

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.15/27.02.2020. T.73.02 RAQAMLI ILMIY
KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

NOJKO SEMYON IGOREVICH

**YUQORI OLTINGUGURTLI NEFT KOKSINI JALB QILGAN HOLDA
ELETROLITIK ALYUMINIY ISHLAB CHIQARISH TEXNOLOGIYASI**

**05.02.01 – Mashinasozlikda materialshunoslik. Quymachilik. Metallarga termik va bosim os-
tida ishlov berish. Qora, rangli va noyob metallar metallurgiyasi. Kamyob, nodir va radioak-
tiv elementlar texnologiyasi**

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSC) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

TOSHKENT – 2025

Texnika fanlari doktori (DSc) dissertasiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертация доктора (DSc) по техническим наукам

Contents of dissertation abstract of doctor of (Dsc) on technical sciences

Nojko Semyon Igorevich

Yuqori oltingugurtli neft koksini jalb qilgan holda eletrolitik alyuminiy ishlab chiqarish texnologiyasi..... 3

Ножко Семён Игоревич

Технология получения электролитического алюминия при вовлечении вксокосернистого нефтяного кокса 25

Nojko Semyon Igorevich

Technology for producing electrolytic aluminum through the utilization of high-sulfur petroleum coke..... 47

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Spisok opublikovannых rabot
List of published works..... 49

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.15/27.02.2020. T.73.02 RAQAMLI ILMIY
KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

NOJKO SEMYON IGOREVICH

**YUQORI OLTINGUGURTLI NEFT KOKSINI JALB QILGAN HOLDA
ELETROLITIK ALYUMINIY ISHLAB CHIQARISH TEXNOLOGIYASI**

**05.02.01 – Mashinasozlikda materialshunoslik. Quymachilik. Metallarga termik va bosim os-
tida ishlov berish. Qora, rangli va noyob metallar metallurgiyasi. Kamyob, nodir va radioak-
tiv elementlar texnologiyasi**

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSC) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

TOSHKENT – 2025

Doktorlik (DSc) dissertasiya mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar maxkamasi huzuridagi Oliy attestasiya komissiyasida B2025.1.DSc/T900 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertasiya Toshkent davlat transport universitetida bajarilgan.

Dissertasiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tstu.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy maslaxtchi:

Umarov Abdusalom Vaxitovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Tursunov Nodirjon Qayumjonovich
texnika fanlari doktori (DSc), professor

Kurbanov Mirtemir Shodievich
texnika fanlari doktori, professor

Zelberg Boris Ilych
texnika fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot:

Namangan texnika universiteti

Dissertasiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi ilmiy DSc.15/27.02.2020.T.73.02 raqamli ilmiy kengashning 2025 yil « » soat dagi majlisida bo‘lib o‘tadi (Manzil: 100167, Toshkent shahri, Temir yo‘lchi ko‘chasi, 1-uy. Tel.: +998-71-299-00-01; faks: +998-71-293-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz, www.tstu.uz).

Dissertasiya bilan Toshkent davlat transport universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (__-raqam bilan ro‘yxatga olingan). Manzil: 100167, Toshkent shahri, Adilxodjaev ko‘chasi, 1-uy. Tel.: +998-71-299-05-66; faks: +998-71-293-57-54.

Dissertasiya avtoreferati 2025 yil « » kuni tarqatildi.
(2025 yil « » № reestr bayonnomasi).

A.M.Arifjanov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi,
t.f.d., professor

E.U.Teshabaeva
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
t.f.d., professor

N.Q.Tursunov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash huzuridagi
ilmiy seminar raisi,
t.f.d., professor

KIRISH (fan doktori (DSc) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda alyuminiyning 99% dan ortig'i kriolit-gliozom eritmasidan elektrolitik tiklash usuli bilan ishlab chiqariladi, ushbu eritma yuqori korrozion faolligi bilan ajralib turadi va shuning uchun nafaqat elektr tokini o'tkazadigan, balki eritmani aralashmalar bilan ifloslantirmaydigan, kimyoviy va mexanik jihatdan barqaror bo'lgan materialni tanlash muammosi juda muhimdir. Shu sababli, ishlab chiqarilayotgan metall sifatini saqlagan holda iqtisodiy va ekologik samaradorlikni oshirishga yordam beradigan past sifatli uglerodli xomashyolarni jalb qilish orqali oldindan belgilangan talablar asosida anod tanasini shakllantirishga qaratilgan alyuminiy olishning amaldagi texnologiyasini takomillashtirishga qaratilgan nazariy va amaliy masalalarga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda neft koksining tabiati, alyuminiy elektrolitik olishning asosiy texnik-iqtisodiy parametrlari, alyuminiy elektrolizi jarayoniga kelib tushadigan oltingugurtli utilitatsiya qilish, ushlab qolish va qayta ishlash usullari, oltingugurtning alyuminiy elektrolitik olish jarayoniga ta'siri, tayyor mahsulot tarkibidagi zararli qo'shimchalar miqdorini kamaytirish, resurs tejankor texnologiyalarni yaratish, metal suyuqlanmalarni rafinatsiyalash, legirlash va modifikatsiyalash, yangi avlod alyuminiy kompozitsiyalarini ishlab chiqish, shuningdek, belgilangan xossalarga ega alyuminiy olish uchun modifikatorlarni ishlab chiqish borasida ilmiy-tadqiqotlar olib borilmoqda.

O'zbekiston Respublikasida so'ngi yillarda maxalliy xoashyolar gliozom konlari va neftni qayta ishlash zavodlari chiqindilaridan samarali kompleks foydalanish asosida rangli metallar ishlab chiqarish borasida ma'lum natijalarga erishilgan. 2022-2026 yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida «...sanoatni sifat jihatidan yangi bosqichga ko'tarish, mahalliy xomashyo resurslarini chuqur qayta ishlash, tayyor mahsulot ishlab chiqarishni jadallashtirish, yangi turdagi mahsulotlar va texnologiyalarni o'zlashtirish...»¹ kabi vazifalar belgilangan. Shu munosabat bilan alyuminiy olishda yuqori oltingugurtli neft kokslarini jalb qilishda moddiy va energetik xarajatlarni kamaytirishga qaratilgan texnologik va texnik echimlar majmuasini ilmiy asoslash va ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi, 2021 yil 24 iyundagi PF-5159-son «Kon-metallurgiya tarmog'i va unga bog'liq sohalarni rivojlantirish to'g'risida»gi, 2017 yil 11 fevraldagi PQ-2298-son «2017-2019 yillarda mahsulot va materiallarni mahalliyashtirish (ishlab chiqarish) dasturi to'g'risida»gi, 2022 yil 24 yanvardagi PQ-99-son «Mamlakatda ishlab chiqarishni rivojlantirish va ishlab chiqarish kooperatsiyasini kengaytirishning samarali tizimini yaratish chora-tadbirlari to'g'risida»gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar rivojlanishining II. «Energetika, energiya va resurslarni tejash» ustuvor yo'nalishiga mos ravishda bajarilgan.

Dissertatsiya mavzusi bo'yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi. Elektrolitik alyuminiy olish texnologiyasini takomillashtirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar dunyoning etakchi ilmiy markazlari, oliy ta'lim muassasalari va kompaniyalarida, jumladan Massachusetts Institute of Technology, ALCOA, Kaiser Aluminium, Martin Marietta Aluminium, Comalco, Baltimordagi aerokosmik materiallar laboratoriyasi, Oak Ridge milliy tadqiqot laboratoriyasi (AQSh), Sumitomo (Yaponiya), Chalco, GAMI (Xitoy), EGA (Birlashgan Arab Amirliklari), ALCAN (Kanada), Reykjavik University (Islandiya), Norwegian University of Science and Technology, Elkem (Norvegiya), Pechiney (Fransiya), VAMI, MISiS, RUSAL ITC (Rossiya), Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent davlat transport universiteti, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi, Navoiy davlat konchilik instituti (O'zbekiston) va boshqalarda olib borilmoqda.

Alyuminiy elektrolitik ishlab chiqarishni o'rganish bo'yicha jahonda olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida qator, jumladan, quyidagi ilmiy natijalar olingan: «quruq» anod texnologiyasi ishlab chiqilgan (Sumitomo, Yaponiya); xomashyoni elektrolizyorga avtomatik uzatishda glinozemning xossalari o'rganilgan (Pechiney, Fransiya), quvvati 600 kA bo'lgan yuqori amperli elektrolizyor ishlab chiqilgan (EGA, Birlashgan Arab Amirliklari), inert anod texnologiyasi ishlab chiqilgan (RUSAL ITS, Rossiya), fosfor aralashmalarining xossalari o'rganilgan (Reykjavik University, Islandiya), drenajlangan katod texnologiyasi sinovdan o'tkazilgan (GAMI, Xitoy), yuqori tozalikdagi alyuminiy olishning samarali texnologiyasi ishlab chiqilgan («MISiS» Fan va texnologiyalar universiteti, Rossiya); qotishmalarni rafinatsiyalash va modifikatsiyalash texnologiyalari ishlab chiqilgan (Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent davlat transport universiteti, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi (O'zbekiston)).

Jahonda oltingugurt, vanadiy va fosfor konsentratsiyasini oshirishda alyuminiy olish texnologiyasini takomillashtirishga yo'naltirilgan qator, jumladan, quyidagi ustuvor yo'nalishlarda ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda: metallurgik jarayonlarning fizik-kimyoviy hisoblari va nazariy asoslarini chuqurlashtirish; alyuminiy elektrolitik olish jarayonining reaksiya tenglamalari va muvozanat konstantalarini olish, desulfurizatsiya va defosforatsiya jarayonlarining texnologik parametrlarini belgilovchi asosiy formulalarni keltirib chiqarish, elektrolit va metall o'rtasida oltingugurt va fosforning taqsimlanish koeffitsientlarini tavsiflovchi bog'liqliklarni aniqlash, o'zaro ta'sir parametrlari va boshqa texnologik parametrlarni aniqlashtirish; xomashyo tarkibidagi zararli aralashmalar miqdorining materiallarning mexanik xossalarga ta'siri bog'liqliklarini o'rganish, belgilangan xossalarga ega sifatli materiallar olishning resurstejamkor texnologiyalarini ishlab chiqish.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Elektrolitik alyuminiy olish texnologiyasini takomillashtirish sohasida H. Oye, B. Welsh, R. Meirbekova, P. White, V. Potochnik, K. Grotgeim, J. Thonstad, A. Solheim, A. Sterten, A. Haupin, P. Solli, S. Rolseth, T. Pearson, M. Sorlie, K. Paulsen, H. Kvande, J. Xiao, Q. Zhong, A.I. Belyaev, V.I. Moskvitin, E.A. Yanko, V.D. Lazarev, M.M. Vetyukov, Yu.V. Baymakov, V.Yu. Bajin, V.M. Sizyakov, V.I. Chalix, G.A. Sirazutdinov, M.Ya. Minsis, N.D. Turaxodjaev, A.A. Riskulov, R.X. Saydaxmedov, F.R. Norxudjaev, Sh.S.

Fayzibaev, M.Sh. Kurbanov, A.V. Umarov, U.A. Ziyamuxamedova, B.T. Berdiyarov, N.Q.Tursunov va boshqalar ilmiy tadqiqot ishlari olib borishgan.

Ular tomonidan qattiq shlakli aralashmalar va modifikatorlar yordamida metall eritmasini rafinatsiyalash va modifikatsiyalash usullari yaratilib, neft kokslarida oltingugurt miqdorining ortishi chiqindi gazlarni tozalash sifatining yomonlashishiga, alyuminiy ishlab chiqarish korxonalarining ekologik xavf-xatarlarining ortishiga olib kelishi, oltingugurtli kokslar-ning ishtirok etishi alyuminiy ishlab chiqarishning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini pasaytirishi, quyish agregatlarida metallni rafinatsiyalash samaradorligini oshirish, alyuminiy shlak bilan rafinatsiyalash jarayoni-ning reaksiya tenglamalari va muvozanat konstantalari, desulfuratsiya va defosforatsiya jarayonlarining asosiy texnologik parametrlari, oltingugurt va fosforning shlak va metall o'rtasida taqsimlanish koeffitsientlarini tavsiflovchi formulalari, metall tarkibidagi zararli aralashmalar miqdori-ning ularning mexanik xususiyatlariga ta'siri aniqlanilgan.

Shu bilan birga, oltingugurt gazsimon birikmalarining metallurgiya sanoati mavjud bo'lgan shaharlardagi ekologik vaziyatga salbiy ta'siri, ko'plab konlarning ma'dan tanalarini qazib olish tufayli ishlatiladigan xomashyoning sifat xossalarini, xomashyo va neft mahsulotlarini qazib olishda energiya xarajatlarning aniqlash, iste'molchilarning ishlab chiqarilgan alyuminiy sifatini oshirish, past sifatli xomashyo va material-lardan foydalanish tufayli xarajatlarning oshishi, yuqori oltingugurtli neft kokslarining fizik-kimyoviy xususiyatlarini, shuningdek, alyuminiy elektrolitik olishda yuqori oltingugurtli neft kokslarini jalb qilishning samarali texnologiyasini o'rganish va ishlab chiqish kabi murakkab muam-molarga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda.

Dissertasiya tadqiqotining dissertasiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent tabiiy fanlar universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq «Maxalliy rangli metallar asosida kompozitsion kukunli o'tkazgichlar va yarim o'tkazgichlar yaratish» fundamental mavzu doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi yuqori oltingugurtli neft kokslarining fizik-kimyoviy xossalarini o'rganish va ularni alyuminiy elektrolitik olishda qo'llash texnologiyasini takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

yuqori oltingugurtli neft koksining kimyoviy tarkibi va fizik xossalarini aniqlash;

ishlab chiqarilayotgan anod massasining ekspluatatsion xossalariga yuqori oltingugurtli koksning kimyoviy tarkibi va fizik xossalarining o'zaro bog'liqligini aniqlash;

yuqori oltingugurtli neft koksidan foydalangan holda anod massasini ishlab chiqarish texnologiyasini ilmiy asoslash va ishlab chiqish;

alyuminiy elektrolizyori-ning sanoat elektrolitining kristallanish jarayonini tadqiq qilish va yuqori oltingugurtli koksdan tayyorlangan anod massasidan foydalangan holda alyuminiy olishning energiya tejamkor texnologiyasini ishlab chiqish;

sanoat gaz tozalash eritmalarini tadqiq qilish va alyuminiy ishlab chiqarishning gaz tozalash eritmalarini oltingugurt va fluor birikmalaridan regeneratsiya qilishning samarali texnologiyasini ishlab chiqish;

alyuminiy ishlab chiqarishning gaz tozalash eritmalarini samarali regeneratsiya qilishning apparat sxemasini ishlab chiqish.

Tadqiqotning ob'ekti neft koksi va neft koksidan olingan anod massasi hisoblanadi.

Tadqiqotning predmeti neft kokslarining fizik-kimyoviy xossalarini, ularning neft koksidan tayyorlangan anod massasining ekspluatatsion xossalariga ta'siri va olish texnologiyasi tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya ishida zamonaviy nazariy va eksperimental tadqiqot usullari, metall va shlakning kimyoviy tarkibini aniqlash uchun atom-emission spektrometr, eksxalograf, rentgen-flyuorestsent analizator, tajriba natijalariga ishlov berishning statistika uslubi, Termogravimetriya, Differensial skanerlovchi kalorimetriya, QMS 403C Aelos kvadrupol mass-spektrometri (NETZSCH kompaniyasi), gazlarni tahlil qilish uchun bilan birlashtirilgan STA 449C Jupiter sinxron termoanalizatorlaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

neft kokslarining sifat xususiyatlari va olinadigan anod massasining texnologik xususiyatlari o'rtasidagi bog'liqlik, yuqori oltingugurtli neft koksini anod massasi ishlab chiqarishga jalb etishning maqbul ko'rsatkichlari-kuydirish haroratini o'zgarishi, quruq koks shixtasining donador tarkibi aniqlangan;

ilk marotaba yaxshilangan iste'mol xossalariga ega bo'lgan anod massasini tayyorlash tarkibi ishlab chiqilgan;

ko'p komponentli sanoat elektrolitining kristallanish mexanizmi, elektrolitning o'ta qizish harorati hamda alyuminiy elektrolizyori ish parametrlari- kuchlanish, elektrolitning sathi va kimyoviy tarkibi, ishlatiladigan glinezomning donadorligi, glinezom bilan oqimli ishlov berish darajasi o'rtasidagi bog'liqlik aniqlangan;

alyuminiy elektrolitik olish jarayonining yuqori energiya samaradorligini ta'minlaydigan alyuminiy elektrolizyori ishining optimal parametrlari-elektrolitni o'ta qizdirish harorati va elektrolizyorlarni glinezom bilan reglament-oqimli ishlov berish soni asoslangan;

alyuminiy ishlab chiqarishda oltingugurt va fluor birikmalaridan gazni tozalash eritmalarini selektiv regeneratsiya qilish va tovar mahsulot - natriy sulfat olish parametrlari -jarayon harorati, komponentlar konsentratsiyasi aniqlangan;

alyuminiy elektrolizyorida elektrolit suyuqlanmasining likvidus haroratini aniqlash, o'z-o'zidan yonuvchi anod va yuqori o'tkazuvchan alyuminiy ishlab chiqarish uchun elektrolizyorda anod shtiftlarini joylashtirish, regeneratsion kriolitni oltingugurt birikmalaridan tozalash usullari va qurilmalari ishlab chiqilgan;

alyuminiy elektrolitik usulda olishda yuqori oltingugurtli neft kokslaridan tayyorlangan anod massasini qo'llash texnologiyasi-anod sterjenlarini optimal joylashtirish, elektroliz qurilmalarining eng yuqori samaradorligini ta'minlovchi anod sterjenlarini ishlatishning chegaraviy shartlari takomillashtirilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

neft koksining tarkibidagi oltingugurt miqdoriga qarab kuydirish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

ishlab chiqarilayotgan anod massasining sifatli ekspluatatsion xossalarini yaxshilashni ta'minlaydigan quruq koks shixtasi komponentlarining granulometrik tarkibi ishlab chiqilgan:

elektrolitning o'ta qizish haroratini kuzatishga asoslangan alyuminiy elektrolizyori boshqarish algoritmi ishlab chiqilgan;

anod tugunining ishlashida texnologik buzilishlarning paydo bo'lishini minimal-lashtiradigan alyuminiy elektrolitik olish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

alyuminiy ishlab chiqarishning gaz tozalash eritmalarini regeneratsiya qilishning samarali texnologiyasi ishlab chiqilib, sanoat sifatiga ega bo'lgan tovar mahsulotlari - natriy sulfat va kalsiy ftorid olingan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Dissertatsiya ishida keltirilgan natijalarning ishonchlilik darajasi zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqot usullari majmuasi, tajribalarning takrorlanuvchanligi, olingan o'lchov natijalarini matematik qayta ishlash usullaridan foydalanishi va olingan ilmiy natijalarni ishlab chiqarishga joriy etilganligi bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati neft koksining sanoat elektrolitining kristallanish jarayonidagi qonuniyatlarini, ishlab chiqarilayotgan anod massasining sifat xususiyatlarini, shuningdek, alyuminiy olish jarayonining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari bilan aniqlangan sabab-oqibat bog'lanishlari asosida yuqori oltingugurtli neft koksini qo'llanilish samarali texnologiyasini ilmiy asosini ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati ishlab chiqilgan anod massasini tayyorlash texnologiyasidan foydalanish orqali elektroliz sanoati ish samaradorligini oshirish, alyuminiy elektrolitik olishning resurstejamkor texnologiyasini ishlab chiqish, shuningdek, oltingugurt va ftor birikmalaridan gaz tozalash eritmalarini selektiv regeneratsiyalash orqali atrof-muhitga ekologik yukni samarali kamaytirishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Neft koksining fizik-kimyoviy xossalarini, sanoat elektrolitining kristallanish jarayonini, gaz tozalash eritmalarini regeneratsiya qilishni o'rganish bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar asosida:

«Alyuminiy elektrolizyorida elektrolit suyuqlanmasining likvidus haroratini aniqlash usuli va uni amalga oshirish qurilmasi» uchun Rossiya Federatsiyasi patenti olingan (NO 2303246. 07.12.2006 y.). Natijada tok bo'yicha chiqish 0,38% gacha oshirish imkonini bergan;

«O'z-o'zidan yonuvchi anod va yuqori tok o'tkazgichli alyuminiy ishlab chiqarish uchun elektrolizyorda anod shtirlarini joylashtirish usuli» uchun Rossiya Federatsiyasi patenti olingan (NO 2387742. 04.12.2009 y.). Natijada anoddagi kuchlanish farqi 20 mV ga, alyuminiy ishlab chiqarish uchun elektr energiyasi sarfini 67 kVt*soat/t ga kamaytirish imkonini bergan;

«Regeneratsion kriolitni oltingugurt birikmalaridan tozalash usuli» uchun Rossiya Federatsiyasi patenti olingan (NO 2401323. 04.05.2009 y.). Natijada kalsinatsiyalangan soda bo'yicha yiliga 8000 - 10000 t olish imkonini bergan;

elektroliz ishlab chiqarishining ftorli materiallarini qayta ishlash usuli «Aluminium Smelter Company of Nigeria alyuminiy zavodi» da amaliyotga joriy etilgan (Nigeriya Respublikasining 01.11.2008 yildagi 0812-son ma'lumotnomasi). Natijada tarkibida ftor bo'lgan materiallarning to'liq hajmini retsikling qilish imkoniyatini bergan;

elektroliz ishlab chiqarishida elektrolizyorning issiqlik balansini boshqarish texnologiyasi «RUSAL Krasnoyarsk alyuminiy zavodi» da amaliyotga joriy etilgan («RUSAL Krasnoyarsk alyuminiy zavodi» ning 2008 yil 28 noyabrdagi 15-son ma'lumotnomasi). Natijada tok bo'yicha chiqish 0,62% ga oshirish, alyuminiy xomashyosi ishlab chiqarishda solishtirma elektr energiya sarfi 56,2 kVt*soat/tonnaga kamaytirish imkonini bergan;

ishlab chiqilgan gaz tozalash eritmalarini regeneratsiya qilish texnologiyasi «RUSAL Bratsk alyuminiy zavodi» da amaliyotga joriy etilgan («RUSAL Bratsk» OAJning 2012 yil 22 iyundagi RB-Vn-12-01712-son ma'lumotnomasi). Natijada, gaz tozalash eritmalarini regeneratsiya qilishning taklif etilgan sxemasi oltingugurtli birikmalar miqdorini 50-70 g/dm³gacha kamaytirish imkonini bergan.

yuqori oltingugurtli kokslar ishtirokida alyuminiy elektrolitik olish texnologiyasi «Butunrossiya alyuminiy-magniy instituti» OAJ da amaliyotga joriy etilgan («Butunrossiya alyuminiy-magniy instituti» OAJning 2012 yil 30 martdagi 0703/12-231-son ma'lumotnomasi). Natijada maxsulot sifatini 1,4 barobarga oshirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 7 ta xalqaro ilmiy-texnik konferensiyada ma'ruza qilingan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 29 ta ilmiy ish chop etilgan, shu jumladan, 1 ta monografiya, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 18 ta maqola, jumladan, 14 ta maqola Scopus va WoS iqtiboslar bazasiga kiritilgan, 3 ta Rossiya Federatsiyasi patenti olingan.

Ishning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, beshta bob, xulosa, ilova hamda foydalanilgan manba va adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiya matnining asosiy qismi 200 sahifadan iborat.

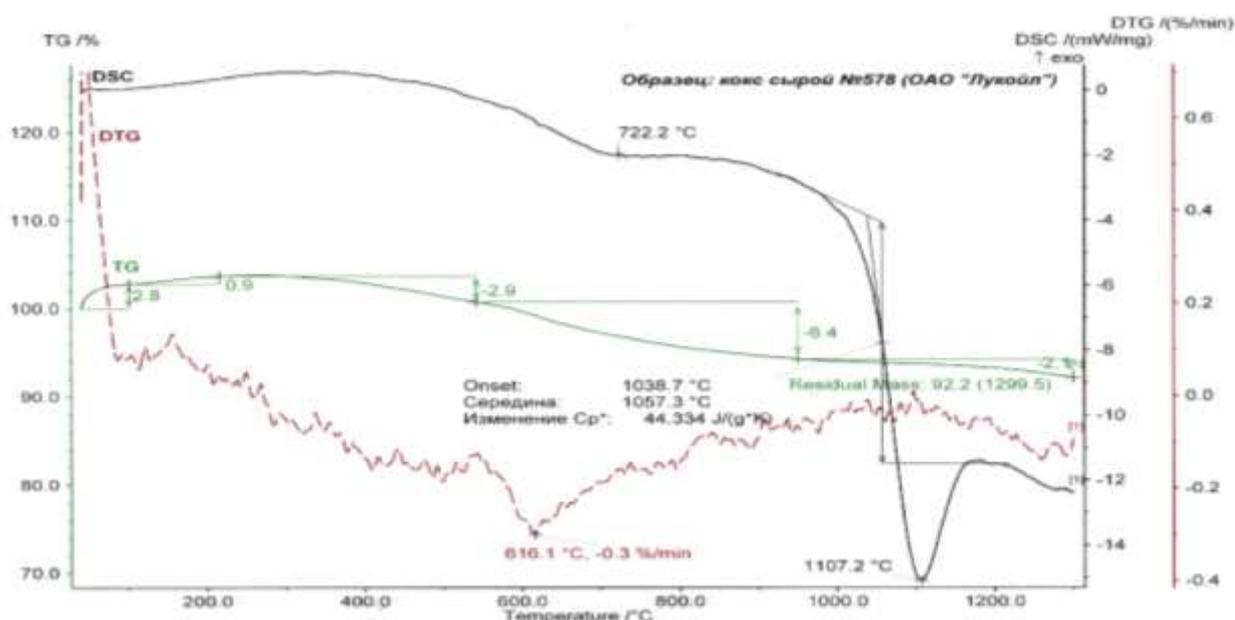
DISSERTATSIYA ISHINING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, maqsad va vazifalar shakllantirilgan, tadqiqot ob'ekti va predmeti aniqlangan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi belgilangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon etilgan, ularning ishonchliligi asoslangan, olingan natijalarning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, ishlanmalarni joriy etish natijalari, ishning aprobatsiya natijalari va nashr etilgan ishlar hamda dissertatsiya

tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

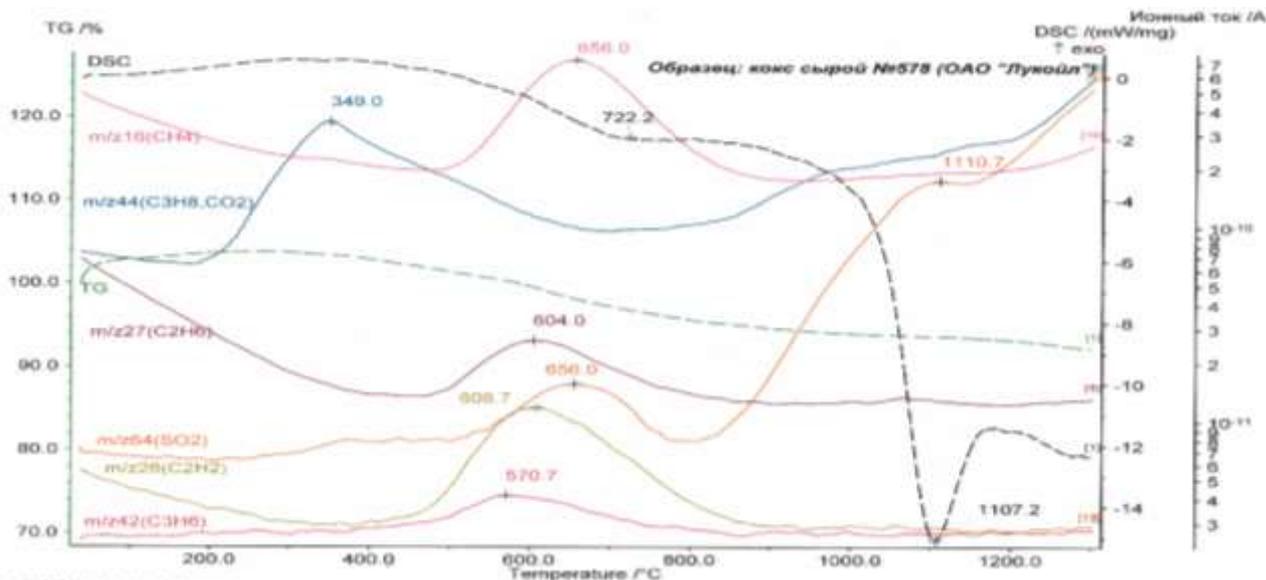
Dissertatsiyaning «**Alyuminiy sanoatining hozirgi holati va rivojlanish istiqbollari**» deb nomlangan birinchi bobida alyuminiy sanoatining hozirgi holati va rivojlanish yo'nalishlari ko'rib chiqilgan, neft koksining tabiati, alyuminiyni elektrolitik olishning asosiy texnik-iqtisodiy parametrlari bo'yicha mavjud tadqiqotlar adabiyotlar sharhi keltirilgan. Oltinugurtni utilizatsiya qilishning mavjud usullari batafsil ko'rib chiqilgan, alyuminiy oltinugurtini elektroliz qilish jarayoniga kiruvchi oltinugurtni ushlab qolish va qayta ishlash samaradorligini oshirish zarurligi ko'rsatilgan. Alyuminiyni elektrolitik olish jarayoniga oltinugurtning ta'siri etarlicha chuqur o'rganilmaganligi ko'rsatilgan va bob yakunida tadqiqotning istiqbolli yo'nalishlari belgilab olingan va asoslangan.

Dissertatsiyaning «**Yuqori oltinugurtli neft kokslarini anod massasi ishlab chiqarishda qo'llash**» deb nomlangan ikkinchi bobi yuqori oltinugurtli kokslar ishtirokida anod massasi ishlab chiqarishning samarali texnologiyasini ishlab chiqishga bag'ishlangan. Yuqori oltinugurtli neft xomashyosini kuydirish haroratini o'zgartirish va quruq koks shixtasi komponentlarining granulometrik tarkibini o'zgartirish bilan anod massasini ishlab chiqarish texnologiyasi yaxshilangan ekspluatatsion xossalarga ega bo'lgan anod massasini ishlab chiqarish imkonini beradi. O'tkazilgan tadqiqotlar doirasida xom neft kokslarini optimal qizdirish sharoitlarini aniqlash uchun yuqori oltinugurtli va past oltinugurtli xom neft koksi namunalarining kompleks termik tahlili o'tkazildi. Xom yuqori oltinugurtli koksni 1300 °S gacha qizdirilganda o'rganish holati kam oltinugurtli koks namunasidan ba'zi farqlarga ega. Avvalo, koks strukturasi tartibga solish jarayonidan oldingi 500-900 °S haroratlarda destruksiya jarayonining yanada jadalroq kechishini ta'kidlash mumkin, bu esa ushbu bosqichda massaning sezilarli darajada kamayishida namoyon bo'ladi: kam oltinugurtli koks namunasi uchun 6,2% ga nisbatan 9,3% (1-rasm, TG egri chizig'i), shuningdek, massa kamayishining yuqori tezligi (DTG egri chiziq-lari).



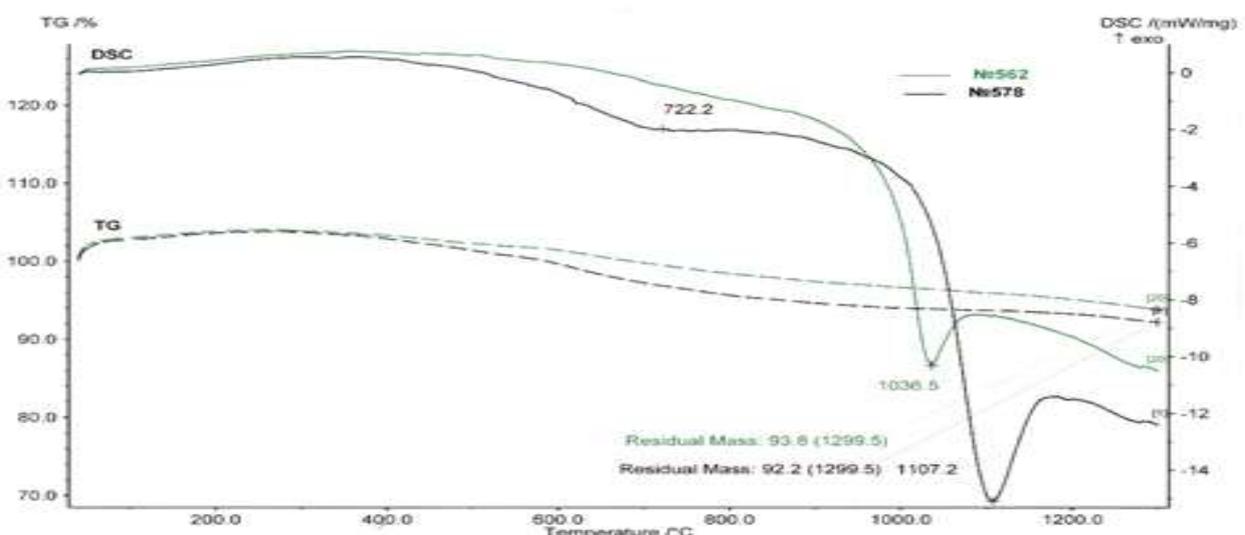
1-rasm. Yuqori oltinugurtli xom neft koksi namunasining termik tahlili

Ushbu namuna uchun oldindan kristallanish jarayoni materialning solishtirma issiqlik sig'iminin katta o'zgarishi bilan tavsiflanadi: $\Delta S_r = 44,334 \text{ J/g} \cdot \text{K}$. Ushbu namunani qizdirish paytida ajralib chiqadigan gaz mahsulotlarining mass-spektrometrik tahlili (2-rasm) metan, propan, etan, asetilen, propan mavjudligini ko'rsatdi.



2-rasm. Yuqori oltingugurtli xom neft koksi mass-spektrometrik tahlili

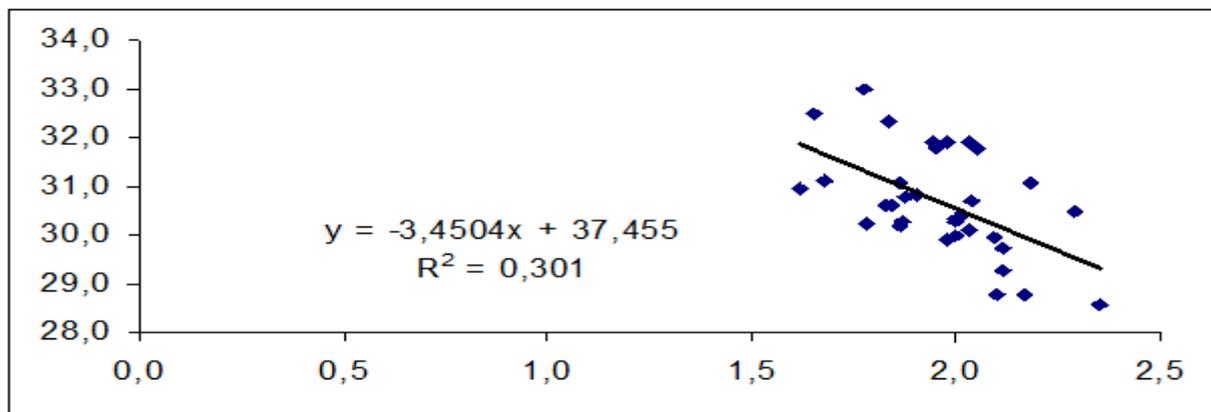
Oltingugurt mahsulotlarining xatti-harakatlarida sezilarli farqlar mavjud. Birinchidan, yuqori oltingugurtli koks namunasida oltingugurt karbonil COS mavjud emas, ikkinchidan, $m/z=64$ (SO_2) uchun ion oqimi signalining intensivligi past oltingugurtli koks namunasiga qaraganda taxminan 2 baravar yuqori. Taqqoslash uchun 3-rasmda ikkala namuna uchun sinxron termik tahlil natijalari keltirilgan. Yuqori oltingugurtli xom neft koksin optimal qizdirish harorati taxminan 70°S ga yuqori ekanligi ko'rsatilgan. Bu xom kam oltingugurtli va yuqori oltingugurtli kokslarni alohida qizdirish zarurligini ko'rsatadi.



3-rasm. Kam oltingugurtli va yuqori oltingugurtli xom neft kokslari sinxron termik tahlili.

Birlamchi alyuminiy ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan anod massasiga fizik, kimyoviy, elektrokimyoviy va strukturaviy xususiyatlarga oid juda qat'iy talablar qo'yiladi. Alyuminiy sanoatida qabul qilingan anod massasining sifatini nazorat qilish usullari siqilishga mexanik mustahkamligi, solishtirma elektr qarshiligi, g'ovakligi va kulini aniqlashdan iborat. Amaliyotda fakultativ parametr sifatida havo atmosferasida emirilishni nazorat qilish yoki SO₂ ham qo'llaniladi.

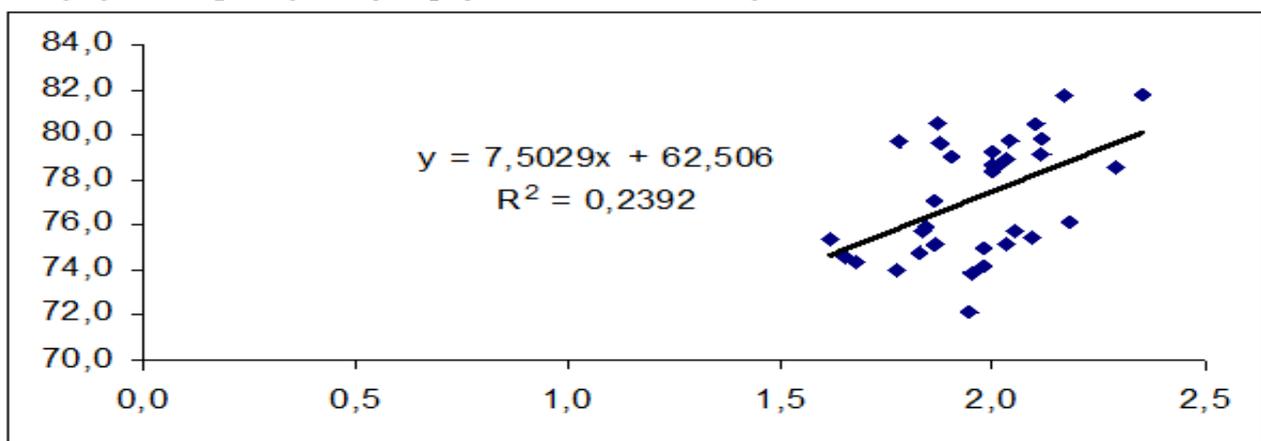
Anod massasining siqilishga mexanik mustahkamligini o'rganish namunaning emirilish paytidagi maksimal kuchlanishni aniqlash orqali amalga oshirildi. Neft koksi namunalarning mexanik mustahkamligining o'zgarishini mexanik mustahkamlikning oltingugurt konsentratsiyasiga bog'liqligi ko'rinishida o'rganish natijasi 4-rasmda keltirilgan.



4-rasm. Anod massasining siqilishdagi mexanik mustahkamligining anod massasidagi oltingugurt miqdoriga bog'liqligi.

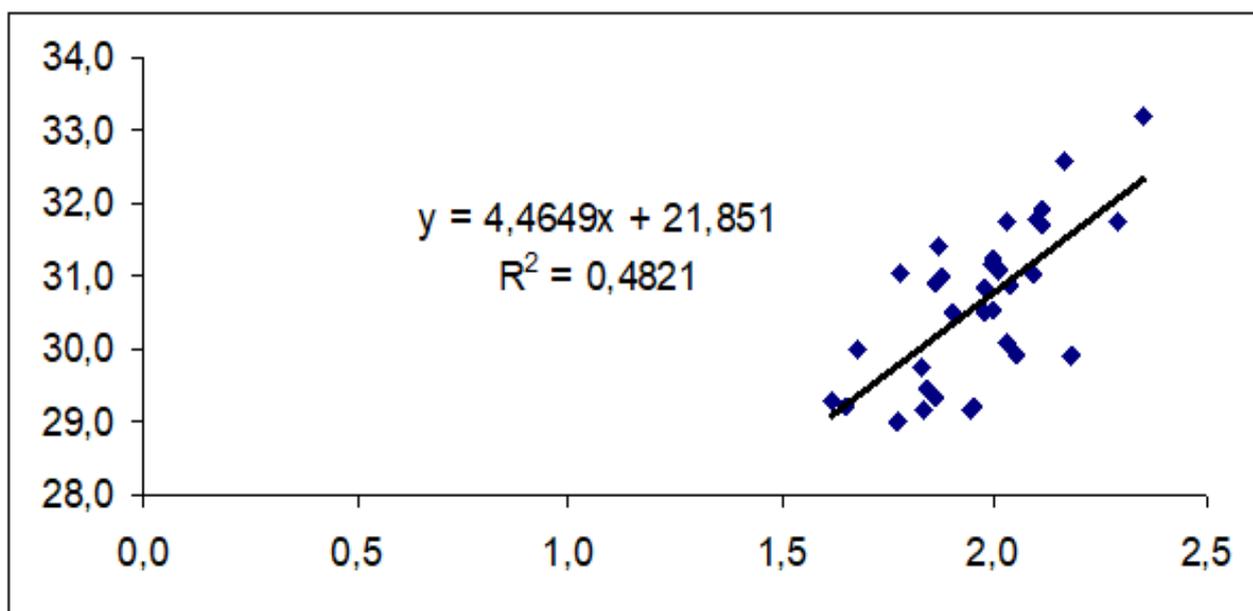
Rasmdan ko'rinib turibdiki, bu parametrlarning beqaror bog'liqligi (korrelyatsiya koeffitsienti $R^2 = 0,30$) mavjud bo'lib, oltingugurt miqdorining oshishi bilan mexanik mustahkamlik chiziqli ravishda pasayadi.

Solishtirma elektr qarshilikni (UES) aniqlash tajribasida laboratoriya pechida diametri 50 mm va uzunligi 10 mm bo'lgan to'liq kuydirilgan anod massasidan silindrsimon namuna olindi. Solishtirma elektr qarshilikning anod massasidagi oltingugurt miqdoriga bog'liqligi 5-rasmda keltirilgan.



5-rasm. Anod massasi UES ning anod massasidagi oltingugurt miqdoriga bog'liqligi.

Ushbu bog‘liqlik, shuningdek, ushbu parametrlarning beqaror bog‘liqligi (korrelyatsiya koeffitsienti $R^2 = 0,24$) bilan tavsiflanadi. Umuman olganda, solishtirma elektr qarshilik iloji boricha kichik bo‘lishi kerak, ammo solishtirma elektr qarshiligi 80 m Ω *m gacha bo‘lgan anod massasidan foydalanishga ruxsat etiladi. Ushbu qiymat anod massasidagi oltingugurt miqdoriga 2,33% mos keladi. Neft koksi namunalarining g‘ovakligini aniqlash hisoblash usuli bilan amalga oshirildi. Kuydirilgan anod massasining haqiqiy zichligi gazni siqib chiqarish usuli bilan aniqlandi. Kuydirilgan anod massasining tuyulma zichligi silindrsimon namunaning massasi va hajmining nisbati sifatida aniqlandi. Tuyulma zichlikni hisoblash 0,01 g/sm³ gacha aniqlikda amalga oshirildi.

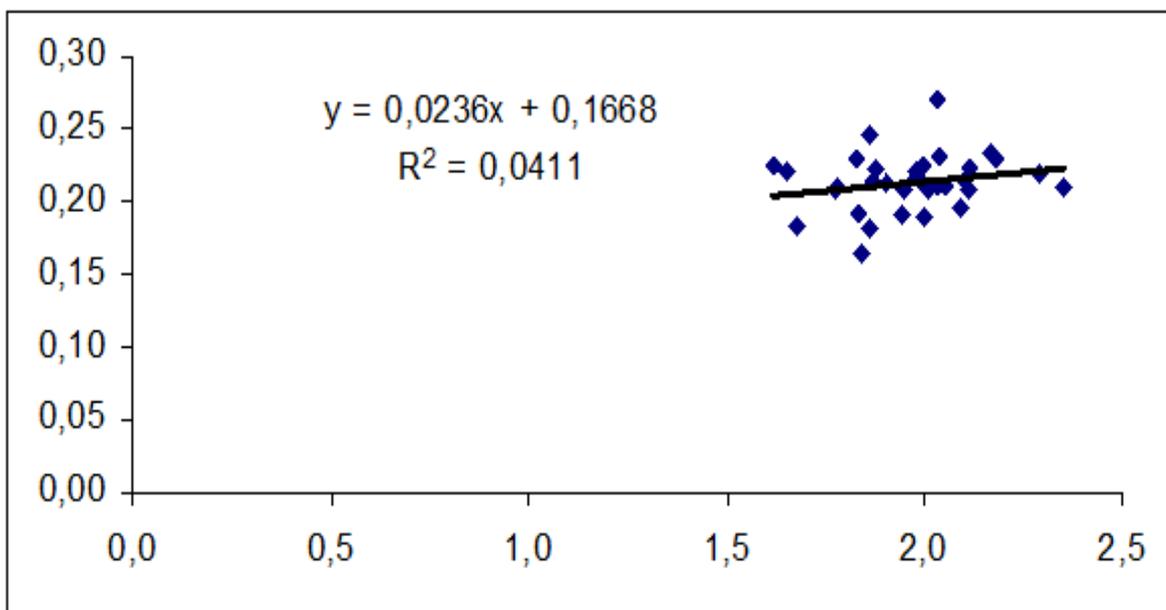


6-rasm. Anod massasi g‘ovakligining anod massa tarkibidagi oltingugurt miqdoriga bog‘liqligi.

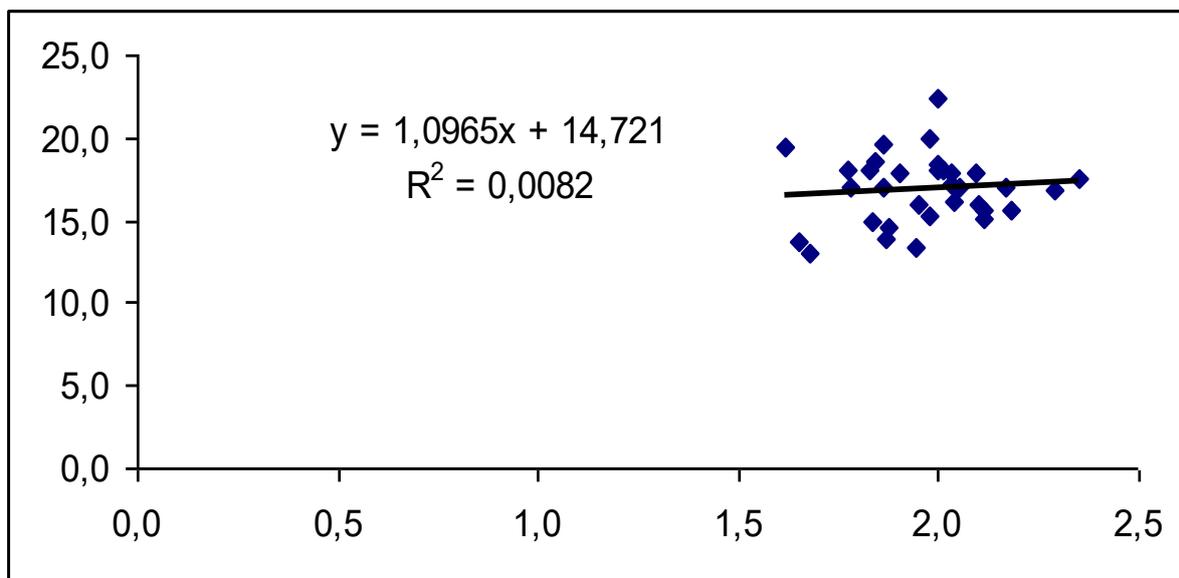
Tuyulma zichlik qiymati ikkita aniqlashning o‘rtacha arifmetik qiymati sifatida topildi, bunda ikkita parallel aniqlash natijalarining farqi 0,05 g/sm³ dan oshmasligi kerak edi. G‘ovaklikning oltingugurt konsentratsiyasiga bog‘liqligini eksperimental aniqlash natijasi 6-rasmda keltirilgan.

G‘ovaklik qiymati anod massasidagi oltingugurt miqdorining ortishi bilan chiziqli o‘radi, bu bog‘liqlik barqaror xarakterga ega (korrelyatsiya koeffitsienti $R^2 = 0,48$), g‘ovaklik qiymati anod massasidagi oltingugurt miqdori 2,27% bo‘lganda kritik (32%) qiymatga erishadi. Kul miqdorining oltingugurt konsentratsiyasiga bog‘liqligini o‘rganish natijasi shuni ko‘rsatdiki, anod massasidagi oltingugurt konsentratsiya-sining butun diapazonida kul miqdorining oltingugurt miqdoriga to‘liq bog‘liqligi yo‘q, shu bilan birga kul miqdorining kritik (0,5% dan ortiq) qiymatlari qayd etilmagan (7-rasm).

CO₂ ostida kuydirilgan anod massasining umumiy emirilishi va CO₂ ostida emirilish anod massasidagi oltingugurt miqdorining o‘zgarishi bilan barqaror bog‘liqlikning yo‘qligi aniqlandi (8-rasm).



7-rasm. Anod massasi kulligining anod massasidagi oltingugurt miqdoriga bog‘liqligi.



8-rasm. Anod massasidagi CO₂ ostidagi buzilishning anod massasidagi oltingugurt miqdoriga bog‘liqligi.

Shu bilan birga, kul miqdori bilan bo‘lgan vaziyatga o‘xshab, kritik qiymat (25 mg/sm²*soatdan ortiq) barcha kuzatuv diapazonida aniqlanilmadi. Olib borilgan tadqiqotlar doirasida neft koksining granulometrik tarkibi ham baholandi. 1 va 2-jadvallarda o‘rganilayotgan neft koksining granulometrik tarkibini tahlil qilish natijalari keltirilgan. O‘rtacha olganda, ko‘pchilik yuqori oltingugurtli kokslarning granulometrik tarkibi past oltingugurtli kokslarning granulometrik tarkibiga qaraganda kichikroq, ikkita yuqori oltingugurtli koks ishlab chiqaruvchilarda (TANEKO va Texnografit) 8 mm fraksiyaning kritik yuqori tarkibi qayd etilgan - 60% dan ortiq. Shu bilan birga, oltingugurt konsentratsiyasi va neft koksining yirikligi o‘rtasida barqaror bog‘liqlik mavjudligi qayd etilgan.

Kam oltingugurtli kokslarning granulometrik tarkibini.

Koks ishlab chiqaruvchi	8 mm fraksiyasi miqdori, %
Rosneft - Angara MXK	47,6
Lukoil - Volgogradneftni qayta ishlash	51,0
Gazpromneft - Omsk neftni qayta ishlash zavodi	49,4
Rosneft - Komsomol neftni qayta ishlash zavodi	42,5
Novobaki NQIZ	50,4
Haydar Aliev nomidagi Boku neftni qayta ishlash zavodi	53,0
Rosneft - Achinsk neftni qayta ishlash zavodi	40,5
Turkmanboshi NQIZ	55,5
O'rtacha qiymat	48,7

2-жадвал.

Yuqori oltingugurtli kokslarning granulometrik tarkibi.

Koks ishlab chiqaruvchi	8 mm fraksiyasi miqdori, %
Antipin NQIZ	54,2
Lukoil - Permnefteorgensintez	49,4
Taneko	69,6
Texnografit	60,2
Novokuybishev NQIZ	55,3
Rusinvest neftni qayta ishlash zavodi	49,2
O'rtacha qiymat	56,3

Kam oltingugurtli va yuqori oltingugurtli neft kokslari namunalarini o'rganish granulometrik tarkib va oltingugurt miqdori o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlashga imkon berdi, bu esa anod massasi namunalarini o'rganishda olingan oltingugurt konsentratsiyasining anod massasining sifat parametrlari bilan o'zaro bog'liqligini tasdiqladi (anod massasining siqilishga mexanik mustahkamligi va solishtirma elektr qarshiligining undagi oltingugurt miqdori bilan o'zaro bog'liqligi, anod massasining g'ovakligi va undagi oltingugurt miqdori o'rtasida barqaror bog'liqlik mavjudligi). Bundan shunday xulosaga kelindiki, anod massasini ishlab chiqarishda quruq koks shixtasini tayyorlash parametrlarini optimallashtirish orqali ushbu ta'sirni bartaraf etish mumkin, chunki to'ldiruvchi donalarining maksimal qadoqlanishi briketlarning yuqori zichligi va mexanik mustahkamligini, shuningdek, past g'ovaklikni ta'minlaydi (3-жадвал).

3-жадвал.

Anod massasi xarakteristikalarini taqqoslash

Ko'rsatkichlar	Talab	Standart grantarkib	O'zgartirilgan grandtarkib
Mexanik mustahkamlik, MPa	kamida 30	30,2	32,3
Solishtirma elektr qarshilik, $\text{mkOm} \cdot \text{m}$	ko'pi bilan 80	77,3	73,8
G'ovaklik, %	ko'pi bilan 30	29,0	27,5

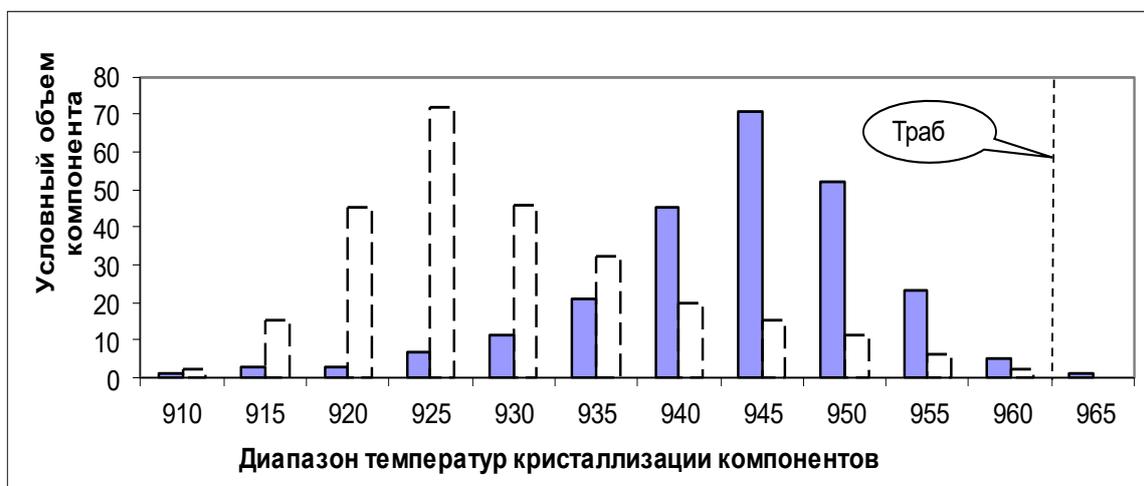
Anod massasining g'ovakligini kamaytirish va natijada anod massasining mexanik mustahkamligini oshirish va solishtirma elektr qarshiligini kamaytirish uchun koks shixtasi sintetikasidagi 0,08 mm fraksiyasi miqdorini 27,2 dan 40% gacha oshirish taklif etildi. Shu bilan birga, koks shixtasining umumiy sintetikasida chang fraksiyasining umumiy miqdori o'zgarishsiz qoldi. 3-жадвал tahlili shuni ko'rsatadiki, granulometrik tarkibning o'zgarishi ishlab chiqarilayotgan anod massasining texnik

xususiyatlarini optimallashtirish va shu bilan oltingugurt konsentratsiyasining oshishi ta'sirini kamaytirish imkonini berdi.

Shunday qilib, neft kokslarining moddiy tarkibi aniqlandi, oltingugurt miqdori o'zgarganda anod massasining xususiyatlari o'rganildi. Anod massasi xossalari neft koksidagi oltingugurt konsentratsiyasi bilan o'zaro bog'liqligini o'rganish mantiqan bevosita yuqori oltingugurtli neft kokslarini jalb qilishda anod massasi xossalari optimallashti-rishga qaratilgan texnologik tavsiyalarga olib keladi.

Dissertatsiyaning «**Aluminiy elektrolizyorida yuqori oltingugurtli neft kokslaridan tayyorlangan anod massasini qo'llash**» deb nomlangan uchinchi bobida elektrolitning o'ta qizish haroratini kuzatishga asoslangan sanoat alyuminiy elektrolizyolarini sanoat sinovlari va boshqarish algoritmini joriy etish natijalari keltirilgan.

Ma'lumki alyuminiy elektrolizyolarining elektroliti ko'p komponent-li suyuqlanmasi bo'lib ($\text{Na}_3\text{AlF}_6 - \text{AlF}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaF}_2 - \text{MgF}_2$), uning asosini natriyli kriolit tashkil etadi. Bunday suyuqlanma asta-sekin sovitilganda birinchi bo'lib kriolit kristallanadi, chunki uning konsentratsiyasi u bilan evtektik aralashmalar hosil qiluvchi boshqa komponentlar konsentratsiyasidan ancha yuqori bo'ladi. Bu holda likvidus harorati eruvchanlik diagrammasidagi kriolit burchagiga tutashgan likvidus yuzasida yotadi va uni osongina aniqlash mumkin. Elektrolit nomuvozanat sharoitda kristallanganda ajralib chiqayotgan qattiq faza tarkibida suyuqlanmaning bir necha komponentlari bo'lishi mumkin, bunda uning tarkibi sovitish tezligiga bog'liq bo'ladi. Bunday holda, har bir komponentning butun tizimning erish haroratiga ta'sirini etarlicha aniq baholash mumkin emas. Elektrolit namunasining kristallanish jarayoni fazaviy o'tish issiqligining ajralishi bilan birga boradi: haqiqiy issiqlik ajralishi elektrolit hajmidagi kristallanayotgan faza miqdoriga bog'liq. Ravshanki, elektrolitning kristallanish temperaturasi deb birinchi kristallarning cho'ka boshlash temperaturasi emas, balki bir vaqtda kristallanayotgan fazaning eng katta hajmini xarakterlaydigan fazaviy o'tishning maksimal issiqlik effektidagi temperaturani hisoblash kerak (9-rasm).



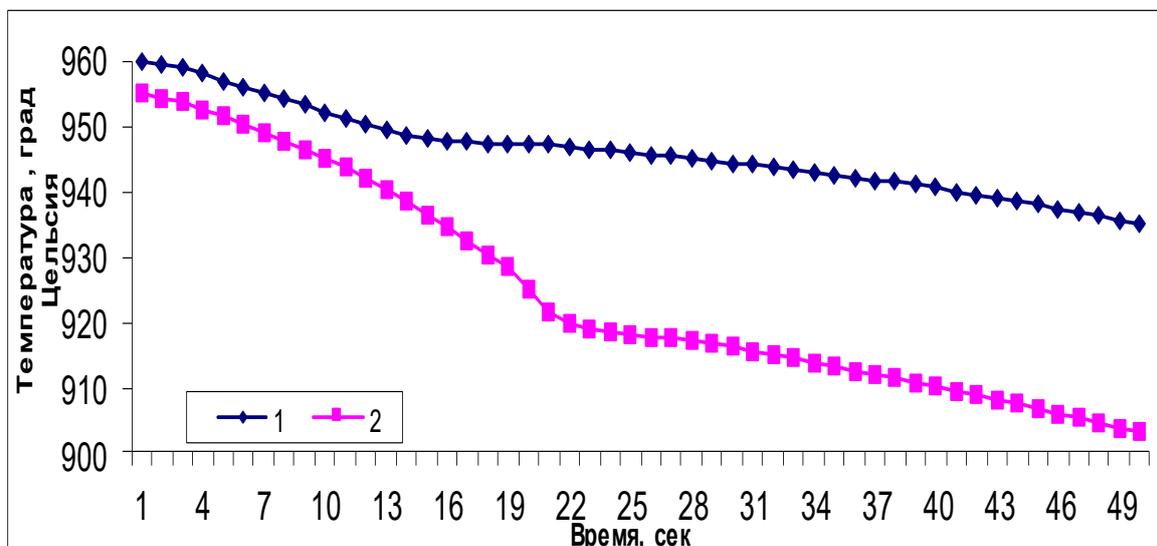
9-rasm. Elektrolit tarkibiy qismlarining kristallanish harorati bo'yicha ehtimoliy taqsimlanishi.

Fazaviy o'tish energiyasining yaqqol (cho'qqi) ajralishida likvidus haroratini eng aniq qayd etish mumkin. Bunda ajralib chiqayotgan issiqlik mazkur o'zgarish jarayonida ajralib chiqayotgan issiqlik bilan to'liq qoplanadi. Issiqlik olib ketilishiga qaramay, suyuqlanma harorati o'zgarmaydi va sovish egri chizig'ida kristallanish haroratiga mos keladigan gorizontalar qism paydo bo'ladi. Egri chiziqning gorizontalar qismining kattaligi bir qator omillar bilan belgilanadi. Boshqa sharoitlar bir xil bo'lganda, yashirin o'zgarish issiqligi qancha katta bo'lsa va sovutilayotgan namunaning massasi qancha katta bo'lsa, yuzaning kattaligi shuncha katta bo'ladi. Sovutish tezligi oshishi bilan maydoncha kichrayadi.

Amaliy o'lchashlar shuni ko'rsatdiki, elektrolitning sovish egri chizig'idagi yorqin ifodalangan maydon juda kam hollarda qayd etiladi. Bu holda harorat egri chizig'ini vaqt bo'yicha differensiallash taklif etildi. Ichiga termopara joylashtirilgan tigeldan iborat bo'lgan datchikda kristallanishning boshlanish zonalarini suyuqlik-gaz va suyuqlik-qattiq fazalarining ajralish chegaralariga to'g'ri keladi.

Shunday qilib, sanoat datchigida elektrolitni sovutish jarayonini etarlicha aniq 5 qismga bo'lish mumkin: 1-qism - suyuqlantirilgan elektro-litli tigelni sovuqroq muhitga joylashtirish bilan bog'liq sovutish tezligining keskin o'sishi. O'sish ma'lum bir barqaror qiymatgacha sodir bo'ladi; 2-qism - elektrolit suyuq holatda bo'lib, sovish tezligi yuqori daraja-da saqlanib turadi va u nisbatan doimiy bo'ladi; 3-qism - kristallanishning boshlanishi (bu qiymat bo'yicha erish harorati aniqlanadi) energiya ajralib chiqishi bilan tavsiflanadi, bu esa sovish tezligini ma'lum bir barqaror qiymatgacha sifatli o'zgartiradi; 4-uchastka - sovish tezligi o'zgarmaydi; 5-uchastka - fazaviy o'tish effekti o'zini namoyon qilgandan so'ng sovish tezligi yana orta boshlaydi. Olingan o'lchovlarning adekvatligi elektrolitga oqim bilan ishlov berishdan oldin va keyin (25 daqiqadan so'ng - elektrolit glinozyom bilan to'yingan paytda) elektrolitning sovutish harorati dinami-kasini taqqoslash orqali baholandi, ya'ni elektrolitdagi glinozyom miqdori sezilarli darajada o'zgaradi. Elektrolit tarkibidagi glinozyomning har bir foizi uning erish haroratini 4-5 darajaga pasaytiradi, shuning uchun oqimli ishlovdan so'ng elektrolitning o'ta qizishi sezilarli darajada oshishi kerak. 10-rasmda bevosita elektrolizyorda glinozyom bilan oqimli ishlov berishdan oldin (1-egri chiziq) va keyin (2-egri chiziq) elektrolit haroratining pasayish grafiklarining qiyosiy tavsifi ko'rsatilgan. Ishlov berishdan oldin va keyin likvidus haroratining pasayishi taxminan 25 °C ni tashkil etadi, bu umuman olganda nazariy ma'lumotlar bilan yaxshi mos keladi: chamasi, ko'rib chiqilayotgan holatda elektrolitdagi glinozyom konsentratsiyasi taxminan 5% ga oshdi. Shunday qilib, ta'kidlash mumkinki, taklif etilgan usul likvidus haroratini va elektrolitning o'ta qizishini baholash uchun ishlatilishi mumkin. Olib borilgan ishlar doirasida turli texnologik omillarning elektrolitni o'ta qizdirishning maqbul qiymatiga, shu jumladan ishlatiladigan glinozyomning yirikligiga ta'siri o'rganildi. Ushbu ish doirasida avtomatik ta'minot tizimlari orqali ikkilamchi glinozyom ishtirokida elektrolitning optimal o'ta qizish harorati empirik ravishda aniqlandi - 12 °C. Birlamchi (qumli) glinozyomdan foydalanganda - 7 °C. Olingan bog'liqlikni tahlil qilish, birinchi navbatda, ishlatiladigan glinozyomning yirikligi bilan yaxshi bog'liqlikni ko'rsatdi. Elektrolitning o'ta qizish haroratini monitoring qilish asosida

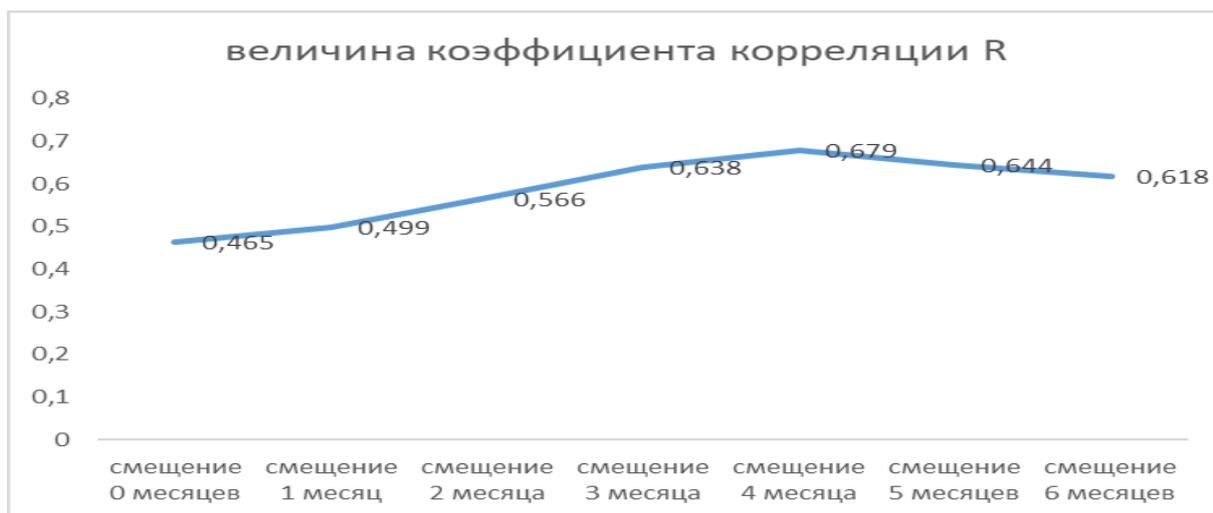
elektrolizyorni boshqarish, tok bo'yicha chiqishni 0,62% ga oshirish va elektrolitik alyuminiy ishlab chiqarish uchun elektr energiya sarfini 56 kVt*soat/t alyuminiyga kamaytirish imkonini bergan.



10-rasm. Elektrolitni o'ta qizish haroratini o'lchashning adekvatligini baholash

Yuqori oltingugurtli kokslarning ishlab chiqarilayotgan alyuminiy xomashyosi sifatiga ta'sirini baholash uchun bir nechta kokslarning mikroaralashmalarining kimyoviy tahlili o'tkazildi. Yuqori oltingugurtli va past oltingugurtli kokslardagi mikroaralashmalar miqdorini taqqoslash shuni ko'rsatadiki, o'rganilgan mikroaralashmalarining aksariyati bo'yicha mikroaralashmalar miqdorida sezilarli farq yo'q, shuning uchun ularning metallning yakuniy sifatiga ta'siri sezilarli emas. Mikroaralashmalardagi sezilarli farq shundaki, kam oltingugurtli kokslarda oltingugurtning o'rtacha miqdori 1,20% ni, yuqori oltingugurtli kokslarda esa 3,43% ni tashkil etadi. Shuningdek, vanadiy miqdorida sezilarli farqni ta'kidlash kerak: kam oltingugurtli kokslarda vanadiyning o'rtacha miqdori 0,0119% ni, yuqori oltingugurtli kokslarda esa 0,0633% ni tashkil qiladi, ya'ni kam oltingugurtli kokslarga nisbatan yuqori oltingugurtli kokslarda vanadiy miqdori taxminan 5 baravar ko'p.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, yuqori oltingugurtli koksga temir miqdori hatto past oltingugurtli koksga qaraganda ham past (0,0220% ga nisbatan 0,0185%), ammo yuqori oltingugurtli kokslarning ishtiroki elektrolizyor metall konstruksiyalarining korroziyasini kuchaytirishi tufayli alyuminiy xomashyosida temir miqdorining oshishiga olib keladi. Ishlatilayotgan neft koksi tarkibida oltingugurt konsentratsiyasining ortishi elektrolizyor metall konstruksiyalarining korroziya jarayonlarini jadallashtiradi, bu esa ishlab chiqarilayotgan xomashyo tarkibida temir miqdorining ortishiga olib keladi. Biroq, anod massasidagi oltingugurt o'zgarishining ta'siri vaqtinchalik kechikish bilan sodir bo'ladi. Vaqtinchalik kechikishning mavjudligi, birinchi navbatda, anod ustunining nisbatan kattaligi bilan bog'liq: anod massasini yuklashdan to uning yonish zonasiga tushishigacha bo'lgan vaqt davri oylar bilan o'lchanadi (11-rasm).



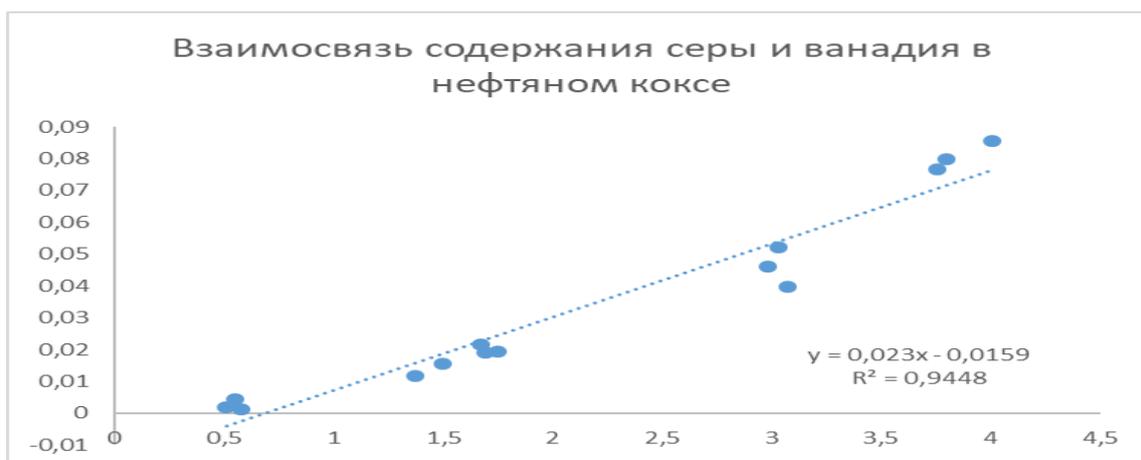
11-rasm. Alyuminiy xomashyosidagi temir miqdori va yuklanayotgan anod massasidagi oltingugurt miqdori o'rtasidagi korrelyasiya koeffitsienti R qiymatini umumiy namunasini siljitish bilan o'zgarishi.

Vaqtinchalik kechikishning to'g'ri qiymatini aniqlash uchun yuklangan anod massasidagi oltingugurt miqdori bo'yicha ma'lumotlarni ishlab chiqarilgan alyuminiy xomashyosidagi temirning o'zgarishiga taqqoslash bo'yicha statistik tajriba o'tkazildi. Tajriba tarkibida temir miqdori eng kam bo'lgan 10% elektrolizyorlar namunasida o'tkazildi (boshqa omillarning temir miqdoriga ta'sirini kamaytirish maqsadida).

Rasm tahlili shuni ko'rsatadiki, siljishning eng to'g'ri qiymati deb 4 oyni hisoblash kerak - bunday siljishga korrelyasiya koeffitsientining maksimal qiymati $R = 0,679$ to'g'ri keladi. Aynan shunday vaqt oralig'i anod massasi yuklangan paytdan boshlab, to u yonish zonasiga tushgunga qadar davom etadi. Anod massasini to'g'ridan-to'g'ri elektrolizyor anodiga yuklash vaqtidan boshlab uning ta'sirining vaqtinchalik siljishining to'g'ri qiymati aniqlangandan so'ng, alyuminiy xom ashyosidagi temir miqdorining anod massasidagi oltingugurt konsentratsiyasiga bog'liqligi ma'lum bir vaqt siljishini hisobga olgan holda statistik tadqiqot o'tkazildi. Xom ashyo tarkibidagi temirning o'rtacha tortilgan miqdori quyish bo'limi tomonidan ishlab chiqariladigan tovar mahsulotlari nomenklaturasini cheklaydi. Shunday qilib, agar nomenklatura bo'yicha tovar mahsulotida temirning o'rtacha tortilgan miqdori 0,20% ga teng bo'lsa, sifatli qizdirishni ta'minlash uchun elektrolitik alyuminiydagi temirning o'rtacha tortilgan miqdorini tovar metallidagiga qaraganda 0,01% ga past ushlab turish kerak. Shunga ko'ra, elektrolitik alyuminiy tarkibidagi temirning o'rtacha tortilgan miqdorining chegaraviy qiymati 0,19% ga teng.

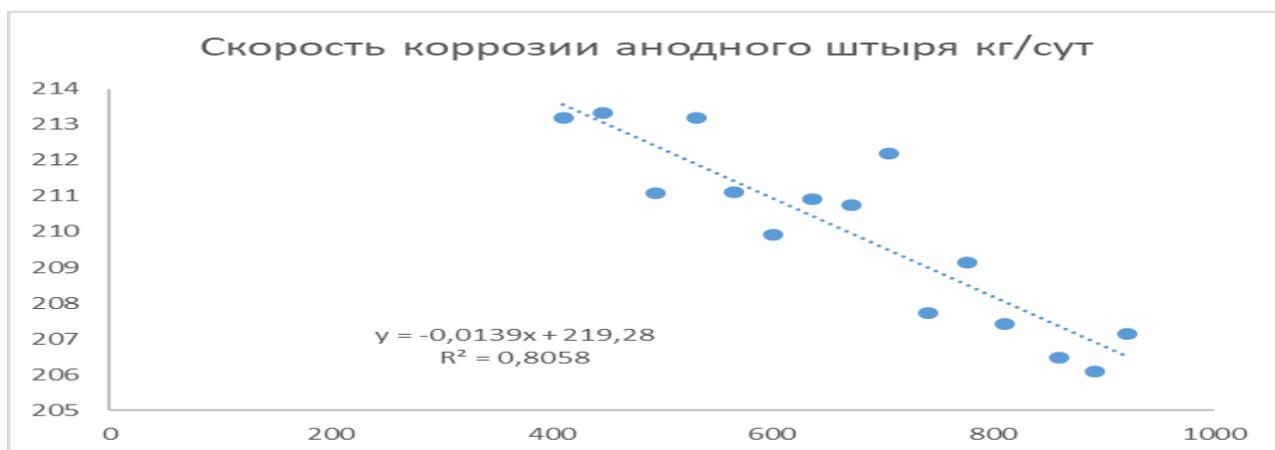
Shunday qilib, anod massasida oltingugurtning ruxsat etilgan miqdori 4,28% ni tashkil etadi. Bu neft koksidagi oltingugurt miqdoriga mos keladi $4,28 / 0,7 = 6,11\%$, bu Novokuybishev neftni qayta ishlash zavodida ishlab chiqarilgan eng yuqori oltingugurtli koksidagi oltingugurt konsentratsiyasidan yuqori. Xom neft koksining kimyoviy tarkibini o'rganish shuni ko'rsatdiki, neft koksidagi vanadiy konsentratsiyasi neft koksidagi oltingugurt konsentratsiyasi bilan yaxshi mos keladi

(korrelyasiya koeffitsienti $R^2 > 0,9$) - 12-rasm. Bu bog‘liqlik kam oltingugurtli va yuqori oltingugurtli kokslar uchun ham xosdir.



12-rasm. Neft koksi tarkibidagi vanadiy va oltingugurt miqdorining o‘zaro bog‘liqligi.

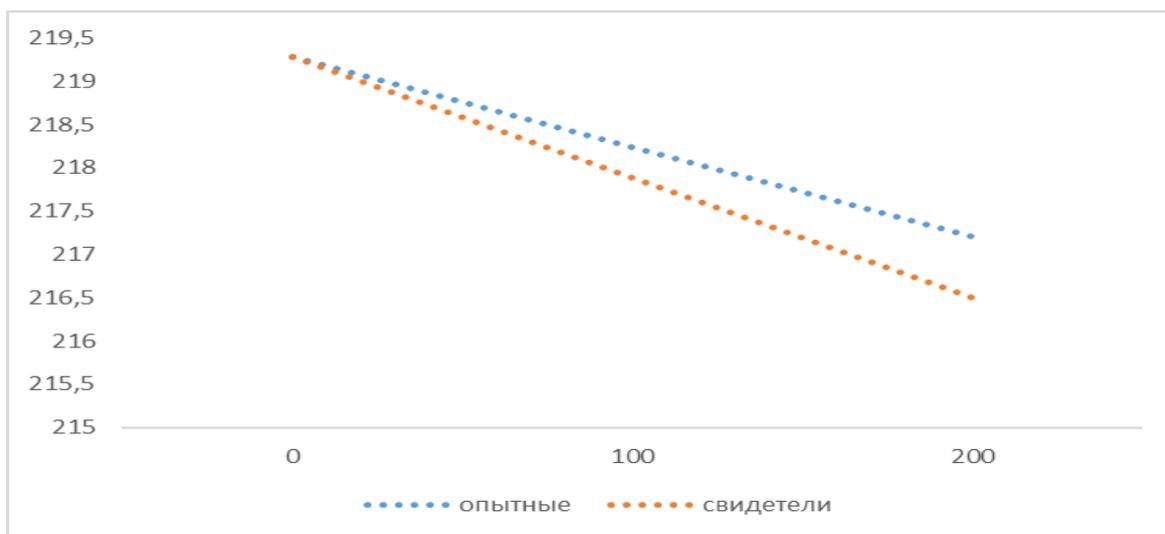
Vanadiy alyuminiyga nisbatan elektromusbat element sifatida suyuq alyuminiy xomashyosida deyarli to‘liq konsentratsiyalanadi. Alyuminiy xom ashyosidagi vanadiy miqdori va anod massasidagi vanadiy miqdorining korrelyatsiyasi alyuminiy xom ashyosidagi temir miqdori va anod massasidagi oltingugurt miqdori bilan bir xil xarakterga ega. Bu alyuminiy xomashyosiga vanadiyning kirishi anod tagligidan sodir bo‘lishini ko‘rsatadi. Anod shtiftlarining korroziyasini o‘rganish uchun anod shtiftlarini butun ishlash muddati davomida tortish tashkil etildi (13-rasm).



13-rasm. Xizmat muddati davomida anod shtiftining korroziyaga uchrashi.

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, «anod shtiftining og‘irligi» va «anod shtiftining ishlash muddati» parametrlari o‘rtasida yaxshi bog‘liqlik mavjud bo‘lib, bog‘liqlik tenglamasidagi koeffitsient shuni ko‘rsatadiki, anod shtiftining og‘irligining kunlik yo‘qolishi 0,0139 kg ni tashkil qiladi. Anod shtiftining korroziyalanish intensivligini kamaytirishning eng maqbul usuli elektrokimyoviy jihatdan faolroq metall dan foydalanishdir. Buning uchun quyish bo‘limida quymalarni kesishda hosil bo‘ladigan alyuminiy qirindilaridan foydalanish taklif etildi. Qirindi rivojlangan yuzaga ega,

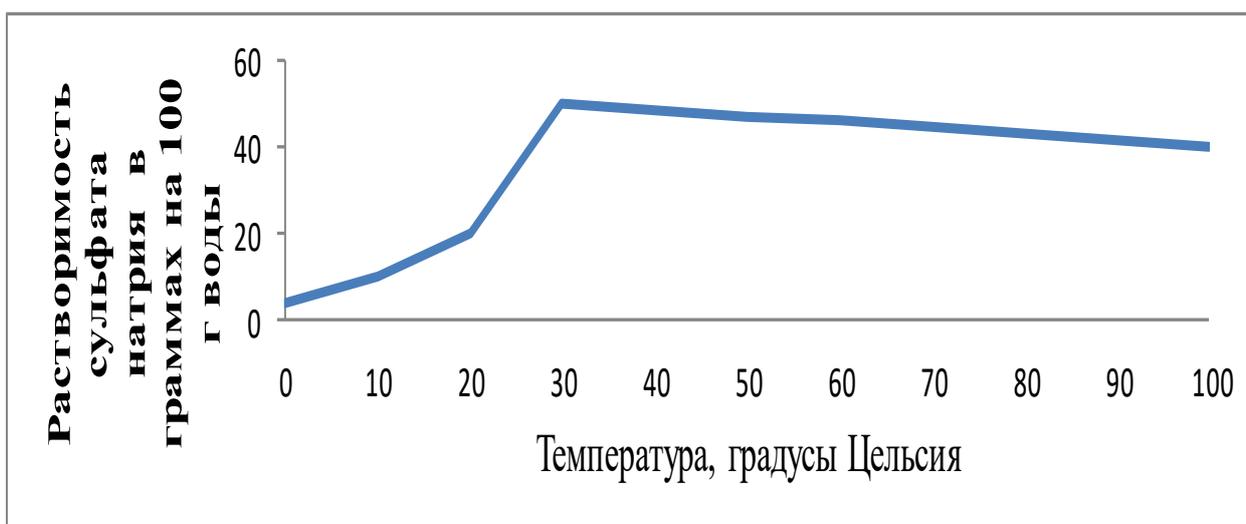
shuning uchun uni qayta eritish qiyin, chunki u yuqori darajada kuyadi. Konkret holda is gazining yuqori bo'lishi, aksincha, zaruriy talab hisoblanadi.



14-rasm. Tajriba guruhi (alyuminiy qirindisi bilan) va asosiy guruh anod shtiftlari vaznining kamayishini taqqoslash.

Anod shtiftlarining korroziyasini kamaytirish uchun alyuminiy qirindilaridan foydalanish samaradorligini baholash va natijada ishlab chiqarilgan alyuminiy xom ashyosining sifatini yaxshilash uchun anod shtiftlarini briketlangan alyuminiy qirindilari qo'shilgan holda qayta o'rnatishdan iborat faol tajriba o'tkazildi. Almashtirish samaradorligini aniqlash uchun tajribaviy elektrolizyorlarda va guvoh elektrolizyorlarda anod shtiftlari tortildi, tajriba natijalari 14-rasmda keltirilgan.

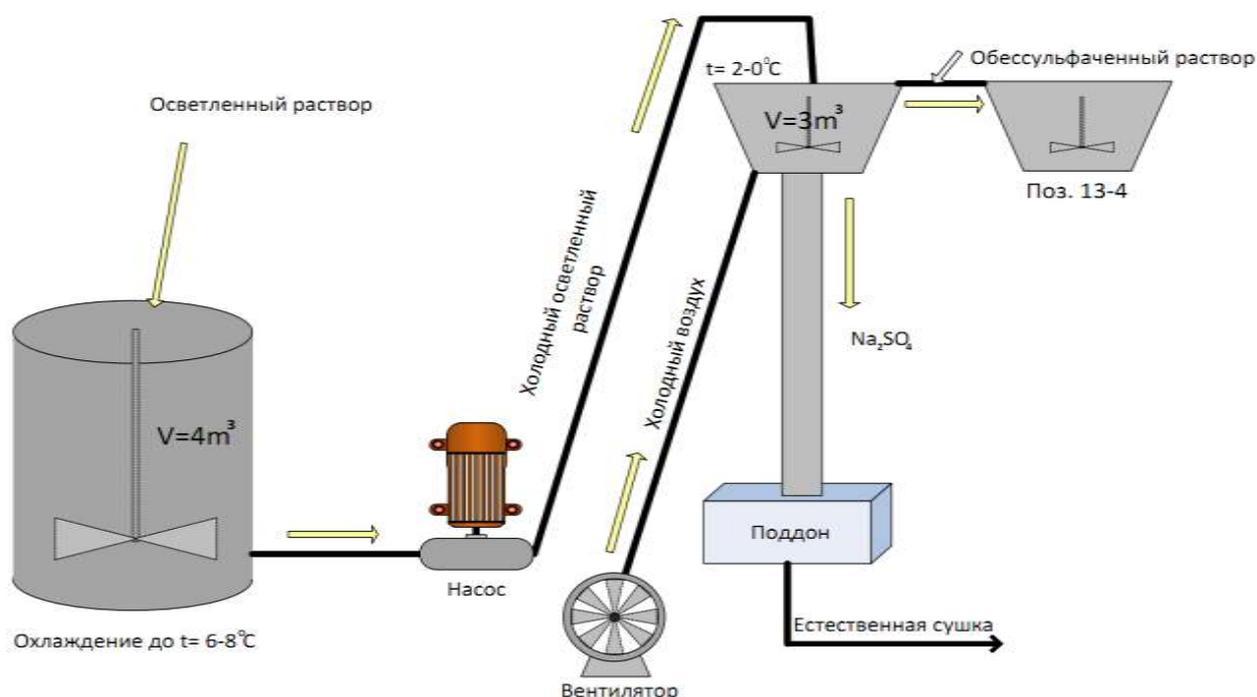
Dissertatsiyaning «**Oltingugurt birikmalarini ajratib olish bilan elektroliz sanoati chiqindi gazlarini utilizatsiya qilish**» deb nomlangan to'rtinchi bobi oltingugurt birikmalarini ajratib olish bilan elektroliz sanoati chiqindi gazlarini utilizatsiya qilishni ishlab chiqishga bag'ishlangan.



15-rasm. Natriy sulfatning suvda eruvchanligi.

Olib borilgan tadqiqotlar doirasida elektroliz sanoati gaz tozalash eritmalaridan oltingugurt birikmalarini tabiiy sovuqlik yordamida regeneratsiya qilish texnologiyasi sinovdan o'tkazildi va yarim sanoat miqyosida joriy etildi. Bu usul natriy sulfatning suvli eritmadagi ma'lum eruvchanlik egri chizig'iga asoslangan 15-rasm. Rasmdagi egri chiziq tahlili shuni ko'rsatadiki, tabiiy sovuqdan foydalanish to'yingan gaz tozalash eritmalaridan natriy sulfat kristallarining hosil bo'lishi va cho'kishiga erishish imkonini berdi.

Tajriba-sanoat sxemasi (16-rasm) tashqarida o'rnatilgan aralashtirgich-bakni o'z ichiga oladi, bino ichida quyultirgich-separator, to'qli quti va tindirilgan (boshlang'ich) va sulfatsizlantirilgan eritmalarni, shuningdek, quyultirilgan mahsulotni tashish uchun quvurlar tizimi mavjud. Aralashtirgich-bakda harorat sensori o'rnatilgan.



16-rasm. Natriy sulfatni GOU eritmalaridan kristallash tajriba-sanoat texnologik sxemasi.

2018-2019 yillarda bahorgi davrda tovar mahsulot olish uchun tabiiy sovuqdan foydalangan holda gaz tozalash eritmalaridan natriy sulfatni kristallashning apparat-texnologik sxemasini joriy etish samaradorligini aniqlash bo'yicha tajriba-sanoat sinovlari o'tkazildi, ularning maqsadi: tegishli sifatli natriy sulfat olishning prinsipial imkoniyatini aniqlash; jarayonning texnologik parametrlarini aniqlashtirish; iste'molchi uchun natriy sulfatning tajriba partiyasini ishlab chiqish.

Natriy kristall sulfat olish uchun dastlabki xom ashyo sifatida gaz tozalash eritmasi ishlatilgan, sovituvchi reagent sifatida tabiiy sovuq havo ishlatilgan. Bak-aralashtirgichga harorati +40 OS dan +44 OS gacha bo'lgan 5-6 m³ hajmdagi tindirilgan eritma quyildi. Eritmani sovutish 2 dan 3 sutkagacha davom etdi, chunki tashqi havoning harorati -3 OS dan -17 OS gacha o'zgarib turdi. Eritmalarni haydash, filtrlash va kristall natriy sulfatni kriolitni quritish bo'limiga etkazib berish 2 soat

davomida amalga oshirildi. Eksperimental yo‘l bilan aniqlandiki, «aralash eritma GOU-to‘yingan eritma GOU bilan» GOU eritmalarini regeneratsiya jarayonida aylanishining 1 siklida (2-3 soat) natriy sulfat konsentratsiyasi 20 g/l gacha oshadi. Binobarin, Na₂SO₄ konsentratsiyasi 40 g/l va undan kam bo‘lgan regeneratsion kriolit kristallangandan so‘ng, ona eritmalar «aralash eritma tayyorlash - GOU eritmasi - kriolit ishlab chiqarish» tizimida jarayondan chiqmasdan va shlam maydoniga tashlamasdan aylanishi mumkin, bu esa soda eritmalarida oltingugurt mahsulotlari muvozanatini saqlash uchun zarurdir. Shu bilan birga, «RUSAL Bratsk» OAJ uchun kalsinatsiyalangan soda bo‘yicha yillik tejamkorlik yiliga 8000-10000 tonnani tashkil etdi. Ilmiy ish natijalarini joriy etishning umumiy yillik iqtisodiy samarasi 117,41 million rublni tashkil etadi.

XULOSA

1. Neft kokslarining fizik-kimyoviy xossalari va tarkibi o‘rganilib, yuqori oltingugurtli kokslarda kam oltingugurtli kokslarga nisbatan vanadiyning yuqori miqdori qayd etildi.

2. Anod massasining maqbul texnik xossalarini ta‘minlaydigan koks shixtasining quruq kompozitsiyasini yaratish uchun termik ishlov berilgan neft kokslarining yangi granulometrik tarkibi tavsiya etildi.

3. Oltingugurt miqdorining ortishi elektrolizyor metall konstruksiyalarining korroziya jarayonini jadallashtiradi, bu esa ishlab chiqarilayotgan alyuminiy xomashyosida temir miqdorining ortishiga olib kelishi ko‘rsatilgan. Ishlab chiqarilayotgan alyuminiy xomashyosi tarkibidagi temir miqdorining anod massasidagi oltingugurt miqdoriga bog‘liqligi aniqlandi.

4. Neft kokslarining strukturaviy-sifat ko‘rsatgichlari va olinadigan anod massasining texnologik xossalari o‘rtasidagi bog‘liqlik sabablar ilmiy asoslandi.

5. Anod shtirlarining po‘lat qismi korroziyasini kamaytirish hisobiga yuqori oltingugurtli neft kokslari ishtirokida kerakli sifatdagi elektrolitik alyuminiy ishlab chiqarishni ta‘minlash maqsadida, alyuminiy elektrolitik olish texnologiyasi anod shtiftlarini joylashtirishning ikki pog‘onali to‘rt gorizontal sxemasi va anod shtiftlarini almashtirish uchun alyuminiy qirindisidan foydalanishni tavsiya etildi.

6. Uglerod katodida alyuminiy elektrokimyoviy tiklash sharoitida alyuminiy elektrolizi jarayonining beqarorligi, sanoat elektrolizyori metall konstruksiyalarining korroziya jarayonlari va ishlatiladigan anod massasining sifat xususiyatlari o‘rtasidagi sabab-oqibat bog‘liqligi aniqlandi;

7. Ishlab chiqarilayotgan elektrolizyorlar uchun anod shtiftining po‘lat qismi korroziyasini kamaytirish va natijada ishlab chiqarilayotgan alyuminiy sifatini oshirishni ta‘minlaydigan anod shtiftining ishlash muddatini uzaytirish usuli tavsiya etildi;

8. Gaz tozalash eritmalaridan oltingugurt birikmalarini ajratib olishda sanoat sifatiga ega bo‘lgan natriy sulfat va kalsiy ftorid olish texnologiyasi tavsiya etildi.

9. Arzon yuqori oltingugurtli neft kokslarini jalb qilish orqali material va energiya xarajatlarini kamaytirishga qaratilgan alyuminiy olishning ilmiy asoslangan texnologiyasi tavsiya etildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.15/27.02.2020. Т.73.02 ПО ПРИСУЖДЕНИИ
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

НОЖКО СЕМЁН ИГОРЕВИЧ

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ
ПРИ ВОВЛЕЧЕНИИ ВЫСОКОСЕРНИСТОГО НЕФТЯННОГО КОКСА**

**05.02.01 – Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.
Термическая обработка и обработка металлов давлением.
Металлургия чёрных, цветных и редких металлов.
Технология редких, благородных и радиоактивных элементов**

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

ТАШКЕНТ–2025

Тема диссертации доктора наук (DSc) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве Высшего Образования, Науки и Инноваций Республики Узбекистан за номером B2025.1.DSc/T900.

Диссертация выполнена в Ташкентский государственный транспортный университет.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-сайте Научного Совета (<http://tstu.uz>) и на Информационно-образовательном портале «Ziynet» (www.ziynet.uz).

Научный консультант: **Умаров Абдусалом Вахитович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Турсунов Надиржон Каюмжонович**
доктор технических наук, профессор

Курбанов Миртемир Шодиевич
доктор технических наук, профессор

Зелберг Борис Ильич
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: **Наманганский технический университет**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2025 года в ____ часов на заседании Научного совета DSc.15/27.02.2020.T.73.02 при Ташкентском государственном транспортном университете (Адрес: 100167, г Ташкент, ул. Темир йулчилар, 1. Тел (99871) 299-00-01; факс (99871)293-57-54 e-mail: rektorat@tstu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (регистрационный номер №____). (Адрес: 100167, Ташкент ул. Темир йулчилар, 1. Тел: (99871)299-05-66

Автореферат диссертации разослан «____» _____ 2025 года.
(реестр протокола рассылки № «____» от «____» _____ 2025 года).

А.М.Арифжанов
Преседатель научного совета
по присуждения учёных степеней,
д.т.н., профессор

Э.У. Тешабаева
Ученый секретар научного
совета по присуждению
учёных степеней, д.т.н., профессор

Н.К. Турсунов
Преседатель научного семинара
при научном совете по присуждению
учёных степеней, д.т.н., профессор

ВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире свыше 99% алюминия производится методом электролитического восстановления из криолит-глиноземного расплава. Данный расплав отличается повышенной коррозионной активностью и потому проблема подбора материала, который бы не только проводил электрический ток, но и не засорял расплав примесями, был химически и механически устойчив, чрезвычайно важна. Поэтому особое внимание уделяется теоретическим и практическим задачам, направленным на совершенствование действующей технологии получения алюминия, а также формированию тела анода на основе заранее заданных требований, путем вовлечения низкокачественного углеродсодержащего сырья и способствующих улучшению экономической и экологической эффективности при сохранении качества производимого металла.

В мире проводятся научные исследования природы нефтяного кокса, основных технико-экономических параметров электролитического получения алюминия, способов утилизации, улавливания и переработки серы, поступающей в процесс электролиза алюминия, влияния серы на процесс электролитического получения алюминия, исследованию, направленным на снижение содержания вредных примесей в готовой продукции, создание ресурсосберегающих технологий, рафинирование, легирование, и модифицирование расплавов, разработку алюминиевых композиций нового поколения, а также модификаторов для получения алюминия с заданными свойствами.

В Республике Узбекистан существуют месторождения глинозема – основного сырья для производства алюминия, Ангренское месторождение каолинов, также имеются и месторождения нефти в Каракалпакской автономной республике, Кашкадаринской, Бухарской, Сурхандаринской, Наманганской, Андижанской, Ферганской области, в стране действуют три нефтеперерабатывающих завода, Алты-Арыкский НПЗ, Ферганский НПЗ и Бухарский НПЗ, поэтому эффективное комплексное использование существующей минерально-сырьевой базы является естественным процессом развития страны. В стратегии дальнейшего развития Нового Узбекистана указаны такие задачи, как: «...поднятие промышленности на качественно новый уровень, глубокой переработке местного сырья, ускорение производства готовой продукции, освоение новых видов продукции и технологий...»¹. В связи с этим важное значение имеет научное обоснование и разработка комплекса технологических и технических решений, направленных на снижение материальных и энергетических затрат при вовлечении высокосернистых нефтяных коксов при получении алюминия.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных, в Указах и Постановлениях Президента Республики Узбекистан УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», ПП-5159 от 24 июня 2021 года «О развитии

¹ Ш.М. Мирзиёев. Стратегия развития нового Узбекистана. – Ташкент. Изд.: «O'zbekiston», 2022, - 440 с.

горно-металлургической отрасли и смежных отраслях», ПП-2298 от 11 февраля 2017 года «О программе локализации (производства) изделий и материалов на 2017-2019 годы», ПП-99 от 24 января 2022 года «О мерах по созданию эффективной системы развития производства и расширению производственной кооперации в стране», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования с приоритетным направлениям развития науки и технологий республике. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан II. «Энергетика, энерго-и ресурсосбережение».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации². Научные исследования, направленные на усовершенствование технологии получения электролитического алюминия проводятся ведущими мировыми научными центрами, высшими учебными заведениями и компаниями в США (Massachusetts Institute of Technology, ALCOA, Kaiser Aluminium, Martin Marietta Aluminium, Comalco, Лаборатория аэрокосмических материалов в Балтиморе (штат Мериленд), Национальная исследовательская лаборатория в Оук-Ридж (штат Теннесси)), Японии (Sumitomo), Китая (Chalco, GAMI), Объединенных Арабских Эмиратах (EGA), Канаде (ALCAN), Исландии (Reykjavik University), Норвегии (Norwegian University of Science and Technology, Elkem), Франции (Pechiney), России (ВАМИ, МИСиС, РУСАЛ ИТЦ), Узбекистане (Ташкентский государственный технический университет, Ташкентский государственный транспортный университет, Академия наук Республики Узбекистан, Навоийский государственный горный институт) и др.

В мире в результате выполненных научных исследований по изучению электролитического производства алюминия получен ряд научных результатов: разработана технология «сухого» анода (Sumitomo, Япония); изучено поведение глинозема при автоматической подаче сырья в электролизер (Pechiney, Франция), разработан высокоамперный электролизер мощностью 600 кА (EGA, Объединенные Арабские Эмираты), разработана технология инертного анода (РУСАЛ ИТЦ, Россия), изучено поведение примесей фосфора (Reykjavik University, Исландия), испытана технология дренированного катода (GAMI, Китай), разработана эффективная технология получения алюминия высокой чистоты (Университете науки и технологий «МИСиС», Россия); разработаны технологии рафинирования и модифицирования сплавов (Ташкентский государственный технический университет, Ташкентский государственный транспортный университет, Академия наук Республики Узбекистан, Навоийский государственный горный институт, Андижанский машиностроительный институт, Узбекистан).

² Обзор международных научных исследований по теме диссертации выполнен на основании: www.sciencedirect.com; www.journals.elsevier.com/materials-today; International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and technology (2010-2022); Journal of Materials Science and Engineering; Materials & Design and Materials Characterization. Цветные металлы (2010-2022), и других источников.

В мире осуществляются ряд научных работ, направленных на усовершенствование технологии получения алюминия при увеличении концентрации серы, ванадия и фосфора, включая следующие приоритетные направления: углубление физико-химических расчетов и теоретических основ металлургических процессов; получение уравнений и констант равновесия реакций процесса электролитического получения алюминия, вывод основных формул, определяющих технологические параметры процессов десульфуризации и дефосфорации, определение зависимостей, характеризующих коэффициенты распределения серы и фосфора между электролитом и металлом, уточнение параметров взаимодействия и других технологических параметров; изучение зависимостей влияния содержания вредных примесей в сыре на механические свойства материалов, разработку ресурсосберегающих технологий получения качественных материалов с заданными свойствами.

Степень изученности проблемы. Исследованиями в области усовершенствования технология получения электролитического алюминия занимались такие учёные, как Oye H., Welsh B., Meirbekova R., White P., Potochnik V., Grotgeim K., Thonstad J., Solheim A., Sterten A., Haupin A., Solli P., Rolseth S., Pearson T., Sorlie M., Paulsen K., Kvande H., Xiao J., Zhong Q., Беляев А.И., Москвитин В.И., Янко Э.А., Лазарев В.Д., Ветюков М.М., Баймаков Ю.В., Бажин В.Ю., Сизуаков В.М., Чалых В.И., Сиразутдинов Г.А., Минцис М.Я., Тураходжаев Н.Д., Рискулов А.А., Сайдахмедов Р.Х., Норхуджаев Ф.Р., Файзибаев Ш.С., Курбанов М.Ш., Умаров А.В., Зиямухамедова У.А., Бердияров Б.Т. и др.

Ими были созданы рафинирования и модифицирования металлического расплава с использованием твердых шлаковых смесей и модификаторов. Установлено, что увеличение содержания серы в вовлекаемых нефтяных коксах приводит к ухудшению качества очистки отходящих газов, приводит к увеличению экологических рисков алюминиевых производств. Показано, что вовлечение высокосернистых коксов снижает также и технико-экономические показатели производства алюминия в целом. В результате этих разработок увеличилась эффективность рафинирования металла в литейных агрегатах, получены уравнения и константы равновесия реакции процесса рафинирования алюминия со шлаком, определены основные технологические параметры процессов десульфурации и дефосфорации, получены формулы, характеризующие коэффициенты распределения серы и фосфора между шлаком и металлом, уточнены зависимости влияния содержания вредных примесей в металле на их механические свойства.

Вместе с тем, осуществляются научные исследования, направленные на такие сложные проблемы, как негативное влияние газообразных соединений серы на экологическую ситуацию в городах присутствия металлургических производств, общее снижение качественных характеристик используемого сырья ввиду выработки рудных тел многих месторождений, рост энергетических издержек при добыче сырья и нефтепродуктов, рост требований потребителей к качеству производимого алюминия, рост издержек ввиду использования низкокачественного сырья и материалов. Данная диссертационная работа посвяще-

на изучению физико-химических особенностей высокосернистых нефтяных коксов, а также разработке эффективной технологии вовлечения высокосернистых нефтяных коксов при электролитическом получении алюминия.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского университета прикладных наук.

Целью исследования является изучение физико-химических свойств высокосернистых нефтяных коксов и разработка технологии их вовлечения при электролитическом получении алюминия.

Задачи исследования:

определение химического состава и физических свойств высокосернистого нефтяного кокса;

определение взаимосвязи химического состава и физических свойств высокосернистого кокса с эксплуатационными свойствами производимой анодной массы;

научное обоснование и разработка технологии производства анодной массы с использованием высокосернистого нефтяного кокса;

исследование процесса кристаллизации промышленного электролита алюминиевого электролизера и разработка энергосберегающей технологии получения алюминия с использованием анодной массы, изготовленной из высокосернистого кокса;

исследование промышленных газоочистных растворов и разработка эффективной технологии регенерации газоочистных растворов алюминиевого производства от соединений серы и фтора;

разработка аппаратурной схемы для эффективной регенерации газоочистных растворов в производстве алюминия.

Объектами исследования являются нефтяной кокс и анодная масса из нефтяного кокса.

Предметами исследования являются изучение физико-химических свойств нефтяных коксов, их влияние на эксплуатационные свойства анодной массы, изготовленной из нефтяного кокса.

Методы исследования. В работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследований, физико-химические методы изучения состава и свойств, синхронный термоанализатор STA 449C Jupiter (фирмы NETZSCH), Термогравиметрия, Дифференциальная сканирующая калориметрия с квадрупольным масс-спектрометром QMS 403C Aelos (фирмы NETZSCH) для анализов газов, выделяющихся при нагревании образцов, Квадрупольный масс-спектрометр (ионизация электронным ударом) подключался к STA с помощью линии подачи газов с постоянной температурой 230 °С..

Научная новизна исследования заключается в следующем:

установлена связь между качественными свойствами нефтяных коксов и технологическими свойствами получаемой анодной массы, определены опти-

мальные параметры - изменение температуры прокалки, оптимизация гранулометрического состава сухой коксовой шихты вовлечения высокосернистого нефтяного кокса в производство анодной массы;

впервые разработан состав для приготовления анодной массы с улучшенными потребительскими свойствами;

установлена связь между механизмом кристаллизации многокомпонентного промышленного электролита алюминиевого электролизера, температурой перегрева электролита и параметрами - напряжением, уровнем и химический состав электролита, крупность используемого глинозема, кратность поточных обработок глиноземом работы электролизера;

обоснованы оптимальные параметры работы алюминиевого электролизера - температура перегрева электролита и количество регламентно-поточных обработок электролизеров глиноземом, обеспечивающие высокую энергоэффективность процесса электролитического получения алюминия;

определены параметры - температура процесса, концентрация компонентов селективной регенерации растворов очистки газа от соединений серы и фтора в производстве алюминия с получением товарного продукта – сульфата натрия;

разработаны методы и устройства для определения температуры ликвидуса расплава электролита в электролизере алюминия, размещения анодных штырей в электролизере для производства самовозгорающегося анода и высокопроводящего алюминия, очистки регенерационного криолита от соединений серы;

усовершенствована технология - оптимальная схема расстановки анодных штырей, граничные условия эксплуатации анодных штырей, анодной массы, изготовленной из высокосернистых нефтяных коксов при электролитическом получении алюминия обеспечивающие максимальные показатели работы электролизеров.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана технология прокалки нефтяного кокса в зависимости от содержания серы в нем;

разработан гранулометрический состав компонентов сухой коксовой шихты, обеспечивающий улучшение качественных эксплуатационных характеристик производимой анодной массы: механической прочности на сжатие, пористости, удельного электросопротивления;

разработан алгоритм управления алюминиевым электролизером, основанный на мониторинге температуры перегрева электролита;

разработана технология электролитического получения алюминия, минимизирующая образование технологических нарушений в работе анодного узла;

разработана эффективная технология регенерации газоочистных растворов алюминиевого производства с получением товарных продуктов – сульфата натрия и фторида кальция – промышленного качества.

Достоверность результатов исследования. Степень достоверности результатов, представленных в диссертационной работе, подтверждается ком-

плексом современных физико-химических методов исследования, воспроизводимостью экспериментов, использованием методов математической обработки полученных результатов измерений.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в разработке научной основы эффективной технологии использования высокосернистого нефтяного кокса, основанной на закономерностях процесса кристаллизации промышленного электролита, качественных характеристиках производимой анодной массы, а также причинно-следственных связях, определяемых технико-экономическими показателями процесса получения алюминия.

Практическая значимость результатов исследования заключается в повышении эффективности работы электролизной промышленности путем применения разработанной технологии приготовления анодной массы, разработке ресурсосберегающей технологии электролитического получения алюминия, а также эффективном снижении экологической нагрузки на окружающую среду посредством селективной регенерации растворов газоочистки от соединений серы и фтора.

Внедрение результатов исследования. На основе проведенных научных исследований по изучению физико-химических свойств нефтяного кокса, процесса кристаллизации промышленного электролита и регенерации растворов газоочистки:

получен патент Российской Федерации на «Способ определения температуры ликвидуса расплава электролита в алюминиевом электролизере и устройство для его реализации» (№ 2303246 от 07.12.2006 г.). В результате это позволило увеличить выход по току на 0,38%;

получен патент Российской Федерации на «Способ размещения анодных штырей в электролизере для производства самообжигающегося анода и алюминия с высокой электропроводностью» (№ 2387742 от 04.12.2009 г.). В результате удалось снизить разность напряжений на аноде на 20 мВ и уменьшить расход электроэнергии на производство алюминия на 67 кВт*ч/т;

получен патент РФ на «Способ очистки регенерационного криолита от соединений серы» (№ 2401323 от 04.05.2009 г.). В результате стало возможным производство 8000 - 10000 тонн кальцинированной соды в год;

внедрен способ переработки фторсодержащих материалов электролизного производства на алюминиевом заводе «Aluminium Smelter Company of Nigeria» (справка № 0812 от 01.11.2008 г. Республики Нигериа). В результате появилась возможность полной переработки всего объема фторсодержащих материалов;

внедрена технология управления тепловым балансом электролизера в электролизном производстве на «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод» (справка «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод» от 28 ноября 2008 г. №15). В результате удалось повысить выход по току на 0,62% и снизить удельный расход электроэнергии при производстве алюминиевого сырья на 56,2 кВт*ч/тонну;

внедрена разработанная технология регенерации газоочистных растворов в практику на АО «РУСАЛ Братский алюминиевый завод» (справка ОАО «РУСАЛ Братск» от 22 июня 2012 г. № РБ-Вн-12-01712). В результате предложенная схема регенерации газоочистных растворов позволила снизить содержание сернистых соединений до 50-70 г/дм³.

внедрена технология электролитического получения алюминия с использованием высокосернистых коксов в практику ОАО «Всероссийский алюминиево-магниевый институт» (справка ОАО «Всероссийский алюминиево-магниевый институт» № 0703/12-231 от 30 марта 2012 г.). В результате это позволило повысить качество продукции в 1,4 раза.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования доложены на 7 международных научно-технических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертационной работы опубликовано всего 29 научные работы, в том числе 1 монография, 18 статей в журналах, рекомендованных для публикаций основных результатов научных исследований докторской диссертации Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 14 публикаций входят в базы цитирования Scopus и WoS, получено 3 патента РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения и библиографического списка использованных источников и приложений. Объем основной части текста диссертации состоит из 200 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована их достоверность, раскрыты теоретические и практические значимости полученных результатов, приведены результаты внедрений разработок, результаты апробации работы и сведения по опубликованным работам и по структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Современное состояние и перспективы развития алюминиевой промышленности**» рассмотрено текущее состояние и направления развития алюминиевой промышленности, проведен литературный обзор существующих исследований природы нефтяного кокса, основных технико-экономических параметров электролитического получения алюминия. Подробно рассмотрены существующие способы утилизации серы, показана необходимость увеличения эффективности улавливания и переработки, поступающей в процесс электролиза алюминия серы. Показано, что влияние серы на процесс электролитического получения алюминия изучено недостаточно глубоко. В заключении главы определены и обоснованы перспективные направления исследований.

Вторая глава диссертации «Использование высокосернистых нефтяных коксов в производстве анодной массы» посвящена разработке эффективной технологии производства анодной массы при вовлечении высокосернистых коксов. Технология производства анодной массы с изменением температуры прокаливания высокосернистого нефтяного кокса и изменением гранулометрического состава компонентов сухой коксовой шихты позволяет производить анодную массу с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Для определения условий оптимальной прокаливания сырых нефтяных коксов в рамках проводимых исследований был проведен комплексный термический анализ образцов высокосернистого и низкосернистого сырого нефтяного кокса.

Поведение исследование сырого высокосернистого кокса при нагревании до 1300 °С имеет некоторые отличия от образца низкосернистого кокса. Прежде всего можно отметить более энергичный процесс деструкции в области температур 500 – 900 °С, предшествующих процессу упорядочения структуры кокса, что проявляется в более значительной убыли массы на этом этапе: 9,3 % (рис. 1, кривая TG) по сравнению с 6,2 % для пробы низкосернистого кокса, а также большей скорости убыли массы (кривые DTG).

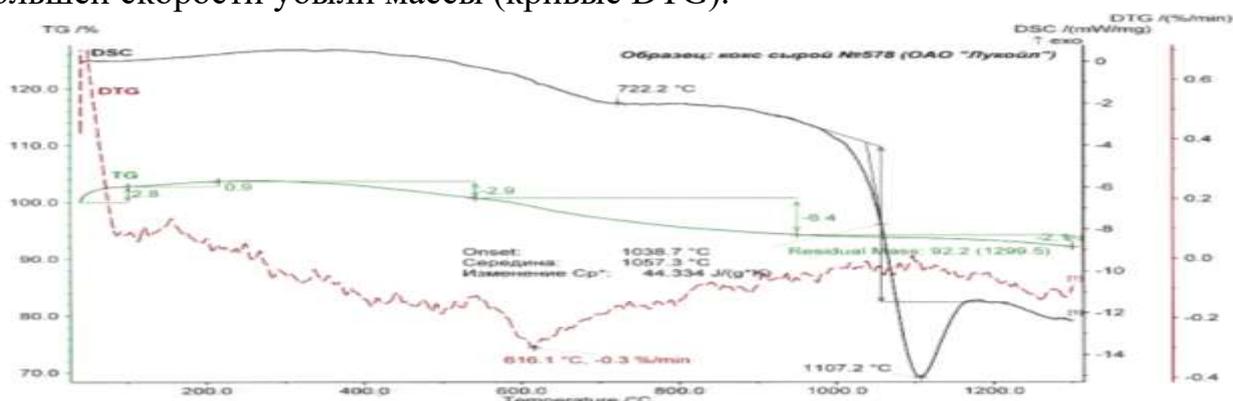


Рисунок 1. Термический анализ пробы высокосернистого сырого нефтяного кокса

Процесс предкристаллизации для данного образца характеризуется также большим изменением удельной теплоемкости материала: $\Delta C_p = 44,334$ Дж/г*К. Масс-спектрометрический анализ газообразных продуктов, выделяющихся при нагреве данного образца (рис. 2), показал наличие метана, пропана, этана, ацетилена, пропана.

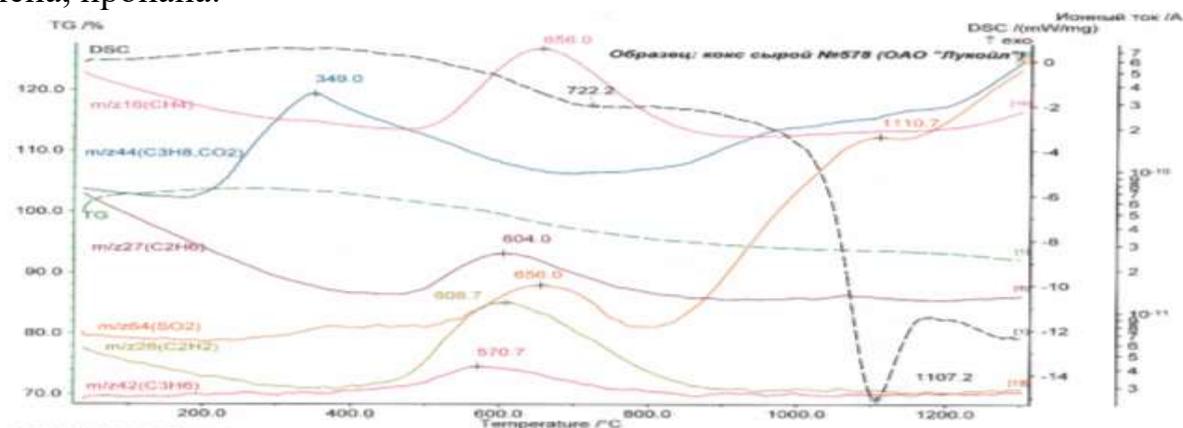


Рисунок 2. Масс-спектрометрический анализ пробы сырого высокосернистого кокса.

Более значительные отличия наблюдаются в поведении продуктов серы. Во-первых, в пробе высокосернистого кокса отсутствует карбонил серы COS, во-вторых, интенсивность сигнала ионного тока для $m/z=64$ (SO_2), приблизительно, в 2 раза больше, чем для пробы низкосернистого кокса.

Для сравнения на рис. 3 приведены результаты синхронного термического анализа для обоих образцов. Показано, что температура оптимальной прокалики сырого высокосернистого нефтяного кокса выше примерно на 70°C . Это свидетельствует о необходимости разделной прокалики сырых низкосернистых и высокосернистых коксов.

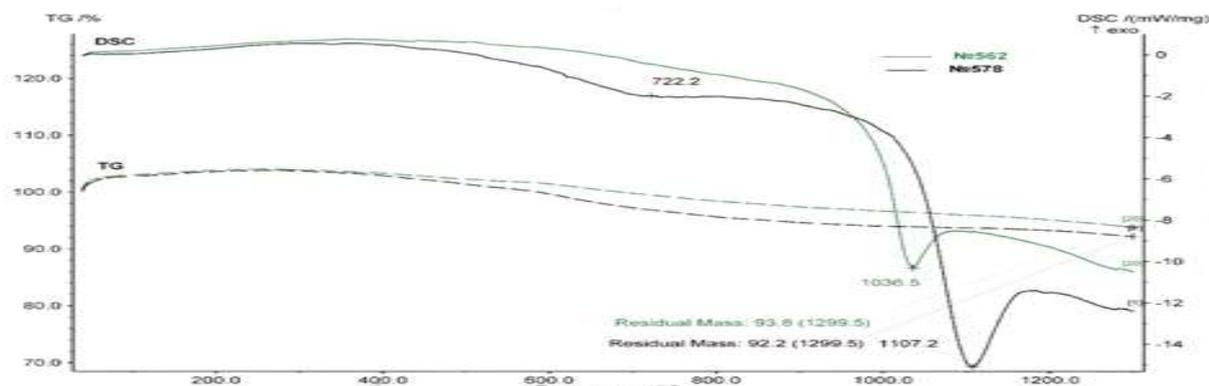


Рисунок 3. Синхронный термический анализ проб низкосернистого и высокосернистого сырых нефтяных коксов.

К анодной массе, используемой для производства первичного алюминия, предъявляется целый комплекс весьма жестких требований, касающихся физических, химических, электрохимических и структурных свойств. Принятые в алюминиевой промышленности методы контроля качества анодной массы состоят в определении механической прочности на сжатие, удельного электросопротивления, пористости и зольности. На практике в качестве факультативного параметра применяется также контроль на разрушаемость в атмосфере воздуха либо CO_2 . Изучение механической прочности анодной массы на сжатие производилось путем определения максимального напряжения в момент разрушения образца. Результат изучения изменения механической прочности образцов нефтяного кокса в виде зависимости механической прочности от концентрации серы приведен на рис. 4.

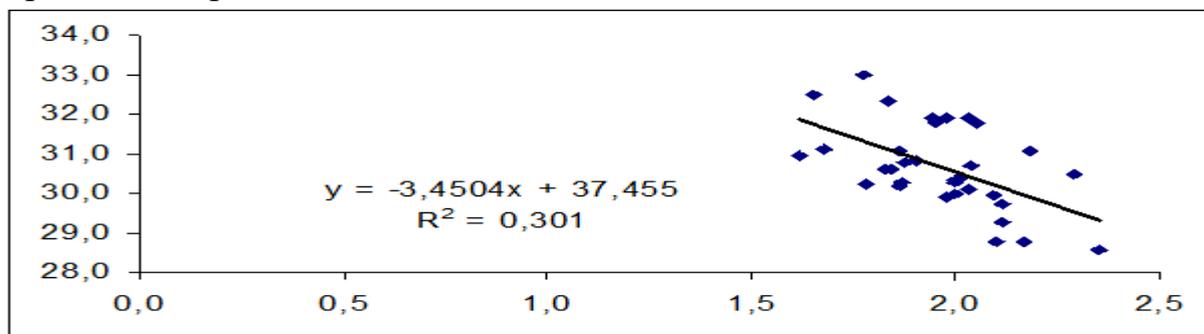


Рисунок 4. Зависимость механической прочности анодной массы на сжатие от содержания серы в анодной массе.

Из рисунка видно, что наличие неустойчивой связи (коэффициент корреляции $R^2 = 0,30$) этих параметров, причем при росте содержания серы механическая прочность линейно снижается.

В эксперименте по определению удельного электросопротивления (УЭС) брался цилиндрический образец полностью обожженной в лабораторной печи анодной массы диаметром 50 мм и длиной 10 мм. Зависимость удельного электросопротивления от содержания серы в анодной массе приведена на рис. 5. Данная зависимость также характеризуется неустойчивой связью (коэффициент корреляции $R^2 = 0,24$) этих параметров. В целом, удельное электросопротивление должно быть максимально низким, однако допускается использование анодной массы с удельным электросопротивлением от 80 мкОм*м. Данная величина соответствует содержанию серы в анодной массе 2,33 %.

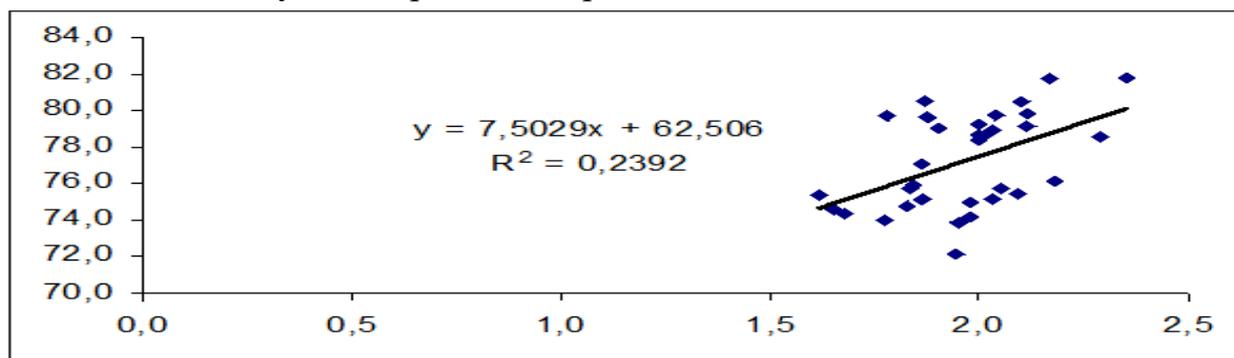


Рис. 5. Зависимость УЭС анодной массы от содержания серы в анодной массе.

Определение пористости образцов нефтяного кокса производилось расчетным способом. Действительная плотность обожженной анодной массы определялась методом вытеснения газа. Кажущаяся плотность обожженной анодной массы определялась как отношение массы и объема цилиндрического образца. Расчет кажущейся плотности производился с точностью до 0,01 г/см³. Величину кажущейся плотности находили как среднее арифметическое двух определений, при этом расхождение результатов двух параллельных определений не должно было превышать 0,05 г/см³. Результат экспериментального определения зависимости пористости от концентрации серы приведен на рис. 6.

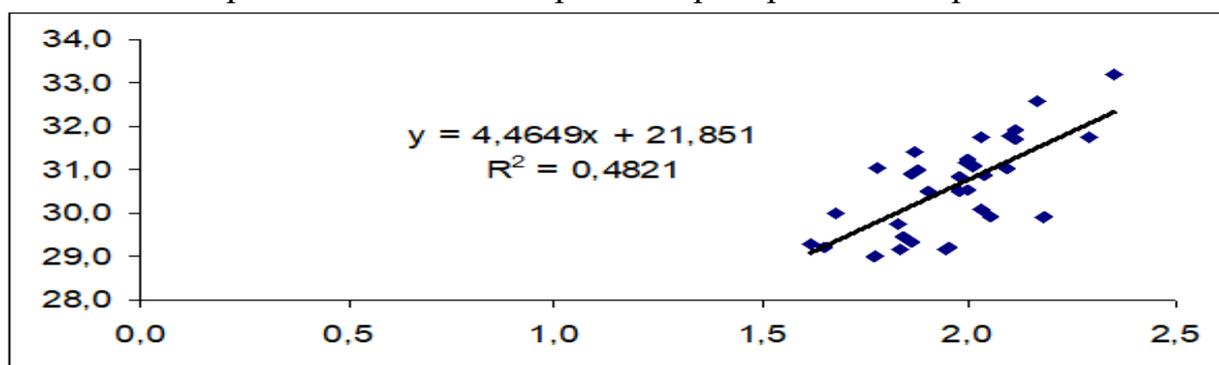


Рисунок 6. Зависимость пористости анодной массы от содержания серы в анодной массе.

Величина пористости линейно растет с ростом содержания серы в анодной массе, данная зависимость носит устойчивый характер (коэффициент корреля-

ции $R^2 = 0,48$), критического (32 %) значения величина пористости достигает при содержании серы в анодной массе 2,27 %.

Результат изучения зависимости зольности от концентрации серы показано, что полное отсутствие корреляции зольности на содержание серы во всем диапазоне концентраций серы в анодной массе, при этом не отмечалось критических (более 0,5 %) значений зольности (рис.7).

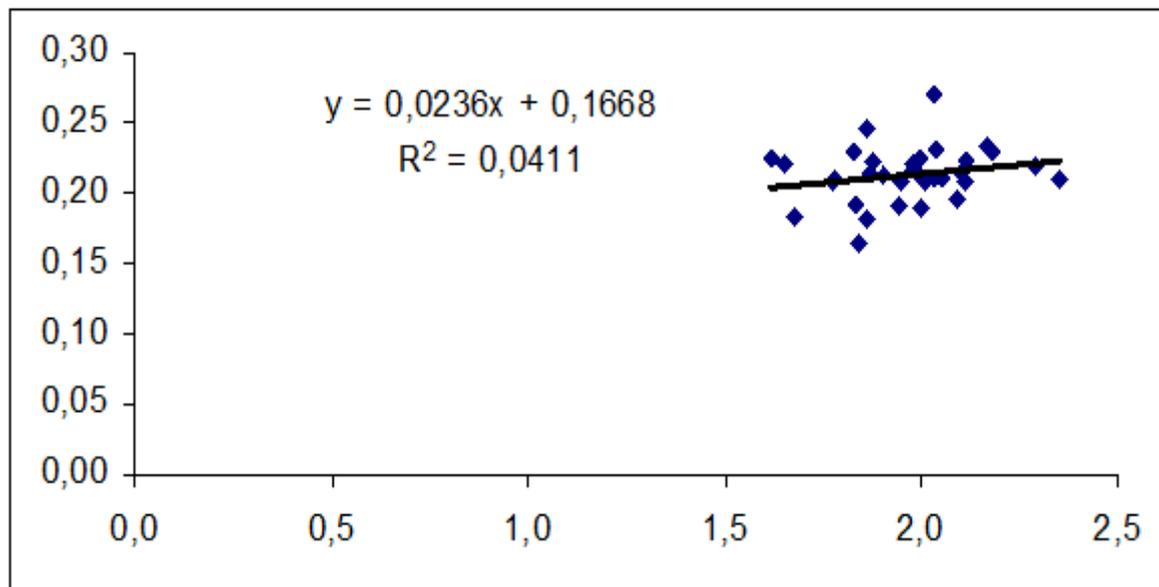


Рисунок 7. Зависимость зольности анодной массы от содержания серы в анодной массе.

Общую разрушаемость обожженной анодной массы в токе CO_2 и установлен, что разрушаемости в токе CO_2 отмечается отсутствие устойчивой взаимосвязи при изменении содержания серы в анодной массе (рис. 8).

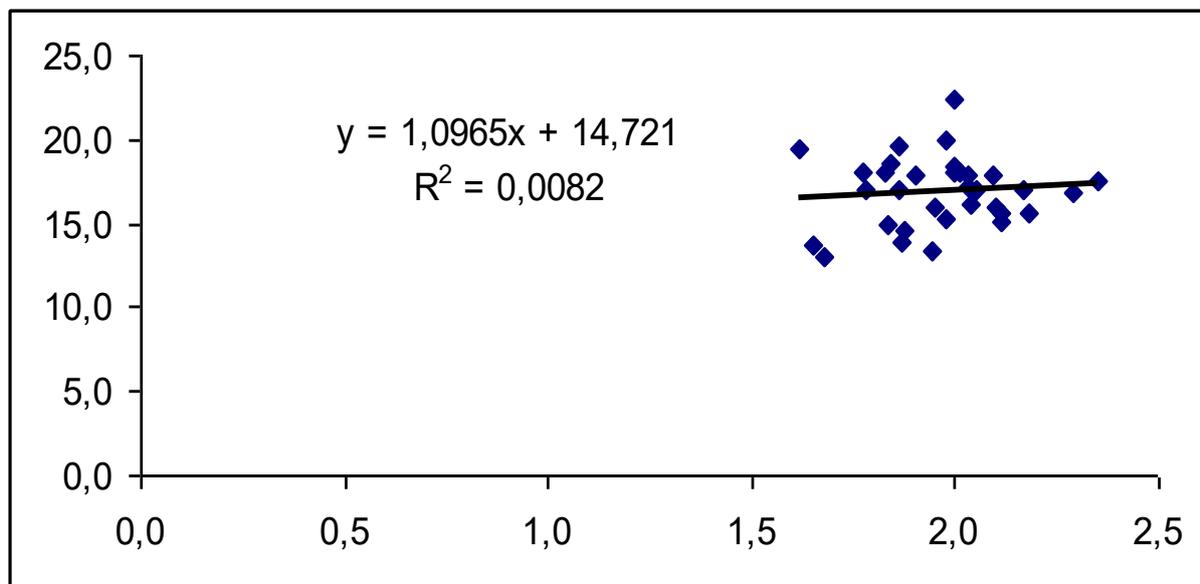


Рисунок 8. Зависимость разрушаемости в токе CO_2 анодной массы от содержания серы в анодной массе.

Причем аналогично ситуации с зольностью, критического значения (более 25 мг/см²*час) не наблюдалось во всем диапазоне наблюдений.

В рамках проводимых исследований оценивался также гранулометрический состав нефтяных коксов. В таблицах 1 и 2 приведены результаты анализа гранулометрического состава исследуемых нефтяных коксов. В среднем, гранулометрический состав большинства высокосернистых коксов мельче гранулометрического состава низкосернистых коксов, у двух производителей высокосернистого кокса (ТАНЕКО и Технографит) отмечается критически высокое содержание фракции 8 мм - более 60 %. При этом отмечается наличие устойчивой взаимосвязи концентрации серы и крупности нефтяного кокса.

Таблица 1.

Результат анализа гранулометрического состава низкосернистых коксов.

Производитель кокса	Содержание фракции «-8 мм», %
Роснефт – Ангарская НХК	47,6
Лукойл – Волгограднефтепереработка	51,0
Газпромнефть – Омский НПЗ	49,4
Роснефть – Комсомольский НПЗ	42,5
Новобакинский НПЗ	50,4
Бакинский НПЗ им. Гейдара Алиева	53,0
Роснефть – Ачинский НПЗ	40,5
Туркменбашинский НПЗ	55,5
Среднее значение	48,7

Таблица 2.

Результат анализа гранулометрического состава высокосернистых коксов.

Производитель кокса	Содержание фракции «-8 мм», %
Антипинский НПЗ	54,2
Лукойл – Пермнефтеоргсинтез	49,4
Танеко	69,6
Технографит	60,2
Новокуйбышевский НПЗ	55,3
Русинвест НПЗ	49,2
Среднее значение	56,3

Исследование образцов низкосернистого и высокосернистого нефтяных коксов позволили выявить наличие взаимосвязи гранулометрического состава и содержания серы, что подтвердило полученные при исследовании образцов анодной массы взаимосвязи концентрации серы с качественными параметрами анодной массы (взаимосвязь механической прочности на сжатие и удельного электросопротивления анодной массы с содержанием серы в ней, наличие устойчивой взаимосвязи пористости анодной массы с содержанием серы в ней). Из чего был сделан вывод, что данное влияние можно нивелировать оптимизацией параметров подготовки сухой коксовой шихты при производстве анодной массы, потому как максимальная упаковка зерен наполнителя обеспечивает высокую плотность и механическую прочность брикетов, а также низкую пористость. Для снижения пористости анодной массы и, как следствие, увеличения механической прочности и снижения удельного электросопротивления анодной массы содержание фракции «-0,08 мм» в синтетике коксовой

шихты было предложено увеличить с 27,2 до 40 %. При этом общее содержание пылевой фракции в общей синтетике коксовой шихты осталось неизменным (таб.3).

Анализ таблицы 3 показывает, что изменение гранулометрического состава позволило оптимизировать технические характеристики производимой анодной массы и, таким образом, нивелировать влияние увеличения концентрации серы.

Таблица 3.

Сопоставление характеристик анодной массы

Показатели	Требование	Стандартный грансостав	Измененный грансостав
Механическая прочность, МПа	не менее 30	30,2	32,3
Удельное электросопротивление, мкОм*м	не более 80	77,3	73,8
Пористость, %	не более 30	29,0	27,5

Таким образом, установлено вещественный состав нефтяных коксов, изучены свойства анодной массы при изменении содержания серы. Изучение взаимосвязи свойств анодной массы с концентрацией серы в нефтяном коксе логично сводится непосредственно к технологическим рекомендациям, направленным на оптимизацию свойств анодной массы при вовлечении высокосернистых нефтяных коксов.

В третьей главе диссертации «**Вовлечение анодной массы, изготовленной из высокосернистых нефтяных коксов, на алюминиевых электролизерах**» представлены результаты промышленных испытаний и внедрения алгоритма управления промышленными алюминиевыми электролизерами, основанного на мониторинге температуры перегрева электролита.

Электролит алюминиевых электролизеров представляет собой многокомпонентный расплав $\text{Na}_3\text{AlF}_6 - \text{AlF}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaF}_2 - \text{MgF}_2$, основу которого составляет натриевый криолит. При медленном охлаждении такого расплава первым будет кристаллизоваться криолит, так как его концентрация значительно превышает концентрации остальных компонентов, которые образуют с ним эвтектические смеси. В этом случае температура ликвидуса лежит на поверхности ликвидуса, примыкающей к криолитовому углу на диаграмме плавкости, и может быть легко определена. При кристаллизации электролита в неравновесных условиях выделяющаяся твердая фаза может содержать несколько компонентов расплава, причем ее состав будет зависеть от скорости охлаждения. В этом случае, достаточно точно оценить влияние каждого компонента на температуру плавления всей системы не представляется возможным. Процесс кристаллизации образца электролита сопровождается выделением тепла фазового перехода: фактическое выделение тепла зависит от количества кристаллизующейся фазы в объеме электролита. Очевидно, что температурой кристаллизации электролита следует считать не температуру начала выпадения первых кристаллов, а температуру при максимальном тепловом эффекте фазового перехода, который характеризует наибольший объем одновременно кристаллизующейся фазы. Условно это процесс показан на рис. 9.

Наиболее точная регистрация температуры ликвидуса возможна при явном (пиковом) выделении энергии фазового перехода. В этом случае отводимое тепло полностью возмещается выделяющимся теплом в процессе данного превращения. Несмотря на отвод тепла, температура расплава остается постоянной и на кривой охлаждения появляется горизонтальный участок, отвечающий температуре кристаллизации. Величина горизонтального участка кривой определяется рядом факторов. При прочих равных условиях величина площадки будет тем больше, чем больше скрытая теплота превращения и чем больше масса охлаждаемого образца. С увеличением скорости охлаждения площадка будет уменьшаться. Практическими замерами установлено, что ярко выраженная площадка на кривой охлаждения электролита фиксируется довольно редко. Обычно имеет место небольшой перегиб в области, соответствующей интервалу кристаллизации. В этом случае было предложено производить дифференцирование температурной кривой по времени. В промышленном датчике, состоящем из тигля с помещенной в него термопарой, зоны начала кристаллизации совпадают с границами раздела фаз жидкое – газ (электролит-воздух) и жидкое – твердое (электролит-тигел).

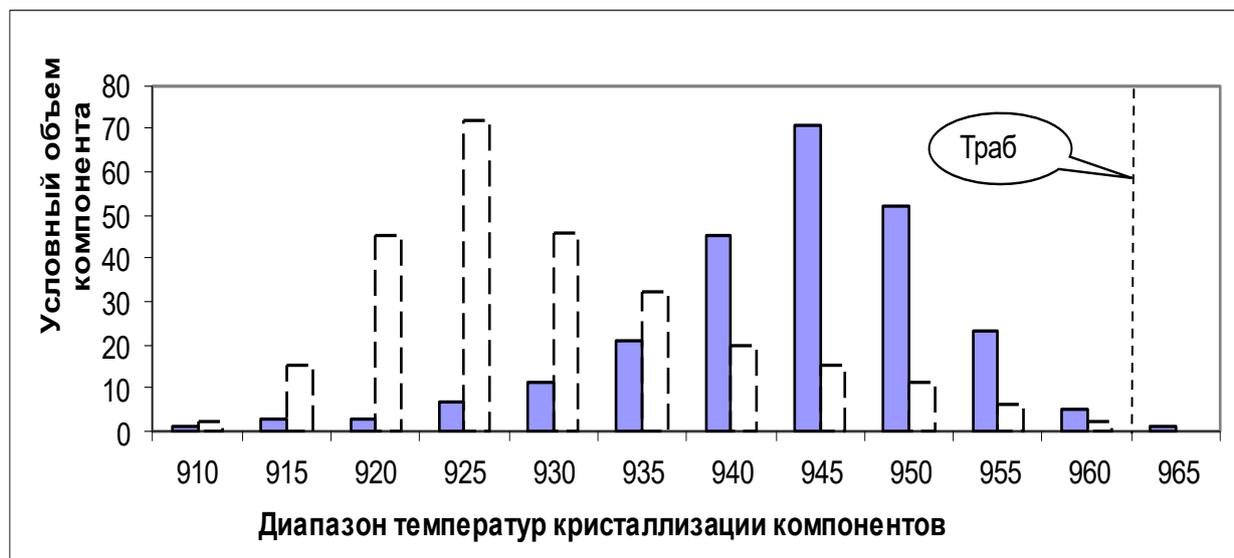


Рисунок 9. Возможное распределение компонентов электролита по температуре их кристаллизации.

Таким образом, процесс охлаждения электролита в промышленном датчике может быть достаточно явно разделен на 5 участков: 1 участок – резкий рост скорости остывания, связанный с помещением тиглула с расплавленным электролитом в более холодную среду. Рост происходит до некоторого установившегося значения; 2 участок – электролит находится в жидком состоянии, скорость остывания остается на высоком уровне, и она относительно постоянна; 3 участок – начало кристаллизации (по этому значению определяют температуру плавления) характеризуется выделением энергии, которая качественно меняет скорость остывания до некоторого установившегося значения; 4 участок – скорость остывания остается постоянной; 5 участок – после того как эффект фазового перехода проявил себя, скорость остывания начинает снова возрастать.

Адекватность полученных измерений оценивалась путем сопоставления динамики температуры охлаждения электролита до и после (через 25 минут – в момент насыщения электролита глиноземом) поточной обработки электролизера, т. е. в состоянии, когда содержание глинозема в электролите значительно изменяется. Каждый процент глинозема в электролите снижает температуру его плавления на 4-5 градусов, поэтому после поточной обработки перегрев электролита должен значительно возрастет. На рис. 10 отображена сравнительная характеристика графиков снижения температуры электролита до (кривая 1) и после (кривая 2) поточной обработки глиноземом непосредственно на электролизере. Снижение температуры ликвидуса до и после обработки составляет порядка 25 °С, что в целом хорошо согласуется с теоретическими выкладками: по-видимому, в рассматриваемом случае концентрация глинозема в электролите увеличилась приблизительно на 5%. Таким образом можно утверждать, что предложенный способ может использоваться для оценки температуры ликвидус и перегрева электролита. В рамках проведенной работы было исследовано влияние различных технологических факторов на оптимальную величину перегрева электролита, в том числе крупности используемого глинозема. Эмпирически определенная в рамках данной работы оптимальная температура перегрева электролита при вовлечении вторичного глинозема посредством систем автоматического питания – 12 °С. При использовании первичного (песчаного) глинозема – 7 °С. Анализ полученной зависимости показал хорошую корреляцию, в первую очередь, с крупностью используемого глинозема. Управление электролизером на основе мониторинга температуры перегрева электролита, позволило увеличить выход по току на 0,62 % и снизить расход электроэнергии на производство электролитического алюминия на 56 кВт*ч/т алюминия.

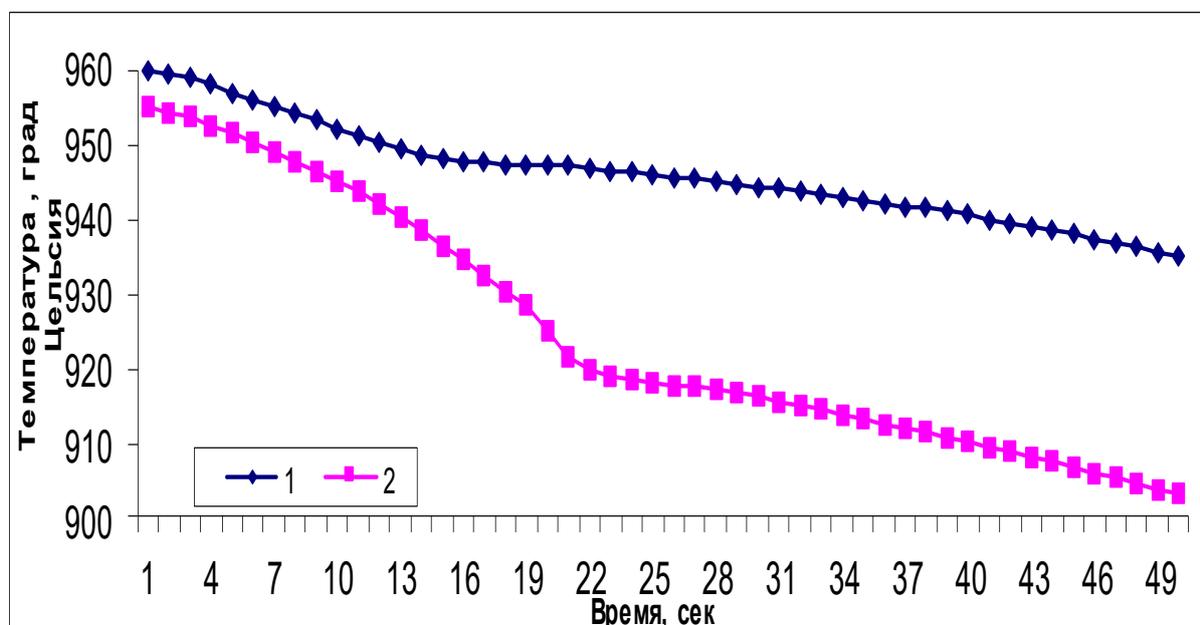


Рисунок 10. Оценка адекватности измерения температуры перегрева электролита

Для оценки влияния высокосернистых коксов на качество производимого алюминия-сырца был проведен химический анализ микропримесей нескольких коксов. Сопоставление содержания микропримесей в высокосернистых и низкосернистых коксах показывает, что по большинству исследованных микропримесей не отмечается существенного различия в содержании микропримесей, поэтому их влияние на итоговое качество металла несущественно. К существенному отличию в микропримесях среднее содержание серы в низкосернистых коксах составляет 1,20 %, а в высокосернистых коксах – 3,43 %. Также следует отметить существенное различие в содержании ванадия: в низкосернистых коксах среднее содержание ванадия составляет 0,0119 %, а в высокосернистых коксах – 0,0633 %, т.е. относительно низкосернистых коксов в высокосернистых коксах содержание ванадия примерно в 5 раз больше.

Отдельно следует отметить, что содержание железа в высокосернистом коксе даже ниже, чем в низкосернистом (0,0185 % против 0,0220 %), однако вовлечение высокосернистых коксов приведет к увеличению содержания железа в алюминии-сырце из-за интенсификации коррозии металлоконструкций электролизеров. Увеличение концентрации серы в используемом нефтяном коксе интенсифицирует коррозионные процессы металлоконструкций электролизера, что приводит к увеличению содержания железа в производимом сырце. Однако, влияние изменения серы в анодной массе происходит с временной задержкой. Наличие временной задержки связано, в первую очередь, с относительно большой величиной столба анода: временной период от загрузки анодной массы до ее попадания в зону горения измеряется месяцами (рис. 11).



Рисунок 11. Изменение величины коэффициента корреляции R содержания железа в алюминии-сырце и содержания серы в загружаемой анодной массе при смещении генеральной выборки данных.

Для определения корректной величины временной задержки был проведен статистический эксперимент по сопоставлению данных по содержанию серы в загружаемой анодной массе на изменение железа в производимом алюминии-сырце. Опыт производился на выборке 10 % электролизеров с наименьшим содержанием железа (с целью уменьшить влияние других факторов на содержание железа). Анализ рисунка показывает, что наиболее корректной величиной смещения следует считать 4 месяца – такому смещению соответствует максимальная величина коэффициента корреляции $R = 0,679$. Именно такой временной промежуток происходит от момента загрузки анодной массы до ее попадания в зону горения.

После определения корректной величины временного смещения влияния анодной массы от момента ее загрузки непосредственно в анод электролизера, было проведено статистическое исследование зависимости содержания железа в алюминии-сырце от концентрации серы в анодной массе с учетом определенной величины временного смещения. Средневзвешенное содержание железа в сырце лимитирует номенклатура выпускаемой литейным отделением товарной продукцией. Так, если средневзвешенное содержание железа в товарной продукции по номенклатуре равно 0,20 %, то для обеспечения качественной расшихтовки необходимо поддерживать средневзвешенное содержание железа в электролитическом алюминии на 0,01 % ниже, чем в товарном металле. Соответственно, предельная величина средневзвешенного содержания железа в электролитическом алюминии равна 0,19 %.

Таким образом, предельно допустимое содержание серы в анодной массе, составляет 4,28 %. Что соответствует содержанию серы в нефтяном коксе $4,28 / 0,7 = 6,11$ %, что выше, чем концентрация серы в наиболее высокосернистом коксе производства Новокуйбышевского НПЗ.

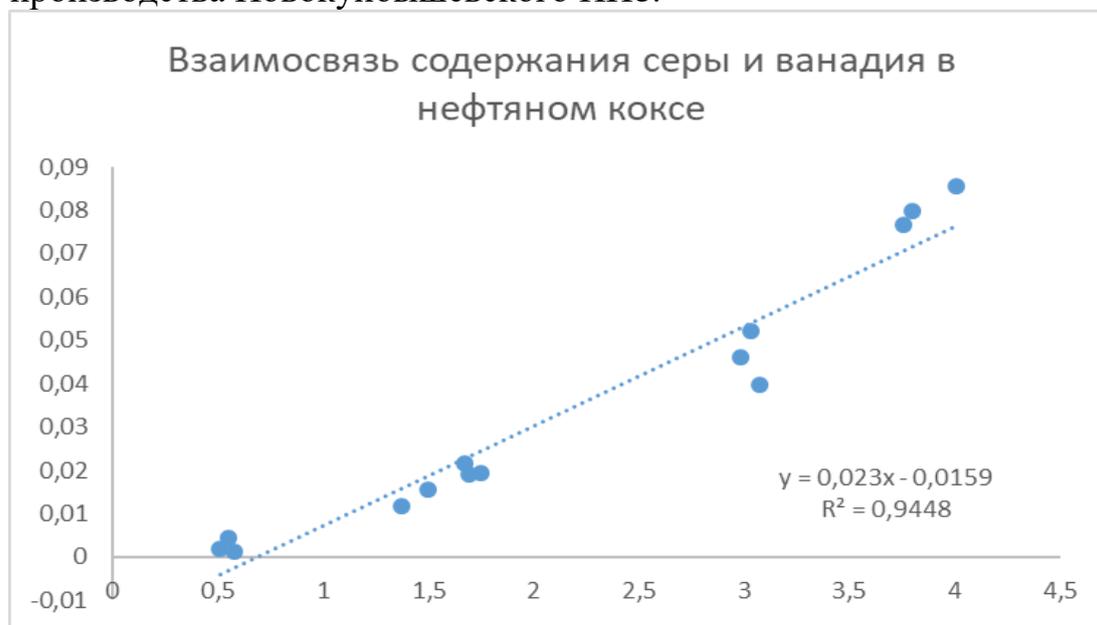


Рисунок 12. Взаимосвязь содержания ванадия и серы в нефтяном коксе.

Исследование химического состава сырого нефтяного кокса показало, что концентрация ванадия в нефтяном коксе хорошо согласуется с концентрацией серы в нефтяном коксе (коэффициент корреляции $R^2 > 0,9$) – рис. 12. Данная зависимость характерна как для мало и высокосернистых коксов.

Ванадий как более электроположительный элемент, чем алюминий, практически полностью концентрируется в жидком алюминии-сырце. Коррелуация содержания ванадия в алюминии-сырце и содержания ванадия в анодной массе имеет такой же характер, как и коррелуация содержания железа в алюминии-сырце и содержания серы в анодной массе. Это свидетельствует о том, что попадание ванадия в алюминий-сырец происходит с подошвы анода. Для изучения коррозии анодных штырей было организовано взвешивание анодных штырей в течение всего срока эксплуатации (Рис.13).

Анализ показывает хорошую взаимосвязь параметров «вес анодного штыря» и «срок службы анодного штыря», коэффициент в уравнении взаимосвязи показывает, что ежедневная убыль веса анодного штыря составляет 0,0139 кг. Наиболее подходящий способ снижения интенсивности коррозии анодного штыря – использование более электрохимически активного металла. Для этого было предложено использование алюминиевой стружки, которая образуется при резке слитков в литейном отделении. Стружка обладает развитой поверхностью, поэтому ее переплав затруднен вследствие высокого угара. В конкретном случае высокий угар является, наоборот, необходимым требованием (Рис.14).

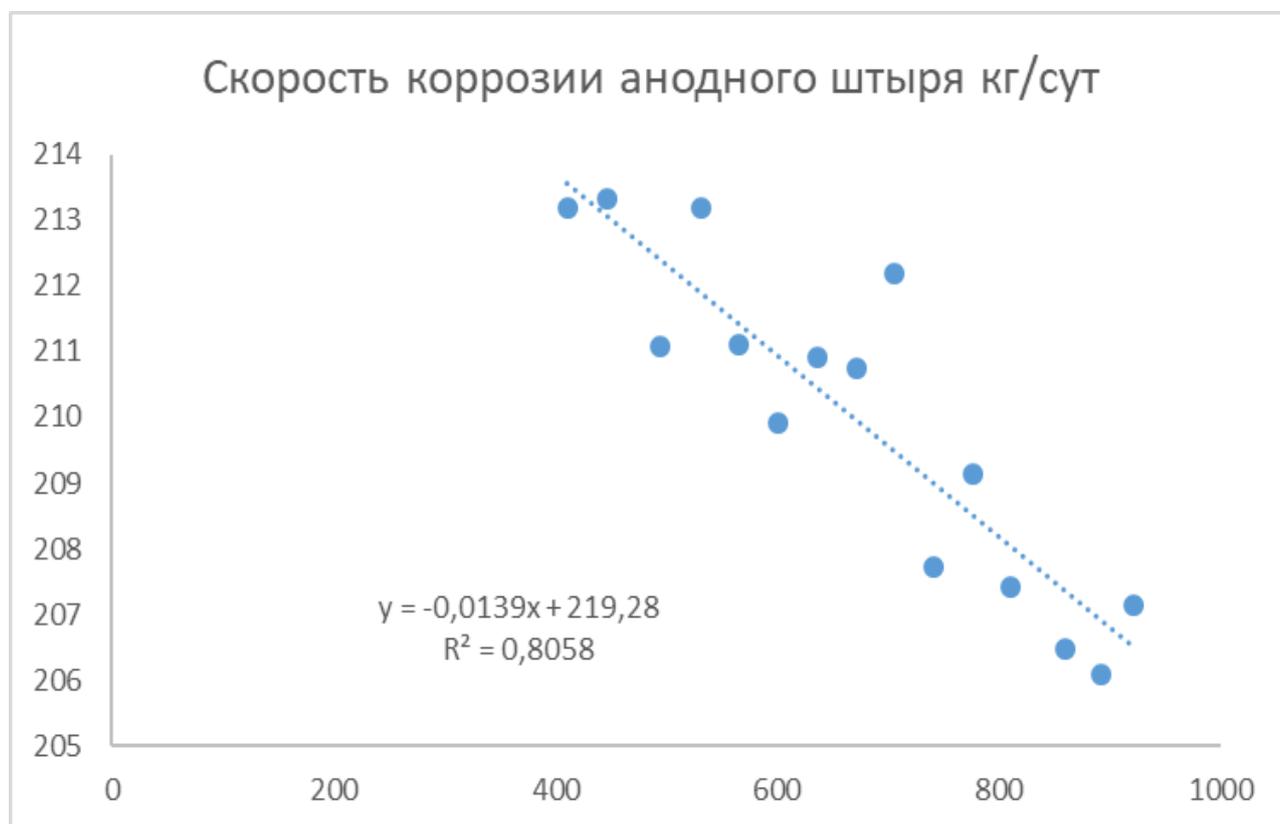


Рисунок 13. Коррозионная убыль анодного штыря в течение срока службы.

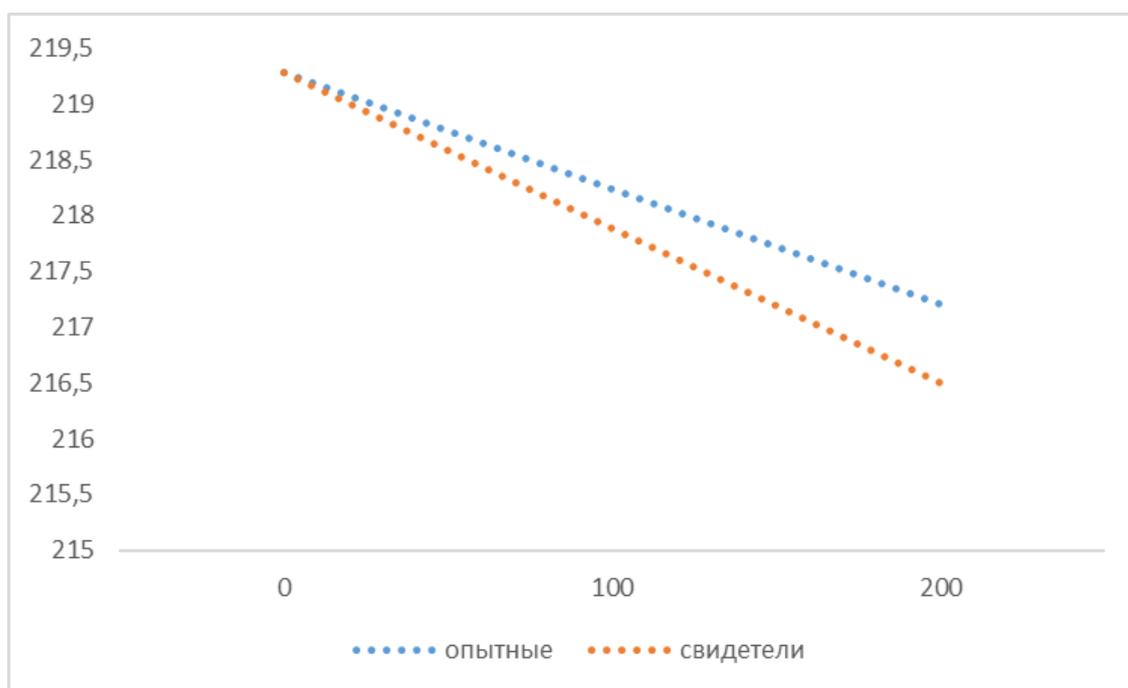


Рис. 14. Сопоставление убыли веса группы опытных (с алюминиевой стружкой) и группы свидетелей анодных штырей.

Для оценки эффективности использования алюминиевой стружки для снижения коррозии анодных штырей и, как следствие, улучшения качества производимого алюминия-сырца, был проведен активный эксперимент, который заключался в перестановке анодных штырей с добавлением брикетированной алюминиевой стружки при перестановке. Для определения эффективности перестановки производилось взвешивание анодных штырей на опытных электролизерах и электролизерах-свидетелях.

В четвертой главе диссертации **«Утилизация отходящих газов электролизного производства с выводом соединений серы»** посвящена разработке утилизацию отходящих газов электролизного производства с выводом соединений серы. В рамках проводимых исследований была испытана и в полупромышленном масштабе была внедрена технология регенерации соединений серы из газоочистных растворов электролизного производства с помощью естественного холода. Этот способ основан на известной кривой растворимости сульфата натрия в водном растворе – рис. 15.

Анализ кривой показывает, что использование естественного холода позволяет добиться образования и выпадения из насыщенных растворов газоочистки кристаллов сульфата натрия.

Опытно-промышленная схема (рис. 16) включает в себя бак-мешалку, установленную на улице, внутри здания находится сгуститель-сепаратор, короб с сеткой и система трубопроводов для транспортировки осветленного (исходного) и обессульфаченного растворов, а также сгущенного продукта. В бак-мешалке установлен температурный датчик.

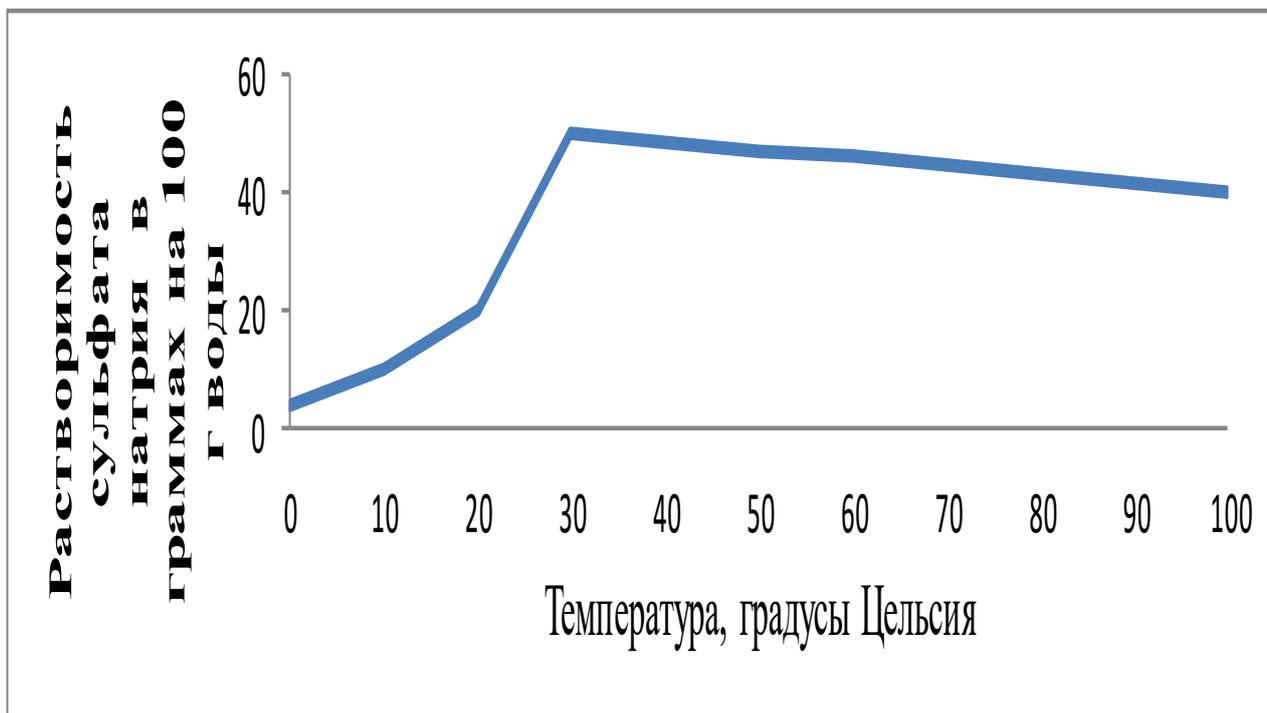


Рис. 15. Растворимость сульфата натрия в воде.

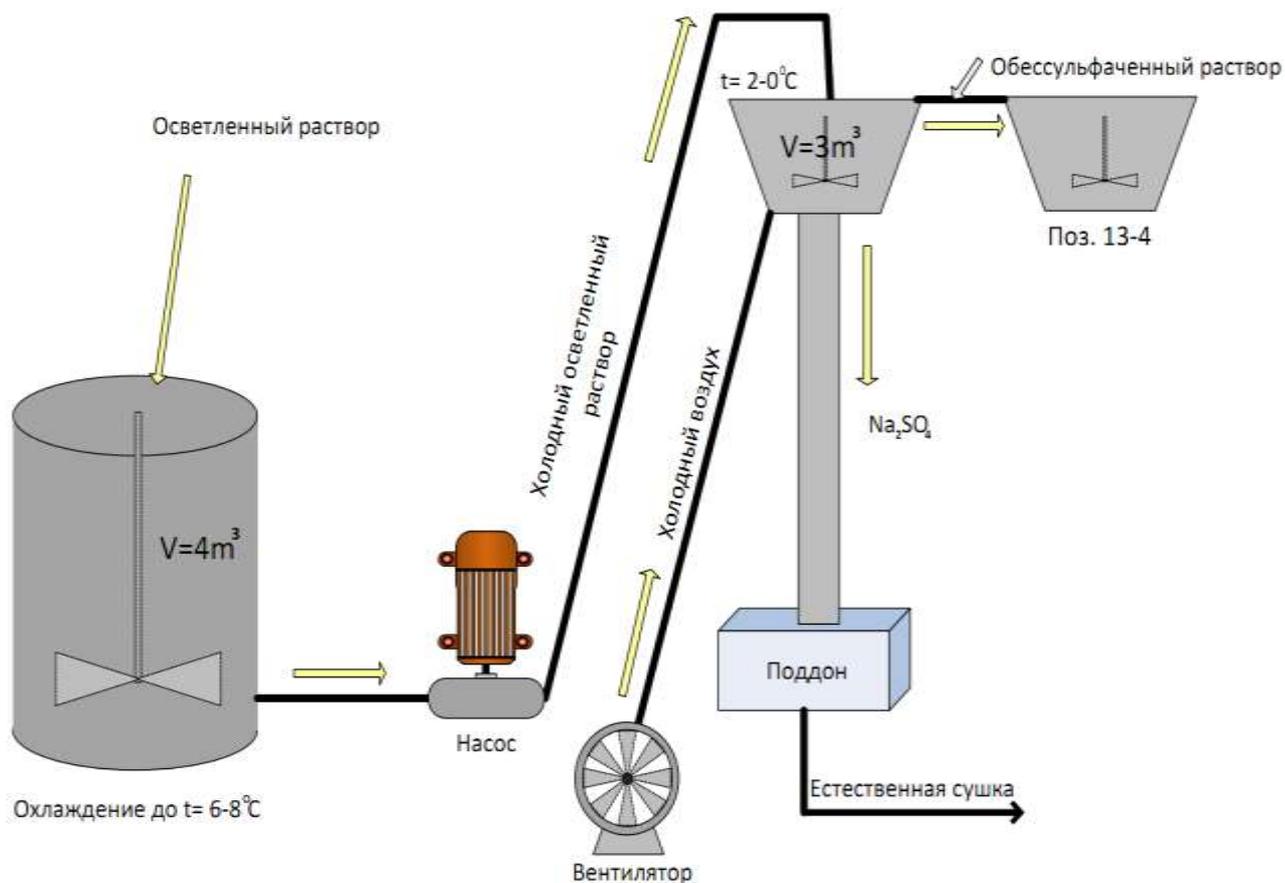


Рисунок 16. Технологическая схема опытно-промышленной установки кристаллизации сульфата натрия из растворов ГОУ.

Были проведены опытно-промышленные испытания по определению эффективности внедрения аппаратурно-технологической схемы кристаллизации сульфата натрия из растворов газоочистки с использованием естественного холода для получения товарного продукта, целью которых являлись: определение принципиальной возможности получения сульфата натрия надлежащего качества; уточнение технологических параметров процесса; наработка опытной партии сульфата натрия для потребителя.

В качестве исходного сырья для получения кристаллического сульфата натрия использовался газоочистной раствор, охлаждающим реагентом служил естественный холодный воздух. В бак-мешалку заливался осветленный раствор в объеме 5-6м³ с температурой от +40 °С до +44 °С. Охлаждение раствора продолжалось от 2 до 3 суток, т.к. температура наружного воздуха колебалась от -3 °С до -17 °С. Перекачка растворов, фильтрация и доставка кристаллического сульфата натрия на узел сушки криолита происходила в течение 2 часов.

Опытным путем установлено, что за 1 цикл (2-3 часа) оборота растворов ГОУ «смешанный раствор на ГОУ- насыщенный раствор с ГОУ» в процесс регенерации, концентрация сульфата натрия повышается до 20 г/л.

Следовательно, маточные растворы после кристаллизации регенерационного криолита с концентрацией Na₂SO₄ 40 г/л и менее могут циркулировать в системе «приготовление смешанного раствора – раствор на ГОУ - производство криолита» без вывода из процесса и сброса на шламовое поле, что необходимо для поддержания баланса серопродуктов в содовых растворах. При этом годовая экономия по соде кальцинированной составила 8000 – 10000 т/год для ПАО «РУСАЛ Братск». Общий годовой экономический эффект от внедрения результатов работы оценивается в 117,41 млн. рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены физико-химические свойства и состав нефтяных коксов, и установлено, что в высокосернистых коксах содержание ванадия выше по сравнению с низкосернистыми коксами.

2. Рекомендован новый гранулометрический состав термообработанных нефтяных коксов для создания сухой композиции коксовой шихты, обеспечивающей оптимальные технические свойства анодной массы.

3. Показано, что увеличение содержания серы ускоряет процесс коррозии металлических конструкций электролизеров, что приводит к повышению содержания железа в производимом алюминиевом сыре. Установлена зависимость содержания железа в производимом алюминиевом сыре от количества серы в анодной массе.

4. Научно обоснованы причины взаимосвязи между структурно-качественными показателями нефтяных коксов и технологическими свойствами получаемой анодной массы.

5. Рекомендуются в целях обеспечения производства электролитического алюминия требуемого качества с использованием высокосернистых нефтяных

коксов за счет снижения коррозии стальной части анодных штырей, применение двухступенчатой четырехгоризонтальной схемы размещения анодных штырей в технологии электролитического получения алюминия и использование алюминиевой стружки для замены анодных штырей.

6. Установлена причинно-следственная связь между нестабильностью процесса электролиза алюминия в условиях электрохимического восстановления алюминия на углеродном катоде, коррозионными процессами металлических конструкций промышленных электролизеров и качественными характеристиками используемой анодной массы;

7. Рекомендован способ продления срока службы анодного штифта для выпускаемых электролизеров, обеспечивающий снижение коррозии стальной части анодного штифта и, как следствие, повышение качества производимого алюминия.

8. Рекомендована технология получения сульфата натрия и фторида кальция промышленного качества при извлечении соединений серы из растворов газоочистки.

9. Рекомендована научно обоснованная технология получения алюминия, направленная на снижение материальных и энергетических затрат путем использования недорогих высокосернистых нефтяных коксов.

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY SCIENTIFIC COUNCIL
DSc.15/27.02.2020. T.73.02 ON THE AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

NOJKO SEMYON IGOREVICH

**TECHNOLOGY FOR PRODUCING ELECTROLYTIC ALUMINUM
THROUGH THE UTILIZATION OF HIGH-SULFUR PETROLEUM COKE**

05.02.01 – Materials Science in Mechanical Engineering. Foundry. Heat treatment and treatment of metals by pressure. Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals. Technology of unique, rare and radioactive elements

**ABSTRACT OF THE DOCTORAL DISSERTATION
(DSc) IN TECHNICAL SCIENCES**

TASHKENT-2023

The theme of the doctoral dissertation (DSc) has registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under № B2025.1.DSc/T900.

The dissertation was completed at the Tashkent State Transport University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council (<http://tstu.uz>) and on the Information and Educational Portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: **Umarov Abdusalom Vaxitovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Tursunov Nadirjon Kayumjonovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Kurbanov Mirtemir Shodievich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Zelberg Boris Ilych
Doctor of Technical Sciences, Professor

Leading organization: Namangan Technological University

Defense of the dissertation will take place on «__» ____ 2025 at ____ o'clock at a meeting of Scientific Council at the Scientific Council DSc.15/27.02.2020.T.73.02 at the Tashkent State Transport University. Address: 1, Temiryo'lhilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone:(+998 71) 299-00-01, fax: (99871) 293-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz.

The doctoral dissertation (DSc) can be reviewed at the Information–Resource Center of the Tashkent State Transport University (Registration number – ____). (Address: 1, Temiryo'lhilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-05-66)

Abstract of dissertation was distributed on «__» ____ 2025 ear.
(mailing record № __ on «__» ____ 2025 ear)

A.M. Arifganov
Chairman of Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, professor

E.U. Teshabayeva
Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, professor

N.Q.Tursunov
Chairman of the scientific seminar under scientific council
disposable on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, professor

INTRODUCTION

[abstract of the dissertation of Doctor of Science (DSc)]

The aim of the research work is to study the physicochemical properties of high-sulfur petroleum cokes and to develop a technology for their incorporation into the electrolytic production of aluminum.

The subjects of the study are petroleum coke and anode paste made from petroleum coke.

Scientific novelty of the research work is as follows:

the relationship between the qualitative properties of petroleum coke and the technological properties of the resulting anode mass was established, and the optimal parameters for involving high-sulfur petroleum coke were determined;

a composition for producing anodic mass with improved performance characteristics has been developed;

the relationship between the crystallization mechanism of the multicomponent industrial electrolyte of the aluminum electrolyzer, the overheating temperature of the electrolyte, and the operating parameters of the electrolyzer has been established;

the optimal number and operating parameters of the aluminum electrolyzer, ensuring high energy efficiency of the process, have been substantiated;

the parameters of selective regeneration of gas purification solutions from sulfur and fluorine compounds in aluminum production have been determined;

methods and devices have been developed for determining the liquidus temperature of the electrolyte melt in an aluminum electrolysis cell, positioning anode rods in the cell for the production of self-baking anodes and high-conductivity aluminum, and purifying recycled cryolite from sulfur compounds;

the technology of using high-sulfur petroleum coke in the electrolytic production of aluminum has been improved.

Implementation of research results: Based on the scientific research conducted on the physicochemical properties of petroleum coke, the crystallization process of industrial electrolyte, and the regeneration of gas purification solutions:

a patent of the Russian Federation was obtained for the «Method for Determining the Liquidus Temperature of Electrolyte Melt in an Aluminum Electrolyzer and a Device for its Implementation» (№ 2303246 dated 07.12.2006). As a result, this allowed to increase the current efficiency by 0.38%;

a patent of the Russian Federation was obtained for the «Method of placing anode rods in an electrolytic cell for the production of self-baking anode and high-conductivity aluminum» (№ 2387742 dated 04.12.2009). As a result, it was possible to reduce the voltage difference at the anode by 20 mV and decrease the electricity consumption for aluminum production by 67 kW*h/t;

a Russian Federation patent was obtained for the «Method of purifying regenerated cryolite from sulfur compounds» (№ 2401323 dated May 4, 2009). As a result, it became possible to produce 8,000 - 10,000 tons of calcined soda per year;

the method for processing fluorine-containing materials from electrolysis production has been implemented at the Aluminium Smelter Company of Nigeria (certif-

icate №0812 dated 01.11.2008 from the Republic of Nigeria). As a result, it became possible to fully process the entire volume of fluorine-containing materials;

the technology for managing the thermal balance of electrolyzers in aluminum production has been implemented at the RUSAL Krasnoyarsk Aluminum Plant (as per the RUSAL Krasnoyarsk Aluminum Plant certificate №15 dated November 28, 2008). As a result, it was possible to increase the current efficiency by 0.62% and reduce the specific electricity consumption in the production of aluminum raw materials by 56.2 kWh/ton;

the developed technology for regenerating gas purification solutions has been implemented at JSC «RUSAL Bratsk Aluminum Plant» (as confirmed by the certificate from JSC «RUSAL Bratsk» dated June 22, 2012, № RB-Vn-12-01712). As a result, the proposed regeneration scheme for gas purification solutions has reduced the content of sulfur compounds to 50-70 g/dm³;

the technology of electrolytic production of aluminum using high-sulfur coke has been implemented in the practice of JSC «All-Russian Aluminum and Magnesium Institute» (certificate of JSC «All-Russian Aluminum and Magnesium Institute» № 0703/12-231 dated March 30, 2012). As a result, this made it possible to increase the quality of products by 1.4 times and obtain an economic effect of 117.41 million soums.

The structure and volume of the thesis. The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, an appendix, and a bibliography of sources used. The main body of the dissertation text comprises 200 pages.

Э’ЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РО‘ЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I част; I part)

1. С.И. Ножко. Электролит алюминиевых ванн. Пособие для персонала корпусов электролиза алюминиевых заводов// Монография, Братск, 2011. 144 с.
2. С.И. Ножко, С.Н. Турусов, В.И. Никитин. Технологический подход к управлению энергетическим режимом электролизера// Цветные металлы. 2006. №8. с. 85 – 87. (05.00.00, № 91).
3. Д.Н. Демичев, С.И. Ножко, С.Н. Турусов, В.Р. Богатырев. Пути минимизации образования угольной пены на электролизерах с верхним токоподводом и самообжигающимся анодом//Цветные металлы. 2006. №11. с. 42 – 47. (05.00.00, № 91).
4. С.И. Ножко, А.Б. Ворона, С.Н. Турусов, Э.А. Янко. Повышение эффективности работы алюминиевого электролизера с самообжигающимся анодом и верхним токоподводом посредством дифференцированной расстановки анодных штырей // Цветные металлы. 2010. №3. с. 62 – 64. (05.00.00, № 91).
5. С.И. Ножко. Способ измерения уровня металла и электролита на электролизерах для производства алюминия // Контрол. Диагностика. 2010. №10. с. 33 – 37. (05.00.00, № 48).
6. С.И. Ножко. Планирование и анализ выхода по току на электролизерах для производства алюминия // Контрол. Диагностика. 2010. №11. с. 35 – 39. (05.00.00, № 48).
7. С.И. Ножко, А.В. Моренко, Л.В. Гавриленко, В.В. Сомов. Изучение кинетики регенерации газоочистных растворов алюминиевых электролизеров соединениями кальция// Экология и промышленность России. 2010. №12. с. 11 – 13.
8. S.I. Nozhko. A Method for Determining the Productivity of Electrolyzers for Aluminum Production// Russian Journal of Non-ferrous Metals, 2011, Vol. 52, No. 1, pp. 16–18.
9. С.И. Ножко. Способ определения производительности электролизера для производства алюминия// Известия ВУЗов. Цветная металлургия. 2011. №1. с. 18 – 21. (05.00.00, № 91).
10. С.И. Ножко, А.В. Моренко. Термодинамическая оценка возможности регенерации газоочистных растворов алюминиевых электролизеров соединениями кальция// Цветные металлы. 2011. №1. с. 43 – 45. (05.00.00, № 91)
11. С.И. Ножко. К вопросу управления качеством производимого электролитического алюминия // Цветные металлы. 2011. №6. с. 45 – 47. (05.00.00, № 91).
12. С.И. Ножко и др. Анализ методов оценки выхода по току на электролизерах для производства алюминия// Цветные металлы. 2011. №10. с. 75 – 77. (05.00.00, № 91).
13. А.А. Блашков, С.И. Ножко. Дифференциальная схема расстановки анодных штырей на алюминиевом электролизере с самообжигающимся анодом

и верхним токоподводом// Серия: Естественные и инженерные науки. 2012. Т. 2 с. 53 – 56.

14.С.И. Ножко, А.А. Блашков. Перспективы повышения мощности алюминиевых электролизеров (в порядке обсуждения)// Цветные металлы. 2012. № 10. с. 65 – 68. (05.00.00, № 91).

15.С.И. Ножко, О.Уч. Сухов. Практика увеличения производительности алюминиевых электролизеров второго поколения путем увеличения силы тока// Цветные металлы. 2013. № 2. с. 63 – 66. (05.00.00, № 91).

16.С.И. Ножко, А.А. Верегитин, Д.Н. Демичев, А.В. Гулуаев. Некоторые аспекты прокалки сырых нефтяных коксов для нужд алюминиевой промышленности// Системы. Методы. Технологии. 2017. № 4 (36). с. 127 – 133.

17.Е.Уч. Зенкин, А.А. Гавриленко, С.И. Ножко, Л.В. Гавриленко. Технология регенерации газоочистных растворов ПАО «РУСАЛ Братск» от соединений серы с помощью естественного холода// Цветные металлы. 2020. № 11. С. 27 – 31. (05.00.00, № 91).

18. A.V. Umarov, S.I. Nozhko. Study of the influence of sulfur and vanadium on the quality of produced aluminium// International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 12, Issue 3, March 2025. P. 22953 – 22960.

19. A.V. Umarov, S.I. Nozhko. On the possibility of obtaining sodium sulfate from gas cleaning solutions// Journal of Software Engineering and Applied Sciences. Volume 1, Issue 4, April 2025, P. 4 – 8.

20. Патент РФ 2303246. Способ определения температуры ликвидуса расплава электролита в алюминиевом электролизере и устройство для его осуществления / Березин А.И., Турусов С.Н., Ножко С.И., Роднов О.О., Манн В.Х., Бузунов В.Ю., Тараканов А.В., Гриднев А.А., приоритет № 2005139459 от 16.12.2005 г., дата выдачи решения 07.12.2006 г.

21.Патент РФ 2387742. Способ расстановки анодных штырей на электролизере для производства алюминия с самообжигающимся анодом и верхним токоподводом/ Ножко С.И., Ворона А.Б., Турусов С.Н., Янко Э.А. Приоритет № 2009110088 от 19.03.2009 г., дата выдачи решения 04.12.2009 г.

22. Патент РФ 2401323. Способ очистки регенерационного криолита от соединений серы/ Ножко С.И., Гавриленко Л.В., Баранов А.Н., Седых В.И., приоритет № 2009117055 от 04.05.2009 г., дата выдачи решения 04.06.2010 г.

И бо‘лим (II част; II part)

23. С.И. Ножко. Оптимизация работы анодного узла алюминиевого электролизера с самообжигающимся анодом/ С.И. Ножко [и др.]// Перспективы развития технологии, экологии и автоматизации химических, пищевых и металлургических производств. Региональная науч.-практ. конф. Иркутск: ИрГТУ, 2009.

24. С.И. Ножко. К вопросу о кумулятивном накоплении смолистых веществ и других вредных примесей во фторированном глиноземе// Перспективы

развития технологии, экологии и автоматизации химических, пищевых и металлургических производств. Региональная науч.-практ. конф. Иркутск: ИрГТУ, 2009.

25. С.И. Ножко, В.И. Седых Повышение точности измерений уровня металла и электролита в алюминиевом электролизере// Инновационное развитие горно-металлургической отрасли: Материалы Всероссийской конф. с элементами научной школы для молодежи. Иркутск: Изд-во ИрГТУ – 2009.

26. С.И. Ножко. Способ измерения уровня металла и электролита на электролизерах длуа производства алюминия// Техгормет-21 век. Инновационные разработки и достижения для повышения эффективности производства на предприятиях горно-металлургического комплекса. Международнаа науч.-практ. конф. Сборник докладов/ СПб Гос. Горный Ун-т. им. Г.В. Плеханова – СПб.: СПбГГУ им. Г.В. Плеханова, 2010.

27. С.И. Ножко. Алгоритм управления алюминиевым электролизером, основанный на мониторинге перегрева электролита// Техгормет-21 век. Инновационные разработки и достижения для повышения эффективности производства на предприятиях горно-металлургического комплекса. Международнаа науч.-практ. конф. Сборник докладов/ СПб Гос. Горный Ун-т. им. Г.В. Плеханова – СПб.: СПбГГУ им. Г.В. Плеханова, 2010.

28. С.И. Пентюхин, С.И. Ножко. Опыт использования фторида кальция собственного производства на электролизерах ОАО «РУСАЛ Братск»// Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. Материалы XI (XXXIII) Всероссийской научно-практической конференции 16–20 апреля 2012 года. – Братск: Изд-во БрГУ, 2012. – 183 с.

29. А.А. Блашков, С.И. Ножко. Дифференциальная схема расстановки анодных штырей на алюминиевом электролизере с самообжигающимся анодом и верхним токоподводом// Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. Материалы XI (XXXIII) Всероссийской научно-практической конференции 16–20 апреля 2012 года. – Братск: Изд-во БрГУ, 2012. – 183 с.