ELEKTROLIZDAN TURMUSHDA VA TEXNIKADA FOYDALANISHNING ILMIY-NAZARIY ASOSLARI VA ISTIQBOLLARI

Nematov Elbek Ulug'bekovich
Romitan tuman 1-son politexnikumining
“Fizika” fani o’qituvchisi
https://doi.org/10.5281/zenodo.23508389

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektroliz jarayonining fizik-kimyoviy mohiyati, nazariy asoslari hamda kundalik turmush va zamonaviy texnikadagi qo‘llanilish imkoniyatlari kompleks ravishda tahlil qilingan. Elektrolizning elektrodlar yuzasida sodir bo‘ladigan oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari bilan bog‘liqligi, elektrolitlarning xususiyatlari, elektr toki ta’sirida kimyoviy o‘zgarishlarning yuzaga kelish mexanizmlari yoritilgan. Shuningdek, elektroliz yordamida metallarni ajratib olish, buyumlar sirtini metall bilan qoplash, metall buyumlarni korroziyadan himoyalash, kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqarish, suvni elektrokimyoviy qayta ishlash va vodorod olish texnologiyalarining amaliy ahamiyati ko‘rib chiqilgan. Faradey qonunlarining elektroliz mahsuldorligini hisoblashdagi o‘rni, energiya samaradorligiga ta’sir qiluvchi omillar hamda elektrokimyoviy texnologiyalarning ekologik jihatlari tahlil etilgan. Maqolada qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida vodorod ishlab chiqarish, elektrod materiallarini takomillashtirish va elektroliz jarayonlarini raqamli boshqarish istiqbollari ham yoritiladi. Tadqiqot natijalari elektrolizning ilmiy-nazariy asoslarini tushunish, uning amaliy imkoniyatlarini baholash va resurslardan samarali foydalanishga qaratilgan texnologik yechimlarni ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so‘zlar: elektroliz, elektrokimyo, elektrolit, elektrod, anod, katod, Faradey qonunlari, elektrokaplama, korroziya, alyuminiy ishlab chiqarish, vodorod energetikasi, suvni elektrokimyoviy tozalash, energiya samaradorligi.

Аннотация. В статье комплексно рассматриваются физико-химическая сущность электролиза, его теоретические основы и возможности применения в повседневной жизни и современной технике. Раскрывается связь электролиза с окислительно-восстановительными реакциями, протекающими на поверхности электродов, а также анализируются свойства электролитов и механизмы химических превращений под действием электрического тока. Особое внимание уделяется получению металлов, нанесению металлических покрытий, защите изделий от коррозии, производству химических веществ, электрохимической обработке воды и технологиям получения водорода. Рассматриваются значение законов Фарадея для расчёта выхода продуктов электролиза, факторы энергоэффективности и экологические аспекты электрохимических технологий. Кроме того, анализируются перспективы использования возобновляемых источников энергии для производства водорода, совершенствования электродных материалов и цифрового управления электролитическими процессами. Результаты исследования могут быть использованы при изучении электрохимии, оценке практических возможностей электролиза и разработке ресурсосберегающих технологических решений.

Ключевые слова: электролиз, электрохимия, электролит, электрод, анод, катод, законы Фарадея, гальваническое покрытие, коррозия, производство алюминия, водородная энергетика, электрохимическая очистка воды, энергоэффективность.

Abstract. This article provides a comprehensive analysis of the physicochemical principles of electrolysis, its theoretical foundations, and its applications in everyday life and modern technology. It explains the relationship between electrolysis and redox reactions occurring at electrode surfaces, as well as the properties of electrolytes and the mechanisms of electrically induced chemical transformations. Particular attention is given to metal extraction, electroplating, corrosion protection, chemical manufacturing, electrochemical water treatment, and hydrogen production. The article examines the role of Faraday's laws in calculating electrolysis yields, the factors affecting energy efficiency, and the environmental implications of electrochemical technologies. It also explores future opportunities for producing hydrogen using renewable energy, improving electrode materials, and applying digital control systems to electrolytic processes. The findings provide a theoretical and practical basis for understanding electrolysis and evaluating its role in resource-efficient industrial and domestic technologies.

Keywords: electrolysis, electrochemistry, electrolyte, electrode, anode, cathode, Faraday's laws, electroplating, corrosion, aluminium production, hydrogen energy, electrochemical water treatment, energy efficiency.

Kirish

Zamonaviy fan va texnikaning rivojlanishi kimyoviy jarayonlarni boshqarish, yangi materiallar olish, energiya resurslaridan oqilona foydalanish va atrof-muhitni muhofaza qilish bilan bevosita bog‘liq. Ushbu vazifalarni hal etishda elektrokimyoviy jarayonlar, xususan, elektroliz muhim o‘rin tutadi. Elektroliz elektr energiyasi yordamida o‘z-o‘zidan sodir bo‘lishi energetik jihatdan qulay bo‘lmagan kimyoviy reaksiyalarni amalga oshirish imkonini beradigan texnologik jarayondir.

Elektroliz hodisasi kimyo, fizika, materialshunoslik, energetika, metallurgiya va ekologiya fanlari bilan uzviy bog‘langan. Uning yordamida turli moddalarni kimyoviy tarkibiy qismlarga ajratish, metall ionlarini eritmadan ajratib olish, buyumlar yuzasiga himoya yoki dekorativ qatlamlar hosil qilish, kimyoviy reagentlar ishlab chiqarish hamda vodorod olish mumkin. Elektroliz sanoat miqyosida alyuminiy ishlab chiqarish va xlor-ishqor texnologiyalarida, kundalik hayotda esa ayrim metall buyumlarni qoplash, zargarlik buyumlariga ishlov berish va maxsus tozalash qurilmalarida qo‘llaniladi [1; 2].

Bugungi kunda elektrolizning ahamiyati qayta tiklanuvchi energiya manbalari rivojlanishi bilan yanada ortmoqda. Quyosh va shamol energetikasi yordamida ishlab chiqarilgan elektr energiyasidan foydalanib, suvni elektroliz qilish orqali vodorod olish imkoniyati mavjud. Bunday vodorod sanoat, transport va energiya saqlash tizimlarida qo‘llanishi mumkin. Shu bilan birga, elektrolizning ekologik samaradorligi elektr energiyasining manbasi, texnologiyaning energiya sarfi, elektrodlarning xizmat muddati va jarayonda hosil bo‘ladigan chiqindilarni boshqarish darajasiga bog‘liq.

Mavzuning dolzarbligi elektrolizning kundalik hayotdagi ko‘rinishlarini ilmiy asosda tushuntirish, uning ishlab chiqarishdagi imkoniyatlarini tahlil qilish va energiya tejamkor elektrokimyoviy texnologiyalarni rivojlantirish zarurati bilan belgilanadi.

Tadqiqotning maqsadi elektroliz jarayonining nazariy asoslarini o‘rganish, undan turmush va texnikada foydalanish yo‘nalishlarini tizimli tahlil qilish hamda jarayon samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy-amaliy takliflarni ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning asosiy vazifalari elektrolizning fizik-kimyoviy mohiyatini yoritish, elektrod reaksiyalarini tavsiflash, Faradey qonunlarining amaliy ahamiyatini ochib berish, elektrolizning asosiy qo‘llanilish sohalarini tasniflash va istiqbolli texnologik yo‘nalishlarni baholashdan iborat.

Tadqiqot metodlari. Maqolada ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, nazariy umumlashtirish, taqqoslash, elektrokimyoviy reaksiyalarni tavsiflash va texnologik jarayonlarni tizimli baholash usullaridan foydalanildi.

1. Elektrolizning fizik-kimyoviy mohiyati va nazariy asoslari

Elektroliz — tashqi elektr toki ta’sirida elektrolit yoki uning eritmasida kimyoviy o‘zgarishlar sodir bo‘lish jarayonidir. Elektrolizda elektr energiyasi kimyoviy o‘zgarishlarni amalga oshirish uchun sarflanadi. IUPAC terminologiyasida elektrolitik yacheyka elektr energiyasini kimyoviy energiyaga aylantiradigan elektrokimyoviy tizim sifatida ta’riflanadi [1].

Elektroliz jarayonini amalga oshirish uchun, odatda, quyidagi tarkibiy qismlar zarur:

- **Elektrolit** — eritmada yoki suyuqlanma holatida ionlar orqali elektr tokini o‘tkazadigan modda.
- **Anod** — oksidlanish jarayoni sodir bo‘ladigan elektrod.
- **Katod** — qaytarilish jarayoni sodir bo‘ladigan elektrod.
- **Tashqi elektr manbai** — reaksiyani amalga oshirish uchun zarur elektr energiyasini ta’minlaydi.
- **Elektrolitik yacheyka** — elektrodlar va elektrolit joylashtiriladigan qurilma.

Elektrolit tarkibidagi musbat zaryadlangan kationlar katod tomon, manfiy zaryadlangan anionlar esa anod tomon harakatlanadi. Katodda elektron qabul qilish orqali qaytarilish, anodda esa elektron berish orqali oksidlanish reaksiyalari sodir bo‘ladi.

Masalan, mis(II) ionlarining katodda qaytarilishi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$$

Ushbu jarayonda eritmadagi mis ionlari elektron qabul qilib, metall mis holatida katod yuzasida ajralib chiqadi. Mazkur hodisa metallarni elektrolitik usulda ajratib olish va buyumlar yuzasiga mis qoplamasi hosil qilish texnologiyalarining asosini tashkil etadi.

Suv elektrolizida esa tegishli sharoitlarda katodda vodorod, anodda kislorod ajraladi. Umumiy reaksiya quyidagicha ifodalanadi:

$$2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$$

Suvning elektrolizi uchun yetarli elektr energiyasi, mos elektrodlar va tegishli elektrolitik muhit talab etiladi. Amaliy qurilmalarda elektrolitning turi, membrana yoki separatorning mavjudligi va elektrod materiallari jarayon samaradorligiga ta’sir ko‘rsatadi.

Elektrolizning muhim xususiyati shundaki, elektrod reaksiyalarining turi elektrolit tarkibi, elektrod materiali, tok zichligi, harorat, bosim va elektr potensialiga bog‘liq. Shu sababli bir xil modda turli sharoitlarda turlicha elektrokimyoviy o‘zgarishlarga uchrashi mumkin.

Elektroliz jarayonida faqat elektr toki mavjudligi emas, balki reaksiyaning termodinamik va kinetik shartlari ham muhimdir. Nazariy jihatdan zarur potensial elektrod reaksiyalarini

amalga oshirishga imkon beradi, biroq amaliy qurilmalarda ortiqcha kuchlanish, elektr qarshiligi va boshqa yo‘qotishlar sababli qo‘shimcha energiya talab qilinadi.

1.1. Elektrolizning Faradey qonunlari

Elektrolizda hosil bo‘ladigan modda miqdori elektrolitdan o‘tgan elektr zaryadiga bog‘liq. Ushbu bog‘lanish ingliz olimi Maykl Faradey tomonidan aniqlangan qonunlar orqali ifodalanadi. IUPAC ma’lumotlariga ko‘ra, elektrolizda elektroximik o‘zgarishga uchragan moddaning massasi o‘tgan elektr zaryadiga to‘g‘ri proporsionaldir [2].

Faradeyning birinchi qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$m = kQ$$

Bu yerda:

- m — elektrodda ajralgan moddaning massasi;
- k — moddaning elektrokimyoviy ekvivalenti;
- Q — elektrolitdan o‘tgan elektr zaryadi.

Elektr zaryadi quyidagicha hisoblanadi:

$$Q = It$$

Bu yerda I — tok kuchi, t — elektroliz davomiyligi.

Shunday qilib, elektrod reaksiyasining samaradorligi o‘zgarmas deb qaralganda, elektroliz davomiyligi yoki tok kuchining ortishi ajraladigan modda miqdorining ortishiga olib keladi.

Faradey qonunlarining umumiy ko‘rinishidan foydalanib, nazariy modda massasini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$m = MIt/(zF)$$

Bu yerda M — moddaning molyar massasi, z — elektrod reaksiyasida ishtirok etadigan elektronlar soni, F — Faradey doimiysi bo‘lib, uning qiymati taxminan (96485\ \text{C/mol}) ga teng.

Masalan, mis(II) ionlari mis metalliga qaytariladigan jarayonda har bir mis ioni uchun ikkita elektron zarur. Shu sababli hisoblashda (z=2) qiymati qo‘llaniladi.

Amaliy jarayonda moddaning haqiqiy massasi nazariy qiymatdan farq qilishi mumkin. Buning asosiy sabablari yonma-yon reaksiyalar, tokning bir qismi boshqa elektrokimyoviy jarayonlarga sarflanishi, elektrod yuzasidagi holatlar va texnologik yo‘qotishlardir. Shu sababli sanoatda tok bo‘yicha chiqish ko‘rsatkichi ham hisobga olinadi.

Faradey qonunlari elektroliz qurilmalarining unumdorligini baholash, metall qoplama qalinligini hisoblash, energiya sarfini rejalashtirish va ishlab chiqarish jarayonlarini nazorat qilishda muhim nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

2. Elektrolizdan kundalik turmushda foydalanish

Elektrolizning amaliy ahamiyati faqat yirik sanoat korxonalari bilan cheklanmaydi. Elektrokimyoviy jarayonlar zargarlik buyumlari ishlab chiqarish, maishiy texnika qismlariga qoplama berish, metall yuzalarni qayta ishlash, suvga ishlov berish va ayrim kimyoviy mahsulotlarni olish kabi yo‘nalishlarda qo‘llaniladi.

2.1. Zargarlik buyumlari va dekorativ qoplamalar

Zargarlik buyumlariga oltin, kumush, rodiy yoki boshqa metall qoplamalarini hosil qilishda elektrolitik usullardan foydalaniladi. Bunday texnologiyada qoplanadigan buyum,

odatda, katod vazifasini bajaradi. Elektrolit tarkibidagi metall ionlari elektron qabul qilib, buyum yuzasida metall qatlam hosil qiladi.

Elektrolitik qoplamalarning asosiy vazifalari quyidagilardan iborat:

- buyumning tashqi ko‘rinishini yaxshilash;
- sirtning ayrim fizik-kimyoviy xususiyatlarini o‘zgartirish;
- qoplama talablariga qarab korroziyaga chidamlilikni oshirish;
- buyum yuzasining yeyilishga chidamliligini yaxshilash.

Biroq qoplamaning sifati faqat elektroliz vaqtiga emas, balki sirtni oldindan tayyorlash, elektrolit tarkibi, tok zichligi, harorat va texnologik rejimga ham bog‘liq.

Zargarlik buyumlariga elektrolitik qoplama berish jarayonida maxsus kimyoviy eritmalar ishlatilishi mumkin. Shu sababli bunday ishlar tegishli texnologik sharoit, himoya vositalari va chiqindilarni boshqarish qoidalariga rioya qilgan holda amalga oshirilishi kerak.

2.2. Maishiy buyumlarni metall bilan qoplash

Maishiy texnika, sanitariya jihozlari, furnitura, ayrim asbob-uskunalar va dekorativ buyumlarning sirtini metall bilan qoplashda elektroliz muhim ahamiyatga ega. Masalan, buyumning tashqi ko‘rinishini yaxshilash yoki sirtining ma’lum xususiyatlarini o‘zgartirish maqsadida mis, nikel yoki boshqa metall qatlamlari qo‘llanilishi mumkin.

Qoplamaning mustahkamligi va bir tekis hosil bo‘lishi buyum yuzasining tozaligiga, elektrolit tarkibiga, elektrodlar orasidagi masofaga va elektr toki rejimiga bog‘liq. Texnologik parametrlar noto‘g‘ri tanlanganda qatlamning notekisligi, g‘ovaklik, yopishishning yomonlashishi yoki boshqa nuqsonlar yuzaga kelishi mumkin.

Shuning uchun elektrolitik qoplama jarayonida sirtni tayyorlash, jarayonni nazorat qilish va tayyor mahsulot sifatini tekshirish bir-birini to‘ldiruvchi bosqichlar hisoblanadi.

2.3. Suvga elektrokimyoviy ishlov berish

Elektrokimyoviy texnologiyalar suvni qayta ishlash va ayrim ifloslantiruvchi moddalarni kamaytirish jarayonlarida ham qo‘llaniladi. Bunda elektroliz orqali oksidlovchi moddalarni hosil qilish, ayrim ionlarni ajratish yoki elektrokoagulyatsiya kabi jarayonlar yordamida ifloslantiruvchi zarrachalarni suvdan chiqarishga sharoit yaratish mumkin.

Suvni elektrokimyoviy qayta ishlashda qo‘llaniladigan usul suvning kimyoviy tarkibi, ifloslanish turi va kutilayotgan tozalash darajasiga qarab tanlanadi. Ayrim tizimlarda elektrod reaksiyalari natijasida hosil bo‘ladigan faol moddalar mikroorganizmlarni zararsizlantirish yoki organik birikmalarni oksidlash uchun ishlatiladi [3].

Shuni ta’kidlash lozimki, elektroliz suvdagi barcha ifloslantiruvchi moddalarni avtomatik ravishda yo‘q qilmaydi. Ba’zi ifloslantiruvchilar uchun qo‘shimcha filtrlash, adsorbsiya, biologik tozalash yoki boshqa texnologiyalar talab qilinadi. Elektrokimyoviy ishlov natijasida hosil bo‘lishi mumkin bo‘lgan ikkilamchi birikmalar ham nazorat qilinishi kerak.

2.4. Maishiy suv qurilmalari va dezinfeksiya

Ayrim suvni qayta ishlash qurilmalarida elektroliz orqali dezinfeksiyalovchi moddalar hosil qilinadi. Bunday tizimlar suvdagi mikroorganizmlarni kamaytirish yoki texnologik uskunalarda biologik ifloslanishni nazorat qilish uchun ishlatilishi mumkin.

Biroq suvni elektroliz qilish bilan uni avtomatik ravishda ichimlik sifatiga keltirish tushunchalarini tenglashtirish mumkin emas. Hosil bo‘ladigan moddalar miqdori, suvning dastlabki tarkibi, mikrobiologik holati va yakuniy sifat ko‘rsatkichlari maxsus nazoratni talab qiladi. Shu sababli ichimlik suviga ishlov berish uchun mo‘ljallangan qurilmalar tegishli sanitariya va texnik talablarga javob berishi zarur.

2.5. Maishiy buyumlarni korroziyadan himoyalash

Metall buyumlarning korroziyaga uchrashi ularning xizmat muddatini qisqartiradi, texnik xavfsizlikka ta’sir ko‘rsatadi va iqtisodiy zarar keltirib chiqaradi. Elektrolitik qoplamalar metall sirtini tashqi muhit ta’siridan himoyalashning usullaridan biri hisoblanadi.

Masalan, metall buyum yuzasiga muayyan metall qatlamini yotqizish orqali namlik, kimyoviy moddalar yoki boshqa omillar ta’sirini kamaytirish mumkin. Biroq himoya darajasi qoplama turiga, uning qalinligi va yaxlitligiga, sirtning holatiga hamda foydalanish sharoitlariga bog‘liq.

Elektrolitik qoplama korroziyani kamaytirishning yagona usuli emas. Bo‘yash, polimer qoplamalar, anodlash va boshqa sirtni himoyalash texnologiyalari ham keng qo‘llaniladi. Usulni tanlash buyum materiali, xizmat sharoiti va iqtisodiy talablar asosida amalga oshiriladi.

3. Elektrolizning sanoat va texnikadagi asosiy qo‘llanilish yo‘nalishlari

Elektroliz kimyo sanoati, metallurgiya, mashinasozlik, elektronika va energetikada keng qo‘llaniladigan texnologiyalardan biridir. Sanoat jarayonlarida elektroliz yordamida mahsulot tarkibini aniq boshqarish, yuqori tozalikdagi moddalarni olish va maxsus xususiyatlarga ega materiallar ishlab chiqarish mumkin [4].

3.1. Metallarni elektrolitik usulda ajratib olish

Ayrim metallarni ularning birikmalaridan elektroliz yordamida ajratib olish mumkin. Bunday jarayon elektrometallurgiya deb ataladi. Uning muhim misollaridan biri alyuminiy ishlab chiqarishdir.

Alyuminiy ishlab chiqarishda alyuminiy oksidi kriolit asosidagi suyuqlanma muhitida elektroliz qilinadi. Sanoat jarayoni yuqori haroratda olib boriladi va katta miqdorda elektr energiyasini talab qiladi. Elektroliz natijasida katodda alyuminiy hosil bo‘ladi.

Alyuminiy olish jarayonining soddalashtirilgan katod reaksiyasi:

$$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$$

Sanoat elektrolizyorlarida anod jarayonlari va uglerodli anodlarning o‘zaro ta’siri ham muhim ahamiyatga ega. Shu sababli alyuminiy ishlab chiqarishning umumiy reaksiyasini oddiy suvli eritma elektrolizi bilan tenglashtirish mumkin emas.

Alyuminiyning yengilligi, korroziyaga nisbatan chidamliligi va qayta ishlash imkoniyatlari uni transport, qurilish, elektrotexnika va qadoqlash sanoati uchun muhim materialga aylantirgan.

Biroq birlamchi alyuminiy ishlab chiqarishning energiya sarfi yuqori. Shu sababli energiya samaradorligini oshirish, anod materiallarini takomillashtirish va ikkilamchi alyuminiyni qayta ishlash sanoatning muhim yo‘nalishlari hisoblanadi.

3.2. Mis va boshqa metallarni tozalash

Elektroliz metallurgiyada metallarni yuqori darajada tozalash uchun ham qo‘llaniladi. Masalan, misni elektrolitik tozalash jarayonida tarkibida mis va aralashmalar mavjud bo‘lgan anod hamda mis ionlarini saqlovchi elektrolit ishlatiladi. Elektr toki ta’sirida mis anoddan eritmaga o‘tadi va katod yuzasida tozaroq metall holida ajraladi.

Soddalashtirilgan katod reaksiyasi:

$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$$

Mazkur texnologiya misning elektr o‘tkazuvchanligi yuqori bo‘lgan mahsulotlarini olish uchun muhimdir. Elektrolitik tozalash jarayonida ayrim aralashmalar eritmada qolishi yoki anod shlami tarkibida to‘planishi mumkin. Shu sababli jarayon mahsulot sifatini va qimmatli komponentlardan foydalanish imkoniyatlarini yaxshilaydi.

Elektrolitik tozalash metallning fizik-kimyoviy xususiyatlarini boshqarish, ishlab chiqarish sifatini oshirish va ayrim qimmatli aralashmalarni ajratib olish imkonini beradi.

3.3. Elektrokaplama va sirtga ishlov berish

Elektrokaplama — elektr toki yordamida buyum yuzasida metall qatlam hosil qilish texnologiyasidir. U mashinasozlik, avtomobilsozlik, elektrotexnika, elektronika va turli metall buyumlar ishlab chiqarishda qo‘llaniladi.

Elektrokaplamaning asosiy maqsadlari quyidagilardan iborat:

1. Korroziyaga chidamlilikni oshirish.
2. Sirtning yeyilishga chidamliligini yaxshilash.
3. Elektr o‘tkazuvchanlik yoki kontakt xususiyatlarini o‘zgartirish.
4. Dekorativ tashqi ko‘rinish hosil qilish.
5. Maxsus texnik talablarga mos sirt xususiyatlarini shakllantirish.

Masalan, elektronika sanoatida ayrim elektr kontaktlari va plata elementlariga metall qoplamalar beriladi. Bunday qoplamalar elektr kontaktining ishonchliligi, sirt xususiyatlari va mahsulotning xizmat muddati uchun ahamiyatga ega.

Elektrokaplama jarayonida elektrolit tarkibi, tok zichligi, harorat, elektrodlar geometriyasi va sirtni tayyorlash sifati nazorat qilinadi. Jarayon parametrlarining o‘zgarishi qoplamaning qalinligi, bir tekisligi va mexanik mustahkamligiga ta’sir qiladi.

3.4. Xlor-ishqor sanoatida elektroliz

Xlor-ishqor texnologiyasi osh tuzi eritmasini elektroliz qilish orqali xlor va natriy gidroksid ishlab chiqarishga asoslanadi. Tegishli texnologik sharoitlarda vodorod ham qo‘shimcha mahsulot sifatida hosil bo‘ladi. Mazkur jarayon kimyo sanoatining muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi [4; 5].

Suvli natriy xlorid eritmasining membranali elektroliz jarayonida katoddagi asosiy reaksiyalardan biri quyidagicha ifodalanadi:

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$$

Anodda xlorid ionlaridan xlor hosil bo‘lishi mumkin:

$$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$$

Hosil bo‘lgan natriy ionlari va gidroksid ionlari eritmada natriy gidroksid hosil bo‘lishiga olib keladi. Sanoat qurilmasida mahsulotlarning bir-biri bilan aralashib ketmasligini ta’minlash uchun membrana yoki boshqa ajratuvchi tizimlardan foydalaniladi.

Xlor, natriy gidroksid va vodorod turli sanoat jarayonlarida muhim xomashyo yoki mahsulot hisoblanadi. Xlor kimyoviy sintez va suvni qayta ishlashda, natriy gidroksid qog‘oz, to‘qimachilik va boshqa kimyoviy ishlab chiqarish jarayonlarida qo‘llaniladi.

Shu bilan birga, xlor zaharli gaz, vodorod esa yonuvchan modda hisoblanadi. Shuning uchun sanoat elektrolizyorlarida gazlarni ajratish, shamollatish, oqishlarni aniqlash, bosim va haroratni nazorat qilish hamda favqulodda vaziyatlarga qarshi himoya tizimlari muhim ahamiyatga ega.

3.5. Vodorod ishlab chiqarish va energetika

Vodorod zamonaviy energetika va kimyo sanoatida muhim xomashyo hisoblanadi. Uni suv elektrolizi orqali olish mumkin. Agar elektroliz uchun ishlatiladigan elektr energiyasi qayta tiklanuvchi manbalardan ta’minlansa, ishlab chiqarilgan vodorodning hayotiy sikl bo‘yicha issiqxona gazlari chiqindisi kamayishi mumkin.

Suv elektrolizining umumiy reaksiyasi:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$$

Vodorod ishlab chiqarish tizimlari elektrolizyor, elektr ta’minoti, suvni tayyorlash qurilmasi, gazlarni ajratish, quritish va zarur bo‘lganda siqish uskunalarini o‘z ichiga oladi.

Sanoatda suv elektrolizining ishqoriy, proton almashinuvchi membranali va boshqa texnologik turlari qo‘llaniladi. Ularning o‘zaro farqi elektrolit yoki membrana turi, elektrod materiallari, ish rejimi, xarajatlar va texnik xususiyatlarda namoyon bo‘ladi.

Vodoroddan kimyoviy ishlab chiqarishda, ayrim transport vositalarida yoqilg‘i elementi orqali elektr energiyasi olishda va energiyani saqlash tizimlarida foydalanish mumkin. Biroq vodorod ishlab chiqarishning ekologik va iqtisodiy afzalliklari elektr energiyasining kelib chiqishi, qurilmaning samaradorligi, gazni saqlash va tashish xarajatlariga bog‘liq.

Shu sababli suv elektrolizi vodorod energetikasining istiqbolli yo‘nalishi bo‘lsa-da, uning keng miqyosda joriy etilishi texnologik takomillashtirish, energiya ta’minoti va infratuzilmani rivojlantirishni talab qiladi.

4. Elektrolizning ekologik jihatlari va energiya samaradorligi

Elektrolizning ekologik ta’siri jarayonning turi, foydalaniladigan xomashyo, elektr energiyasi manbasi, elektrod materiallari va hosil bo‘ladigan chiqindilarni boshqarish usullariga bog‘liq.

Elektrolizning ayrim afzalliklari quyidagilardan iborat:

- kimyoviy jarayonlarni elektr energiyasi orqali aniq boshqarish imkoniyati;
- yuqori tozalikdagi metallar va kimyoviy mahsulotlar olish;
- ayrim ifloslantiruvchi moddalarni elektrokimyoviy usulda kamaytirish;
- qayta tiklanuvchi elektr energiyasidan kimyoviy energiya tashuvchilar ishlab chiqarishda foydalanish;
- metall buyumlarning xizmat muddatini sirt qoplamalari orqali uzaytirish.

Biroq elektroliz energiya talab qiluvchi texnologiya ham bo‘lishi mumkin. Agar elektr energiyasi yuqori uglerod chiqindisiga ega manbalardan ishlab chiqarilsa, elektroliz jarayonining umumiy ekologik ta’siri sezilarli bo‘lishi mumkin.

Shuningdek, ayrim elektrolitlar va metall ionlari atrof-muhitga zarar yetkazishi mumkin. Elektrokaplama sanoatida ishlatiladigan eritmalarni nazoratsiz tashlab yuborish tuproq va suv

resurslarining ifloslanishiga olib kelishi ehtimoli mavjud. Shu sababli elektrolitlarni qayta ishlatish, chiqindilarni ajratish, oqova suvlarni tozalash va xavfli moddalarni tegishli tartibda utilizatsiya qilish talab etiladi.

4.1. Energiya sarfiga ta’sir qiluvchi omillar

Elektrolizning energiya samaradorligi bir nechta texnik ko‘rsatkichlarga bog‘liq:

- elektrod reaksiyalarining ortiqcha kuchlanishi;
- elektrolitning elektr o‘tkazuvchanligi;
- elektrodlar orasidagi masofa;
- elektrod materiallarining katalitik xususiyatlari;
- elektrolitning harorati va tarkibi;
- membrana yoki separatorning qarshiligi;
- elektr ta’minoti va yordamchi qurilmalardagi yo‘qotishlar.

Elektroliz jarayonida tok kuchi oshirilganda mahsulot olish tezligi ortishi mumkin, biroq elektr energiyasi sarfi va issiqlik ajralishi ham o‘zgaradi. Shu sababli eng yuqori tok qiymati har doim ham eng samarali texnologik rejimni anglatmaydi.

Energiya samaradorligini oshirish uchun elektrodlar yuzasini optimallashtirish, elektrolit qarshiligini kamaytirish, issiqlik almashinuvini yaxshilash va jarayon parametrlarini uzluksiz nazorat qilish zarur.

4.2. Ekologik xavfsizlik va chiqindilarni boshqarish

Elektroliz texnologiyalarini ekologik jihatdan xavfsiz tashkil etish uchun jarayonning barcha bosqichlari hisobga olinishi kerak. Bunda xomashyoni tayyorlash, elektroliz, mahsulotlarni ajratish, elektrolitni qayta ishlatish va chiqindilarni utilizatsiya qilish jarayonlari o‘zaro bog‘liq holda ko‘rib chiqiladi.

Xlor, vodorod va boshqa reaktiv mahsulotlar hosil bo‘ladigan korxonalarda gazlarni xavfsiz yig‘ish, ajratish va saqlash tizimlari zarur. Elektrolit tarkibida og‘ir metall ionlari yoki boshqa xavfli komponentlar bo‘lsa, ularni oqova suvga nazoratsiz chiqarishga yo‘l qo‘ymaslik lozim.

Ekologik baholashda faqat elektrolizyorning ishlash jarayoni emas, balki elektr energiyasini ishlab chiqarish, xomashyoni yetkazib berish, uskunalarni tayyorlash va mahsulotni tashish bilan bog‘liq ta’sirlar ham hisobga olinishi maqsadga muvofiq.

5. Elektroliz texnologiyalarini takomillashtirishning istiqbolli yo‘nalishlari

Elektroliz texnologiyalarining kelajakdagi rivojlanishi energiya samaradorligini oshirish, qimmat materiallarga ehtiyojni kamaytirish, chiqindilarni minimallashtirish va ishlab chiqarish jarayonlarini raqamli boshqarish bilan bog‘liq.

Birinchi istiqbolli yo‘nalish — elektrod materiallarini takomillashtirish. Elektrodlarning katalitik faolligi yuqori bo‘lishi reaksiyaning tezligini oshirish va ortiqcha kuchlanishni kamaytirishga yordam beradi. Bunda materialning narxi, xizmat muddati, korroziyaga chidamliligi va ekologik xavfsizligi ham hisobga olinishi zarur.

Ikkinchi yo‘nalish — qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan integratsiya. Quyosh va shamol energiyasi asosida ishlaydigan elektroliz tizimlari elektr energiyasidan kimyoviy energiya tashuvchilar ishlab chiqarish imkonini beradi. Biroq qayta tiklanuvchi energiya ishlab

chiqarishining o‘zgaruvchanligi elektrolizyorning ish rejimi, energiya saqlash va boshqaruv tizimlariga qo‘shimcha talablar qo‘yadi.

Uchinchi yo‘nalish — raqamli monitoring va avtomatik boshqaruv. Harorat, bosim, tok kuchi, kuchlanish, elektrolit tarkibi va mahsulot unumdorligini kuzatuvchi sensorlar jarayonni barqaror boshqarishga yordam beradi. Ma’lumotlarni tahlil qilish orqali texnik nosozliklarni oldindan aniqlash, ortiqcha energiya sarfini kamaytirish va uskunalarga texnik xizmat ko‘rsatishni rejalashtirish mumkin.

To‘rtinchi yo‘nalish — elektrokimyoviy texnologiyalarni suvni qayta ishlash va resurslarni qayta tiklash bilan birlashtirish. Ayrim sanoat oqova suvlarini elektrokimyoviy usulda qayta ishlash orqali ifloslantiruvchi moddalarni kamaytirish va muayyan sharoitlarda qo‘shimcha foydali mahsulotlar olish imkoniyatlari o‘rganilmoqda [6].

Beshinchi yo‘nalish — ishlab chiqarishning hayotiy siklini kompleks baholash. Elektroliz texnologiyasini tanlashda faqat mahsulot unumdorligi emas, balki elektr energiyasi sarfi, materiallar narxi, suv iste’moli, chiqindilar va uskunaning xizmat muddati ham hisobga olinishi kerak.

Mazkur yo‘nalishlar elektrolizning sanoat va turmushdagi amaliy imkoniyatlarini kengaytirish, ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va ekologik xavfsizlikni yaxshilash uchun muhim ilmiy-texnik asos yaratadi.

6. Tadqiqot natijalari va ilmiy-amaliy takliflar

Elektrolizning nazariy asoslari va amaliy qo‘llanilish sohalarini tahlil qilish natijasida uning bir-biridan farq qiladigan bir necha texnologik vazifalarni bajarishi aniqlandi. Jumladan, elektroliz metallarni ajratib olish, ularni tozalash, buyumlar sirtiga qoplama hosil qilish, kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqarish va vodorod olishda qo‘llaniladi.

Tahlil shuni ko‘rsatadiki, elektrolizning samaradorligini faqat elektr toki yoki elektroliz davomiyligi bilan baholab bo‘lmaydi. Jarayon natijasiga elektrod reaksiyalarining xususiyati, elektrolit tarkibi, tok bo‘yicha chiqish, ortiqcha kuchlanish va energiya yo‘qotishlari ham ta’sir ko‘rsatadi.

Tadqiqotning ilmiy-amaliy ahamiyati quyidagi takliflarda namoyon bo‘ladi:

1. **Elektroliz jarayonlarini energiya sarfi bo‘yicha baholash.** Sanoat qurilmalarida mahsulot birligi uchun sarflanadigan elektr energiyasi, tok bo‘yicha chiqish va texnologik yo‘qotishlarni birgalikda hisoblash tavsiya etiladi.

2. **Elektrod materiallarini maqsadga muvofiq tanlash.** Elektrodlarni tanlashda katalitik faollik, elektr o‘tkazuvchanlik, korroziyaga chidamlilik, xizmat muddati va material narxi o‘zaro taqqoslanishi lozim.

3. **Elektrolitlarni qayta ishlatish imkoniyatlarini kengaytirish.** Texnologik sharoit imkon bergan hollarda elektrolit tarkibini nazorat qilish va uni qayta ishlatish orqali xomashyo sarfi hamda chiqindilar miqdorini kamaytirish mumkin.

4. **Raqamli boshqaruv tizimlarini joriy etish.** Elektrolizyorlarda tok kuchi, kuchlanish, harorat va mahsulot unumdorligini uzluksiz qayd etish jarayon barqarorligini oshirishga yordam beradi.

5. **Ekologik xavfsizlik talablarini kuchaytirish.** Xavfli elektrolitlar, gazlar va ishlab chiqarish oqova suvlarini boshqarish bo‘yicha nazorat mexanizmlarini takomillashtirish zarur.

6. **Ta’lim va ilmiy tadqiqotlarda amaliy modellashtirishdan foydalanish.** Elektrolizning nazariy tenglamalari, Faradey qonunlari va energiya balansi asosida hisoblash topshiriqlarini ishlab chiqish talabalar bilimini mustahkamlashga xizmat qiladi.

7. **Qayta tiklanuvchi energiya bilan integratsiyani rivojlantirish.** Suv elektrolizi tizimlarini quyosh va shamol elektr stansiyalari bilan birlashtirishda energiya manbalarining o‘zgaruvchanligi, energiyani saqlash va qurilmaning texnik rejimlari hisobga olinishi lozim.

Ushbu takliflarni amaliyotga tatbiq etish uchun texnologik tajribalar, energiya sarfi bo‘yicha o‘lchovlar va iqtisodiy-ekologik baholashlar o‘tkazilishi zarur. Shu bois mazkur maqoladagi xulosalar nazariy tahlilga asoslangan bo‘lib, ularni muayyan korxonaga joriy etishdan oldin tegishli tajriba natijalari bilan tekshirish maqsadga muvofiq.

Xulosa

Elektroliz zamonaviy kimyo va texnika rivojlanishida muhim o‘rin tutadigan elektrokimyoviy jarayon bo‘lib, uning yordamida turli moddalarni olish, metallarni tozalash, buyumlar yuzasiga metall qoplamalar hosil qilish, kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqarish va suvga elektrokimyoviy ishlov berish mumkin.

Maqolada olib borilgan nazariy tahlil asosida quyidagi xulosalarga kelindi.

Birinchidan, elektroliz elektr energiyasi ta’sirida amalga oshadigan oksidlanish-qaytarilish jarayonlariga asoslanadi. Katodda qaytarilish, anodda esa oksidlanish sodir bo‘lishi elektrolizning asosiy qonuniyatidir. Elektrolitning tarkibi va elektrod materiallari reaksiyalarning yo‘nalishi hamda samaradorligiga ta’sir ko‘rsatadi.

Ikkinchidan, Faradey qonunlari elektroliz davomida ajraladigan modda miqdorini hisoblash, ishlab chiqarish unumdorligini baholash va texnologik parametrlarni tanlash uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi. Biroq amaliy natijalarni aniqlashda tok bo‘yicha chiqish va energiya yo‘qotishlari ham hisobga olinishi zarur.

Uchinchidan, elektroliz kundalik turmushda zargarlik buyumlari va maishiy buyumlarni metall bilan qoplash, ayrim suvni qayta ishlash qurilmalarida elektrokimyoviy jarayonlardan foydalanish hamda metall buyumlarning sirt xususiyatlarini yaxshilashda qo‘llaniladi. Ushbu texnologiyalarning samaradorligi ularning vazifasi, texnik sharoiti va xavfsizlik talablariga bog‘liq.

To‘rtinchidan, sanoatda elektroliz alyuminiy ishlab chiqarish, misni elektrolitik tozalash, elektrokaplama, xlor-ishqor texnologiyasi va vodorod olish kabi muhim yo‘nalishlarni qamrab oladi. Bu jarayonlar zamonaviy ishlab chiqarishning moddiy-texnik asosini mustahkamlashga yordam beradi.

Beshinchidan, elektrolizning ekologik samaradorligi elektr energiyasining manbasi, xomashyo sarfi, texnologik chiqindilar va jarayon davomida yuzaga keladigan xavfli moddalarni boshqarish darajasiga bog‘liq. Shu sababli elektrolizni ekologik jihatdan samarali texnologiya sifatida baholashda uning butun ishlab chiqarish siklini hisobga olish lozim.

Oltinchidan, elektroliz texnologiyalarini rivojlantirishda elektrod materiallarini takomillashtirish, energiya sarfini kamaytirish, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish va raqamli boshqaruv tizimlarini joriy etish istiqbolli yo‘nalishlar hisoblanadi.

Yettinchidan, elektrolizning ilmiy va amaliy imkoniyatlarini kengaytirish uchun fundamental elektrokimyoviy tadqiqotlarni ishlab chiqarish ehtiyojlari bilan uyg‘unlashtirish

zarur. Bunda energiya samaradorligi, iqtisodiy maqsadga muvofiqlik, mahsulot sifati va ekologik xavfsizlik yagona tizim sifatida baholanishi kerak.

Umuman olganda, elektrolizdan turmushda va texnikada foydalanish zamonaviy materiallar ishlab chiqarish, kimyoviy jarayonlarni boshqarish, energiya resurslaridan samarali foydalanish va ekologik muammolarni hal etishda muhim imkoniyatlar yaratadi. Uning kelajakdagi rivojlanishi ilmiy izlanishlar, texnologik yangiliklar va barqaror ishlab chiqarish tamoyillarining uyg‘unligiga bog‘liq.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). Electrolytic cell. Compendium of Chemical Terminology (Gold Book). DOI: https://doi.org/10.1351/goldbook.09062
2. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). Faraday’s laws of electrolysis. Compendium of Chemical Terminology (Gold Book). DOI: https://doi.org/10.1351/goldbook.09075
3. Water treatment and reclamation by implementing electrochemical systems with constructed wetlands. PMC. Maqolada elektrokimyoviy tizimlar, elektroliz va suvni qayta ishlash texnologiyalari tahlil qilingan. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10123341/
4. Bagotsky, V. S. Industrial Electrolytic Processes // Fundamentals of Electrochemistry. Wiley, 2006. DOI: https://doi.org/10.1002/047174199X.ch17
5. Revisiting Chlor-Alkali Electrolyzers: from Materials to Devices // Transactions of Tianjin University. Springer Nature. DOI: https://doi.org/10.1007/s12209-021-00285-9
6. Electrochemical treatment of industrial wastewater for hydrogen production // Current Opinion in Electrochemistry. 2024. Vol. 46. Article 101533. DOI: https://doi.org/10.1016/j.coelec.2024.101533
7. European Commission, Joint Research Centre. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Chlor-alkali. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC91156
8. A Critical Review of Produced Water Management Using the Chlor-Alkali Process: Challenges and Future Prospects. Water Environment Research. 2025. DOI: https://doi.org/10.1002/wer.70124
9. Royal Society of Chemistry. Introduction to Electrolysis, Electrolysers and Hydrogen Production. Electrochemical Methods for Hydrogen Production. https://books.rsc.org/books/edited-volume/789/chapter/525233/Introduction-to-Electrolysis-Electrolysers-and