriya noaniqligi bir xil kattalik emas. Avval foydalanish vazifasi uchun talab belgilanadi, keyin datchik hamda butun o‘lchash kanalining unga mosligi tekshiriladi.

Bir xil konstruksiyadagi datchiklar turli vazifalarda ishlatilishi mumkin. Faqat kuzatuv uchun ishlaydigan asbob bilan boshqarish konturidagi asbobga bir xil yo‘l qo‘yiladigan xato ehtimoli berish shart emas. Biroq risk chegarasi natijaga qarab keyin tanlanmaydi. U jarayonning metrologik ehtiyoji va qaror oqibatlariga mos ravishda tadqiqot boshida hujjatlashtiriladi. Maqolada universal risk foizi belgilanmaydi.

Normativ hujjat yoki majburiy metodika intervalni aniq belgilagan bo‘lsa, model ushbu talabni o‘z-o‘zidan bekor qilmaydi. Model kalibrlash intervalini baholaydi; u qonuniy qiyoslash muddatini avtomatik almashtirmaydi. Bu ikki xizmatning mazmuni va qo‘llanishi tegishli tizimda alohida aniqlanadi. Mazkur ish mahalliy huquqiy muddatlar haqida da’vo qilmaydi va universal majburiy jadval taklif etmaydi.

Taklif etilayotgan usulning ilmiy savoli prognoz noaniqligini hisobga olgan interval qaysi sharoitlarda oddiy tarixiy o‘rtacha yoki doimiy jadvaldan ishonchliroq qaror beradi degan savoldir. Javob keyingi davrlarning haqiqiy natijalari bilan tekshiriladi. Hozirgi maqola matematik tuzilma va tekshiruv dasturini beradi; real korxonada xarajat kamaygani haqida natija taqdim etmaydi.

Muvofiqlik chegarasi va prognoz mezoni.

Muvofiqlik sohasi bosim va foydalanish sharoiti bo‘yicha aniqlanadi. Datchikning e(p,t,z) xatoligi p bosim, t vaqt va z muhit ko‘rsatkichlariga bog‘liq ifodalanadi. Ruxsat etilgan chegara E(p,z) bir xil bosim birligida yoki aniq belgilangan foiz bazasida olinadi. Chegara o‘qish qiymatiga nisbatan berilgan bo‘lsa, uni to‘liq shkala foizi deb qabul qilish mumkin emas.

ISSN 3030-3907

Amaliy konservativ saralash uchun max_(p,z){[|ê(p,t,z)| + U_pred(p,t,z)]/E(p,z)} ≤ 1 mezoni ko‘rib chiqiladi. Bu ifodada E(p,z) musbat va har bir nuqtada o‘z chegarasi qo‘llanadi. U_pred tanlangan qamrov darajasidagi prognoz zaxirasidir. U faqat kalibrlash sertifikatidagi o‘zgarmas noaniqlikni anglatmaydi; model va kelajak driftga tegishli hissalar asoslangan holda kiritiladi.

Mezon intervalning faqat oxirida emas, 0 dan T gacha bo‘lgan vaqtlar bo‘yicha tekshiriladi. Drift bir yo‘nalishda monoton o‘sishi isbotlangan soddalashtirilgan holatda oxirgi nuqta eng yomon bo‘lishi mumkin. Ammo qaytuvchan harorat ta’siri yoki trend yo‘nalishi almashsa, o‘rtadagi vaqtda katta xatolik paydo bo‘lishi ehtimoli bor. Shuning uchun umumiy holatda butun prognoz yo‘li baholanadi.

Prognoz oralig‘ining har bir nuqtada 95 foizlik qamrovi butun diapazon va interval uchun 95 foizlik qamrov bilan teng emas. Ko‘p nuqtalarni birga baholashda ularning korrelyatsiyalari va birgalikdagi qamrov hisobga olinadi. Simulyatsiya qo‘llansa, parametrlar va vaqt bo‘yicha jarayon o‘zgaruvchanligi birgalikda namunalashtiriladi. Bir-biridan mustaqil nuqtalar yasash haqiqiy datchik xatti-harakatini noto‘g‘ri ifodalashi mumkin.

Muvofiqlik qarorida noaniqlik sababli noto‘g‘ri qabul qilish va noto‘g‘ri rad etish ehtimollari mavjud. JCGM 106 ushbu bog‘liqlikni baholashga metodik asos beradi [3]. Maqoladagi konservativ zaxira aniq kelishilgan qaror qoidasi sifatida hujjatlashtiriladi. |ê| + U ≤ E sharti istalgan taqsimot uchun bir xil riskni avtomatik kafolatlamaydi; ehtimoliy talqin model farazlariga bog‘liq.

O‘lchash kanalidagi qolgan elementlar ham foydalanishdagi xatolik chegarasiga hissa qo‘shsa, faqat datchikni modellashtirish yetarli emas. Signal o‘qilishi, sozlama, harorat tuzatmasi va kanal hisoblash koeffitsiyenti hisobga olinadi. Datchikning alohida kalibrlanishi butun kanal muvofiqligi haqida yakuniy qaror bo‘la olmaydi. Qaror sohasi model sohasi bilan mos bo‘lishi kerak.

Risk bilan cheklangan optimallashtirish modeli.

Vaqtning aniq t nuqtasidagi chegaradan chiqish ehtimoli r(t) = Pr{∃p,z: |e(p,t,z)| > E(p,z) | D} tarzida belgilanadi. D mavjud tarixiy ma’lumotni bildiradi. Butun interval davomida kamida bir marta chiqish ehtimoli esa R(T) = Pr{∃t ∈ [0,T],p,z: |e(p,t,z)| > E(p,z) | D} ko‘rinishida yoziladi. Bu ikki ehtimol bir xil emas; r(T) interval bo‘yicha riskni har doim to‘liq ifodalamaydi.

Nomzod intervallar uchun R(T) ≤ α sharti qo‘yiladi. α oldindan belgilangan qabul qilinadigan ehtimol chegarasidir. Simulyatsiyada har bir yo‘l bo‘yicha chegaradan chiqish hodisasi tekshiriladi va uning ulushi baholanadi. Simulyatsiya soni bilan bog‘liq statistik noaniqlik ham qayd etiladi. Kam yo‘l sonida nol buzilish kuzatilishi haqiqiy risk nol ekanini bildirmaydi.

ISSN 3030-3907

Xarajatning soddalashtirilgan vaqt birligiga keltirilgan modeli J(T) = C_cal/T + C_stop/T + (c_bad/T)∫₀ᵀr(t)dt + C_check(T)/T ko‘rinishida taklif etiladi. C_cal kalibrlash, C_stop rejalashtirilgan to‘xtash, c_bad esa nomuvofiq holatda ishlashning vaqt birligiga baholangan oqibat xarajatidir. C_check(T) intervaldagi tekshiruv xarajatini ifodalaydi. Model kutilayotgan nomuvofiq ishlash vaqtiga asoslanadi; u kamida bir marta buzilish hodisasining xarajati bilan teng emas.

Agar oqibat alohida hodisa bilan bog‘liq baholansa, tegishli hodisa modeli va ehtimoli alohida tanlanadi. Bir ehtimolni turli xarajat formulalariga ma’nosini o‘zgartirmasdan qo‘shish noto‘g‘ri. Xarajatlar mavjud bo‘lmaganda faqat risk chekloviga mos interval sohasi ko‘rsatiladi. Soxta iqtisodiy narxlar bilan optimal muddat topilganini da’vo qilish o‘rniga xarajatlar bo‘yicha ssenariy yoki sezgirlik tahlili rejalashtiriladi.

Optimallashtirish T* = argmin J(T) sharti bilan, R(T) ≤ α, T_min ≤ T ≤ T_max hamda tegishli tashkiliy cheklovlar doirasida bajariladi. T_max modelning validatsiya gorizontidan uzun bo‘lmasligi lozim. Nomzodlar korxonadagi xizmat ko‘rsatish oynalariga mos bo‘lishi mumkin. Biroq rejalashtirish qulayligi sifat cheklovini buzishga asos bo‘lmaydi.

Model har bir kalibrlash sikli bir xil boshlang‘ich holatga qaytadi deb avtomatik faraz qilmaydi. Sozlash bajarilmagan asbobda keyingi sikl oldingi xatolik darajasidan boshlanadi. Shu sababli J(T) joriy holatdan kelgusi muddatni tanlashning cheklangan modeli sifatida ishlatiladi. Uzoq muddatli takrorlanuvchi siyosat uchun holat o‘tishlari, ta’mirlash va sozlash ta’siri alohida modellashtiriladi.

Intervalni hisoblash va yangilash algoritmi.

Algoritmning birinchi bosqichida datchik holati pasportlanadi. Oxirgi sozlashdan keyingi yoki sozlash bo‘lmagan holatdagi haqiqiy boshlang‘ich xatolik, uning noaniqligi va foydalanish sohasi belgilanadi. Ikkinchi bosqichda tarixiy model quriladi va validatsiya gorizonti aniqlanadi. Uchinchi bosqichda nomzod intervallar metrologik hamda ehtimoliy mezonlardan o‘tkaziladi. Faqat cheklovlarni bajargan variantlar iqtisodiy saralashga kiritiladi.

Shartli tasviriy misolda E = 0,25 %FS, e_0 = 0,04 %FS va konservativ drift v = 0,018 %FS/oy olinadi. Prognoz zaxirasi U(t) = 0,03 + 0,002t %FS bo‘lsa, e_0 + vt + U(t) ≤ E tengsizlik t ≤ 9 oy beradi. Demak, shu soddalashtirilgan monoton holatda 6 va 9 oy nomzodlari o‘tadi, 12 oy esa o‘tmaydi. Bu hisob tasdiqlangan sanoat intervali yoki α bo‘yicha aniq risk bahosi emas.

Risk modeli uchun vaqt yo‘llari va butun bosim diapazoni alohida baholanadi. Agar ma’lumot ehtimoliy baholash uchun yetarli bo‘lmasa, yuqoridagi deterministik zaxira faqat konservativ saralash sifatida ishlatiladi. Unga istalgan α

ISSN 3030-3907

qiymati avtomatik biriktirilmaydi. Hisobotda tanlangan usul qaysi turdagi qarorni qo‘llab-quvvatlashi aniq yoziladi.

Oraliq tekshiruv sanasida yangi ma’lumot kelganda model bahosi yangilanadi. Yangilangan prognoz chegaraga oldinroq yetishini ko‘rsatsa, qolgan muddat qisqartiriladi. Intervalni uzaytirish esa yangi dalil, model qamrovi va tegishli qaror tartibiga asoslanadi. Nol nuqtadagi yaxshi natija butun diapazonda muddat uzaytirish uchun yetarli bo‘lmasligi mumkin. Tekshiruv nuqtalari oldindan belgilangan vazifalarni qamrab oladi.

Ortiqcha bosim, ta’mirlash, o‘rnatish joyi o‘zgarishi yoki signal shkalasini qayta sozlash kabi hodisalarda oldingi modelning qo‘llanish sohasi tekshiriladi. Hodisa metrologik holatni o‘zgartirsa, qo‘shimcha tekshiruv yoki yangi boshlang‘ich baho talab etilishi mumkin. Oddiy kalendar hisobini davom ettirishning o‘zi yetarli emas. Ushbu hodisalar interval algoritmida qayta baholash sabablari sifatida belgilanishi tavsiya etiladi.

Natija kartasida taklif etilgan muddat, amaldagi muddat, ma’lumot davri, prognoz gorizonti, qo‘llangan chegara va qaror mezoni ko‘rsatiladi. Hisoblangan muddat ruxsat etilgan xizmat sanalariga moslashtirilganda cheklovlar qayta tekshiriladi. Modellash natijasi bilan tashkiliy qaror alohida qayd qilinadi. Shunday qilib algoritm faqat son emas, qayta tekshiriladigan dalillar zanjirini beradi.

Usulni tekshirish va amaliy joriy etish.

Usulning samarasi tarixiy ma’lumotda retrospektiv sinovdan boshlanadi. Har bir tanlangan sanada faqat o‘sha paytgacha mavjud natijalar bilan interval taklif qilinadi. Keyingi kalibrlash natijalari shu taklif bilan solishtiriladi. Kelajakdagi ma’lumotni oldingi qaror uchun yashirin ishlatish taqiqlanadi. Bu sinov haqiqiy kelajak qaror sharoitini imkon qadar yaqinlashtiradi.

Taqqoslash bazasi sifatida amaldagi doimiy interval va oldindan belgilangan sodda moslashuvchan qoida olinishi mumkin. Har bir siyosat uchun kalibrlashlar soni, aniqlangan nomuvofiqliklar va mavjud ma’lumot bilan baholanadigan xizmat xarajati solishtiriladi. Agar faqat kalibrlash sanalaridagi holat ma’lum bo‘lsa, interval ichidagi aniq buzilish vaqti kuzatilmagan bo‘ladi. Uni haqiqiy o‘lchangan vaqt sifatida ko‘rsatish mumkin emas.

Prospektiv bosqichda model amaldagi jadvalni dastlab o‘zgartirmagan holda tavsiya ishlab chiqarishi mumkin. Har bir keyingi natijada prognoz to‘g‘riligi va qamrov tekshiriladi. Yetarli dalil to‘plangach, tegishli tartib asosida cheklangan guruhda siyosat sinovdan o‘tkaziladi. Joriy etishning muvaffaqiyati faqat kalibrlashlar kamayishi bilan emas, metrologik talabning bajarilishi bilan baholanadi.

Sezgirlik tahlili ruxsat etilgan chegara, qiyalik noaniqligi, prognoz gorizonti va xarajat baholari o‘zgarganda interval qanday almashishini ko‘rsatadi. Eng qulay

ISSN 3030-3907

bitta ssenariyga tayangan qaror barqaror bo‘lmasligi mumkin. Model murakkabligi oshganda interval qisqarmasa yoki prognoz qamrovi yaxshilanmasa, qo‘shimcha murakkablikning foydasi qayta baholanadi. Sodda model validatsiyada yaxshiroq chiqsa, u afzal tanlanadi.

Bir necha datchikni umumiy guruh sifatida baholash xizmat rejalashtirishni yengillashtiradi, ammo individual farqni yashirmasligi kerak. Guruh intervali eng muhim foydalanish sharoitlari va beqarorroq asboblar bilan tekshiriladi. Guruhdagi o‘rtacha barqarorlik har bir datchik uchun kafolat bo‘la olmaydi. Nosozlik tufayli chiqarilgan asboblar ma’lumotini saqlash tanlanma og‘ishini kamaytiradi.

Ma’lumotlar bazasi versiyasi, model koeffitsiyentlari va qaror tarixi saqlanadi. Keyingi tekshiruvda natija yomon bo‘lsa, faqat intervalni qisqartirish bilan cheklanmay, model farazlari ham tekshiriladi. Muhit o‘zgarishi, etalon almashtirilishi yoki sozlash hodisasi sabab bo‘lishi mumkin. Usulning yakuniy mahsuli intervalni doimiy ravishda uzaytiruvchi dastur emas, metrologik holatga mos muddatni tanlaydigan kuzatuv tizimidir.

XULOSA.

Qayta kalibrlash muddatini optimallashtirishda xatolik prognozi, prognoz noaniqligi, butun interval bo‘yicha chegaradan chiqish ehtimoli va xizmat xarajati ajratib belgilandi. Nomzodlar avval metrologik cheklovlardan, so‘ng iqtisodiy saralashdan o‘tkaziladi. Kalibrlashning o‘zi datchik holatini yangilab yoki xatolikni nolga qaytarib yubormasligi modelda hisobga olinadi. Oraliq tekshiruv va holat o‘zgarish hodisalari intervalni qayta baholashga asos bo‘ladi.

Taklif etilgan algoritmning samarasi retrospektiv hamda prospektiv sinov bilan isbotlanishi kerak. Shartli misolda olingan 9 oy real datchik uchun tavsiya emas. Muayyan intervalning qabul qilinishi haqiqiy ma’lumot, validatsiya sohasi, foydalanish vazifasi va tegishli qaror tartibiga bog‘liq.

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).
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).

ISSN 3030-3907