

**BO‘LAJAK METROLOGLARNING SUN’IY INTELLEKT ASOSIDA
O‘LCHASH NOANIQLIGINI BAHOLASH KOMPETENTLIGINI
RIVOJLANTIRISH METODIKASI**

**МЕТОДИКА РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ
МЕТРОЛОГОВ В ОЦЕНКЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ НА
ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

**METHODOLOGY FOR DEVELOPING FUTURE METROLOGISTS'
COMPETENCE IN MEASUREMENT UNCERTAINTY EVALUATION
BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

Ikramov Dilshod Ikramovich

Jizzax politexnika instituti mustaqil tadqiqotchisi

e-mail: ikramovd@internet.ru

Annotatsiya. Mazkur maqolada raqamli transformatsiya sharoitida bo‘lajak metrologlarning sun’iy intellekt texnologiyalari asosida o‘lchash noaniqligini baholash kompetentligini rivojlantirishning pedagogik-metodik asoslari tadqiq etilgan. Zamonaviy raqamli o‘lchash tizimlari, intellektual sensorlar, avtomatlashtirilgan nazorat vositalari hamda katta hajmdagi o‘lchash ma’lumotlarining kengayib borishi metrolog mutaxassislarni tayyorlash mazmuniga yangi talablarni yuzaga keltirayotgani asoslangan. O‘lchash noaniqligini baholash jarayonida sun’iy intellektdan foydalanish faqat hisoblash amallarini avtomatlashtirish vositasi emas, balki noaniqlik manbalarini aniqlash, ma’lumotlardagi qonuniyatlarni ochib berish, anomal holatlarni aniqlash, noaniqlik komponentlarining natijaga ta’sirini tahlil qilish hamda metrologik qarorlarni asoslashga xizmat qiluvchi didaktik vosita sifatida talqin etilgan.

Аннотация. В данной статье исследованы педагогико-методические основы развития компетентности будущих метрологов в оценке неопределенности измерений на основе технологий искусственного интеллекта в условиях цифровой трансформации. Обосновано, что развитие современных цифровых измерительных систем, интеллектуальных датчиков, автоматизированных средств контроля, а также увеличение объема измерительных данных предъявляют новые требования к содержанию подготовки специалистов-метрологов. Использование искусственного интеллекта в процессе оценки неопределенности измерений рассматривается не только как средство автоматизации вычислительных операций, но и как дидактический инструмент, способствующий выявлению источников неопределенности, обнаружению закономерностей в данных, определению аномальных состояний, анализу влияния компонентов неопределенности на конечный результат, а также обоснованию метрологических решений.

Abstract. This article examines the pedagogical and methodological foundations for developing future metrologists' competence in evaluating measurement uncertainty using artificial intelligence technologies in the context of digital transformation. It is substantiated that the development of modern digital measurement systems, intelligent sensors, automated monitoring tools, as well as the increasing volume of measurement data, imposes new requirements on the content of professional training for metrology specialists. The use of artificial intelligence in the process of measurement uncertainty evaluation is considered not only as a means of automating computational procedures, but also as a didactic tool that facilitates the identification of uncertainty sources, the detection of patterns in data, the identification of anomalies, the analysis of the influence of uncertainty components on the final result, and the substantiation of metrological decisions.

Kalit soʻzlar: metrologiya, boʻlajak metrolog, oʻlchash noaniqligi, sunʼiy intellekt, oʻlchash natijasi, standart noaniqlik, kombinatsiyalangan noaniqlik, kengaytirilgan noaniqlik, metrologik kompetentlik, raqamli kompetentlik, verifikatsiya, metrologik interpretatsiya, raqamli laboratoriya, kasbiy kompetentlik.

Ключевые слова: метрология, будущий метролог, неопределенность измерений, искусственный интеллект, результат измерения, стандартная неопределенность, суммарная стандартная неопределенность, расширенная неопределенность, метрологическая компетентность, цифровая компетентность, верификация, метрологическая интерпретация, цифровая лаборатория, профессиональная компетентность.

Keywords: metrology, future metrologist, measurement uncertainty, artificial intelligence, measurement result, standard uncertainty, combined standard uncertainty, expanded uncertainty, metrological competence, digital competence, verification, metrological interpretation, digital laboratory, professional competence.

KIRISH

Jahon miqyosida sanoat ishlab chiqarishi, energetika, transport, mashinasozlik, tibbiyot, ekologik monitoring, telekommunikatsiya va yuqori aniqlikdagi texnologik jarayonlarning raqamlashtirilishi oʻlchash faoliyatining mazmunini tubdan oʻzgartirmoqda. Zamonaviy ishlab chiqarish sharoitida oʻlchash jarayoni faqat muayyan fizik kattalikning son aniqlashdan iborat boʻlmay, balki olingan maʼlumotlarning sifati, ishonchliligi, kuzatuvchanligi va noaniqligini kompleks baholashni talab qiluvchi axborot-analitik jarayonga aylanmoqda. Raqamli oʻlchash vositalari va intellektual sensorlar katta hajmdagi maʼlumotlarni qisqa vaqt oraligʻida hosil qilish imkoniyatiga ega [1]. Natijada metrologning kasbiy faoliyatida oʻlchash vositasidan foydalanish bilan bir qatorda maʼlumotlarni saralash, statistik qayta ishlash, xatolik va noaniqlik manbalarini aniqlash, natijalarning tarqalishini tahlil qilish, anomal qiymatlarni ajratish hamda yakuniy natijaning ishonchliligini asoslash

vazifalari ustuvor ahamiyat kasb etmoqda. O'lchash natijasining metrologik qiymati uning faqat son qiymati bilan emas, balki ushbu natijaga tegishli noaniqlik to'g'risidagi axborot bilan birgalikda namoyon bo'ladi. Shu sababli o'lchash noaniqligini baholash metrologning fundamental kasbiy faoliyat turlaridan biri hisoblanadi.

O'lchash noaniqligi tushunchasining mazmunini o'zlashtirish talabadan xatolik va noaniqlik kategoriyalarini farqlash, tasodifiy va tizimli ta'sirlarni anglash, statistik ma'lumotlarni qayta ishlash, noaniqlik manbalarini identifikatsiyalash va ularning yakuniy natijaga ta'sirini baholashni talab qiladi [2]. Bundan tashqari, talaba o'lchash modelining mazmunini tushunishi, kirish kattaliklari va chiqish kattaligi o'rtasidagi funksional bog'lanishni tahlil qilishi hamda noaniqlik budjetini shakllantira olishi zarur. An'anaviy ta'limda o'lchash noaniqligini o'rganish ko'pincha tayyor ma'lumotlarni formulalarga qo'yish va tegishli hisob-kitoblarni bajarishga yo'naltiriladi. Bunday yondashuv talabaning hisoblash ko'nikmasini rivojlantirishi mumkin, biroq real kasbiy vaziyatlarda noaniqlik manbalarini mustaqil aniqlash, ularning ahamiyatini baholash, muqobil hisoblash usullarini qiyoslash va olingan natijani professional interpretatsiya qilish uchun yetarli bo'lmasligi mumkin. Sun'iy intellekt, mashinali o'qitish, ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish va raqamli modellashtirish texnologiyalarining rivojlanishi ushbu muammoni pedagogik jihatdan yangi bosqichda hal qilish imkoniyatini yaratmoqda. Sun'iy intellekt algoritmlari katta hajmdagi o'lchash natijalari orasidagi yashirin bog'lanishlarni aniqlash, anomal kuzatuvlarni topish, ma'lumotlarni guruhlash, tendensiyalarni aniqlash va ko'p omilli bog'lanishlarni modellashtirish imkonini beradi. Biroq sun'iy intellekt yordamida hosil qilingan natijani avtomatik ravishda metrologik jihatdan ishonchli deb qabul qilish mumkin emas [3]. Algoritmning natijasi kirish ma'lumotlarining sifati, tanlangan model, parametrlar, o'qitish ma'lumotlari va qo'llash sharoitiga bog'liq bo'ladi. Shu sababli sun'iy intellektni metrologiya ta'limiga integratsiya qilishda inson nazorati, metrologik verifikatsiya va professional interpretatsiya markaziy o'rinni egallashi zarur.

MATERIAL VA METODLAR

Tadqiqot nazariy-metodik xususiyatga ega bo'lib, unda metrologiya, kasbiy pedagogika, raqamli ta'lim va sun'iy intellekt texnologiyalariga oid ilmiy-metodik manbalarni nazariy-qiyosiy tahlil qilish, tizimli tahlil, kontent-tahlil, umumlashtirish, pedagogik modellashtirish, tasniflash, qiyoslash va metodik konstruksiyalash usullaridan foydalanildi. Tadqiqot metodologiyasini kompetensiyaviy, tizimli, faoliyatli, muammoli, shaxsga yo'naltirilgan va raqamli-didaktik yondashuvlar tashkil etdi.

Kompetensiyaviy yondashuv bo'lajak metrologning o'lchash noaniqligiga oid tayyorgarligini alohida nazariy bilimlar majmui emas, balki real kasbiy vaziyatlarda

bilim, amaliy ko'nikma, raqamli vosita, tahliliy fikrlash va kasbiy mas'uliyatni integrativ ravishda qo'llash qobiliyati sifatida qarash imkonini berdi.

Tizimli yondashuv o'lchash noaniqligini baholash jarayonining barcha elementlari: o'lchash vazifasi, matematik model, kirish kattaliklari, noaniqlik manbalari, statistik qayta ishlash, standart noaniqliklar, kombinatsiyalangan noaniqlik, raqamli tahlil, verifikatsiya va yakuniy interpretatsiya o'rtasidagi uzviy aloqalarni aniqlashga xizmat qildi.

Faoliyatli yondashuv talabani tayyor algoritmnı takrorlovchi ijrochi emas, balki o'lchash muammosini tahlil qiluvchi, zarur ma'lumotlarni tanlovchi, noaniqlik manbalarini mustaqil identifikatsiyalovchi va o'z qarorini asoslovchi faol subyekt sifatida qarashga imkon berdi.

Muammoli yondashuv real metrologik vaziyatlarga yaqin, barcha ma'lumotlari oldindan aniqlanmagan topshiriqlarni ta'lim jarayoniga kiritishni nazarda tutadi. Bunda talaba noaniqlikning qaysi manbalarini hisobga olish, qaysi baholash metodini tanlash va natijani qanday tekshirishni mustaqil belgilaydi.

Raqamli-didaktik yondashuv sun'iy intellekt va boshqa raqamli vositalarni pedagogik maqsadga muvofiq tanlash, ularning funksional imkoniyatlarini metrologik topshiriqlar bilan uyg'unlashtirish hamda yakuniy natija ustidan inson nazoratini saqlab qolishga asoslanadi [4].

Tadqiqot doirasida o'lchash noaniqligini baholash kompetentligini shakllantirish quyidagi mantiqiy ketma-ketlikda konstruksiyalandi: o'lchash vazifasini aniqlash → noaniqlik manbalarini identifikatsiyalash → ma'lumotlarni tayyorlash → standart noaniqliklarni baholash → sun'iy intellekt asosida tahlil qilish → kombinatsiyalangan noaniqlikni aniqlash → verifikatsiya → metrologik interpretatsiya → refleksiv baholash.

Mazkur ketma-ketlikning muhim didaktik xususiyati shundaki, sun'iy intellekt fundamental metrologik bilimning o'rnini egallamaydi. Aksincha, metrologik bilim intellektual algoritmi natijasining ishonchliligini tekshirish mezonı sifatida xizmat qiladi.

NATIJALAR

Tadqiqot natijasida "bo'lajak metrologning sun'iy intellekt asosida o'lchash noaniqligini baholash kompetentligi" tushunchasiga quyidagicha ta'rif berish taklif etiladi:

bo'lajak metrologning sun'iy intellekt asosida o'lchash noaniqligini baholash kompetentligi - o'lchash vazifasini metrologik jihatdan tahlil qilish, noaniqlik manbalarini identifikatsiyalash, zarur ma'lumotlarni yig'ish va qayta ishlash, noaniqlik komponentlarini miqdoriy baholash, raqamli va intellektual vositalardan maqsadga muvofiq foydalanish, ularning natijalarini klassik metrologik usullar bilan verifikatsiyalash hamda o'lchash natijasining ishonchliligi yuzasidan asoslangan

kasbiy qaror qabul qilishga tayyorlikni ifodalovchi integrativ kasbiy sifatdir [5]. Mazkur kompetentlik tarkibida to'rtta asosiy komponent ajratildi.

Kognitiv-metrologik component. Ushbu komponent o'lchash nazariyasi, o'lchash natijasi, xatolik, noaniqlik, statistik taqsimot, standart noaniqlik, kombinatsiyalangan standart noaniqlik, kengaytirilgan noaniqlik, qamrov koeffitsiyenti, takrorlanuvchanlik, qayta tiklanuvchanlik, kalibrlash, qiyoslash va metrologik kuzatuvchanlikka oid bilimlarni qamrab oladi.

Analitik-hisoblash components. Talabaning o'lchash ma'lumotlarini statistik qayta ishlash, o'rtacha qiymat, dispersiya va standart og'ishni aniqlash, alohida noaniqlik komponentlarini baholash, noaniqlik budjetini shakllantirish, komponentlarning yakuniy natijaga qo'shgan hissasini qiyoslash hamda tegishli hisob-kitoblarni bajarish qobiliyatini tavsiflaydi.

Raqamli-intellectual component. Elektron jadvallar, statistik paketlar, vizuallashtirish vositalari va sun'iy intellekt algoritmlaridan o'lchash vazifasiga muvofiq foydalanish, katta hajmdagi ma'lumotlardan kerakli axborotni ajratish, anomal holatlarni aniqlash va ko'p omilli bog'lanishlarni tahlil qilish qobiliyatini ifodalaydi.

Refleksiv-verifikatsion component. Intellectual tizim hosil qilgan natijalarni klassik hisob-kitoblar bilan qiyoslash, mumkin bo'lgan algoritmik xatolarni aniqlash, natijaning cheklovlarini anglash, tanlangan metodni asoslash va yakuniy kasbiy qaror uchun mas'uliyatni his qilishni qamrab oladi [6]. Mazkur komponentlar o'zaro uzviy bog'langan. Talaba metrologik nazariyani bilmasdan turib SI natijasining mazmunini professional baholay olmaydi. Analitik ko'nikmalarsiz noaniqlik manbalarining ta'sirini asoslash murakkablashadi. Raqamli kompetentlik rivojlanmagan sharoitda katta hajmdagi o'lchash ma'lumotlarini qayta ishlash imkoniyati cheklanadi. Refleksiv-verifikatsion faoliyat mavjud bo'lmasa, tayyor algoritmik natijani tanqidiy tekshirmasdan qabul qilish xavfi yuzaga keladi.

O'lchash noaniqligini baholashning bosqichli metodik algoritmi sifatida taklif etilayotgan metodikaning birinchi bosqichi - o'lchash vazifasini aniqlash. Talaba o'lchanayotgan kattalik, o'lchash maqsadi, obyekt, foydalaniladigan o'lchash vositasi, o'lchash usuli va sharoitini tahlil qiladi. O'lchash vazifasining aniq qo'yilishi keyingi noaniqlik tahlilining metodologik poydevorini yaratadi.

Ikkinchi bosqich - noaniqlik manbalarini identifikatsiyalash . Talaba natijaga ta'sir qilishi mumkin bo'lgan barcha omillarni aniqlaydi. Ularga o'lchash vositasining aniqligi va diskretligi, kalibrlash ma'lumotlari, etalon, operator, atrof-muhit harorati va namligi, o'lchash metodikasi, obyektning xususiyatlari, takroriy o'lchashlarning tarqalishi va ma'lumotlarni qayta ishlash bilan bog'liq omillar kirishi mumkin.

Uchinchi bosqich - ma'lumotlarni tayyorlash. Olingan ma'lumotlar yaxlitligi tekshiriladi, o'lchov birliklari birxillashtiriladi, noto'g'ri yozuvlar va yetishmayotgan

qiymatlar aniqlanadi. Anomal qiymatlar alohida belgilanadi, biroq ular asoslanmasdan chiqarib tashlanmaydi.

To'rtinchi bosqich - standard noaniqliklarni baholash. Takroriy kuzatuvlarga asoslangan komponentlar statistik tahlil qilinadi. Boshqa noaniqlik manbalari kalibrlash sertifikat, texnik hujjatlar, oldingi o'lchashlar yoki boshqa asoslangan ma'lumotlar yordamida baholanadi.

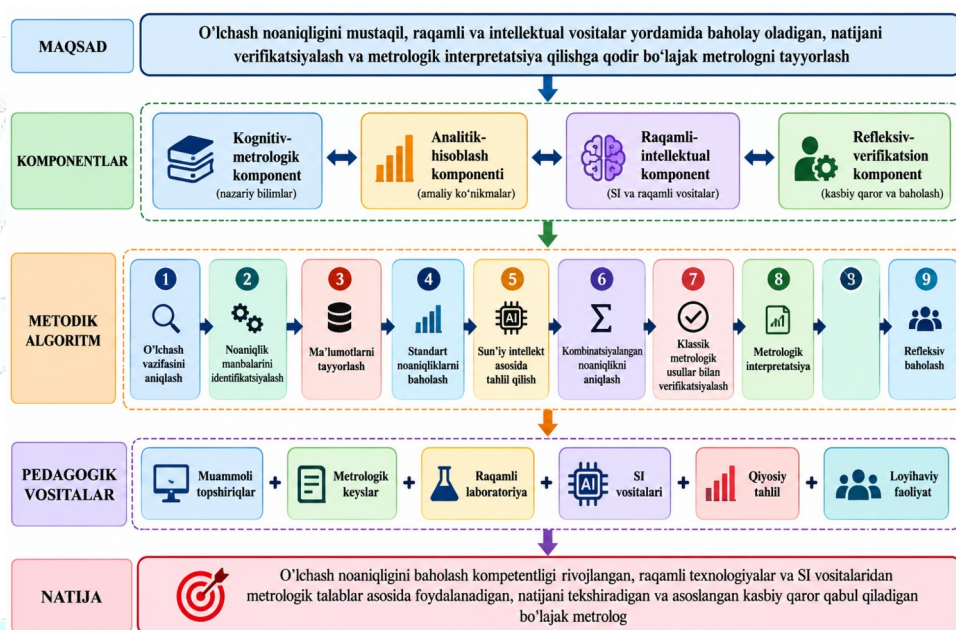
Beshinchi bosqich - sun'iy intellekt asosida tahlil qilish. Talaba ma'lumotlar hajmi va xususiyatiga qarab intellektual vositani tanlaydi. Algoritm yordamida anomal qiymatlar, tendensiyalar, yashirin bog'lanishlar yoki alohida omillarning natijaga ta'siri aniqlanishi mumkin.

Oltinchi bosqich - kombinatsiyalangan noaniqlikni aniqlash. Talaba alohida noaniqlik komponentlarini o'lchash modeli asosida birlashtirib, umumiy standart noaniqlikni aniqlaydi. Zarur hollarda sezgirlik koeffitsiyentlari va kattaliklar orasidagi korrelyatsiyalar hisobga olinadi.

Yettinchi bosqich - verifikatsiya. Bu taklif etilayotgan metodikaning markaziy pedagogik bosqichidir. SI yordamida hosil qilingan natija klassik statistik-metrologik hisoblash bilan qiyoslanadi. Tafovut mavjud bo'lsa, uning sababi aniqlanadi.

Sakkizinchi bosqich - metrologik interpretatsiya. Talaba hisoblangan noaniqlikning amaliy mazmunini tushuntiradi. Qaysi omil umumiy noaniqlikka eng katta hissa qo'shgani, o'lchashning aniqligini oshirish uchun qaysi omilga ta'sir qilish zarurligi va natijaning belgilangan vazifa uchun yetarliligi tahlil qilinadi.

To'qqizinchi bosqich - refleksiv baholash. Talaba qo'llangan usulning kuchli va zaif jihatlarini, algoritmning cheklovlarini, muqobil metodlardan foydalanish imkoniyatlarini va o'zining kasbiy qarorini tahlil qiladi [7].



1-rasm. Bo'lajak metrologlarning sun'iy intellekt asosida o'lchash noaniqligini baholash kompetentligini rivojlantirishning metodik modeli

Sun'iy intellektni o'lchash noaniqligini o'qitishga integratsiya qilishda uning bir qator pedagogik funksiyalari aniqlandi.

Analitik funksiya katta hajmdagi takroriy o'lchash natijalarini qayta ishlash, ularni guruhlash va asosiy statistik qonuniyatlarni aniqlash imkonini beradi.

Diagnostik funksiya o'lchash natijalari orasidagi anomal kuzatuvlarni aniqlashga xizmat qiladi. Bunda talabaning vazifasi faqat anomal nuqtani topish emas, balki uning kelib chiqish sababini metrologik jihatdan tushuntirishdan iborat.

Modellashtiruvchi funksiya alohida kirish kattaliklarining o'zgarishi umumiy noaniqlikka qanday ta'sir qilishini modellashtirish imkonini beradi. Masalan, o'lchash vositasi aniqligi yaxshilanganda yoki tashqi muhit ta'siri kamaytirilganda yakuniy noaniqlik qanday o'zgarishini kuzatish mumkin.

Qiyosiy-verifikatsion funksiya bir xil ma'lumotlar to'plamini an'anaviy hisoblash va SI yordamida tahlil qilib, olingan natijalarni qiyoslashni nazarda tutadi.

Visual-interpretatsion funksiya noaniqlik komponentlarini grafik va diagrammalar orqali ifodalashga imkon beradi. Talaba qaysi komponent umumiy noaniqlik budjetida ustun ekanligini vizual ravishda ko'radi.

Refleksiv funksiya intellektual tizim tavsiya qilgan natijaning qanchalik asoslanganini baholashga yo'naltiriladi. Bu talabani texnologiyaga passiv bog'lanishdan himoya qilib, uning kasbiy mustaqilligini rivojlantiradi.

Pedagogik-didaktik mexanizmlar

Bo'lajak metrologlarning o'lchash noaniqligini baholash kompetentligini rivojlantirish uchun birinchi mexanizm sifatida muammoli-metrologik vaziyatlar dan foydalanish taklif etiladi. Masalan, talabaga bir xil detalning geometrik o'lchami turli vaqtda o'lchangan ma'lumotlar taqdim etiladi. O'lchashlar orasidagi tafovut oddiy tasodifiy tarqalish, harorat o'zgarishi, o'lchash vositasining siljishi yoki operator ta'siri natijasi bo'lishi mumkin. Talaba noaniqlik manbalarini aniqlashi va ularning har birini qanday baholash mumkinligini asoslab berishi kerak.

Ikkinchi mexanizm - kasbiy-metrologik keyslar . Keys real laboratoriya yoki ishlab chiqarish holatini modellashtiradi. Talabaga o'lchash natijalari bilan bir qatorda o'lchash vositasining tavsiflari, kalibrlash ma'lumotlari, atrof-muhit parametrlari va texnologik sharoit beriladi. Talaba mazkur axborot asosida noaniqlik budjetini shakllantiradi.

Uchinchi mexanizm - raqamli metrologik laboratoriya . Bunday laboratoriyada talaba o'lchashni amalga oshirishdan tashqari ma'lumotlarning keyingi hayotiy sikli bilan ham ishlaydi. Natijalar elektron shaklda saqlanadi, statistik qayta ishlanadi, vizuallashtiriladi, SI yordamida tahlil qilinadi va klassik hisob-kitoblar bilan qiyoslanadi.

To'rtinchi mexanizm - qiyosiy-verifikatsion topshiriqlar . Talaba bir xil noaniqlik masalasini kamida ikki xil usul bilan yechadi. Birinchi holatda an'anaviy hisoblashdan,

ikkinchi holatda raqamli yoki SI vositasidan foydalanadi. Natijalar bir-biriga mos kelmasa, farqning sababi alohida tahlil qilinadi.

Beshinchi mexanizm - loyihaviy faoliyat . Talabalarga real yoki modellashtirilgan o'lchash tizimining noaniqlik budjetini ishlab chiqish vazifasi beriladi. Loyiha davomida ular muammoni belgilaydi, ma'lumot to'playdi, noaniqlik manbalarini aniqlaydi, raqamli tahlilni amalga oshiradi va yakuniy natijani himoya qiladi.

Oltinchi mexanizm - refleksiv topshiriqlar . Mashg'ulot yakunida talabaga "Qaysi noaniqlik manbai natijaga eng katta ta'sir ko'rsatdi?", "SI natijasi qaysi metrologik dalillar bilan tasdiqlandi?", "Algoritm qaysi holatda xato xulosa berishi mumkin?", "Noaniqlikni kamaytirish uchun qaysi parametрни o'zgartirish maqsadga muvofiq?" kabi savollar beriladi.

Taklif etilayotgan metodikada kompetentlikni to'rtta mezon asosida baholash maqsadga muvofiq.

Kognitiv-metrologik mezon talabaning o'lchash noaniqligi nazariyasiga oid bilimlarini tavsiflaydi.

Uning ko'rsatkichlari: xatolik va noaniqlik tushunchalarini farqlash; noaniqlik manbalarini tasniflash; standart va kengaytirilgan noaniqlik mazmunini tushuntirish; o'lchash modeli va metrologik kuzatuvchanlikning rolini anglash.

Analitik-hisoblash mezoni o'lchash ma'lumotlarini amaliy qayta ishlash va noaniqlik budjetini shakllantirish qobiliyatini ifodalaydi.

Ko'rsatkichlari: statistik ma'lumotlarni qayta ishlash; noaniqlik komponentlarini hisoblash; noaniqlik manbalarining hissasini aniqlash; kombinatsiyalangan noaniqlikni hisoblash va natijani to'g'ri ifodalash.

Raqamli-intellektual mezon raqamli va SI vositalaridan professional vazifaga mos foydalanish qobiliyatini baholaydi.

Ko'rsatkichlari: mos raqamli vositani tanlash; ma'lumotlarni tayyorlash; SI algoritmidan maqsadli foydalanish; natijalarni vizuallashtirish; algoritm imkoniyatlari va cheklovlarini tushunish.

Refleksiv-verifikatsion mezon olingan natijaning ishonchliligini tekshirish va asoslangan kasbiy qaror chiqarish qobiliyatini tavsiflaydi.

Ko'rsatkichlari: SI natijasini klassik hisob-kitob bilan qiyoslash; tafovut sabablarini aniqlash; natijaning cheklovlarini tushuntirish; noaniqlikni kamaytirish bo'yicha taklif ishlab chiqish va yakuniy qarorni metrologik dalillar bilan asoslash.

Kompetentlikning rivojlanganligini reproduktiv, produktiv va kreativ-tadqiqotchilik darajalarida baholash taklif etiladi.

Reproduktiv darajada talaba tayyor algoritm va ko'rsatmalar asosida noaniqlikni hisoblay oladi, ammo noaniqlik manbalarini mustaqil aniqlash va SI natijasini chuqur baholashda yordamga ehtiyoj sezadi.

Produktiv darajada talaba o'lchash vazifasini tahlil qiladi, asosiy noaniqlik manbalarini aniqlaydi, hisoblash va raqamli vositalarni mustaqil tanlaydi, SI natijasini klassik usul bilan tekshiradi va asoslangan xulosa chiqaradi.

Kreativ-tadqiqotchilik darajasida talaba murakkab va ko'p omilli o'lchash vaziyatida mustaqil strategiya ishlab chiqadi, bir nechta baholash usulini integratsiyalaydi, noaniqlik manbalarining o'zaro ta'sirini tahlil qiladi va o'lchash aniqligini oshirish bo'yicha yangi yechimlarni taklif etadi [8].

MUHOKAMA

Olingan nazariy-metodik natijalar sun'iy intellektni metrologiya ta'limiga integratsiya qilish masalasini faqat yangi dasturiy vositalarni o'rgatish bilan cheklash maqsadga muvofiq emasligini ko'rsatadi. Asosiy pedagogik vazifa talabaning sun'iy intellektidan foydalanish texnikasini egallashidan uning natijalarini metrologik nuqtai nazardan tekshirish, tushuntirish va asoslash qobiliyatini rivojlantirishga o'tishdan iborat. O'lchash noaniqligi bu borada alohida didaktik ahamiyatga ega. Chunki SI modeli son jihatdan juda aniq ko'rinadigan natijani taqdim etishi mumkin. Biroq raqamdagi ko'p xonalar uning metrologik jihatdan yuqori aniqlikka ega ekanligini o'zo'zidan anglatmaydi. Natijaning ishonchliligi uning qanday ma'lumotlarga asoslangani, ma'lumotlarning sifati, o'lchash sharoiti va tegishli noaniqlik manbalarining qay darajada hisobga olinganiga bog'liq. Shu sababli metrologiya ta'limida "algoritm natijasi" va "metrologik asoslangan natija" tushunchalari o'rtasidagi farqni talaba anglab yetishi prinsipial ahamiyat kasb etadi.

Avvalgi maqolada SI natijasini klassik metrologik usullar bilan verifikatsiyalash talabaning chuqurroq analitik fikrlashiga xizmat qilishi asoslangan. Ushbu maqolada esa verifikatsiya aynan o'lchash noaniqligini baholash metodikasining markaziy elementi sifatida rivojlantirildi. Masalan, talabaga 100 ta takroriy o'lchashdan iborat ma'lumotlar to'plami taqdim etilishi mumkin. Birinchi bosqichda o'rtacha qiymat, standart og'ish va takroriy kuzatuvlardan kelib chiqadigan noaniqlik komponentini klassik statistik usulda aniqlaydi. Keyingi bosqichda ma'lumotlar SI vositasi yordamida tahlil qilinib, anomal qiymatlar aniqlanadi. So'ngra talaba anomal qiymatlarni chiqarib tashlashdan oldingi va keyingi noaniqlik natijalarini qiyoslaydi. Bunday topshiriqda asosiy pedagogik savol "qaysi natija kichikroq noaniqlik berdi?" emas, balki "anomal qiymatni chiqarib tashlash uchun metrologik asos mavjudmi?" bo'lishi kerak. Chunki sun'iy intellekt statistik jihatdan noodatiy nuqtani aniqlashi mumkin, biroq uning real fizik yoki metrologik sababini avtomatik ravishda to'liq tushuntirib bera olmaydi. Masalan, algoritm tomonidan anomal deb topilgan natija operator xatosi bo'lishi mumkin. Shu bilan birga o'lchanayotgan obyektning real o'zgarishini ham aks ettirishi mumkin. Agar talaba ikkinchi holatni tekshirmasdan qiymatni ma'lumotlar to'plamidan olib tashlasa, sun'iy intellektidan foydalanish natijaning ishonchliligini oshirish o'rniga uni buzishi mumkin. Shuning uchun taklif

etilayotgan metodikada SI natijasi talabanning keyingi fikrlash faoliyatini tugatmaydi aksincha boshlaydi [9].

Metodikaning yana bir muhim jihati - o'lchash noaniqligi budjetini vizual tahlil qilishdir. Noaniqlikning alohida manbalari va ularning umumiy natijaga qo'shgan hissasini diagramma orqali ifodalash talabanning qaysi omil ustuvor ekanligini tezroq tushunishiga yordam beradi. Masalan, umumiy noaniqlikning katta qismi kalibrlash noaniqligiga to'g'ri kelayotgan bo'lsa, takroriy o'lchashlar sonini ko'paytirish umumiy natijani sezilarli yaxshilamasligi mumkin. Aksincha, asosiy ulush tasodifiy tarqalish bilan bog'liq bo'lsa, o'lchash metodikasi va takroriy kuzatuvlarni tashkil etish masalasini qayta ko'rib chiqish talab qilinadi. Bunday tahlil talabanning formuladan kasbiy qarorga o'tishini ta'minlaydi.

Sun'iy intellekt vositalaridan foydalanish o'qituvchining rolga ham ta'sir ko'rsatadi. O'qituvchi tayyor hisoblash algoritmini ko'rsatuvchi shaxsdan o'quv-tadqiqot faoliyatini tashkil qiluvchi, muammoli vaziyatlarni yaratuvchi, talabanning raqamli faoliyatini nazorat qiluvchi va uning xulosalarini metrologik asoslashga yo'naltiruvchi pedagogik fasilitatorga aylanadi. Talabanning roli esa bajaruvchidan tadqiqotchiga tomon o'zgaradi. U faqat tayyor ma'lumotni qabul qilmaydi, balki uning kelib chiqishi va sifatini tahlil qiladi, noaniqlik manbalarini izlaydi, turli baholash usullarini qiyoslaydi, SI vositasining xulosalarini tekshiradi va yakuniy metrologik qarorni himoya qiladi. Mazkur metodikani "Metrologiya asoslari", "O'lchash usullari va vositalari", "O'lchash natijalarini qayta ishlash", "Metrologik ta'minot" va "Intellektual o'lchash asboblari" fanlarining amaliy va laboratoriya mashg'ulotlariga integratsiya qilish mumkin. Metodikani amaliyotga joriy etishda o'quv topshiriqlarini murakkablik darajasiga ko'ra bosqichma-bosqich tashkil qilish maqsadga muvofiq.

Birinchi darajada talabaga tayyor o'lchash ma'lumotlari, noaniqlik manbalari va hisoblash ketma-ketligi beriladi.

Ikkinchi darajada o'lchash ma'lumotlari beriladi, biroq noaniqlik manbalarini va tegishli baholash metodlarini talabanning o'zi tanlaydi.

Uchinchi darajada real kasbiy vaziyat taqdim etilib, talaba qanday ma'lumot zarurligini, qaysi noaniqlik manbalarini hisobga olish va qaysi raqamli vositadan foydalanishni mustaqil belgilaydi.

To'rtinchi - kreativ-tadqiqotchilik darajasida talaba metrologik muammoni mustaqil shakllantiradi, tajriba yoki ma'lumotlar to'plamini tashkil qiladi, bir nechta metodni sinovdan o'tkazadi, SI vositalaridan foydalanadi va o'zining optimal yechimini asoslab beradi.

Taklif etilayotgan metodikaning samarali ishlashi uchun quyidagi pedagogik shart-sharoitlarning ta'minlanishi zarur: fundamental metrologik bilim bilan raqamli-amaliy faoliyatning uzviyligini ta'minlash; real o'lchash ma'lumotlaridan foydalanish; SI natijasini majburiy verifikatsiyalash; talabani faqat yakuniy son qiymati bo'yicha

emas, tahlil va qarorni asoslash sifati bo'yicha ham baholash; raqamli laboratoriya imkoniyatlaridan foydalanish; professor-o'qituvchilarning sun'iy intellekt vositalaridan pedagogik maqsadlarda foydalanish kompetentligini rivojlantirish; ma'lumotlar sifati, akademik halollik va algoritmik xatolar masalalarini o'quv mazmuniga kiritish. Demak, o'lchash noaniqligini baholashda sun'iy intellektdan foydalanishning asosiy didaktik formulasi quyidagicha ifodalanishi mumkin:

SI natijasi → metrologik tekshiruv → klassik usul bilan qiyoslash → noaniqlikni baholash → interpretatsiya → asoslangan kasbiy qaror [10].

Mazkur formulada sun'iy intellekt yakuniy qarorni qabul qiluvchi subyekt emas. U metrologning analitik imkoniyatlarini kengaytiruvchi intellektual yordamchi vosita hisoblanadi.

XULOSA

O'tkazilgan nazariy-metodik tahillar asosida quyidagi xulosalarga kelindi.

Zamonaviy raqamli metrologik faoliyat bo'lajak mutaxassisdan nafaqat o'lchashlarni bajarish, balki olingan natijalarning ishonchliligini asoslash, noaniqlik manbalarini aniqlash, ularning yakuniy natijaga ta'sirini baholash va metrologik qaror qabul qilish kompetentligini talab etadi. Bo'lajak metrologlarning sun'iy intellekt asosida o'lchash noaniqligini baholash kompetentligi kognitiv-metrologik, analitik-hisoblash, raqamli-intellektual va refleksiv-verifikatsion komponentlarning integrativ birligi sifatida namoyon bo'ladi. Kompetentlikni rivojlantirishda "o'lchash vazifasini aniqlash → noaniqlik manbalarini identifikatsiyalash → ma'lumotlarni tayyorlash → standard noaniqliklarni baholash → sun'iy intellekt asosida tahlil → kombinatsiyalangan noaniqlikni aniqlash → verifikatsiya → metrologik interpretatsiya → refleksiv baholash" metodik algoritmidan foydalanish maqsadga muvofiq. Sun'iy intellektning pedagogik qiymati o'lchash noaniqligini avtomatik hisoblab berishda emas, balki katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish, yashirin qonuniyatlarni aniqlash, alternativ yechimlarni qiyoslash va talabning tanqidiy-metrologik fikrlashini rivojlantirish imkoniyatida namoyon bo'ladi [11].

SI yordamida olingan natijani klassik metrologik usullar bilan verifikatsiyalash metodikaning markaziy didaktik elementi hisoblanadi. Bu talabning tayyor algoritmik javobga qaramligini kamaytirib, dalillarga asoslangan kasbiy fikrlashini rivojlantiradi.

Muammoli-metrologik topshiriqlar, kasbiy keyslar, raqamli laboratoriyalar, qiyosiy-verifikatsion topshiriqlar, loyiha va tadqiqotchilik faoliyatini integratsiyalash o'lchash noaniqligini baholash bo'yicha nazariy bilimlarni real kasbiy faoliyat bilan bog'lash imkonini beradi. Kompetentlikni baholash faqat formulalarni to'g'ri qo'llash yoki SI vositasidan texnik foydalanishga asoslanmasligi kerak. Talabning noaniqlik manbalarini tushunishi, ma'lumotlarni qayta ishlashi, tegishli vositani tanlashi, SI natijasini tekshirishi, metrologik interpretatsiya qilishi va yakuniy qarorini dalillar bilan asoslay olishi kompleks baholanishi zarur. Shunday qilib, sun'iy intellekt

texnologiyalarini o'lchash noaniqligini baholash jarayoniga pedagogik jihatdan asoslangan tarzda integratsiya qilish bo'lajak metrologlarni zamonaviy raqamli ishlab chiqarish va intellektual o'lchash tizimlari sharoitidagi kasbiy faoliyatga tayyorlashning istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Bunda sun'iy intellekt ma'lumotlarni qayta ishlash va tahlil qilish imkoniyatlarini kengaytiradi, yakuniy metrologik baholash va kasbiy mas'uliyat esa mutaxassis zimmasida qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Ikramov DI Raqamli ta'limda – metrologlarni kompetentligini shakllantirish // PEDAGOGS international research journal . – 2026. – Vol. 103. – Issue 1. – B. 334–337. – ISSN 2181-3027.
2. Murodova A. Pedagogical Conditions for Developing Information and Communicative Competence of Future Engineers in the Process of Independent Education // Eurasian Journal of Humanities and Social Sciences . – 2026. – Vol. 55. – P. 1–3.
3. Murodova A.Y. Virtualization in the Training of Engineers as a Factor of Increasing Scientific Efficiency // Academic Research Journal . – 2023. – P. 184–189.
4. Hamidov JA, Murodova AY Technology for Development of Professional and Technical Component of Future Engineers through Virtual Educational Technology // The Competing Science and Technology International Journal . – 2023. – 4 May. – P. 87–90.
5. Hamidov JA, Murodova AY Technology of development of professional and technical components of future engineers by means of virtual education technology // Science and Innovation . – 2023. – Vol. 2. – No. A1. – P. 306–311.
6. Murodova A. Program-didactic possibilities of using educational virtual technologies in preparing future engineers for professional activity // AIP Conference Proceedings . – 2024. – Vol. 3244. – 030037.
7. Murodova AY Virtual reallik texnologiyalarining rivojlanish istiqbollari // O'zbekiston Milliy universiteti xabarlar . – 2024. – No. 1/5. – B. 149–151.
8. Murodova AY Technology for development of professional and technical components of future engineers through virtual education technology // Pedagogik mahorat . – Buxoro, 2024. – No. 4. – B. 69–74.
9. Murodova AY Educational content, methods, software and tools for developing professional competence of future engineers based on virtual education technologies // NamDU ilmiy axborotnomasi . – Namangan, 2024. – No. 10. – B. 825–828.
10. ISO/IEC 17025. General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories.

11. UNESCO. Guidance for Generative AI in Education and Research. – Paris: UNESCO, 2023.

