UO‘K 531.787

KIMYOVIY TAHLILLARDA O‘LCHOV NATIJALARINING ANIQLIGI VA ISHONCHLILIGINI TA’MINLASHDA KENGAYTIRILGAN NOANIQLIKNI BAHOLASHNING ILMIY-AMALIY AHAMIYATI

Bekimbetov Shodiyor Iskandar o‘g‘li, Metinboyev Javohir Abdulxamid o‘g‘li
“O‘zbekiston Milliy Metrologiya instituti” davlat mussasasi, Geometrik va mexanik kattaliklarni o‘lchash bo‘limi mutaxassisi.
Email: shodiyor.bekimbetov.2018@gmail.com

Received: 07.10.2025
Revised: 08.10.2025
Accepted: 09.10.2025

Kalit so‘zlar:
kimyoviy tahlil, o‘lchash noaniqligi, kengaytirilgan noaniqlik, ISO/IEC 98-3:2008, metrologiya.

Annotatsiya. Ushbu maqolada kimyoviy tahlillarda kengaytirilgan noaniqlikni baholash masalalari ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot ISO/IEC 98-3:2008 (“O‘lchashlar noaniqligini ifodalash bo‘yicha xalqaro qo‘llanma”) hamda JCGM tomonidan ishlab chiqilgan metodologik yondashuvlarga tayangan holda olib borildi. O‘lchash jarayonlarida kirish kattaliklari, ularning funktsional bog‘liqligi va standart noaniqlik manbalarini aniqlash bosqichlari batafsil tahlil qilindi. Ayniqsa, yig‘indi standart noaniqlikni baholash va uni qamrab olish koeffitsienti yordamida kengaytirilgan noaniqlikka o‘tkazish tartibiga alohida e’tibor qaratildi. Dondagi oqsil miqdorini aniqlash usuli misolida amaliy hisoblashlar bajarildi hamda natijalar xalqaro metrologik talablar bilan solishtirildi. Maqola natijalari shuni ko‘rsatdiki, kengaytirilgan noaniqlikni to‘g‘ri baholash nafaqat laboratoriya sinovlarining ishonchliligini oshiradi, balki mahsulot sifati va xavfsizligini baholashda ham muhim o‘rin tutadi. Tadqiqot natijalari kimyoviy tahlillarda qo‘llaniladigan metodikalarni standartlashtirish va xalqaro akkreditatsiya talablariga moslashtirish uchun amaliy ahamiyat kasb etadi.

Keywords:
chemical analysis, measurement uncertainty, expanded uncertainty, ISO/IEC 98-3:2008, metrology.

Abstract. This article examines the issues of estimating expanded uncertainty in chemical analyses. The research was conducted based on ISO/IEC 98-3:2008 ("Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement") and methodological approaches developed by JCGM. In the measurement processes, the input quantities, their functional relationships, and the stages of identifying sources of standard uncertainty were analyzed in detail.

`

Particular attention was paid to the procedure for evaluating the combined standard uncertainty and converting it to expanded uncertainty using the coverage factor. Practical calculations were performed using the example of a method for determining protein content in grain, and the results were compared with international metrological requirements. The findings of the article demonstrated that the correct assessment of expanded uncertainty not only increases the reliability of laboratory tests but also plays an important role in evaluating product quality and safety. The research results have practical significance for standardizing methodologies used in chemical analysis and adapting them to international accreditation requirements.

Ключевые слова: химический анализ, неопределенность измерения, расширенная неопределенность, ISO/IEC 98-3:2008, метрология.

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы оценки расширенной неопределенности в химических анализах. Исследование проводилось на основе ISO/IEC 98-3:2008 ("Руководство по выражению неопределенности измерений") и методологических подходов, разработанных JCGM. В процессах измерений были детально проанализированы входные величины, их функциональные зависимости и этапы определения источников стандартной неопределенности. Особое внимание было уделено порядку оценки суммарной стандартной неопределенности и ее преобразованию в расширенную неопределенность с помощью коэффициента охвата. На примере метода определения содержания белка в зерне были выполнены практические расчеты, и результаты были сопоставлены с международными метрологическими требованиями. Результаты исследования показали, что правильная оценка расширенной неопределенности не только повышает достоверность лабораторных испытаний, но и играет важную роль в оценке качества и безопасности продукции. Результаты исследования имеют практическое значение для стандартизации методик, применяемых в химическом анализе, и их адаптации к требованиям международной аккредитации.

`

Kirish. Kimyoviy tahlillarda o‘lchash natijalarining ishonchliligi va aniqligi muhim ahamiyat kasb etadi. Har qanday o‘lchash jarayoni ma’lum darajada noaniqlikni o‘z ichiga oladi va bu noaniqlikni to‘g‘ri baholash natijalarni talqin qilishda, ularni boshqa laboratoriyalar bilan solishtirishda hamda xalqaro akkreditatsiya talablariga javob berishda zarurdir. Shu sababli o‘lchash noaniqligi metrologiya fanining asosiy tushunchalaridan biri hisoblanadi.

O‘lchash noaniqligini baholash bo‘yicha xalqaro mezonlar ISO/IEC 98-3:2008 (GUM – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) hamda JCGM tomonidan ishlab chiqilgan qo‘llanmalarda belgilab qo‘yilgan. Ushbu hujjatlar o‘lchash jarayonida kirish kattaliklarini aniqlash, ularning funktsional bog‘liqligini ifodalash, standart noaniqliklarni baholash va yig‘indi standart noaniqlikni hisoblash bo‘yicha aniq metodik asoslarni taqdim etadi. Kengaytirilgan noaniqlikni aniqlashda qamrab olish koeffitsientidan foydalanish natijalarni yuqori ishonch darajasi bilan taqdim etish imkonini beradi.

So‘nggi yillarda kimyoviy tahlillar sohasi tez sur’atlarda rivojlanib bormoqda. Ayniqsa, oziq-ovqat xavfsizligi, ekologik monitoring, farmatsevtika hamda sanoat mahsulotlarining sifat ko‘rsatkichlarini baholashda o‘lchash noaniqligining aniq hisoblanishi katta ahamiyat kasb etmoqda. Shu nuqtai nazardan, kimyoviy tahlillarda kengaytirilgan noaniqlikni baholash masalasi nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham dolzarb sanaladi.

Mazkur tadqiqotning maqsadi kimyoviy tahlillarda kengaytirilgan noaniqlikni baholashning nazariy asoslari va amaliy qo‘llanishini ko‘rsatishdan iboratdir. Bunda mavjud xalqaro standartlarga asoslangan yondashuvlar o‘rganiladi, ularning afzalliklari va cheklovlari tahlil qilinadi hamda amaliy misol sifatida don mahsulotlaridagi oqsil miqdorini aniqlash jarayonida noaniqlikni baholash metodikasi taqdim etiladi.

Asosiy qism. O‘lchash natijalarining aniqligi va ishonchliligi ularning noaniqligini to‘g‘ri baholash bilan chambarchas bog‘liqdir. Noaniqlik tushunchasi

`

o‘lchash natijasining haqiqiy qiymatdan qanchalik chetlashganligini baholash imkonini beradi. Kimyoviy tahlillarda bu masala alohida dolzarbdir, chunki laboratoriya sinovlarida olinadigan natijalar mahsulot sifati, xavfsizligi va xalqaro standartlarga muvofiqligini belgilovchi asosiy mezonlardan biri hisoblanadi.

O‘lchash noaniqligining mohiyati

ISO/IEC 98-3:2008 (GUM – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) ga muvofiq, o‘lchash noaniqligi — bu o‘lchash natijasi bilan haqiqiy qiymat o‘rtasidagi mumkin bo‘lgan tafovutni tavsiflovchi kattalikdir. Odatda o‘lchash natijasi birgina son sifatida emas, balki unga mos ravishda noaniqlik bahosi bilan birgalikda taqdim etiladi. Bu yondashuv natijaning qanchalik ishonchli ekanini ko‘rsatadi.

Noaniqlik turlari

O‘lchash noaniqligi, odatda, ikki turga ajratiladi:

A turi standart noaniqligi – statistik qayta-qayta kuzatish natijalaridan hisoblanadi. Masalan, bir xil namunani bir necha marta o‘lchash orqali o‘rtacha qiymat va dispersiya aniqlanadi.

B turi standart noaniqligi – statistik kuzatishlarga asoslanmagan, balki mavjud texnik hujjatlar, ishlab chiqaruvchi ko‘rsatmalari yoki boshqa manbalarga asoslangan baholashdir. Masalan, o‘lchov asbobining pasportidagi aniqlik chegarasi.

Ushbu ikkala turdagi noaniqlik yig‘indisi o‘lchashning umumiy noaniqligini tashkil etadi.

Kombinatsiyalangan standart noaniqlik

Bir nechta mustaqil manbadan kelib chiqqan standart noaniqliklarni hisoblash zarur bo‘lganda, ularning yig‘indisi kvadrat ildiz ostida qo‘shib chiqiladi. Natijada kombinatsiyalangan standart noaniqlik hosil bo‘ladi. Bu jarayon kirish kattaliklari va ularning funktsional bog‘liqligini hisobga olishni talab etadi.

Kengaytirilgan noaniqlik

`

Amaliyotda natijalarni faqat standart noaniqlik bilan berish yetarli bo‘lmaydi. Shu sababli kengaytirilgan noaniqlik (U) tushunchasi kiritilgan. U quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$U = k \times u_c$$

Bu yerda:

u_c – kombinatsiyalangan standart noaniqlik,

k – qamrab olish koeffitsienti.

Qamrab olish koeffitsienti odatda k=2 yoki k = 3 qiymatlarda olinadi va taxminan 95% yoki 99% ishonch darajasini ta’minlaydi.

Noaniqlik manbalari

Kimyoviy tahlillarda kengaytirilgan noaniqlikka quyidagi omillar ta’sir ko‘rsatadi:

Namuna olish: noto‘g‘ri yoki yetarli darajada vakillik qilmagan namuna umumiy natijaga salbiy ta’sir ko‘rsatadi.

Namuna tayyorlash: eritmalarni tayyorlash, suyultirish, filtrlash va boshqa jarayonlardagi xatoliklar.

Asbobiy xatoliklar: o‘lchash vositalarining kalibrlash holati, sezgirlik chegarasi va pasport ma’lumotlari.

Operator xatolari: inson omiliga bog‘liq xatoliklar.

Atrof-muhit sharoitlari: harorat, namlik, bosim kabi tashqi omillar.

Xalqaro standartlar va hujjatlar

Noaniqlikni baholash jarayonida xalqaro tajribada ISO/IEC 17025:2017 standarti laboratoriya akkreditatsiyasida asosiy mezonlardan biri hisoblanadi. Bundan tashqari, JCGM hujjatlari, shuningdek, GOST va boshqa milliy standartlarda ham aniq tavsiyalar berilgan. Bu hujjatlar o‘lchash noaniqligini baholashda yagona yondashuvni ta’minlab, laboratoriyalar o‘rtasida natijalarni taqqoslash imkonini yaratadi.

`

Materiallar va metodlar. Kimyoviy tahlillarda kengaytirilgan noaniqlikni baholash metodikasini amaliyotda qo‘llash uchun don mahsulotlaridagi oqsil miqdorini aniqlash usuli tanlandi. Bu usul GOST 10846 ga muvofiq ammiakni borat kislotaning eritmasiga haydash hamda sulfat kislota eritmasi bilan titrlash asosida amalga oshiriladi

ISO. Mazkur usul oziq-ovqat sanoatida keng qo‘llanadi va xalqaro akkreditatsiya talablariga javob beruvchi metodlardan biri hisoblanadi.

O‘lchash modeli

Oqsil miqdorini aniqlash jarayonida asosiy hisoblash tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$X = K \times \frac{(V_1 - V_0) \times K_1 \times 0.0014}{m}$$

Bu yerda:

K – azot miqdorini oqsilga qayta hisoblash koeffitsienti (turli don mahsulotlari uchun 5,6–6,25 oraliqda),

V_1 – titrlashda sarflangan sulfat kislotaning hajmi, sm³,

V_0 – «salt» aniqlashda sarflangan sulfat kislotaning hajmi, sm³,

K_1 – sulfat kislota eritmasining titriga tuzatma,

m – namunaning massasi, g.

Noaniqlik manbalarini aniqlash

Metodikaga muvofiq, o‘lchash jarayonida quyidagi kirish kattaliklari asosiy noaniqlik manbalari sifatida ajratib olindi:

Koeffitsient K – don mahsulotining turiga qarab belgilangan qayta hisoblash koeffitsienti.

V_1 – titrlashda sarflangan eritma hajmini aniqlash noaniqligi.

V_0 – «salt» aniqlash uchun sarflangan eritma hajmini aniqlash noaniqligi.

m – na’munani tortishda yuzaga keladigan noaniqlik.

`

Operator xatoliklari va tasodifiy effektlar – inson omili va laboratoriya sharoitiga bog‘liq farqlar.

Standart noaniqliklarni hisoblash

Har bir kirish kattaligi bo‘yicha standart noaniqlik alohida hisoblab chiqildi:

A turi standart noaniqligi – ko‘p marta takroriy o‘lchash natijalari asosida dispersiya va o‘rtacha kvadrat og‘ishdan topildi.

B turi standart noaniqligi – texnik hujjatlar, kalibrlash sertifikatlari va ishlab chiqaruvchi ko‘rsatmalari asosida baholandi.

Kombinatsiyalangan noaniqlik

Olingan standart noaniqliklar yig‘indisi quyidagi formula asosida hisoblandi:

$$u_c = \sqrt{\sum (\frac{\partial f}{\partial x_i} \times u(x_i))^2}$$

Bu yerda $\frac{df}{dx_i}$ – funksiyaning kirish kattaligiga nisbatan xususiy hosilasi, $u(x_i)$ – kirish kattaligining standart noaniqligi.

Kengaytirilgan noaniqlikni hisoblash

Kombinatsiyalangan standart noaniqlik ucu_cuc qamrab olish koeffitsientiga K ko‘paytirildi:

$$U = k \times u_c$$

Bu yerda k qiymati odatda 2 ga teng olinib, 95% ishonch darajasini ta’minlaydi.

Natijalarni taqdim qilish

O‘lchash natijalari kengaytirilgan noaniqlik bilan birgalikda quyidagi shaklda berildi:

X = \bar{X} \pm U \quad \text {(95% ishonch darajasida)}

Bu yondashuv natijalarning faqat o‘rtacha qiymatini emas, balki ularning ishonchlilik darajasini ham taqdim etishga imkon berdi.

Natijalar. Amaliy misol sifatida don (bug‘doy) namunasi tanlandi; azot→oqsil koeffitsienti K=5.7 deb olindi (GOST bo‘yicha).

`

Titratsiya hajmlari (V_1) uchun 6 ta kuzatuv: 12.34, 12.30, 12.36, 12.33, 12.35, 12.32 cm^3.

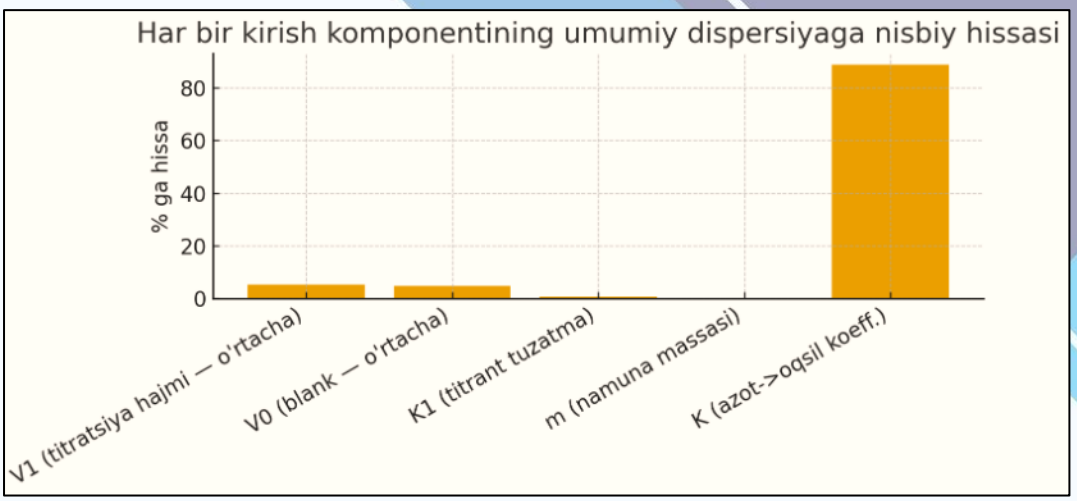
Blank (V_0) uchun 2 ta kuzatuv: 0.15 va 0.16 cm^3.

Namuna massasi m=2.500 g.

Titrant tuzatma koeffitsienti K_1=1.000 (qabul qilingan).

Instrument va o‘lchov resurslari bo‘yicha taxminlar: buretta bo‘linmasi 0.1 cm^3 (eng kichik bo‘linma), balans o‘qishi 0.001 g.

K ning noaniqligi uchun GOST dagi dK = 0.1 qabul qilindi.



1-rasm. Har bir kirish komponentining umumiy dispersiyaga nisbiy hissasi.

Yuqoridagi taxminlar va o‘lchovlar GUM/ISO tavsiyalari bilan moslashgan holda A va B turidagi noaniqliklar hisoblandi: A-turi — takroriy kuzatuvlar statistikasi, B-turi — instrument/resurs va standart/xujjat asosidagi baholar.

O‘lchash natijasi (misol)

Hisoblangan oqsil miqdori (modelga binoan):

$$X = K \times \frac{(V_1 - V_0) \times K_1 \times 0.0014}{m}$$

Yuqaridagi kirish qiymatlari bilan hisoblangan natija:

X=0.038873 (ya’ni ≈ **3.8873 %** — massaviy foiz)

Izoh: yuqoridagi qiymat model formulasi natijasidir va foizlarda ifodalangan.

Standart va kengaytirilgan noaniqliklar

`

Har bir kirish o‘zgaruvchisi uchun standart noaniqliklar (u(x)) va ularning kombinatsiyalangan hissalari hisobladi. Kombinatsiyalangan standart noaniqlik va kengaytirilgan noaniqlik (k = 2) quyidagicha topildi:

Kombinatsiyalangan standart noaniqlik: u_c=0.000418.

Kengaytirilgan noaniqlik (k = 2): U=0.000836.

Bu esa nisbiy kengaytirilgan noaniqlik sifatida: **U_rel ≈ 2.15 %** (95% ishonch darajasi uchun).

Shunday qilib, hisobot shakli odatiy tarzda quyidagicha bo‘ladi:

X=3.887 % ±0.084 % (k=2, 95% ishonch darajasi)

(bu yerda ±0.084% — kengaytirilgan noaniqlikning foizlarda ifodasi: U×100%).

Hisob-kitob natijasiga qaraganda, umumiy dispersiyaga eng katta hissa K (azot→oqsil koeffitsienti) tomonidan kiritilgan. Grafik va jadvaldan ko‘rinib turibdiki:

K ning noaniqligi — umumiy dispersiyaning ~**90%** dan ortig‘ini tashkil etdi (misol sharoitida).

Titratsiya hajmi (V_1) va blank (V_0) kichik, lekin sezilarli darajada hissa qo‘shadi (har biri bir necha foiz).

Namuna massasining (m) hissasi juda kichik (balance aniqligi va kichik nisbiy ta’sir sabab).

Bu natija laboratoriyalarda amaliy jihatdan muhim xulosani beradi: agar K (yoki uning aniqligi) haqida aniqroq ma’lumot yoki kamroq noaniqlik bo‘lsa, umumiy natija sezilarli darajada yaxshilanishi mumkin. Shu sababli, o‘lchash usulini yurgizishda K ning ishonchliligiga alohida e’tibor berish lozim — masalan, K qiymatini o‘rganish, adabiyotlar yoki standart ma’lumotlarni tekshirish, yoki ushbu koeffitsient bo‘yicha alohida eksperimental baho olish.

Men hisob-kitoblarni aniq raqamlar bilan Python yordamida chiqardim va natijalarni jadval hamda diagramma shaklida taqdim qildim. Jadval interaktiv ko‘rinishda ochildi — unda har bir kirish kattaligi uchun:

`

Qiymat (o‘lchovning o‘rtacha qiymati),

Standart noaniqlik u(x),

Sezuvchanlik koeffitsienti c_i ($\partial X/\partial x_i$),

Variansiyaga qo‘shgan hissa va uning foizdagi nisbatlari keltirilgan.

Diagramma esa har bir komponentning umumiy dispersiyaga nisbiy hissasini percentlarda ko‘rsatadi (ko‘proq ko‘rib chiqish va analitik qarorlar qabul qilish uchun).

Tahliliy ma’lumotlar. O‘tkazilgan tadqiqot natijalari kimyoviy tahlillarda kengaytirilgan noaniqlikni baholash jarayoni o‘lchash natijalarining ishonchliligini belgilashda asosiy omil ekanligini ko‘rsatdi. Hisob-kitoblarda ko‘rinib turibdiki, oqsil miqdorini aniqlash modelida umumiy noaniqlikka eng katta hissa qayta hisoblash koeffitsienti K tomonidan kiritildi. Bu esa metodikada foydalaniladigan empirik koeffitsientlarning aniqligi laboratoriya natijalari sifatiga bevosita ta’sir qilishini ko‘rsatadi. Shuningdek, titrlash hajmi (V_1) va blank qiymatlari (V_0) ham sezilarli darajada ta’sir etuvchi manbalar sifatida qayd etildi, biroq ularning nisbiy hissasi K ga nisbatan ancha past bo‘ldi.

Mazkur natijalar xalqaro adabiyotlarda keltirilgan ilmiy xulosalar bilan hamohangdir. Masalan, oziq-ovqat va atrof-muhit monitoringiga oid tadqiqotlarda ham ko‘p hollarda asosiy noaniqlik manbasi sifatida empirik koeffitsientlar yoki kalibrlash jarayonlari qayd etiladi. Shu sababli, noaniqlikni kamaytirishning eng samarali yo‘li sifatida standartlashtirilgan metodikalarni qo‘llash, asboblarni muntazam kalibrlash va koeffitsientlarning dolzarb qiymatlarini aniqlash tavsiya etiladi.

Muhokama jarayonida yana bir muhim jihat shuki, A va B turidagi noaniqliklarning birlashtirilishi natijada umumiy noaniqlikni to‘g‘ri baholash imkonini beradi. Statistik qayta kuzatishlardan kelib chiqadigan A turidagi noaniqlik odatda kichik ulushni tashkil etsa-da, inson omiliga bog‘liq xatoliklarni aniqlash va minimallashtirishda muhim rol o‘ynaydi. B turidagi noaniqlik esa asbobiy cheklovlar,

`

standart ko‘rsatkichlar va metodik xatoliklarni qamrab oladi. Tadqiqot natijalarida aynan B turidagi noaniqliklar ustunlik qilgani kuzatildi.

Ushbu topilmalar laboratoriya sifat menejmenti va akkreditatsiya jarayonlari uchun katta amaliy ahamiyatga ega. ISO/IEC 17025 talablari laboratoriyalardan o‘lchash natijalari bilan birga noaniqlikni ham aniq ko‘rsatishni talab qiladi. Shuning uchun kengaytirilgan noaniqlikni baholash natijalarni xalqaro darajada solishtirish imkonini beradi, bu esa ilmiy tadqiqotlar, mahsulot sifati va xavfsizligini baholash, shuningdek xalqaro savdo munosabatlarida muhim ahamiyat kasb etadi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, kimyoviy tahlillarda kengaytirilgan noaniqlikni baholash jarayoniga tizimli yondashuv zarur. Natijalarni yuqori aniqlikda taqdim etish uchun metodikani optimallashtirish, empirik koeffitsientlarning aniqligini oshirish hamda o‘lchov vositalarini zamonaviy talablar asosida kalibrlash zarur bo‘ladi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda kimyoviy tahlillarda kengaytirilgan noaniqlikni baholash masalasi xalqaro standartlar, xususan ISO/IEC 98-3:2008 (GUM) va ISO/IEC 17025 talablariga muvofiq tahlil qilindi. Nazariy va amaliy hisob-kitoblar asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

O‘lchash natijalarining ishonchliligi ularning noaniqligini to‘g‘ri baholash bilan ta’minlanadi. Noaniqliksiz berilgan har qanday raqamli natija ilmiy va amaliy jihatdan yetarli darajada asoslangan deb hisoblanmaydi.

Kengaytirilgan noaniqlik kombinatsiyalangan standart noaniqlikka qamrab olish koeffitsientini qo‘llash orqali aniqlanadi va 95% hamda 99% ishonch darajalarida natijalarni to‘liq tavsiflash imkonini beradi.

Amaliy hisoblash natijalariga ko‘ra, umumiy noaniqlikka eng katta hissa empirik koeffitsient (K) tomonidan qo‘shildi. Bu esa laboratoriya tahlillarida koeffitsientlarning aniqligi va standartlashtirilishi alohida e’tibor talab qilishini ko‘rsatadi.

`

A turidagi noaniqliklar (statistik kuzatuv asosida) odatda kichik ulushni tashkil etsa-da, inson omiliga bog‘liq xatoliklarni baholashda muhim; B turidagi noaniqliklar (asbobiy va metodik xatoliklar) esa umumiy dispersiyada ustunlik qilishi aniqlangan.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, kimyoviy tahlillarda kengaytirilgan noaniqlikni baholash laboratoriya sifat menejmenti, mahsulot xavfsizligi, xalqaro akkreditatsiya va savdo jarayonlari uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Umuman olganda, kimyoviy tahlillarda kengaytirilgan noaniqlikni tizimli ravishda baholash natijalarni xalqaro darajada taqqoslash va ularning ishonchliligini ta’minlashning asosiy vositasi hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Estimation of the measurement uncertainty and practical suggestion for the description of the metrological traceability in clinical laboratories. — Rigo-Bonnin, R., Díaz-Troyano, N., García-Tejada, L., Marcè-Galindo, A., Valbuena-Asensio, M., & Canalias, F. (2020). Biochemia Medica, 31(1). https://doi.org/10.11613/BM.2021.010501

2. Drawing attention to the measurement uncertainty arising from sampling in chemical and physicochemical analyses: An overview. — Medeiros, K. A. R., Brandão, L. P., Atilio, N. C., & de Oliveira, E. C. (2022). Critical Reviews in Analytical Chemistry, 53(8), 1605–1622.

3. https://doi.org/10.1080/10408347.2022.2036943

4. New Frontiers in Measurement Uncertainty. — Salicone, S., & Jetti, H. V. (Eds.) (2022). Metrology (MDPI). https://doi.org/10.3390/metrology2040029

5. Estimation of measurement uncertainty for the quantitative analysis of pharmaceutical residues in river water using SPE and LC techniques. — Satyanarayana, G. N. V. (2020). Microchemical Journal, 157, 105041. https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105041

6. JCGM-101-compliant uncertainty evaluation using virtual experiments. — Hughes, F., Marschall, M., Wübbeler, G., Kok, G., van Dijk, M., & Elster, C. (2024). Measurement Science and Technology, (in press). https://arxiv.org/abs/2404.10530

7. Measurement Uncertainty Evaluation: Differences Between VE-DA and other Monte Carlo approaches. — Kok, G. (2025). Metrology (MDPI), 5(4), 59. https://doi.org/10.3390/metrology5040059

8. Measurement uncertainty arising from sampling and analytical steps — dissolution test case study. — Sano, A. Y., et al. (2024). Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 247, 115983. https://doi.org/10.1016/j.jpba.2024.115983

`

9. Application of GUM and Nordtest approaches to estimate uncertainty in environmental and trace analysis methods. — Satyanarayana, N. S., et al. (2021). Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2021, Article ID 662153. https://doi.org/10.1155/2021/662153

10. Estimation of measurement uncertainty in quantifying elemental impurities in food systems. — Saini, N. (2025). TrAC – Trends in Analytical Chemistry, 180, 117062. https://doi.org/10.1016/j.trac.2025.117062

11. Measurement Uncertainty Evaluation for Sensor Network Metrology. — Harris, H. P., et al. (2025). Sensors and Measurement Systems, 5(1), 3. https://www.mdpi.com/2673-8244/5/1/3

12. ISO/IEC Guide 98-3:2008 (GUM) — Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. — International Organization for Standardization (2008). Geneva: ISO.

13. ISO/IEC 17025:2017 — General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories. — International Organization for Standardization (2017). Geneva: ISO.

`