



ION SELEKTIV ELEKTRODLARI YORDAMIDA NaCN KONSENTRATSIYASINI O'LGHASH TIZIMINI TADQIQ QILISH

Mahmudov G'iyosjon ^{1[0000-0002-0915-9929]}, **Qalandarov Alisher** ^{2[0000-0001-9684-7465]}

¹Navoiy Davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Metrologiya, standartlashtirish va sertifikatlashtirish kafedrası dotsenti, PhD, E_mail: mahmudov.giyos@mail.ru

²Navoiy Davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Metrologiya, standartlashtirish va sertifikatlashtirish kafedrası assistenti, E_mail: qalandarovalisher1710@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada ion selektiv elektrodleri yordamida NaCN konsentratsiyasini o'lgash tizimi tadqiq qilingan. Bundan tashqari ion selektiv elektrodning ishlash prinsiplari va ularning ulanish sxemalari, konstruksiyalari, ikki nuqtali kalibrlash va standartlar yordamida kalibrlash grafiklari, ion selektiv elektrod asosida NaCN konsentratsiyasini avtomatik nazorat qilish va boshqarish tizimlarining tavsiflari keltirilgan.

Kalit so'zlar. ion selektiv elektrod, sorbsiyali sianlash, NaCN konsentratsiyasi, Nernst tenglamasi, ikki nuqtali kalibrlash, nazorat qilish tizimlari.

Аннотация. В данной статье рассматривается система измерения концентрации NaCN с использованием ионселективных электродов. Кроме того, приведены принципы работы ионселективных электродов и схемы их подключения, конструкции, двухточечная калибровка и градуировочные графики с использованием эталонов, а также описания систем автоматического контроля и регулирования концентрации NaCN на основе ионселективных электродов.

Ключевые слова. ионселективный электрод, сорбционное цианирование, концентрация NaCN, уравнение Нернста, двухточечная калибровка, системы управления.

Abstract: This article discusses a system for measuring NaCN concentration using ion-selective electrodes. In addition, the operating principles of ion-selective electrodes and their connection diagrams, designs, two-point calibration and calibration graphs using standards, as well as descriptions of automatic monitoring and regulation systems for NaCN concentration based on ion-selective electrodes are presented.

Key words: ion-selective electrode, sorption cyanidation, NaCN concentration, Nernst equation, two-point calibration, control systems.

Kirish

Oltin tarkibli madanlardan oltin ajratib olishda sorbsiyali sianlash jarayoni asosiy rol o'ynaydi. Bunda ushbu jarayonda beriladigan NaCN reagent qimmat va zaharli modda sifatida e'tirof etiladi. Shuning uchun bu moddaning sarfi va konsentratsiyasini o'lgash va avtomatik boshqarish jarayonda ishlayotgan operatorlarni hayotiga xavf tug'dirmaydi. Ushbu maqolada ion selektiv elektrodleri asosida reaktorlardagi NaCN konsentratsiyasi o'lgash va avtomatik nazorat qilish tizimlar tahlil qilinadi [1].

Uslubiyat

Hozirgi kunda ko'plab oltinni ajratib olish korxonalarida laboratoriya usullari hamda analitik o'lgash asboblari yordamida reagentlarning konsentratsiyalarni o'lgash qo'llanilmoqda. Avtomatlashtirilgan boshqarish usullarining orasida aniq o'lgachchi asboblari yordamida o'tkaziladigan spektroskopik usullar keng tarqalgan. Ushbu usulning yuqori sezgirliigi va tejamkorliigi sababli eksperimental tahlil usullariga xos bo'lgan ko'plab muammolardan bartaraf etish imkoniyatini beradi. Eritma va pulpalar tarkibidagi nodir



metallarni aniqlash usullari orasida atom-absorbsion usuli sanoat ishlab chiqarish korxonalarida keng tarqalgan uullaridan biri sanaladi [2].

Elektrodli reaksiyalarining mexanizmi va ion selektivligini sinchkovlik bilan har tomonlama o'rganish, ionli datchiklarni amalda qo'llashning ko'plab misollari [3-4] ishlarda keltirilgan bo'lib, avtomatik analizator qurilmalarini ishlab chiqarishning jadal rivojlanishi uchun zarur zamin yaratdi. Shu jumladan, namunani oldindan tayyorlamasdan o'lchash uzluksiz oqimli tahlil uchun ham qo'llaniladi. Potensialning qisqa vaqtda hosil bo'lishi, elektrodning yuqori sezgirliigi va selektivligini hisobga olib, ulardan avtomatlashtirilgan nazorat qilish va boshqarish tizimlarida foydalanish uchun qulay sanaladi. Bu, ayniqsa, uzluksiz texnologik jarayon davomiyligida ko'p marotaba rostlashni talab etadigan sianli elektrolitlarni tahlil qilishda kimyoviy-tahlil qilish xavfsizligi nuqtayi nazaridan muhim ahamiyatga ega [5].

Ion-selektiv elektrodleri (ISE) ionga xos ichki taqqoslash elektrodi, ichki elektolit eritmasi va ion selektiv membranadan tashkil topgan. Tadqiq qilinayotgan eritma konsentratsiyasiga bog'liq ravishda o'lchovchi va taqqoslovchi elektrodlar orasida elektr yurituvchi kuch (EYuK), ya'ni potensial hosil bo'ladi. Agar eritma takibidagi ion konsentratsiyasi o'zgarsa, u holda ISE ning chiqishidan o'lchanayotgan potensial ham o'zgaradi. ISE orqali o'lchangan EYuK namunadagi ion konsentratsiyasi bilan o'zaro matematik bog'liqligi Nernst tenglamasi bilan ifodalanadi.

Nernst tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$E = E_0 - 2,303 \cdot \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \log (C + C_0) \quad (1)$$

bu yerda, E – taqqoslash va ISE lari orasidagi o'lchangan EYuK (mV), $E_0 - C=1$ ga teng bo'lgandagi taqqoslash va ISE lari orasidagi EYuK (mV), R – universal gaz doimiysi ($R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), T – harorat K (kelvin birligida beriladi), bu yerda $T(K)=273,15+t \text{ } ^\circ\text{C}$, t – o'lchanayotgan eritmaning harorati $^\circ\text{C}$, F – Faradey doimiysi (96485 C mol^{-1}), n – ionning elektr zaryadi, C – o'lchanayotgan ionning konsentratsiyasi, C_0 – aniqlash chegarasi.

Ushbu keltirilgan Nernst tenglamasida R va F fizik doimiylar hisoblanadi va o'lchanayotgan ionning zaryadi ham aniq. Namunaviy yoki standart eritmalarning harorati tashqi va ichki ta'sirlar natijasida o'zgarib turishi sababli, uni o'lchash vaqtida har doim qiymatini qayd qilish kerak. Shunday qilib, yuqorida keltirilgan (1) ni quyidagi ko'rinishida ifodalash mumkin [6]:

$$E = E_0 - S \cdot \log (C + C_0) \quad (2)$$

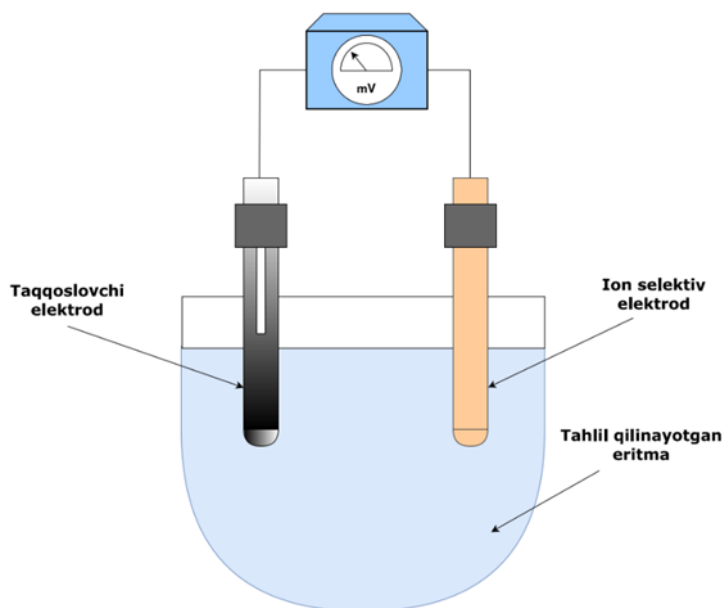
bu yerda, S – ion selektiv elektrodning qiyaligi deb yuritiladi va u quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$S = -2,303 \cdot \frac{RT}{nF} \quad (3)$$

pH ni o'lchashdan allaqachon ma'lum bo'lganidek, S egrilik chizig'i sifat ko'rsatkichi hisoblanadi. Agar gradient vaqt o'tishi bilan kamaysa, ion selektiv qismi tozalanadi, elektrolitlar eritmasi to'ldiriladi, ISE (yoki membrana) almashtiriladi va texnik xizmat ko'rsatiladi.

ISE muayyan ionlarga nisbatan sezgir bo'lib, ularning konsentratsiyasini potensial o'zgarishlar orqali aniqlash imkonini beradi. Sian ionlari uchun maxsus ISE ishlatiladi. Elektrodning ishlash prinsipi Nernst tenglamasiga asoslangan bo'lib, natijaviy elektrod potentsiali muhitdagi sian ionlarining konsentratsiyasiga bog'liq bo'ladi.

ISE larining xarakteristikalarini ta'minlash uchun tahlil qilinayotgan ionlarning standart eritmaları tayyorlanadi, masalan konsentratsiyalari 0,01/0,1/1,0/10/100/1000 mg/l ga teng bo'lgan standart eritmaları tayyorlanadi. Barcha standart eritmaları o'lchangandan keyin, ISE larining xarakteristikasini grafik ko'rinishida qurish mumkin [7]. Bunda tadqiq qilinayotgan eritma konsentratsiyasi elektroddan chiqayotgan EYuK ga bog'liqligini ifodalaydi. Ushbu egri chiziqdagi konsentratsiya o'rniga konsentratsiyaning logarifmini ($\log C$) tuzish foydali hisoblanadi. Yuqorida keltirilgan misolda natija mg/l da berilib, $\log(C) = (-2, -1, 0, +1, +2, +3)$ ga tengligini ko'rish mumkin.



1-rasm. Ion selektiv elektrodining sxemasi.

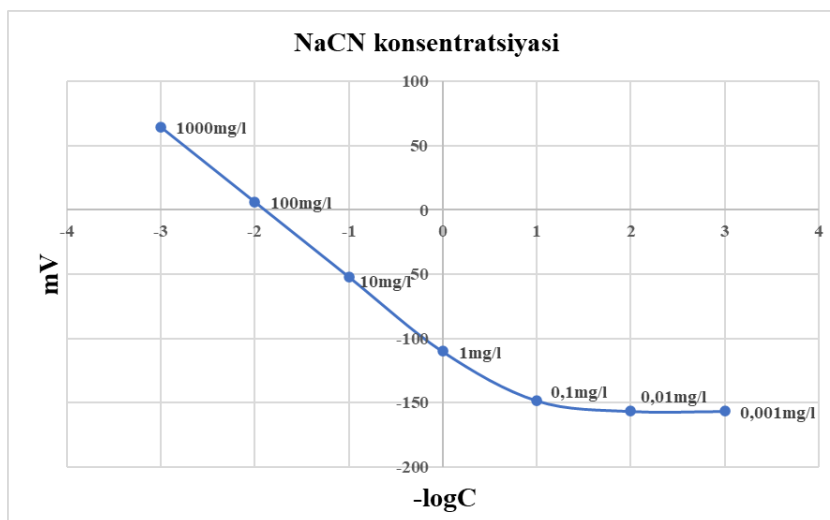
1-jadvalda 7 ta standart Na^+ eritmaları (mg/l) uchun ISE orqali o'lchangan mV qiymatlari ko'rsatilgan.

1-jadval

$-\log C$	mV	mg/l
3	-156,5	0,001
2	-156,5	0,01
1	-148,2	0,1
0	-110	1
-1	-51,8	10
-2	6,4	100
-3	64,5	1000

Yuqorida keltirilgan 1-jadvaldagi ko'rsatkichlarning qiymatlariga ko'ra parametrlarning bir-biriga bog'liqligini ifodalovchi xarakteristik grafigi 2-rasmda keltirilgan. Egri chiziqlarning qiymati Na^+ konsentratsiyasining kamayishi bilan kamayadi. Chiziqli diapazon sifatida 1 mg/l

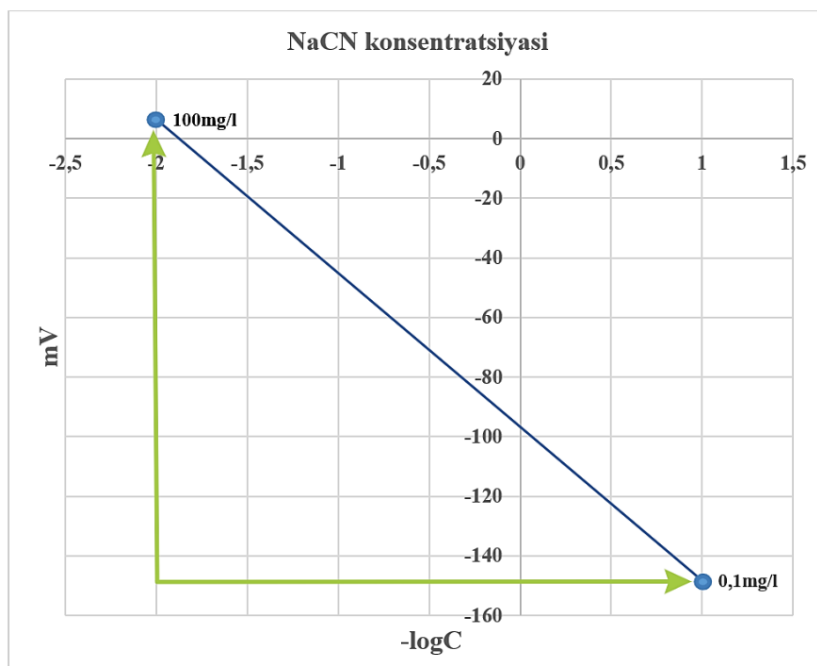
dan 1000 mg/l gacha bo'lgan 20 °C haroratda -58,2 mV/pC egrilikni ko'rsatsa, past konsentratsiyalarda deyarli nolga teng bo'lgan 0,001 mg/l miqdorda -0,2 mV pC ni ko'rsatadi.



2-rasm. Ion selektiv elektrodi yordamida o'lchangan NaCN konsentratsiyasining bog'liqlik grafigi.

Bu shuni anglatadiki, grafikdagi egri chiziq ISE ning "nochiziqli" sohaga ega ekanligini ko'rsatadi. Agar Na^+ ning past konsentratsiyasini o'lchash kerak bo'lsa, shuni hisobga olish kerakki, oz miqdordagi Na^+ ni ISE dan deyarli farqlash qiyin bo'lib qoladi. Agar ISE ning qiyaligi 30 mV/pC dan pastga tushsa (bir valentli ion uchun), bunday konsentratsiyalarda takrorlanmaydigan va noto'g'ri natijalarni kutish mumkin.

3-rasmda keltirilgan grafikda cheklangan konsentratsiya oralig'i uchun 2 nuqtali kalibrlash grafigi [8] keltirilgan. O'lchanadigan ion konsentratsiyasi ushbu diapazonda qolar ekan bunda 2 nuqtali kalibrlash amalga oshiriladi. Kalibrlash uchun standartlarning konsentratsiyasi 10 marta farq qilinishi kerak. Agar namunada natriy miqdori 30-50 mg/l bo'lsa, u holda tadqiqot ishida foydalanilgan ikkita 10 mg/l Na^+ va 100 mg/l Na^+ standartlari ishlatiladi.



3-rasm. Ikki nuqtali kalibrlash grafigi.



Tadqiq qilinayotgan eritmaning harorati Nernst tenglamasida o'zgaruvchi sifatida ishlatilganligi va ISE yordamida konsentratsiyasini o'lchash uchun harorat qiymatlari qayd qilinishi kerak. O'lchanadigan namunaning standartlar bilan bir xil haroratga ega bo'lishi muhim hisoblanadi. Namuna va standartlar o'rtasida 1 °C maksimal og'ish qabul qilinadi, garchi bu hali ham yakuniy natijaning aniqligiga ta'sir qiladi.

Namuna va standartni o'lchash uchun har doim aralashtirgichdan foydalanish tavsiya etiladi. Ushbu aralashtirish ionlarning elektrod yuzasiga o'tkazilishini ta'minlaydi. Bu, ayniqsa, past konsentratsiyali ionlarda stabilashtirish vaqtini qisqartirishi mumkin.

Magnitli aralashtirgichlardan foydalanganda, aralashtirgichdan namunaga issiqlik almashinuvi sodir bo'lmashligi uchun aralashtirish qurilmasining o'lchash idishidan izolyatsiya qilinishini ta'minlash kerak. Bu esa o'lchangan qiymatlarning o'zgarishiga olib kelishi mumkin.

ISE ni joriy etishning boshida SE ning namunadagi faqat bitta turdagi ionga reaksiyaga kirishadigan sezgir qismi bor deb taxmin qilingan edi. Odatda bunday bo'lmaydi, chunki ko'plab ISE lar ion radiusi, zaryadi va tezkorligi bo'yicha o'xshash bo'lgan turli ionlarga reaksiyaga kirisha oladigan sezgir qismga ega. Bu esa namunani o'lchashda e'tiborga olinishi kerak. Ionning ortiqcha miqdori izlanayotgan ionning mavjud bo'lganidan yuqori konsentratsiyada ko'rsatilishiga olib kelishi mumkin.

Eritmadagi barcha ionlar umumiy ion tarkibiga qo'shiladi. Ionlar eritmadagi yagona zaryad tashuvchilari hisoblanadi. Agar yetarli miqdorda ionlar mavjud bo'lsa, ISE ning yuzasiga doimiy ion tashish sodir bo'ladi, unda past ion miqdoriga ega bo'lgan hollarda ichimlik suvi, sovutish suvi va boshqalar, zaryad tashish juda oz sonli ionlar orqali sodir bo'ladi va ISE ning izlanadigan ion bilan aloqasi juda kam va tasodifiydir.

NaCN konsentratsiyasini o'lchashda eng keng tarqalgan usullardan biri ISE asosida bevosita o'lchash hisoblanadi. Shu maqsadda ikki yoki undan ortiq standartlardan kalibrlash egri chizig'i yaratiladi. Agar kalibrlash amalga oshirilganda va o'lchash qurilmasida saqlangan bo'lsa, namunani to'g'ridan-to'g'ri o'lchash mumkin va konsentratsiyasi avtomatik ravishda o'lchash qurilmasi yordamida o'lchanadi. Namunaning tarkibi o'zgarganda to'g'ridan-to'g'ri usul o'rniga qo'shimcha usul qo'llaniladi. Bunda to'g'ridan-to'g'ri o'lchashdan tashqari eng ko'p ishlatiladigan usul hisoblanadi. ISE namunani bir marta o'lchaydi, so'ngra belgilangan miqdordagi standart eritma qo'shilgandan keyin bir xil namunaga aylanadi. Namuna hajmi, standart hajmi va standart konsentratsiyasini o'lchash qurilmasi orqali eritma konsentratsiyasini aniqlash mumkin. Optimal qo'shimcha namuna konsentratsiyasini ikki baravarga oshiradi yoki namuna: standart nisbati 1:10 gacha bo'lishi mumkin. Shuning uchun yuqori konsentratsiyalangan standartlar bilan ishlash tavsiya etiladi, chunki u holda qo'shilgan standart hajm juda kichik va odatda e'tiborsiz qolishi mumkin.

O'lchash aniqligini oshirish usullari:

1. elektrodning kalibrovkasi – ISE dan foydalanishda elektrodni ma'lum sian eritmalari bilan kalibrlash zarur. Kalibrlash aniqligini oshirish uchun yuqori aniqlikka ega bo'lgan standart eritmalardan foydalanish lozim;

2. pH darajasini nazorat qilish – Sian ionlarining elektrod yuzasidagi ta'sirchanligi muhitning pH darajasiga bog'liq. Optimal natijalar pH 10-11 oralig'ida kuzatiladi;

3. haroratni stabilashtirish – Harorat o'zgarishi ion selektiv elektrodining javobini ta'sir qiladi. Doimiy harorat sharoitida o'lchashlarni amalga oshirish aniqlikni oshiradi;

4. elektrodni muntazam tozalash va texnik xizmat ko'rsatish – Elektrod yuzasida qoldiqlarning yig'ilishi sezgirlikni pasaytirishi mumkin. Shu sababli elektrod muntazam ravishda distillangan suv va maxsus eritmalar bilan tozalanishi kerak;

5. shovqinlarni kamaytirish – O'lchash tizimida elektr shovqinlarining mavjudligi natijalarning aniqligiga ta'sir qilishi mumkin. Shovqinlarni kamaytirish uchun ekranlangan kabellardan foydalanish va elektromagnit maydonlardan uzoqroq o'lchash tavsiya etiladi.



Kimyoviy datchiklarning sezgirlikni aniqlovchi elektrod funksiyasining qiyaliligi [9] EYuK qiymatlari bilan aniqlanayotgan moddaning konsentratsiyasi (aktivligi) logarifmi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi parametr bo'lib, u son jihatdan haroratga bog'liq bo'lgan Nernstning burchak koeffitsiyentiga teng. 25 °C haroratda va aniqlangan ionning faolligi o'n marta o'zgarganda, u bir zaryadli ionlar uchun 59,16 mV va ikki zaryadli ionlar uchun 29,58 mV ga teng. Biroq, odatda qiyalik burchagi koeffitsiyenti nazariy qiymatdan pastroq bo'ladi. Bunga xalaqit beruvchi aralashmalarning mavjudligi va membranasidan yuvib chiqarilishi sabab bo'ladi [10-12].

Gidro metallurgiya zavodlari (GMZ) da ISE asosidagi nazorat qilish tizimlarini joriy etish [13-15] pulpadagi erkin sian ionlari konsentratsiyasini texnologik reglamentda belgilangan darajada stabilashtirishni ta'minlaydi va quyidagi muammolarni yechish imkonini beradi [16-18]:

- qo'l mehnati ulushini kamaytirish (smanada bir tahlilgacha (yoki kamroq) sian ionlari konsentratsiyasini aniqlash uchun qo'lda bajariladigan kimyoviy tahlillar soni);
- reagent NaCN sarfini kamaytirish;
- GMZ chiqindilarida erkin sian ionlari konsentratsiyasini kamaytirish;
- NaCN reagentining GMZ dagi dozasini oshirib yuborish bilan bog'liq favqulodda vaziyatlarning oldini olish;
- texnologik jarayon samaradorligini oshirish, yo'qotishlarni kamaytirish;
- jarayonga "inson omili" ya'ni qo'lda boshqarish ta'sirini kamaytirish;
- pulpaning qattiq fazasidan oltinni chuqurroq yuvilishini ta'minlash va GMZ chiqindilarining qattiq fazasida oltin miqdorini kamaytirish.

Xulosa

Oltin tarkibli madanlardan oltin ajratib olishda sorbsiyali sianlash jarayoni asosiy zvenolardan biri hisoblanadi. Ushbu jarayonlardagi NaCN konsentratsiyasini real vaqt rejimida aniq va uzluksiz ravishda o'lchash va nazorat qilish uchun ISE ni ishlatish yuqori samara beradi. Bundan tashqari ISE olingan signal asosida jarayonni avtomatik nazorat qilish va boshqarish mumkin. Bu esa bevosita qo'l mehnati ulushini kamaytirish, reagent NaCN sarfini va GMZ chiqindilarida erkin sian ionlari konsentratsiyasini kamaytirish, NaCN reagentining GMZ dagi dozasini oshirib yuborish bilan bog'liq favqulodda vaziyatlarning oldini olishni ta'minlaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

[1]. Jumayev O.A., Akhmatov A. A., Makhmudov G.B. Process modeling of optimum mixing of cyanic solutions with use of intellectual systems of measurement on a basis to a fuzzy logic // Chemical Technology, Control and Management. – 2018. – T. 2018. – №.1. – С. 132-137.

[2]. Егоров В.В. Ионоселективные жидкостные электроды: проблемы описания и экспериментального определения селективности // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2008, т. LII, № 2.

[3]. Корята И., Стулик К. Ионселективные электроды. М.: Мир, 1989. 272 с

[4]. Ёлшин В.В., Колодин А.А., Овсяков А.Е. Внедрение автоматизированной системы управления циклом десорбции золота из активных углей на кочкарской ЗИФ // Вестник ИрГТУ. – 2011. – № 5. – С. 115–119.

[5]. Jumaev O., Mahmudov G., Shermurodova M., and Abdujalilov, A. Development of a digital signal processing model using a frequency synthesizer and



synthesis of quadrature conversion circuits // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 419. – С. 01003.

[6]. Захарова Г.С., Подвальная Н.В. Пат. 2452941 РФ, МПК 7 G01N27/333. Ионоселективный электрод / опубл. 10.06.2012. – Бюл. № 16.

[7]. Kalandarov I., Namozov N., Bozorov B. Analyses and algorithms of personnel safety in mines using event tree and Bayesian network method //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 531. – С. 03018.

[8]. Kalandarov I. I., Namozov N. N. Yer osti konlarida xodimlarni xavfsizligini ta'minlash individual qurilmalaridagi signallar kechikish vaqtini aniqlash modeli //Journal of Advances in Engineering Technology. – 2024. – №. 1. – С. 33-36.

[9]. Kalandarov I., Namozov N., Bozorov B. Yer osti kon ishlarida xodimlar xavfsizligini ta'minlash tizimlari tahlili //Innovatsion texnologiyalar. – 2023. – Т. 52. – №. 04.

[10]. Jumaev O., Ismoilov M., Raxmatov D., Qalandarov, A. Enhancing abrasion resistance testing for linoleum and rubber products: A proposal for improved device operation. // In E3S Web of Conferences EDP Sciences- 2024. -Vol. 525, P.- 05012.

[11]. Бабкин П.С., Павлов Ю.Н., Перов А.Н. Применение двухточечного метода калибровки для тепловизионных матриц фирмы ULIS // Радиооптика. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 06. С. 13–26.

[12]. Nivari S.J. Ion exchange equilibria of the gold cyanide complex in aqueous and mixed solvent environments. Thesis for PhD. New South Wales, 2005. – 242 p.

[13]. Jumaev, O., Makhmudov, G., Isabekova, V., Rakhimov, A., & Orziyev, J. (2024). Fuzzy-logic system for regulating the temperature regime of a bioreactor in the process of bacterial oxidation. In E3S Web of Conferences (Vol. 525, p. 05011). EDP Sciences.

[14]. de Andrade Lima, D. Hodouin "Simulation study of the optimal distribution of cyanide in a gold leaching circuit", Minerals Engineering 19 (2006) 1319–1327.

[15]. Каландаров И. И. и др. Преобразователь передачи информации в информационную систему контроля горюче-смазочных материалов //Journal of Advances in Engineering Technology. – 2022. – №. 3. – С. 5-8.

[16]. Жумаев О. А., Махмудов Г. Б., Мажидова Р. Б. Применения нечеткого контроллера для управления процесса выщелачивания золота из продуктов бактериального вскрытия //Journal of Advances in Engineering Technology. – 2022. – №. 1. – С. 5-9.

[17]. Kabulov A. et al. Control System and Algorithm for Construction of Optimal Technological Routes for Machining Parts in the Machining Shop //International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry "Interagromash". – Cham: Springer International Publishing, 2022. – С. 2566-2574.

[18]. Ботиров Т. В. и др. Синтез интервальных управляющих устройств в адаптивные системы управления с эталонной моделью //Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений. – 2020. – С. 231-234.