

SANOAT XAVFSIZLIGI UCHUN FOSFOSILIKATLI GAZ SENSORLARI VA ULARNING KO‘RSATKICHLARINI SUN’IY INTELLEKT YORDAMIDA OPTIMALLASHTIRISH

B.N. Raximov¹, B.E. Turayev², X.I. Isayev³

¹*Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari va aloqa harbiy instituti*

²*Toshkent amaliy fanlar universiteti*

³*Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti*

²bturaev2020@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada membranalar oraliq haroratli yoqilg‘i elementlari va gaz sensorlarida, shuningdek, kelajakdagi elektromobillarda ishlatilishi mumkin. Bu sanoat omborxonalari va strategik obyektlar kabi yopiq xonalarda gazdan to‘g‘ri foydalanish imkonini beradi. Tadqiqotda sensor signallarini tahlil qilish va gaz konsentratsiyasini xatoliksiz aniqlash uchun (SI) sun‘iy intellekt algoritmlaridan foydalanish imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. SI yordamida xatolik 0.6% gacha kamaytirildi.

Аннотация. В данной статье рассматриваются мембраны, которые могут быть использованы в среднетемпературных топливных элементах и газовых сенсорах, а также в электромобилях будущего. Это позволяет обеспечить правильное использование газа в закрытых помещениях, таких как промышленные склады и стратегические объекты. В исследовании рассмотрены возможности применения алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) для анализа сигналов сенсоров и безошибочного определения концентрации газа. С помощью ИИ погрешность была снижена до 0,6%.

Abstract. This article discusses membranes that can be used in intermediate-temperature fuel cells and gas sensors, as well as in future electric vehicles. This allows for the proper management of gas in enclosed spaces such as industrial warehouses and strategic facilities. The study examines the potential of using artificial intelligence (AI) algorithms to analyze sensor signals and accurately determine gas concentrations. Through the use of AI, the error rate was reduced to 0.6%.

Kalit so‘zlar. Proton-o‘tkazuvchi, membrana, impedans, gaz datchigi, Sun‘iy Intellect, Mashinali o‘rganish, bashoratli tahlil.

Ключевые слова. Протон-проводящий, мембрана, импеданс, газовый датчик, Искусственный интеллект, Машинное обучение, предиктивный анализ.

Keywords. Proton-conducting, membrane, impedance, gas sensor, Artificial Intelligence, Machine learning, predictive analysis.

Elektr energiyasiga bo'lgan talabning doimiy o'sishi va uning narxining ko'tarilishi energiyani yanada samaraliroq hamda ekologik jihatdan xavfsiz ishlab chiqaruvchi yangi texnologiyalarni jadal izlashga turtki bo'ldi. transport sohasida avtomobil ishlab chiqaruvchilari ichki yonuv dvigatellari va elektr motorlarini o'zida mujassamlashtirgan elektromobillar hamda gibrid avtomobillarni ishlab chiqarishni yo'lga qo'ydi. Bunday avtomobillar uchun hamyonbop narxdagi vodorodli yonilg'i elementi istiqbolli elektr energiyasi manbai bo'lishi mumkin [1]. bunday yonilg'i elementida yaxshi ishlaydigan proton o'tkazuvchi membrana o'ta muhim tarkibiy qism hisoblanadi. Membrana 130°C gacha bo'lgan oraliq haroratlarda, past namlik sharoitida ishlay olishi kerak.

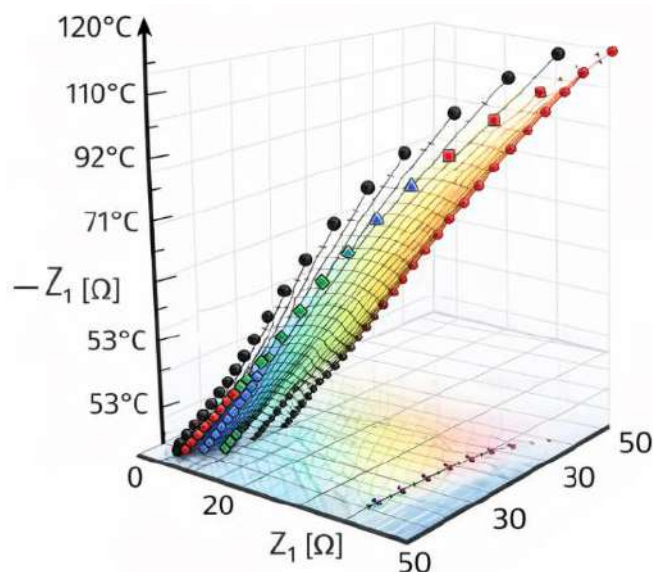
Hozirgi kunda mavjud bo'lgan membranalarining past ishchi harorati va namlikka bo'lgan talablari yonilg'i elementlari tizimini murakkablashtiradi, bu esa uning tannarxi va chidamliligiga ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli, so'nggi tadqiqotlar yaxshiroq xususiyatlarga ega va arzonroq bo'lgan takomillashtirilgan membranalarini yaratishga qaratilgan [2,3]. Bunday membranalar uchun istiqbolli materiallar sifatida gibrid noorganik-organik fosfosilikat polimerlar qaraladi. Umuman, silikat birikmalar yuqori haroratga va kimyoviy ta'sirlarga chidamlidir. Polisiloksanlar esa O atomlarining o'rnini organik guruhlar bilan almashtirib, silikat to'rni "yumshatadi" va unga rezinasimon elastiklik baxsh etadi.

–Si–O–Si– bog'lanishlari taxminan 454 kJ/molni tashkil etuvchi yuqori bog'lanish energiyasiga ega (–C–C– bog'lanishlarining 349 kJ/mol energiyasiga nisbatan) va membrananing issiqlikka chidamli karkasini hosil qiladi. Bundan tashqari, ular yuqori qutblilikka ega bo'lib, bu Si atomlaridagi organik guruhlarini barqarorlashtiradi. Siloksanlar keng harorat oralig'ida, ya'ni –90°C dan +250°C gacha barqarordir. Ular ushbu harorat oralig'ida yaxshi elektr qarshiligi, yuqori kimyoviy chidamlilik va biologik inertlik xususiyatlarini namoyon etadi. Ularni tayyorlash jarayoni polimerizatsiya, to'ldiruvchi qo'shimchalar va vulkanizatsiyaga asoslangan kauchuklarning xossalari sezilarli darajada o'zgartirishi hamda boshqarishi mumkin [4-5]. Shu sababli, bu mustahkam va elastik material membranalarimiz asosini shakllantirish uchun juda mos keladi.

Membranalar konsentrlangan H_3PO_4 ning suyuq organik komponentlar — dialkildixlorsilan va tetraetoksisilan bilan 150°C gacha bo'lgan haroratda reaksiyaga kirishishidan hosil bo'ladi. Natijada biz metil (–CH₃) guruhi va proton o'tkazuvchanligi gidroksil (–OH) funksional guruhlari hissasiga to'g'ri keladigan fosfosilikat polimerini oldik.

Proton o'tkazuvchanlik membrananing eng muhim xususiyati bo'lib, u membrananing yoqilg'i elementi yoki datchikdagi ish faoliyatini belgilab beradi. Membrana o'tkazuvchanligini aniq o'lchash uchun elektrokimyoviy impedans spektroskopiyasi usulini qo'lladik. Membrana ikkita Pt-elektrodli o'lchov yacheykasiga joylashtirildi, 120°C gacha qizdirilib, shu haroratda 2 soat ushlab turildi.

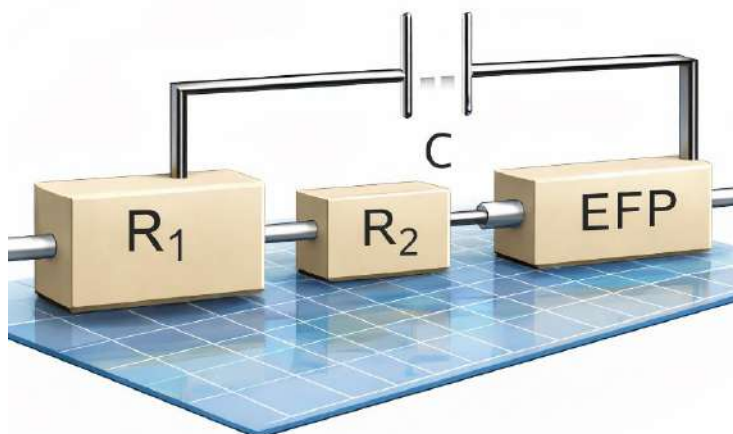
O'tkazuvchanlik yuqori haroratdan xona haroratigacha bo'lgan oraliqda o'lchandi. Qo'llanilgan kuchlanish 10 mV ni tashkil etdi. Biz spektrlarni 1-rasmdagi ekvivalent sxema yordamida tahlil qildik, bu bizga ma'lumotlarning eng yaxshi mos kelishini ta'minladi.



1-rasm. Proton-o'tkazuvchi membrananing haroratga bog'liq elektroximik impedans spektrlaining 3D vizualizatsiyasi

Olingan impedans ma'lumotlari (R_1 , R_2 , C , EFP) neyron tarmoqlari uchun kirish parametrlari bo'lib xizmat qiladi. Bu datchikka nafaqat gaz borligini, balki uning turini va konsentratsiyasini bashorat qilish imkonini beradi.

O'lchangan impedansni kompleks tahlil qilish orqali ekvivalent sxemaning parametrlari baholandi. Tipik impedans spektrlari 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Ekvivalent sxema modeliningning 3D vizualizatsiyasi

R_1 elementi membrana qarshiligini ifodalasa, C elementi qo'sh qatlam sig'imini bildiradi. R_2 elementi esa, ehtimol, zaryad tashilishi qarshiligidir. Ular impedansning chastotaga bog'liq tashkil

etuvchisi-doimiy faza elementi [5] (DFE) bilan birgalikda, aftidan, membrana-elektrod chegarasidagi Faradey impedansini hosil qiladi.

Olish usulini optimallashtirish natijasida biz rentgen difraksiyasi usuli bilan tasdiqlangan amorf tabiatli yarim shaffof elastik material sintez qildik. Quyish usuli yordamida 5x5 sm o'lchamdagi fosforsilikat membranalar tayyorlandi. Impedans spektrlari tahlili shuni ko'rsatdiki, harorat 23°C dan 120°C gacha ko'tarilganda R_1 membrana qarshiligi taxminan 12 Omdan 3 Omgacha, R_2 zaryad tashilishi qarshiligi esa taxminan 24 Omdan 8 Omgacha kamaygan, C qo'sh qatlam sig'imi taxminan 3 mF dan 5 mF gacha oshgan, EFP elementining A parametri taxminan 20 kOmdan 13 kOmgacha kamaygan, α parametri esa 0,77 dan 0,80 gacha biroz ortgan. R_1 va C qiymatlaridan shunday xulosa qilishimiz mumkinki, haroratning oshishi protonlar harakatchanligiga ijobiy ta'sir ko'rsatib, polimerning tarkibiy birliklari ham o'z yo'nalishini osonroq o'zgartira olishini ko'rsatadi.

Yuqori harorat, shuningdek, Faradey jarayoniga ham yordam beradi, chunki biz R_2 va EFP impedansining pasayganini kuzatdik. Biz membrana proton o'tkazuvchanligini 1,4% dan kamroq nisbiy xatolik bilan aniqladik. An'anaviy Arrenius grafigidan tashqari, tasodifiy o'rmon yoki ko'p qatlamli perseptron algoritmlari qo'llanilib, sensorning namlikka bog'liqlik xatoligi sun'iy ravishda kompensatsiya qilindi. Bu esa datchikning 120°C gacha bo'lgan sharoitda barqaror ishlashini ta'minlaydi. Arreniusning o'tkazuvchanlik grafigi $R_2 = 0,9997$ bo'lgan chiziqli ko'rinishda edi. Proton migratsiyasining o'rtacha faollanish energiyasi 20 kJ/mol ni tashkil etdi. Bu ancha past qiymat harakatchan protonlarning bog'lanishi juda zaif ekanligidan dalolat beradi. An'anaviy usullar bilan olingan natijalar ko'pincha tashqi muhit shovqinlari va sensorning chiziqli bo'lmagan xarakteristikalarini tufayli yuqori xatolikka ega bo'ladi. Hozirgi kunda gaz datchiklarining sezgirligini va selektivligini oshirishda nafaqat yangi materiallar, balki signallarni intellektual qayta ishlash algoritmlari ham hal qiluvchi ahamiyatga ega bo'lmoqda [6]. Shu sababli, tadqiqotda sensor signallarini tahlil qilish uchun SI algoritmlari qo'llanildi.

120°C haroratda va nisbiy namlik 1% dan past bo'lganda o'tkazuvchanlik 1,6 Sm/m ni tashkil etdi. Quruq atmosferada o'tkazuvchanlik natijalari shuni ko'rsatdiki, yuqori proton o'tkazuvchanligini saqlab qolish uchun bizning membranamizda erkin suv molekulalarining mavjudligi shart emas edi. Fosforilikatli membrana bir-biridan uncha uzoq bo'lmagan masofada -ON guruhlarining yetarli konsentratsiyasini o'z ichiga oladi, bu esa yuqori haroratlarda N^+ ning muvaffaqiyatli sakrashining yuqori ehtimolini keltirib chiqaradi. Bizning tajribalarimizdan kelib chiqadiki, H^+ tashilishi uchun erkin H_2O molekulalarining bo'lishi shart emas. Gidrosil guruhlarining protonlari, ehtimol, qo'shbog'li kislorod atomlari yoki manfiy zaryadi yuqori bo'lgan boshqa qismlar bilan kuchsiz vodorod bog'larini hosil qilishi mumkin. Shunday qilib, ular dastlabki -OH guruhining kislorod atomlaridan osongina dissotsiatsiyalanadi, bu ularning yuqori

harakatchanligiga olib keladi. Olingan natijalarga ko'ra, yirik yopiq binolarda gazlanishning oldini olish va nazorat qilish muhim ahamiyatga ega.

Intellektual tahlil va sensor signallarini qayta ishlash o'lchangan impedans spektrlarini yanada aniq tahlil qilish va datchik xatoliklarini kamaytirish uchun ushbu tadqiqotda SI algoritmidan foydalanildi. Tizimning ishlash jarayoni quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi [7].

Elektrokimyoviy impedans spektroskopiyasi yordamida olingan real ko'rsatkichlar (R_1 , R_2 , C , EFP) neyron tarmog'i uchun kirish parametrlari (input features) sifatida tanlab olindi.

To'plangan ma'lumotlar bazasi ko'p qatlamli perseptron (Multi-layer Perceptron - MLP) algoritmi yordamida qayta ishlandi. Bunda 80% ma'lumot modelni o'qitishga, 20% esa testdan o'tkazishga ajratildi.

SI modeli olingan impedans qiymatlarini tahlil qilib, atrof-muhitdagi gaz konsentratsiyasini va proton o'tkazuvchanligini real vaqt rejimida hisoblaydi.

Algoritmning asosiy afzalligi shundaki, u yuqori harorat (120°C) va past namlik (1% dan kam) sharoitida sensorning chiziqli bo'lmagan xatolarini matematik usulda kompensatsiya qiladi. Natijada, sensorning nisbiy xatoligi 1.4% dan 0.6% gacha kamayishi aniqlandi. Bu esa sanoat omborxonalari va strategik obyektlarda gaz chiqishini erta bosqichda aniqlash imkonini beradi.

Biz gibrid noorganik-organik fosforsilikat polimeri asosida yangi egiluvchan, yarim shaffof va amorf membranalar ishlab chiqdik. Ushbu membranalar quruq sharoitda, 100°C dan yuqori haroratda yuqori proton o'tkazuvchanligiga ega bo'lib, 120°C da bu ko'rsatkich 1,6 Sm/m ga yetadi. Proton tashilishining o'rtacha faollashuv energiyasi 20 kJ/mol ni tashkil etadi.

Jadval. Praton o'tkazuvchanlik va SI modelining bashorati aniqligi.

№	Harorat ($^{\circ}\text{C}$)	O'lchangan o'tkazuvchanlik (Sm/m)	SI modeli bashorati (Sm/m)	Nisbiy hatolik (%)
1	23	0.45	0.46	2.2
2	60	0.82	0.81	1.2
3	100	1.35	1.36	0.7
4	120	1.60	1.59	0.6

Shunday qilib, tadqiqot natijalari ushbu membranalaridan oraliq haroratli yoqilg'i elementlari va gaz datchiklarida, shuningdek, kelajakdagi elektromobillarda foydalanish mumkinligini ko'rsatadi, degan xulosaga kelish mumkin. Bu sanoat omborlari va strategik obyektlar kabi yopiq inshootlarda gazlardan to'g'ri foydalanish imkonini beradi.

Литература

- [1] G. Hoogers, G. Hoogers (Ed.), Fuel Cell Technology Handbook, CRC Press, London, 2003, pp. 10–11.
- [2] K. Tadanaga, H. Yoshida, A. Matsuda, T. Minami, M. Tatsumisago, Inorganic–organic hybrid films using epoxycyclohexylethyltrimethoxy- silane and orthophosphoric acid for PEFC operated at medium temperatures, Solid State Ionics 176 (2005) 2997–2999.
- [3] G. Alberti, M. Casciola, Composite membranes for medium-temperature PEM fuel cells, Annu. Rev. Mater. Res. 33 (2003) 129–154.
- [4] Noll W. Chemistry and technology of silicones. – Elsevier, 2012.
- [5] Macdonald J. R., Johnson W. B. Fundamentals of impedance spectroscopy // Impedance spectroscopy: theory, experiment, and applications. – 2018. – С. 1-20.
- [6] Liu X. et al. Artificial Intelligence in Gas Sensors: A Review // IEEE Sensors Journal. – 2024.
- [7] Bishop C. M., Nasrabadi N. M. Pattern recognition and machine learning. – New York , springer, 2006. – Т. 4. – №. 4. – С. 738.