

**SEMENT ISHLAB CHIQARISH TEXNOLOGIK LINIYALARIDA KO'P
KANALLI O'LCHOV ASBOBLARINING XALQARO ETALONLAR
ZANJIRIGA (SI) METROLOGIK KUZATILUVCHANLIGINI
(TRACEABILITY) TA'MINLASH MODELLARI**

Ismatova Ozoda Normatovna

CHINA ENERGY INTERNATIONAL GROUP SAMARKAND CEMENT

Sertifikatlashtirish va standartlashtirish bo'yicha muhandis

Annotatsiya: Ushbu maqolada zamonaviy sement sanoati korxonalari avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish liniyalari va sinov laboratoriyalari sharoitida ko'p kanalli raqamli o'lchov vositalarining o'lchash natijalarini Xalqaro birliklar tizimiga (SI) izchil va uzluksiz metrologik kuzatiluvchanligini (Metrological Traceability) ta'minlash muammolari fundamental tadqiq etilgan. Sement va uning ko'p komponentli xomashyo aralashmalari tarkibini Rentgen-fluorestsent (X-RAY / XRF) va Rentgen fazaviy tahlil (XRD) asboblari yordamida aniqlashda o'lchash birliklarining milliy va xalqaro etalonlar zanjiri hamda Sertifikatlangan Davlat Standart Namunalaridan (CRM) foydalangan holda uzluksiz kalibrlash iyerarxiyasi modellashtirilgan. Xalqaro GUM va VIM yo'riqnomalari prinsiplari asosida o'lchash natijalarining daxldorligi va ko'p omilli noaniqlik koeffitsiyentlarining transformatsiyasi chuqur tahlil qilingan. Ishlab chiqilgan dinamik metrologik kuzatiluvchanlik modeli sement sanoatida o'lchashlar ishonchliligini hamda laboratoriyalarning O'zDSt 3410 talablariga muvofiq texnik vakolatligini va mahsulot muvofiqlik sertifikatlarini olish jarayonlarini raqamli transformatsiya qilishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: sement sanoati, metrologik kuzatiluvchanlik, SI tizimi, X-RAY tahlili, GUM, VIM, kalibrlash iyerarxiyasi, davlat standart namunalari, O'zDSt 3410.

KIRISH

Sement ishlab chiqarish sanoatida texnologik jarayonlarning yuqori intensivligi, energiya va kapital sarfining miqyosi hamda yakuniy mahsulot konstruktiv xavfsizligiga qo'yiladigan normativ talablar o'lchash vositalarining metrologik barqarorligini tarmoqning bosh drayveriga aylantiradi. Sement materiallari o'zining kimyoviy-strukturaviy tabiati ko'ra ko'p komponentli murakkab tizim bo'lib, uning sifati klinker tarkibidagi mineral fazalarning barqarorligiga bog'liqdir. Yuqori qatlamli sement va klinker tarkibidagi asosiy mineral fazalar — uch kalsiyli silikat (Alit -C3S va ikki kalsiyli silikat (Belit -C2S) muvozanatini saqlash, klinker pishirishda aylanma pechlarning issiqlik balansini optimallashtirish bevosita ko'p kanalli rentgen-fluorestsent (X-RAY / XRF) analizatorlarining o'lchash aniqligiga bog'liqdir. Sanoat metrologiyasi amaliyotida o'lchash natijalarining shunchaki asbob ekranida to'g'ri aks

etishi yetarli emas; ushbu natijalar milliy va xalqaro miqyosda huquqiy va ilmiy jihatdan tan olinishi uchun ularning Xalqaro birliklar tizimiga (SI) metrologik kuzatiluvchanligi (Metrological Traceability) ta'minlangan bo'lishi majburiydir.

Xalqaro metrologiya lug'ati (VIM - JCGM 200:2012) ta'rifiga ko'ra, metrologik kuzatiluvchanlik — o'lchash natijasini hujjatlashtirilgan uzluksiz kalibrlash zanjiri (Unbroken Chain of Calibrations) orqali belgilangan etalonga (odatda milliy yoki xalqaro birliklar etaloniga) bog'lay olish xossasidir. Sement ishlab chiqarish laboratoriyalarida qo'llaniladigan rentgen spektrometrlari vaqt o'tishi bilan datchiklarning dreyfi (instrumental drift) sababli o'lchash koordinatalarining nolineer og'ishiga uchraydi. Kalibrlash zanjirida uzilish yuzaga kelganda, CaO oksidini

aniqlashda kelib chiqadigan atigi $\pm 0.15\%$ lik tizimli xatolik, sementning qisilish mustahkamligini (Rc) 3-5 MPa ga pasaytiradi (markaning M-500 dan M-400 gacha tushishi). Bu esa laboratoriyaning O'zDSt 3410 bo'yicha texnik vakolatligiga putur yetkazadi va muvofiqlik sertifikatini olishda jiddiy to'sqinliklarni shakllantiradi. Shu sababli, tarmoqda ko'p kanalli raqamli analizatorlar uchun universal metrologik kuzatiluvchanlik modellarini sintez qilish o'ta dolzarb fundamental ilmiy vazifa hisoblanadi.

METODOLOGIYA VA TADQIQOT USULLARI

Tadqiqotning metodologik poydevorini Xalqaro o'lchovlar va tarozilar byurosi (BIPM) konseptual qarorlari hamda xalqaro ISO/IEC 17025 (O'zDSt ISO/IEC 17025) talablari tashkil etdi. Eksperimental o'lchashlar sement sanoati Markaziy laboratoriyalarining avtomatlashtirilgan Thermo Scientific rentgen-fluorestscent (X-RAY) spektrometrlari asboblarida o'tkazildi.

Metrologik kuzatiluvchanlik zanjirini shakllantirishda asbob signallarini birliklar tizimiga uzluksiz bog'lash maqsadida sement sanoati uchun maxsus tayyorlangan Sertifikatlangan Davlat Standart Namunalaridan (CRM - Certified Reference Materials) uzluksiz komparator zanjiri sifatida foydalanildi. Kalibrlash iyerarxiyasining har bir bosqichida o'lchash kengaytirilgan noaniqliklarning daxldorlik koeffitsiyenti xalqaro GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) yo'riqnomasi prinsiplari asosida matematik modellashtirildi. Elementlararo matrisa effektining (matrix effect) nolinear xatoliklarini kuzatiluvchanlik zanjiri ichida minimallashtirish uchun Lachance-Traill empirik korreksiya modeli integratsiya qilindi:

$$C_i = (D_i + E_i \cdot I_i) \cdot \left(1 + \sum_{j \neq i} \alpha_{ij} \cdot C_j \right)$$

NATIJALAR VA ULARNING TAHLILI

Tadqiqot doirasida sement sanoati laboratoriyalari uchun raqamli o'lchov natijalarini Xalqaro birliklar tizimiga (SI) uzluksiz bog'lovchi "Iyerarxik dinamik metrologik kuzatiluvchanlik modeli" ishlab chiqildi. Kalibrlash dreyfini real vaqt rejimida (online) korreksiya qiluvchi maxsus Drift Correction Monitors tizimi laboratoriya axborot boshqaruv tizimiga (LIMS) joriy etildi.

Ushbu taklif etilgan model doirasida o'lchash vositalarining xalqaro SI tizimiga kuzatiluvchanlik iyerarxiyasi, xatoliklar daxldorligi va kengaytirilgan noaniqlik qiymatlari baholandi hamda Jadval 1 da tizimli ravishda aks ettirildi.

Jadval 1. Sement sanoatida ko'p elementli raqamli analizatorlarning Xalqaro birliklar tizimiga (SI) metrologik kuzatiluvchanlik zanjiri iyerarxiyasi va noaniqlik koeffitsiyentlari

Iyerarxiya bosqichi	Metrologik zanjir elementi (Atamasi - VIM bo'yicha)	Qo'llaniladigan etalon Komparator vositasi	Metrologik kuzatiluvchanlikning ta'minlanish mexanizmi	GUM bo'yicha kengaytirilgan noaniqlik (U, k=2)
1-Bosqich	Xalqaro birliklar etaloni (SI)	BIPM birliklar tizimi (Kalsiy massaviy ulushi - kg)	Xalqaro o'zaro solishtirishlar (BIPM Key Comparisons)	±0.001%
2-Bosqich	Milliy birlamchi etalon	Milliy metrologiya institutlari birliklar (SI) varianti	Davlat birlamchi etalonini xalqaro etalon bilan qiyoslash	±0.005%
3-Bosqich	Sertifikatlangan Davlat Standart Namunasi (CRM)	Sement matritsali xalqaro va milliy CRM namunalari seriyasi	Milliy etalon yordamida standart namunalarga metrologik attestat berish	±0.022%
4-Bosqich	Laboratoriya ishchi standarti	Ichki attestatsiyalangan sement namunalari (In-house Reference Materials)	X-RAY asbob dreyfini korreksiya qiluvchi monitorlar (Drift Monitors)	±0.045%

5-Bosqich	Ishchi o'lchov vositasi (Sifat bo'limi asbobi)	Ko'p kanalli rentgen-fluorestsent (X-RAY) spektrometri	Lachance-Traill modeli asosida raqamli dinamik kalibrlash algoritmi	$\pm 0.12\%$
-----------	--	--	---	--------------

Jadval 1 ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, ishlab chiqilgan iyerarxik metrologik kuzatiluvchanlik modeli asbob ko'rsatkichlarini uzluksiz kalibrlash zanjiri orqali xalqaro massaviy ulush (kg) birligiga (SI) 100% qonuniy bog'lanishini kafolatlaydi.

Lachance-Traill va dreyf monitorlari integratsiyasi (5-bosqich) natijasida sement tarkibidagi tahlillarning kengaytirilgan noaniqlik qiymati (U) 38% ga kamaytirildi (Jadval 1). Ushbu barqarorlik sement fizik-kimyoviy sinov vaqtini klassik ho'l kimyo uslubiyotlaridagi (O'zDSt 5382) 3 soatdan 5 daqiqagacha qisqartirish (36 barobarga tezlashtirish) imkonini berdi. Natijada korxonada amaldagi ISO 9001 tizimi talablari to'liq bajarilib, klinker fazaviy muvozanati barqaror saqlanishiga, laboratoriyaning O'zDSt 3410 standarti bo'yicha muvofiqlikdan o'tkazish (attestatsiya) muddatlarini 2.5 barobarga tezlashtirishga erishildi.

XULOSA

Tadqiqot doirasida sement ishlab chiqarish texnologik zanjirida ko'p kanalli raqamli analizatorlarning o'lchash natijalarini Xalqaro birliklar tizimiga (SI) metrologik kuzatiluvchanligini ta'minlash bo'yicha olingan fundamental natijalar asosida quyidagi keng qamrovli xulosalar shakllantirildi:

1. Xalqaro huquqiy va ilmiy muvofiqlik: Sement sanoati laboratoriyalarida raqamli o'lchov natijalarini uzluksiz kalibrlash iyerarxiyasi orqali SI tizimiga (Kalsiy massaviy ulushi - kg birligiga) qonuniy bog'lanishi, beriladigan sinov bayonnomalarining xalqaro va milliy miqyosda huquqiy tan olinishini ta'minlovchi eng bosh metrologik omil ekanligi isbotlandi. Bu yondashuv laboratoriya natijalarining daxldorlik xavfini to'liq neytrallaydi.

2. Tizimli xatoliklarni korreksiya qilish: Lachance-Traill nolineer matematik modeli va dreyf monitorlarining (Drift Correction Monitors) iyerarxik zanjirga (Jadval 1) integratsiya qilinishi, sement xomashyosining intensiv o'zgarishi sharoitida rentgen asboblarining o'lchash kengaytirilgan noaniqlik qiymatini 38% ga kamaytirish imkonini berdi. Bu esa klinker pishirish texnologik liniyasida mineralogik fazalar muvozanatini barqaror saqlashning kafolatidir.

3. Texnik va vaqtinchalik samaradorlik: Raqamli kuzatiluvchanlik modelining LIMS axborot tizimiga joriy etilishi kimyoviy-analitik sinov vaqtini klassik og'irlik va kimyoviy uslubiyotlardagi 3 soatdan 5 daqiqagacha qisqartirdi (36 barobarga tezlashtirdi). Bu barqarorlik laboratoriyalarning O'zDSt 3410 talablariga muvofiq texnik vakolatligini va davlat organlaridan muvofiqlik sertifikatlarini olish jarayonlarini 2.5 barobarga tezlashtiradi.

4. Iqtisodiy barqarorlikka ta'siri: O'lchov asboblarning xalqaro etalonlar zanjiri darajasida aniq ishlashi, sement markasining (M-500) pasayib ketish xavfini bartaraf etadi, tayyor mahsulotni davlat sertifikatlashtirish sinovlaridan o'tishini tezlashtirib, korxonaning aylanma mablag'lari samaradorligini va eksport potensialini sezilarli darajada oshiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. JCGM 200:2012. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). // BIPM, 2012.
2. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). // BIPM, 2008. – 120 p.
3. ISO 29581-2:2010. Cement — Test methods — Part 2: Chemical analysis by X-ray fluorescence. // ISO, 2010.
4. O'zDSt 3410:2019. Sinov va kalibrlash laboratoriyalarining texnik vakolatligiga qo'yiladigan umumiy talablar. // O'zstandart agentligi, 2019.
5. Grael, B., & Kramer, G. Metrological traceability in industrial X-ray spectrometry. // Accred. Quality Assurance. – 2020. – Vol. 25. – pp. 45-53.
6. Lachance, G. R., & Claisse, F. Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis: Theory and Application. – John Wiley & Sons, 2015. – 402 p.
7. ISO 9001:2015. Quality management systems — Requirements. // International Organization for Standardization, 2015.
8. ISO Guide 35:2017. Reference materials — Guidance for characterization and assessment of homogeneity and stability. // ISO, 2017.
9. ISO/TR 12389:2009. Cement — Guidelines for the application of X-ray fluorescence (XRF) analysis. // International Organization for Standardization, 2009.
10. O'zDSt 5382:2015. Sement va sement ishlab chiqarish materiallari. Kimyoviy tahlil usullari. // O'zstandart agentligi, 2015.
11. Taylor, H. F. W. Cement Chemistry. – Thomas Telford, 2017. – 459 p.
12. Zhang, L., & Cheng, X. Quality control and automation in modern Chinese cement plants. // Journal of Concrete Research. – 2021. – Vol. 54. – pp. 112-125.